

Keinotekkoisten kosteikkojen potentiaalisten sijaintien tunnistaminen paikkatietomenetelmin

Maantiede

LuK-tutkielma

Otto Palmroth

14.5.2026

Turku

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on
tarkastettu

Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Kandidaatintutkielma

Tutkinto-ohjelma, oppiaine: Luonnontieteiden kandidaatti, maantiede

Tekijä: Otto Palmroth

Otsikko: Rakennettujen kosteikkojen potentiaalisten sijaintien tunnistaminen paikkatietomenetelmin

Ohjaaja: Harri Tolvanen

Sivumäärä: 48 sivua

Päivämäärä: 14.5.2026

Ilmastonmuutoksen kiihtymisen takia kosteikkoekosysteemien osuus maailman maapinta-alasta on pienentynyt, joka vaikuttaa etenkin valuma-alueiden toimintaan. Kosteikot ovat merkittäviä tekijöitä etenkin ravinnekuormituksen, tulvahallinnan sekä ekosysteemipalveluiden kannalta, minkä takia näiden ennallistaminen ja rakentaminen on tärkeää.

Tämä tutkimus käsittelee rakennettujen kosteikkojen mahdollisia sijainteja hyödyntämällä painotettua päällekkäisyysanalyysiä ja tutkimuksen tarkoituksena on luoda soveltuvuuskartta yhdistäen korkeusmallista tuotetut rinnekaltevuus- ja Flow Accumulation -aineistot sekä maaperää ja maankäyttöä kuvaavat aineistot. Tutkimusmenetelmissä on hyödynnetty ArcGIS Pro:n hydrologiatyökaluja sekä Model Builder -työkalua. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää tutkimusalueen parhaat sijainnit rakennetuille kosteikoille sekä lisätä ymmärrystä siitä, millaiset paikkatietomenetelmät tukevat prosessia parhaiten. Tutkimusalueena toimii Paimionjoen valuma-alueella sijaitseva osavaluma-alue.

Painotetun päällekkäisyysanalyysin pohjalta loin alueelta soveltuvuuskartan, josta selviää alueen optimaalisimmat sijainnit rakennetulle kosteikolle. Tuloksista havaitaan, että parhaat sijainnit ovat pääasiassa tutkimusalueen koillisosassa, jossa vedenkertymä on suurta, rinnekaltevuus tasaista sekä maaperä ja maankäyttö kosteikoille soveltuvaa. Tutkimustulokset eivät kerro välttämättä kokonaiskuvaa koko valuma-alueen soveltuvuudesta kosteikkosuunnittelulla, mutta niiden pohjalta voidaan kuitenkin paikantaa useita hyvän soveltuvuuden keskittymiä.

Avainsanat: kosteikko, valuma-alue, Paimionjoki, korkeusmalli, paikkatieto, päällekkäisyysanalyysi, AHP-menetelmä

Sisällysluettelo

1	Johdanto	5
2	Teoreettinen tausta ja viitekehys	7
2.1	Kosteikot ja niiden nykytila	7
2.2	Valuma-alueet	8
2.3	Kosteikkojen merkitys valuma-alueella	9
2.3.1	Ravinnekuormitus	9
2.3.2	Ekosysteemipalvelut	9
2.3.3	Tulvahallinta	10
2.4	Kosteikkojen rakentaminen	11
2.5	Tutkimusalue	12
2.5.1	Paimionjoen osavaluma-alue	12
3	Aineistot ja menetelmät	14
3.1	Aineistot	14
3.1.1	Korkeusmalli	14
3.1.2	Maankäyttö	18
3.1.3	Maaperä	20
3.2	Menetelmät	23
3.2.1	AHP-menetelmä	23
3.2.2	Suitability Modeler	24
4	Tulokset	26
5	Keskustelu	32
5.1	Paikkatieto osana kosteikkosuunnittelua	32
5.2	Erilaisten kosteikkotyyppeiden suunnittelu	34
5.3	Tutkimuksen epävarmuustekijät ja jatkotoimenpiteet	34
5.4	AHP- ja GIS-menetelmien soveltuvuus	36
5.5	Analyysien automatisointi	38
6	Johtopäätökset	40
	Kiitokset	41

1 Johdanto

Ilmastonmuutoksen kiihtyminen on viimeisten vuosikymmenten aikana kasvanut suureksi uhaksi myös kosteikkoekosysteemeille (Salimi ym. 2021). Etenkin vesien kiertokulussa sekä vuosittaisissa keskilämpötiloissa tapahtuvat muutokset vaikuttavat merkittävästi kosteikkojen biogeokemiaan sekä toimivuuteen ja heikentävät kyseisten ekosysteemien tuottamia palveluita (Salimi ym. 2021). Kosteikkoekosysteemit ovat herkkiä ympäristössä tapahtuville äkillisille muutoksille, jonka takia niiden suojeleminen sekä ennallistaminen ovat yhä merkittävämmässä roolissa (Erwin 2008). Kosteikkoekosysteemejä voidaan myös rakentaa keinoperäisesti tuottamaan luonnontilaisen kosteikon palveluita ja tarkoituksenmukaisesti suunnitellut ja toteutetut kosteikkokokonaisuudet saattavat tuottaa ympäristölleen laajoja hyötyjä esimerkiksi vesien varastoinnin, sen laadun parantamisen tai tulvahallinnan suhteen (Ghermandi ym. 2010).

Kosteikot ovat merkittäviä maataloudesta lähtöisin olevien huuhtoumien puskureita. Paimionjoen valuma-alueen pinta-alasta on noin 41 % peltoaluetta, jolloin niistä lähtöisin olevat ravinnekuormat ovat myös suuria (Koivunen & Jantunen 2020). Alueen vesistöt ovat pääasiassa savisameita ja niiden laatuun vaikuttaa muun muassa runsasravinteisuus sekä voimakas eroosio (Koivunen & Jantunen 2020).

Hydrologiset mallit kärsivät usein datan puutteesta tai sen heikosta laadusta, mutta nykyaikaisten, kehittyneempien paikkatietojärjestelmien (GIS) sekä kaukokartoitusteknologian avulla voidaan mallintaa maankäyttöön, maaperään tai topografiaan liittyviä tekijöitä tarkasti ja niitä voidaan hyödyntää luonnonvarojen hallinnassa eri aloilla hyvinkin laajalti (Kumar ym. 2015). Vesienhallinnan ymmärtäminen ja sen seuranta on muun muassa makean veden varantojen vähentyessä yhä tärkeämmässä roolissa ja hydrologisia malleja tuottamalla voidaan tunnistaa yhä tehokkaammin alueita, jotka vaativat vesiensuojelua- tai hallintaa (Kumar ym. 2015).

Nykypäivän ilmastonmuutoskeskustelussa kosteikkojen suojeleminen on vain pieni osa tieteellistä keskustelua, jonka takia tämä tutkimus pyrkii lisäämään tietoisuutta rakennettujen kosteikkojen vaikutuksista niitä ympäröiviin ekosysteemeihin sekä mahdollisuuksista tuottaa paikkatietomenetelmillä kvantitatiivista tietoa kosteikkojen mahdollisten sijaintien tunnistamisesta. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää Paimionjoen alajuoksulla sijaitsevan osavaluma-alueen potentiaalisia kosteikkosijainteja painottamalla paikkatietomenetelmiä sekä tilastollisia menetelmiä ja luoda näiden perusteella karttaesitys soveltuvuusalueista. Tutkimus pyrkii myös esittämään, miten paikkatietoa ja tilastollisia menetelmiä voidaan yhdistää suorittamaan luontoympäristöön kohdistuvia analyysejä. Tällä tutkimuksella pyritään siis vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Mitkä ympäristöön liittyvät tekijät ovat keskeisimmässä roolissa kosteikkojen potentiaalisten sijaintien löytämisessä?
- Mitä paikkatietoanalyysit kertovat mahdollisista kosteikkojen sijainneista?
- Millaiset työkalut/algoritmit ohjaavat tämänkaltaista prosessia parhaiten?
- Missä tutkimusalueen parhaat kosteikkoalueet sijaitsevat?

2 Teoreettinen tausta ja viitekehys

2.1 Kosteikot ja niiden nykytila

Kosteikkoja voidaan yleisesti kuvailla märkinä ja vettyneinä maa-alueina, jotka sijoittuvat usein kovanmaan sekä avovesien väliin (Kosteikot Pohjoismaissa... 2004). Kosteikkoja voidaan kuvailla ikään kuin rajapintana näiden vedenalaisten sekä maanpäällisten ekosysteemien välillä, sillä ne edistävät olemassaolollaan kummankin ekosysteemin hyvinvointia (Ferreira ym. 2023). Yhdenmukaisen määritelmän luominen kosteikoille on kuitenkin aiheuttanut tiedeyhteisöissä erimielisyyksiä, sillä niiden kokoerot, sijainti, kyky puskuroida tulvia sekä mahdollisuudet asuttaa eliölajeja ovat vaihtelevia (Ferreira ym. 2023). Yleisin ja globaalisti hyväksytyin määritelmä sovittiin kuitenkin vuonna 1973 Iranissa solmitun Ramsarin sopimuksen yhteydessä. Sopimuksessa jaotellaan kosteikot karkeasti myös kolmeen eri pääryhmään, jotka ovat rannikkokosteikkoihin, sisämaakosteikkoihin sekä keinotekoisiiin kosteikkoihin (Ferreira ym. 2023). Sopimuksen mukaan kosteikot voidaan määritellä seuraavanlaisesti: ”Kosteikot ovat joko luonnollisia tai keinotekoisia suo-, letto-, neva- tai vesialueita, jossa vesi on paikallaan tai virtaavaa ja se voi olla makeaa, murtovetä tai suolaista. Näihin sisältyvät myös merialueet, joiden veden syvyys ei laskuveden aikana ylitä kuutta metriä” (Scholz & Lee 2005). Sekä luonnollisten että rakennettujen kosteikkojen yleisiin piirteisiin kuuluvat kuitenkin mm. veden läsnäolo, ainutlaatuinen maaperä, joka eroaa ympäröivän maaston maaperästä sekä kasvillisuus, joka on sopeutunut vettyneisiin elinympäristöihin (Scholz & Lee 2005). Ne ovat myös suurimman osan vuodesta veden peitossa (Hagelberg ym. 2012). Kosteikkojen pääasiallinen tarkoitus on kuitenkin varastoida valuma-alueella virtaavaa vettä, pidättää tulvia sekä parantaa vedenlaatua ihmisten tarpeisiin mm. vähentämällä ravinnekuormia (Ghermandi ym. 2010).

Viimeisen vuosisadan aikana arviolta noin puolet maailman kosteikoista ovat hävinneet mm. maankäytön ja maatalouden lisääntymisen myötä (Pellikka ym. 2022) ja tämän takia kosteikkojen merkitys valuma-alueilla on kasvanut viime vuosien aikana huomattavasti. Kosteikkoalueita voidaan pitää yksinä maailman tuottoisimpina luontotyyppinä sekä myös kaupallisesti merkittävänä alueina (Kosteikot

Pohjoismaissa... 2004). Ne kuitenkin kuuluvat nykypäivänä globaalisti uhanalaisimpien elinympäristöjen joukkoon ja myös Suomessa luonnontilaisia kosteikkoja on kuivatettu viime vuosisatojen aikana juuri maatalouden tarpeiden tieltä (Pellikka ym. 2022).

Nykymaailman mantereiden maanpeitteestä arviolta noin 5–10 % voidaan määritellä kosteikkoalueeksi (Kingsford ym. 2016). Tulevaisuudessa vuosittainen keskilämpötilojen nousu ja pitkittyneet kuivuusjaksot saattavat muuttaa kosteikkoalueet hiilinieluista hiilen lähteeksi (Salimi ym. 2021).

Kosteikkoekosysteemeillä on merkittävä rooli ilmastonmuutoksen hillitsemisen kannalta, sillä ne vaikuttavat ilmassa oleviin metaani-, hiildioksidi- sekä dityppioksidipitoisuuksiin (Salimi ym. 2021).

2.2 Valuma-alueet

Valuma-alueet ovat usein topografisesti rajautuneita alueita, joiden rajojen sisäpuolelle satanut vesi kulkeutuu kohti sen vesistöjä, kuten jokea tai järveä (Mulligan 2004). Vedet virtaavat tiettyyn pisteeseen asti usein uomaverkostoa tai muuta painannetta pitkin, joka noudattaa maanpinnan topografiaa (Wagener ym. 2007). Valuma-alueen rajoja kutsutaan vedenjakajiksi ja ne ovat pääsääntöisesti maaston korkeimpia kohtia, jotka jakavat valuma-alueet omiin alueisiinsa (Mulligan 2004). Vedenjakajia voivat olla esimerkiksi harjanteet tai kukkulat ja ne voivat jakaa suurempia valuma-alueita myös pienempiin osiin (Nezhad ym. 2016). Valuma-alueen voidaan katsoa koostuvan pintavesistä, kuten järvistä, puroista, tekojärvistä tai kosteikoista (Nezhad ym. 2016). Valuma-alueen ominaisuuksiin kuuluu usein myös purkupiste, joka sijaitsee usein alueen reunoilla sen topografialtaan matalimmassa kohdassa (Nezhad ym. 2016).

Suomessa valuma-aluejakoa toteutetaan viidellä eri hierarkiatasolla, joista ylin taso (taso 1) jaetaan viiteen laajempaan valuma-alueeseen, jotka taas paloitellaan pienempiin alueisiin aina tasoon 5 asti (Syke 2023b). Aineisto on koko Suomen kattava ja tarkin taso (taso 5) sisältää yli 40 000 valuma-aluetta, jotka ovat kaikki osa suurempaa aineistokokonaisuutta, vesistöjen perustietovarastoa (Syke 2023b). Tässä tutkimuksessa tarkastellaan tasoa 4, joka sisältää kokonaisuudessaan yli 20 000 eri osavaluma-aluetta.

2.3 Kosteikkojen merkitys valuma-alueella

2.3.1 Ravinnekuormitus

Suomen vesistöalueilta päätyy Itämereen vuosittain n. 77 000 tonnia typpeä sekä 3 900 tonnia fosforia (Fleming ym. 2023). Suurimmat kuormituslähteet syntyvät ihmistoiminnasta johtuvasta maataloudesta, metsätaloudesta, yhdyskuntien jätevesistä tai kaupunkialueiden pinnoilta valuvista hulevesistä (Fleming ym. 2023). Etenkin maatalous on isossa roolissa sekä typen että fosforin ravinnekuormissa ja varsinkin Saaristomerellä yli 70 % fosforikuormista sekä noin puolet typpikuormista on peräisin maatalouden prosesseista (Fleming ym. 2023). Kosteikot ovat merkittäviä tekijöitä juuri näistä lähteistä peräisin olevien orgaanisten sekä epäorgaanisten yhdisteiden, kuten ravinteiden, raskasmetallien sekä torjunta-aineiden määrien vähentämisessä. (Ferreira ym. 2023).

Kosteikoissa tapahtuvat mekaaniset prosessit, kuten sedimentaatio sekä suodatus pidättävät ympäristöstä vesien mukana kulkeutuvia epäpuhtauksia ja vähentävät niiden päätymistä vesistöihin (Ferreira ym. 2023). Kosteikkoalueilla sedimentaatiota tapahtuu, sillä usein veden virtaus hidastuu, jolloin maa-aines sekä ravinteet vajoavat pohjaa kohti. Sedimentaatioprosessi parantaa etenkin veden kirkkautta, luoden valoisamman kasvuympäristön vesikasveille sekä samalla vangitsee ravinteita ja ehkäisee rehevöitymistä (Williams ym. 2010). Kosteikot voivat myös kerätä ravinteita niiden biomassaan sekä edistää denitrifikaatiota, jolla tarkoitetaan hapettomissa olosuhteissa tapahtuvaa mikrobien aiheuttamaa prosessia, jossa nitraatteja poistuu ekosysteemistä palauttamalla typpeä ilmakehään typpikaasun sekä dityppioksidin muodossa (Martinez-Espinosa ym. 2021).

2.3.2 Ekosysteemipalvelut

Ekosysteemipalveluilla tarkoitetaan luonnonympäristön tuottamia hyötyjä, joita ihmiset voivat ottaa käyttöön. Näitä ovat esimerkiksi puhdas ilma, vesi, ravinto sekä raaka-aineet, joiden voidaan kokea edistävän sosiaalista sekä kulttuurista hyvinvointia. (Maltby & Acreman 2011). Kosteikot ovat ympäröivälle ekosysteemille hyvin tuotteliaita

ja tärkeä huomio kosteikkojen merkitykseen liittyen on niiden monivaikutteisuus niitä ympäröiviin ekosysteemeihin (Pellikka ym. 2022). Tulvahallinnan sekä ravinnekuormien vähentämisen lisäksi kosteikot voivat välillisesti tukea myös alueen tuotantopalveluita, kuten kalataloutta ja puuntuotantoa sekä luoda myös kulttuurillisia palveluita ihmisille (Mitsch ym. 2015). Tällaisia palveluita ovat esimerkiksi maiseman estetiikan, virkistysalueiden sekä ekoturismin lisääminen (Mitsch ym. 2015). Ne toimivat ikään kuin rajapintana akvaattisten sekä maanpäällisten ekosysteemien välillä ja palveluista saadaankin suurin hyöty irti monitoimisten kosteikkokokonaisuuksien kautta, jotka koostuvat useista pienemmistä kosteikoista, joiden yhteisvaikutuksia sekä vuorovaikutusta ympäröivään maisemaan voidaan mitata (Ferreira ym. 2023). Arviolta yli 20 % ekosysteemipalveluiden kokonaisarvosta muodostuu kosteikkojen ekosysteemipalveluista. (Ferreira ym. 2023).

Kosteikot edistävät etenkin sekä maaseutu- että luonnonympäristön monimuotoisuutta sekä maisemaa ja osana palveluita ne luovat kestäviä elinympäristöjä mm. vesilinnuille, kasveille sekä muille eliöille (Gustafsson ym. 2011). Historian saatossa kosteikoilla on ollut merkittävä rooli myös useiden eliö- ja kasvilajien evoluution kehityksessä niiden korkean biodiversiteetin ansiosta, joka on mahdollistanut suotuisat elinympäristöt eri lajeille (Maltby & Acreman 2011). Noin neljäsosa Suomenkin luonnonvaraisista eliöistä elää maatalous- ja kulttuurialueilla, joten ekosysteemien suojeleminen näillä alueilla on tärkeässä asemassa (Gustafsson ym. 2011).

2.3.3 Tulvahallinta

Tulvia muodostuu, kun normaalista poikkeava määrä vettä valuu pintavaluntana alueelle, joka on yleensä kuiva (Acreman & Holden 2013). Kosteikot toimivat ikään kuin luonnollisina ”pesusieninä” varastoidessaan itseensä vettä kosteina kausina ja vapauttaessaan sitä kuivempina kausina. Kosteikkojen kyky vähentää alueen tulvahuippuja riippuu monesta eri tekijästä. Laaja-alaiset kosteikot pystyvät pidentämään vedenviipymää ja lieventämään virtaamaa tulvatilanteissa, kun taas pienempien kosteikkojen vaikutukset ovat vähäisemmät (Puustinen ym. 2001). Kosteikot saattavat vaikuttaa tulvien voimakkuuteen monella eri tavalla, esimerkiksi

vähentämällä tulvien huippuja tai niiden nousunopeuksia sekä pienentää tulvien volyyymia (Acreman & Holden 2013). Pääsääntöisesti ylävämpien alueiden kosteikot toimivat usein tulvia synnyttävinä alueina, sillä niiden veden varastointikyky on pieni. Tämä johtuu siitä, että sademäärä kasvaa korkeuden myötä, jolloin kosteikot ovat usein jo vedellä kyllästyneitä (Acreman & Holden 2013). Osa luonnollisista kosteikoista saattavat sijaita myös endorheisissa (eng. *endorheic*) eli suljetuissa painaumuissa, joiden vaikutus tulvimiseen on vähäisempi (Acreman & Holden 2013). Suurin potentiaali tulvien vähentämiseen on kuitenkin alavirtauksen ja erityisesti tulvatasangon kosteikoilla. Valuman määrä on Suomessa suurta etenkin kevään aikana lumien sulamisvaiheessa sekä syyssateiden jälkeen, jolloin kosteikkojen merkitys tulvien lieventämisessä kasvaa (Puustinen ym. 2001).

2.4 Kosteikkojen rakentaminen

Kosteikkoja voidaan rakentaa eri menetelmin valuma-alueelle simuloimaan luonnollisen kosteikon ominaisuuksia sekä vaikutuksia ja niiden tarkoitus onkin hyödyntää samoja hydrologisia prosesseja hallitummassa ympäristössä (Vyzamal 2010). Yleisesti kosteikkoja rakentaessa käytetään vesien virtaamisen näkökulmasta kahdenlaista kosteikkotyyppiä, vaakavirtaus- sekä pystyvirtauskosteikkoja, joista ensin mainittu soveltuu parhaiten simuloimaan luonnollista elinympäristöä sekä pystyy asuttamaan paremmin mm. vesikasvilajeja niiden pysyvän veden vuoksi. Pystyvirtauskosteikoissa taas vesi virtaa niiden läpi pääasiassa pystysuunnassa huokoisen maa-aineksen, kuten soran tai hiekan läpi, eikä niissä oleva seisovaa vesikerrosta (Scholz & Lee 2005).

Eri toimenpiteet ja rakenteet vaihtelevat riippuen kosteikon sijainnista sekä käytettävissä olevista resursseista (Härjämäki ym. 2011). Myös rakennusperiaatteensa puolesta kosteikkoja voidaan jakaa yleisesti kahteen eri kategoriaan, joita Suomessa rakennetaan. Kuivalle maalle tehtäviin kohteisiin, joihin kosteikko voidaan rakentaa esimerkiksi kaivamalla sekä padottaviin kosteikkoihin. Kaivamalla tehdyt kosteikot ovat usein ns. laskeutusaltaita, joilla voidaan pysäyttää kiintoaineksen kulkeutumista sekä käyttää esimerkiksi kasteluveden varastona (Härjämäki ym. 2011). Patoamalla tehdyt

kosteikot laaditaan rakentamalla pohjapatoja, jotka nostavat vedenpintaa ja näin ollen pidättävät tehokkaammin vettä.

Suomessa kosteikkoja rakennetaan vesiensuojelun tarpeisiin ja niiden rakentaminen pyritään usein sijoittamaan alavalle sekä viljelemättömälle maalle, johon muun muassa patoaminen sekä kaivuutoimet olisivat mahdollisimman yksinkertaiset (Vuorinen ym. 2012). Jotta rakennettu kosteikko toimisi toivotulla tavalla ja siitä olisi suurin hyöty ympäröivälle alueelle, tulisi sen olla kooltaan vähintään 0,5 % koko valuma-alueen pinta-alasta sekä mitoiltaan vähintään 0,3 ha kokoinen (Vuorinen ym. 2012). Tämä perustuu ajatukseen siitä, että kosteikon tarpeeksi suuri varastointitilavuus kasvattaa myös veden viipymää altaassa (Puustinen ym. 2001). Usein myös kosteikkojen sijainnilla suhteessa valuma-alueeseen on suuri merkitys, sillä esimerkiksi joen alajuoksulla virtauksen hidastuessa myös tulvatasangot ovat yleisempiä. Yläjuoksulla sijaitsevat kosteikot saattavat kuitenkin vaikuttaa myös alajuoksun virtaaman määrään ja voimakkuuteen (Tang ym. 2020).

Sanja Anticin ym. (2023) tutkimus kuvailee tässäkin tutkimuksessa käytettyjä tilasto- sekä paikkatietomenetelmiä yhdistettynä rakennettujen kosteikkojen suunnitteluun. Tutkimuksessa hyödynnettiin painotettua päällekkäisyysanalyysiä sekä AHP-menetelmää, jotka ovat myös tämän tutkimuksen kaksi keskeisintä menetelmää. Kyseisessä tutkimuksessa luotiin soveltuvuuskartta tutkimusalueelle, josta selviää painotettuna soveltuvuutena parhaat kosteikkosijainnit.

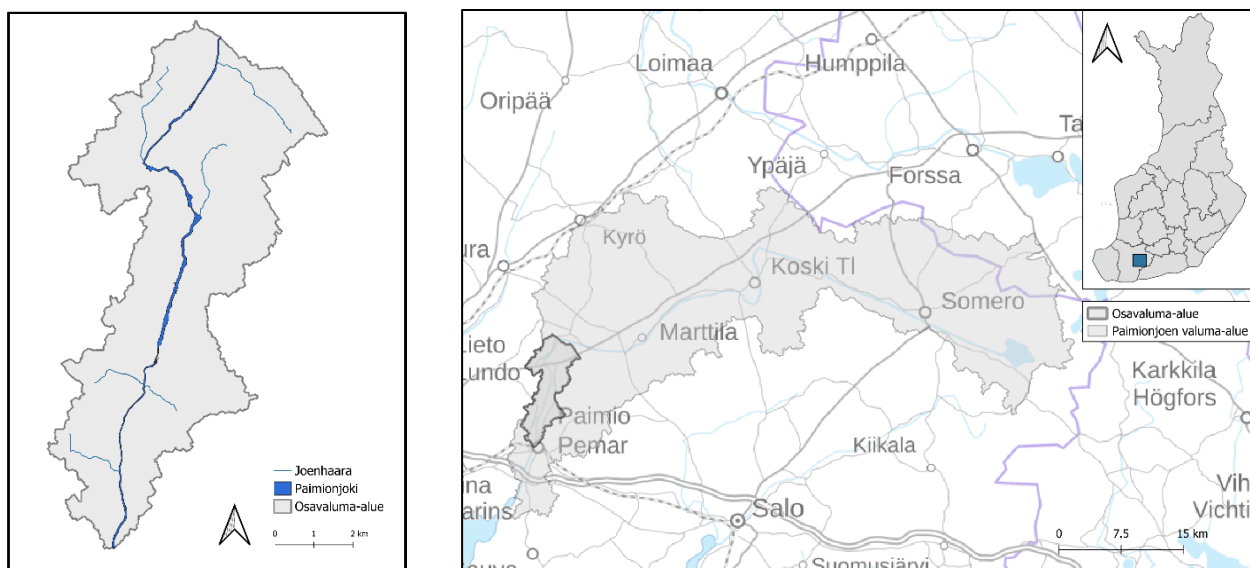
2.5 Tutkimusalue

2.5.1 Paimionjoen osavaluma-alue

Paimionjoen valuma-alue on Varsinais-Suomen maakunnassa sijaitseva valuma-alue, jonka noin 110 kilometriä pitkä Paimionjoki laskee Saaristomereen. Joki on suurin Saaristomereen laskeva joki, jonka takia sen ekologinen tila ja vedenlaatu vaikuttaa merkittävästi etenkin rannikkovesien laatuun (Paimionjoki-yhdistys). Valuma-alueen kokonaispinta-ala on noin 1088 neliökilometriä ja se toimii valtakunnallisessa valuma-aluejaossa tunnuksella 27.01 (Syke 2023b).

Tämän tutkimuksen tarkastelun kohteena toimii Paimionjoen alajuoksulla sijaitseva valuma-aluejaon tason 4 osa-valuma-alue, joka on pinta-alaltaan noin 45 km². Alueen eteläosa ulottuu Paimion kaupunkialueen reuna-alueelle ja pohjoinen osa Euran alueelle. Alue kattaa käytännössä Paimionjoen alaosan (Paimionjoki-yhdistys). Paimionjoki virtaa alueen läpi, johon valuma-alueelta tulevat vedet laskevatkin. Paimionjoen valuma-alue on Suomen yksi intensiivisimpiä maatalousalueita ja varsinkin tulvakausien aikana maatalouden hajakuormituksen vaikutukset ovat merkittäviä alueen vesistöön (Lehmijoki & Koivunen 2015). Alueella on myös sen peltojen savimaan takia suurempi eroosioriski, joka taas lisää ravinteiden huuhtoutumista (Lehmijoki & Koivunen 2015).

Valitsin tähän tutkimukseen kyseisen alueen, sillä se on paikkatietoanalyysien kuormittavuuden puolesta tarpeeksi pieni, mutta samaan aikaan tarpeeksi suuri suhteessa koko valuma-alueeseen. Alueella on myös potentiaalia kosteikkojen suunnittelulle sen maatalousvaltaisuuden takia.



Kuva 1. Tutkimusalueen sijainti suhteessa Paimionjoen valuma-alueeseen. Taustakartta: Maanmittauslaitos. Valuma-aluejako: Syke.

3 Aineistot ja menetelmät

3.1 Aineistot

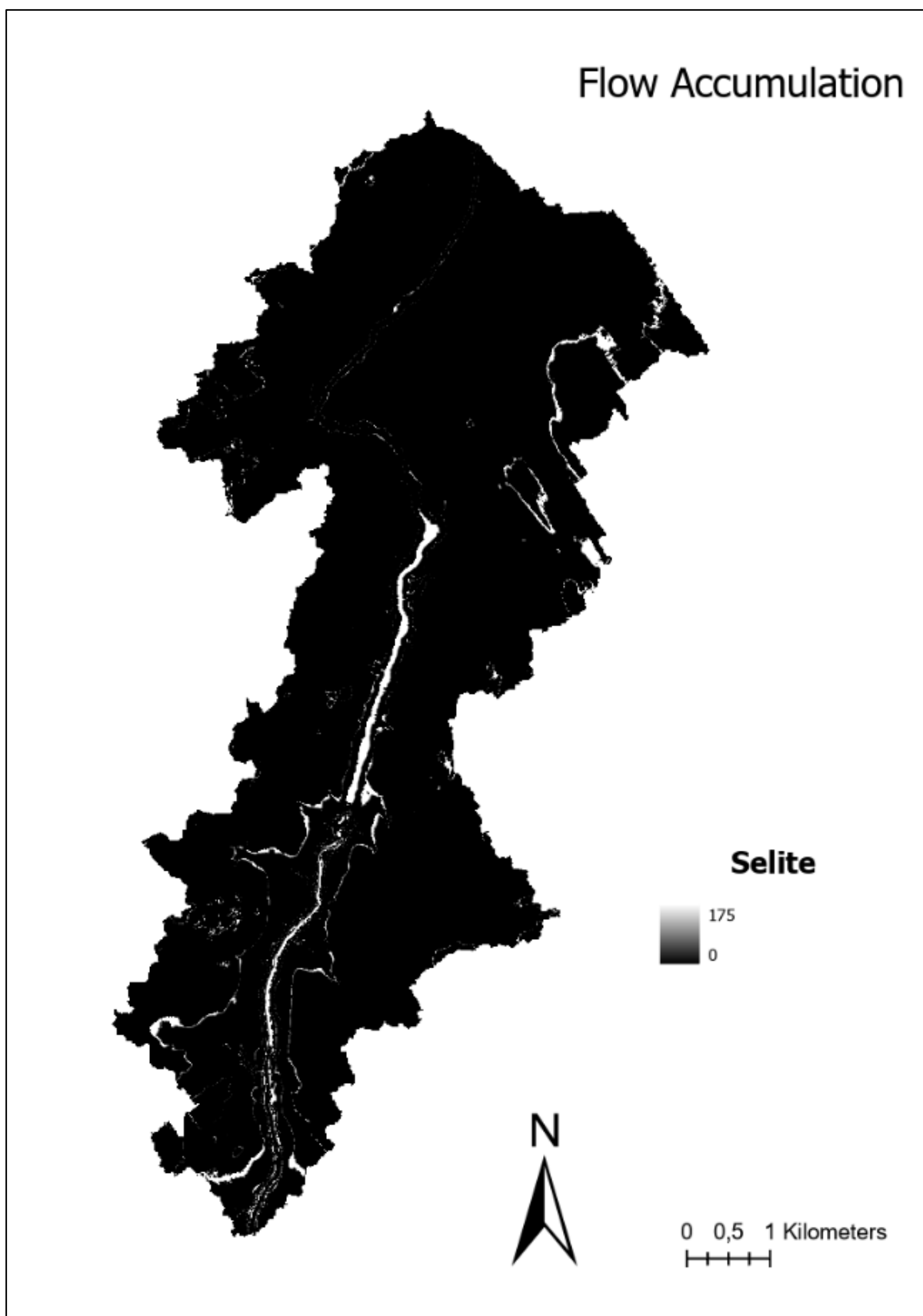
3.1.1 Korkeusmalli

Tässä tutkimuksessa hyödynnän valuma-alueen topografian tarkastelussa Maanmittauslaitoksen tuottamaa korkeusmallia, jonka resoluutio on 2 m x 2 m. Korkeusmalliksi valitsin tarkemman 2 metrin resoluution aineiston, sillä tarkemmalla aineistolla pyritään saamaan tässä todenmukaisempia tuloksia muun muassa veden liikkeistä sekä rinnekaltevuuksista. Aineisto on ladattu Maanmittauslaitoksen Karttapaikka-palvelusta ja se sisältää kuusi osavaluma-alueelle osuvaa karttalehteä. Korkeusmalli eli DEM (Digital Elevation Model) on laserkeilausaineistosta tuotettu malli, joka kuvaa maanpinnan korkeuksia rasterimuodossa ja sillä voidaan tutkia esimerkiksi maanpinnan kaltevuuksia tai simuloida tulva-alueita (Maanmittauslaitos 2023). Korkeusmallin tarkoituksena on löytää alueelta painanteita sekä kaltevuudeltaan sopivia alueita, joihin vesi voi ympäröivältä alueelta valua. DEM-kuva on rajattu osavaluma-alueen rajojen mukaisesti QGIS:in *Clip Raster by Mask Layer* -työkalulla ja karttalehdet on yhdistetty yhdeksi kokonaisuudeksi *Merge*-työkalua hyödyntäen.

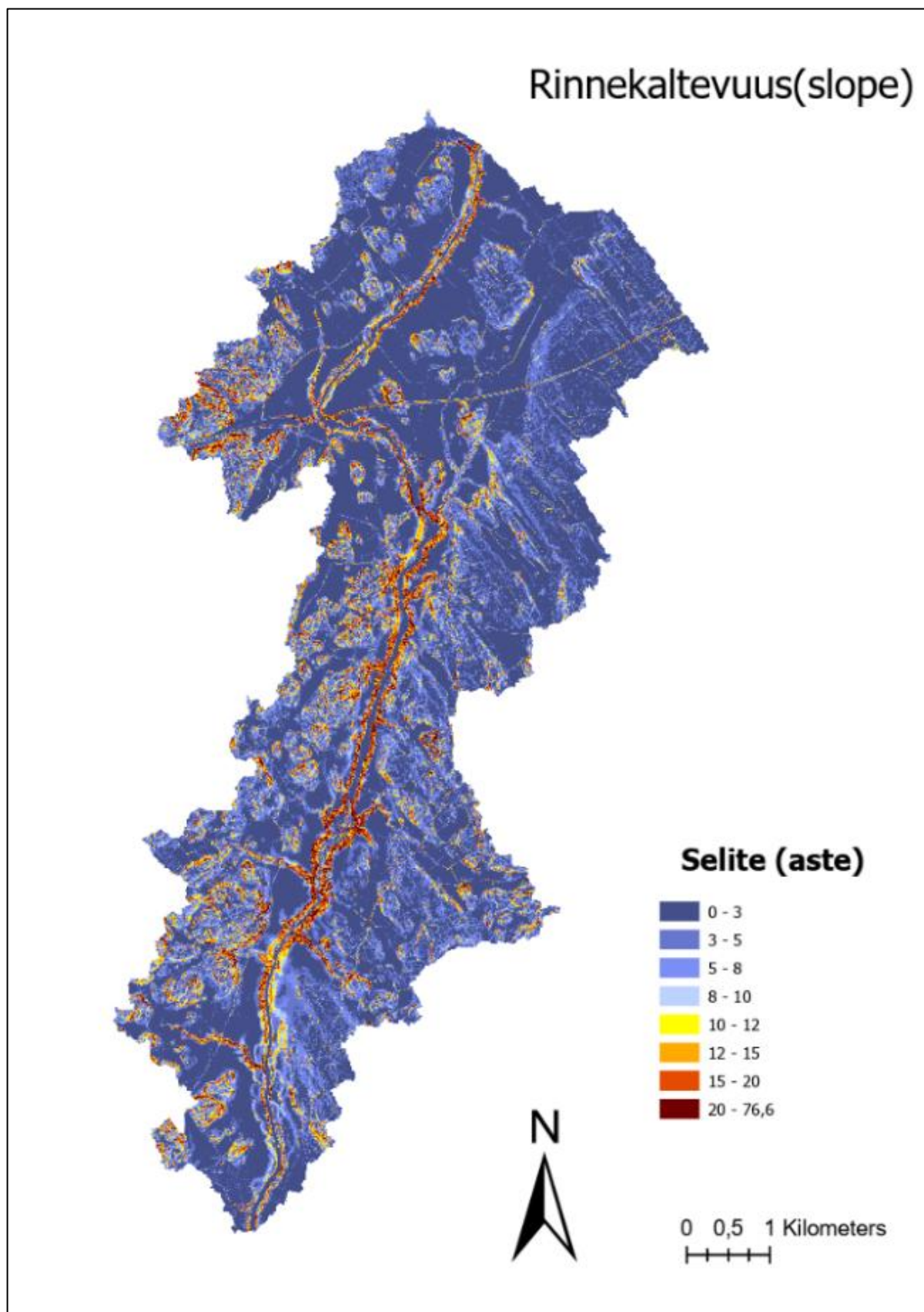
Korkeusmallin pohjalta on lopullisia analyysejä varten tuotettu kaksi erilaista aineistoa. Ensimmäinen aineisto on rinteiden kaltevuuksia kuvaava Slope-aineisto alueelta hyödyntämällä QGIS:in *Slope*-työkalua (Kuva 3.). Tämä on olennainen aineisto kosteikkosuunnittelun kannalta, sillä korkea rinteiden kaltevuus aiheuttaa myös suurempia veden virtaamia, jonka takia vesi ei viivy kosteikossa ja eroosio on voimakkaampaa, jolloin kosteikko ei toimi toivotulla periaatteella. (Chen 2025). Slope-aineisto määrittää myös sen, jääkö vesi alueelle makaamaan vai virtaako se alueen läpi. Tähän aineistoon kaikkein optimaalisin rinteiden kaltevuus on asetettu välille 0–3 %, joka määrittää ne alueet, joille vesi todennäköisimmin jäisi makaamaan. Tätä suuremman rinnekaltevuuden alueet on luokiteltu käytännössä huonosti soveltuviksi.

Toinen aineisto on ArcGIS:in *Flow Accumulation* -työkalulla tuotettu kartta-aineisto, josta selviää pikselit, joihin vesi virtaisi ympäristön maanmuotojen perusteella. (Kuva

2.). Kyseessä on algoritmi, joka hyödyntää vettä keräävien löytämisessä D8-menetelmää, jossa jokainen pikseli etsii kahdeksan ympäröivän pikselinsä ympäriltä matalamman korkeusarvon omaavan pikselin, johon vesi kuvitteellisesti voisi virrata (Karim & Hashim 2014). Ennen algoritmin suorittamista aineistolle on kuitenkin suoritettava esikäsittely ArcGIS:in *Fill*-työkalun avulla, joka täyttää ympäristössä olevat pienemmät painanteet ja yksittäiset matalammalla sijaitsevat pikselit, jotta vesi pääsee virtaamaan vapaasti (Jenkins & McCauley 2006). Tämä vähentää hydrologisessa mallinnuksessa ilmeneviä ongelmia. Tuloksena on kartta-aineisto, josta ilmenee suurempina arvoina suurimmat vedenviipymäalueet rasteriaineiston pikseleiden perusteella (Kuva 2.). Slope-aineiston pohjalta ei ole otettu huomioon rinteiden suuntauksia, sillä Flow Accumulation-aineiston pohjalta saadaan jo valmiiksi tieto siitä, mihin suuntaan vesi luonnossa ohjautuu.



Kuva 2. Flow Accumulation-työkalulla tuotettu aineisto, jossa näkyy vedenkertymien sijainnit.



Kuva 3. Rinnekaltevuutta kuvaava Slope-aineisto. Huomataan, että Paimionjoen varren joenpenkat ovat hyvinkin kaltevia suhteessa muuhun ympäristöön.

3.1.2 Maankäyttö

Alueen maankäyttöä kuvaa SYKEN tuottama harmonisoitu CORINE-maanpeiteaineisto vuodelta 2018. Tähän tutkimukseen valikoitui aineistoksi aiempina vuosina tuotettujen CORINE-maanpeiteaineistojen sijaan harmonisoitu maanpeiteaineisto, sillä alkuperäisten aineistojen välillä on tapahtunut muutoksia muun muassa niiden teknisissä ominaisuuksissa, tuotantotavoissa sekä lähtöaineistojen laadussa. Tämä sisältää esimerkiksi resoluutiossa tapahtuneet muutokset, jotka saattavat vaikuttaa merkittävästi muun muassa muutosten tulkintaan (Syke 2023b).

Maankäyttöaineiston resoluutio on 20 m ja se sisältää 46 eri maanpeiteluokkaa, jotka tämän tutkimuksen analyysien helpottamisen vuoksi uudelleenluokiteltu 8 eri luokkaan, jotka kuvaavat yleisemmällä tasolla tutkimusalueen maanpeitettä. Uudelleenluokittelu on suoritettu hyödyntämällä QGIS:in *Reclassify by table* -toimintoa.

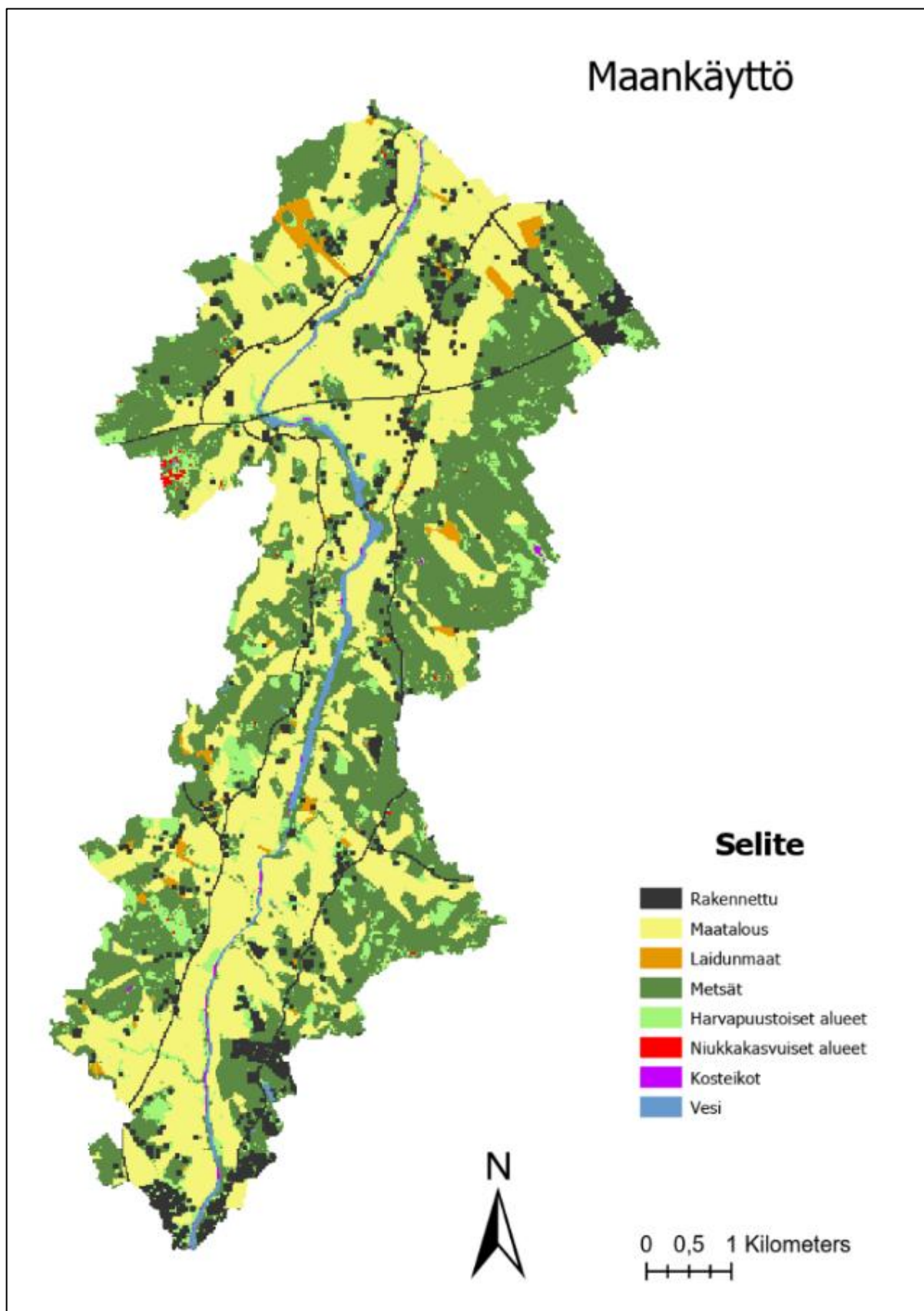
Taulukosta ilmenee uudet pääpiirteiset maanpeiteluokat sekä niiden alkuperäiset maanpeitetasot, joista luokat on muodostettu sekä niiden CORINE-tunnukset (Taulukko 1.). Uudet luokat on laadittu sillä periaatteella, että kaikki kosteikoille soveltumattomat, rakennetut alueet ovat yhdessä luokassa, maatalouspainotteiset alueet yhdessä ja metsäalueet yhdessä luokassa. Harvapuustoiset alueet on yhdistetty omaksi luokaksi, samoin kuin niukkakasvuiset alueet, kuten rantahietikot, dyynialueet, kalliomaat sekä niukkakasvustoiset kangasmaat. Kaikki kosteikkoluokat on yhdistetty omaksi luokaksi ja samoin vesialueet, kuten joet, järvet sekä merialueet. Tässä tutkimuksessa rakennetut alueet sekä vesialueet toimivat kosteikkojen rakentamista rajoittavina tekijöinä.

Taulukko 1. Uudelleenluokitellut CORINE-maanpeiteaineistot sekä niiden tunnusluvut.

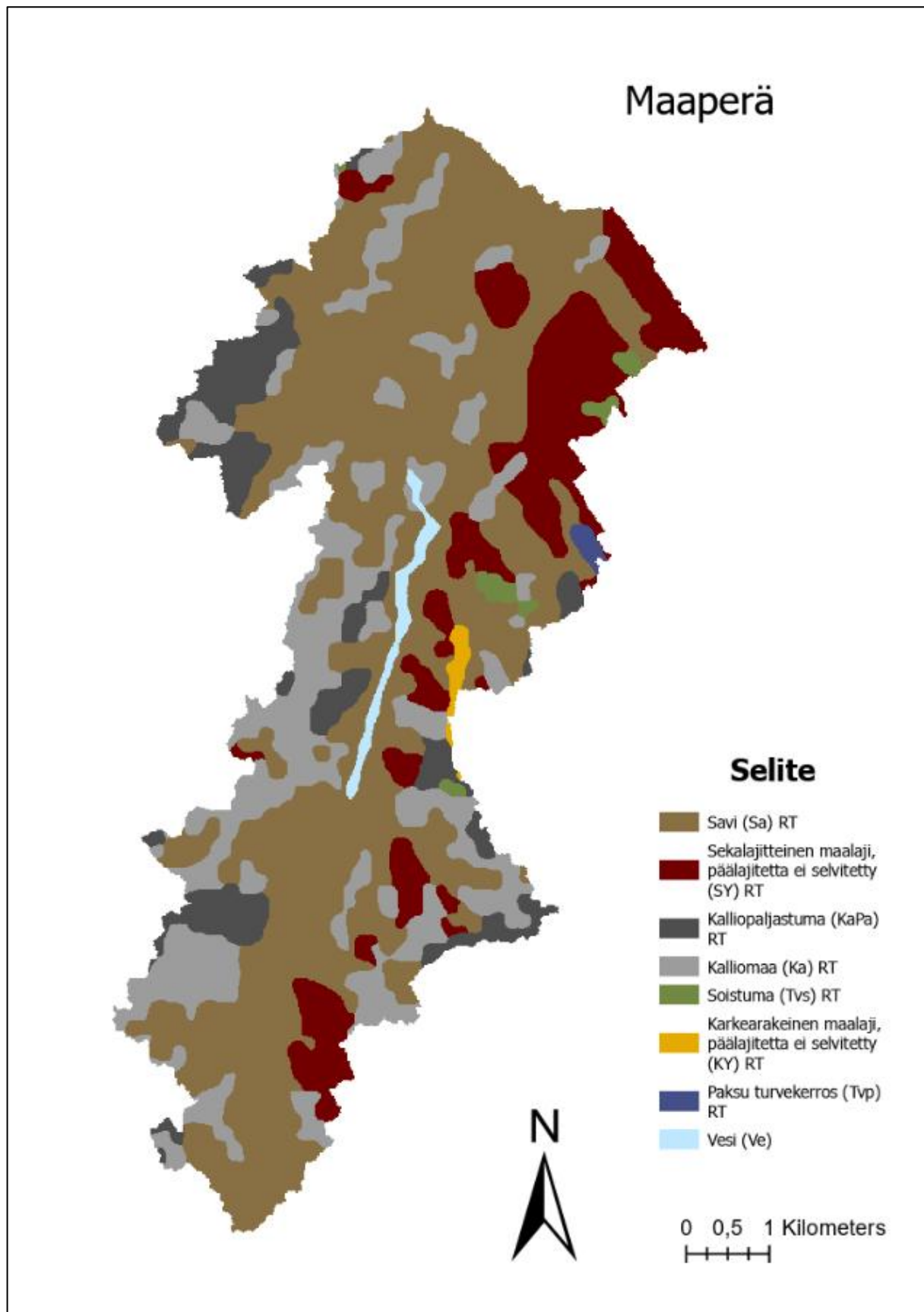
Uudelleenluokittelu	CORINE-maanpeiteluokat ja tunnuksset (Level4)
Rakennettu	Kerrostaloalueet (1111) Pientaloalueet (1121) Teollisuuden tai palveluiden alueet (1210) Liikennealueet (1221) Satama-alueet (1231) Lentokenttäalueet (1241) Maa-ainesten ottoalueet (1310) Kaatopaikat (1321) Rakennustyöalueet (1331) Puistot (1411) Vapaa-ajan asunnot (1421) Muut urheilu- ja vapaa-ajan toiminta-alueet (1422) Golfkentät (1423) Raviradat (1424)
Maatalous	Pellot (2111) Hedelmäpuu- ja marjapensasviljelmät (2221) Maataloustukijärjestelmän ulkopuoliset maatalousmaat (2431)
Laidunmaat	Laidunmaat (2310)
Metsät	Lehtimetsät kivennäismaalla (3111) Lehtimetsät turvemaalla (3112) Havumetsät kivennäismaalla (3121) Havumetsät turvemaalla (3122) Havumetsät kalliomaalla (3123) Sekametsät kivennäismaalla (3131) Sekametsät turvemaalla (3132) Sekametsät kalliomaalla (3133)
Harvapuustoiset alueet	Harvapuustoiset alueet, cc < 10 % (3241) Harvapuustoiset alueet, cc 10–30 % kivennäismaalla (3242) Harvapuustoiset alueet, cc 10–30 % turvemaalla (3243) Harvapuustoiset alueet, cc 10–30 % kalliomaalla (3244) Harvapuustoiset alueet, sähkölinjan alla (3246)
Niukkakasvuiset alueet	Rantahietikot ja dyynialueet (3311) Kalliomaat (3321) Niukkakasvustoiset kangasmaat (3331) Luonnonniityt (3211) Varvikot ja nummet (3221)
Kosteikot	Sisämaankosteikot maalla (4111) Sisämaankosteikot vedessä (4112) Merenrantakosteikot maalla (4211) Merenrantakosteikot vedessä (4212) Avosuot (4121)
Vesi	Joet (5111) Järvet (5121) Meri (5231)

3.1.3 Maaperä

Maaperä 1:200 000-aineiston on tuottanut Geologian tutkimuslaitos (GTK) ja se sisältää vuosien 2002–2009 aikana tuotetut maalajiaineistot koko Suomen alueelta. Se on ladattu GTK:n Hakku-palvelusta ja tuotu QGIS-ohjelmaan, jonka jälkeen aineisto on leikattu tutkimusalueen rajojen sisäpuolelle. Aineisto on alun perin vektorimuodossa, joten paikkatietoanalyysien sujuvoittamiseksi se on muunnettu rasterimuotoon ArcGIS:in *Polygon to Raster* -työkalulla. Uuden maaperää kuvaavan rasteriaineiston resoluutio on 10 metriä. Muita analyysin ja havaintojen kannalta tärkeitä aineistoja on muun muassa pohjavesialueet, joita ei kuitenkaan tällä tutkimusalueella ollut, joten näitä ei analyysissä tarvitse ottaa huomioon. Maaperän merkitys rakennettujen kosteikkojen suunnitteluun perustuu niiden maa-ainekseen kykyyn pidättää vettä (Scholz & Lee 2005).



Kuva 3. Uudelleenluokitellut maankäyttöalueet tutkimusalueella, Maatalousalueet sekä metsäalueet kattavat suurimman osan alueesta.



Kuva 2. Maaperäkarta, jossa ilmenee alueen maa-aineksen alueellinen jakauma.

3.2 Menetelmät

3.2.1 AHP-menetelmä

AHP-menetelmä (Analytical Hierarchy Process) on yksi monikriteeristen päätösanalyysien muodoista ja se on laajalti tieteellisessä tutkimuksessa sovellettu päätöksentekoon pohjautuva menetelmä, jonka on kehittänyt Thomas L. Saaty 1970-luvulla (Chen ym. 2025). Menetelmän tarkoituksena on tuoda laskennallisesti esille eri kriteerien merkittävyksiä suhteessa tutkittavaan kohteeseen ja luoda kriteerien eri ominaisuuksille painoarvot (Russo & Camanho 2015). AHP-menetelmää on käytetty runsaasti myös aikaisemmissa tutkimuksissa, jotka ovat käsitelleet rakennettujen kosteikkojen sijoittamista paikkatietomenetelmin, joten koin kyseisen menetelmän tukevan hyvin myös tätä tutkimusta. Se ottaa tutkimuksessa huomioon sen kvalitatiiviset sekä kvantitatiiviset näkökulmat ja toimii tällöin hyvin joustavana päätöksentekomenetelmänä (Bozdaq ym. 2016).

Menetelmässä luodaan tutkimuksen aineistoille hierarkkinen järjestys vertailemalla aineistoja pareittain keskenään ja määrittelemällä prioriteetiltaan tärkeimmät luokat ja vähemmän tärkeät luokat. Vertailu tehdään siten, että jokainen luokka saa arvon välillä 1–10 riippuen siitä, kuinka paljon merkittävämpi kyseinen tekijä on vertailussa (Bozdaq ym. 2016). Vertailun toinen luokka saa tällöin vasta-arvon, jonka jälkeen kaikkien arvojen johdonmukaisuus voidaan tarkistaa johdonmukaisuusindeksillä (Bozdaq ym. 2016):

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Yhtälössä CI on johdonmukaisuusindeksi, λ_{max} matriisin suurin arvo eli pääominaisarvo ja n vertailujen määrä parittaisvertailumatriisissa (Bozdaq ym. 2016). Tämän jälkeen aineistot saavat painoarvot, joiden avulla voidaan luoda soveltuvuuskartta sopivimmista kosteikkosijainneista. Tämän tutkimuksen painoarvot saavat johdonmukaisuusindeksin puolesta arvon 0.059, jolloin voidaan arvojen todeta

noudattavan riittävää johdonmukaisuutta. Parittaisvertailumatriisin ollessa $CI > 0.1$ tarkoittaa, että taulukossa epäjohdonmukaisuutta arvojen välillä (Bozdaq ym. 2016). AHP soveltuu etenkin tapauksiin, jossa päämuuttujia voidaan lajitella omiin alauokkiin ja esimerkiksi tässä tutkimuksessa jokaisella kartta-aineistolla on omat luokkansa, joille voidaan arvioida tärkeysjärjestys. Menetelmä toimii parhaiten myös silloin, jos kyseiset aineistot eivät ole riippuvaisia toisistaan (Kazemi & Akinci 2018). Tässä tutkimuksessa Flow Accumulation, aineisto saa suurimman painoarvon, jonka jälkeen seuraavaksi merkittävin aineisto on maankäyttö. Slope- sekä maaperäaineistot saavat tässä suhteessa pienemmät painoarvot (Taulukko 2.).

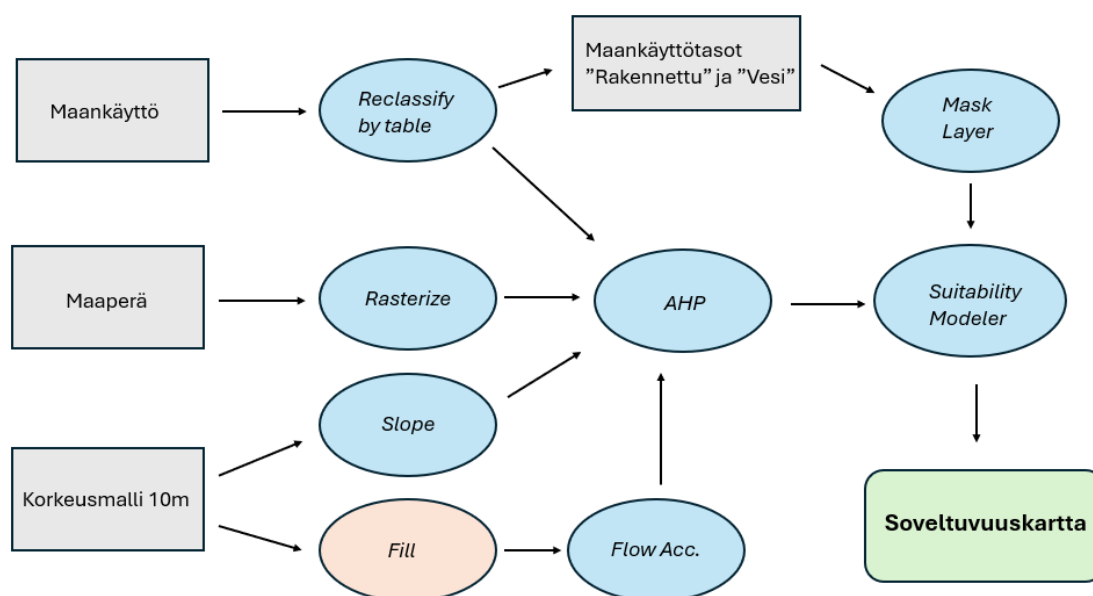
Taulukko 2. AHP-menetelmään pohjautuvat muuttujien arvot parittaisvertailun (Pairwise-comparison) jälkeen, jonka pohjalta saadaan painoarvot muuttujille.

Muuttuja	Flow Acc.	Maankäyttö	Slope	Maaperä	Painoarvot
Flow Acc.	1	3	4	6	54.1 %
Maankäyttö	1/3	1	3	5	27.0 %
Slope	1/4	1/3	1	4	13.9 %
Maaperä	1/6	1/5	1/4	1	5.0 %

3.2.2 Suitability Modeler

Suitability Modeler on ArcGIS-ohjelmiston omista toiminnoista löytyvä painotetun päällekkäisanalyysin toteuttava algoritmi, jonka avulla tämän tutkimuksen karttatasoista luotiin kosteikkojen soveltuvuuskartta. Algoritmi soveltuu parhaiten juuri optimaalisten sijaintien löytämiseen ja visualisointiin perustuen eri karttatasoihin sekä niiden ominaisuuksiin (Esri). Työnkulku etenee siten, että uudelleenluokiteltujen karttatasojen arvoille luodaan aiemmin kuvailun AHP-menetelmän pohjalta painoarvot, jotka pystytään työkalun avulla yhdistämään suoraan luokille. Tämä painottaa analyysissä enemmän kosteikkojen suunnittelulle tärkeämpiä tekijöitä, kuten veden kertymistä (Flow Accumulation) sekä maankäyttöä.

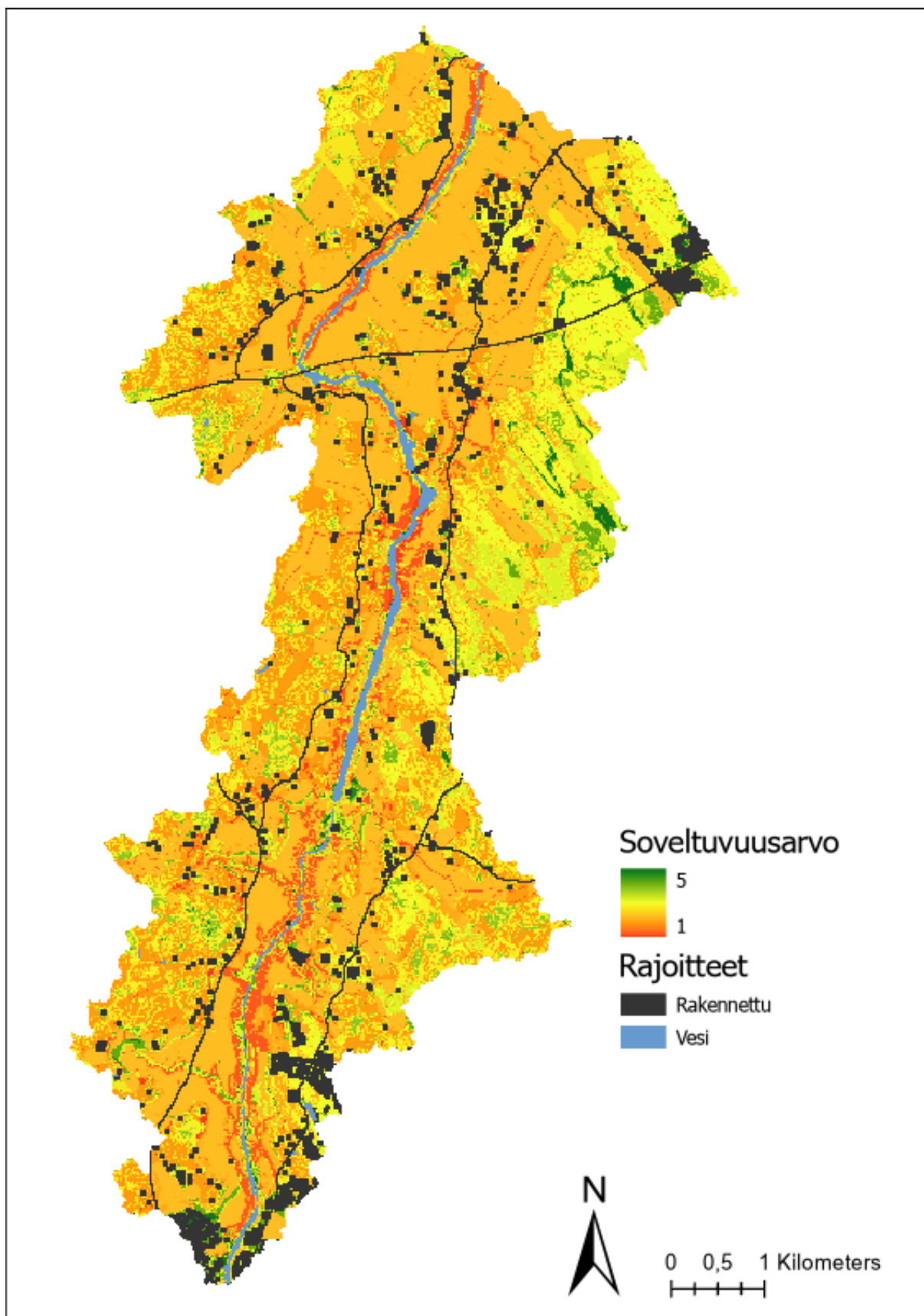
Ennen lopullista soveltuvuusmallintamisen ajamista uudelleenluokitelluista maankäyttötasoista ”Rakennettu” sekä ”Vesi” on luotu itse *Suitability Modeler* -työkalun asetuksista löytyvällä *Mask Layer* -parametrilla yhtenäinen maskitaso, joka määrittelee kyseiset luokat tähän analyysiin kosteikoille soveltumattomiksi alueiksi.



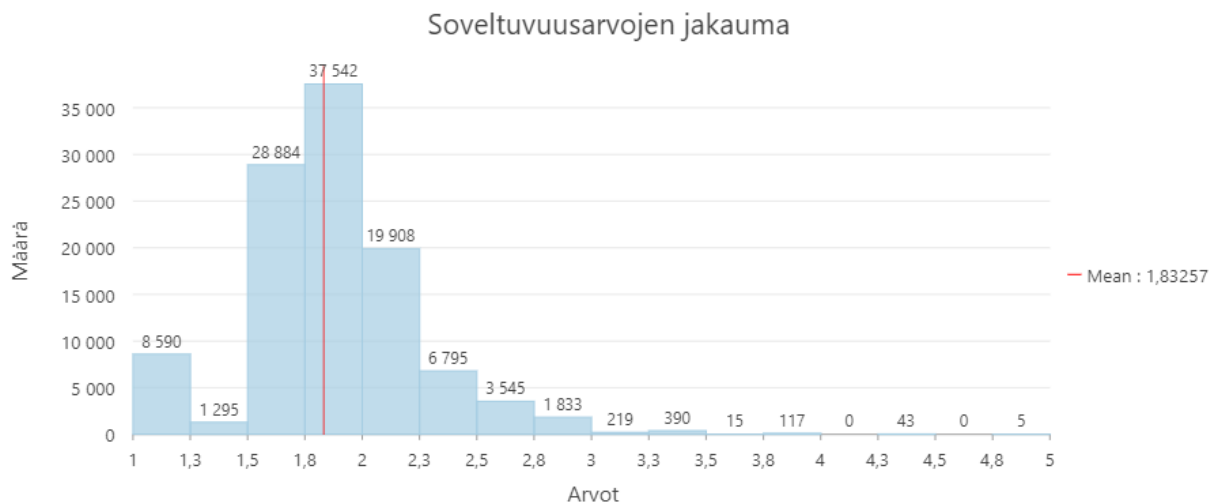
Kuva 6. Työvaiheiden järjestys alkuperäisistä aineistoista soveltuvuuskarttaan asti. Fill-työkalu on suoritettu alkuperäiselle korkeusmallille, jonka pohjalta Flow Accumulation-algoritmi on toteutettu.

4 Tulokset

Soveltuvuuskartta (kuva 7) esittää aiemmin kuvailtujen parametrien perusteella parhaiten soveltuvat kosteikkosijainnit tutkimusalueella. Soveltuvuusindeksi on esitetty kartassa asteikolla 1–5, arvon 1 ollessa heikoin ja arvon 5 taas soveltuvin. Suurin osa alueesta saa soveltuvuusarvoja välillä 1,8–2, toiseksi suurin osuus on arvoilla 1,5–1,8 ja kolmanneksi suurin taas arvoilla 2–2,3. Histogrammista voidaan tarkastella soveltuvuusarvojen määrällisiä jakaumia ja todeta, että suurin osa arvoista, eli noin 78 % sijoittuu välille 1,5–2,3. (Kuva 8.). Arvot välillä 1,8–2 omaa suurimman osuuden soveltuvuusarvoista eli noin 34 % kaikista arvoista. Nämä voidaan todeta indeksin mukaan kuitenkin heikommin soveltuviksi alueiksi ja kattaakin pääosin maatalouspainotteiset maankäyttöalueet. Yli 2,5 eli indeksin paremmalle puolelle yltäviä arvoja on tässä tapauksessa vain noin 5,6 % kaikista arvoista. Soveltuvia alueita pikselimäärältään on siis tutkimusalueella hyvin pieni marginaali, mutta ne ovat kuitenkin keskittyneet yksittäisille, laajemmille alueille ja esiintyvät yhtenäisinä kokonaisuuksina.



Kuva 7. Soveltuvuuskartta tutkimusalueen kosteikkoalueiden soveltuvuuksista. Soveltuvuusindeksi on välillä 1–5 ja kartassa on visualisoitu myös rajoittavat tekijät, kuten rakennetut alueet sekä vesialueet.



Kuva 8. Soveltuvuusarvojen määrällinen jakauma tutkimusalueella. Suurimman määrän pikseleitä sisältää arvot välillä 1,8–2. Rasterin pikselien määrä alueella on yhteensä 109 181.

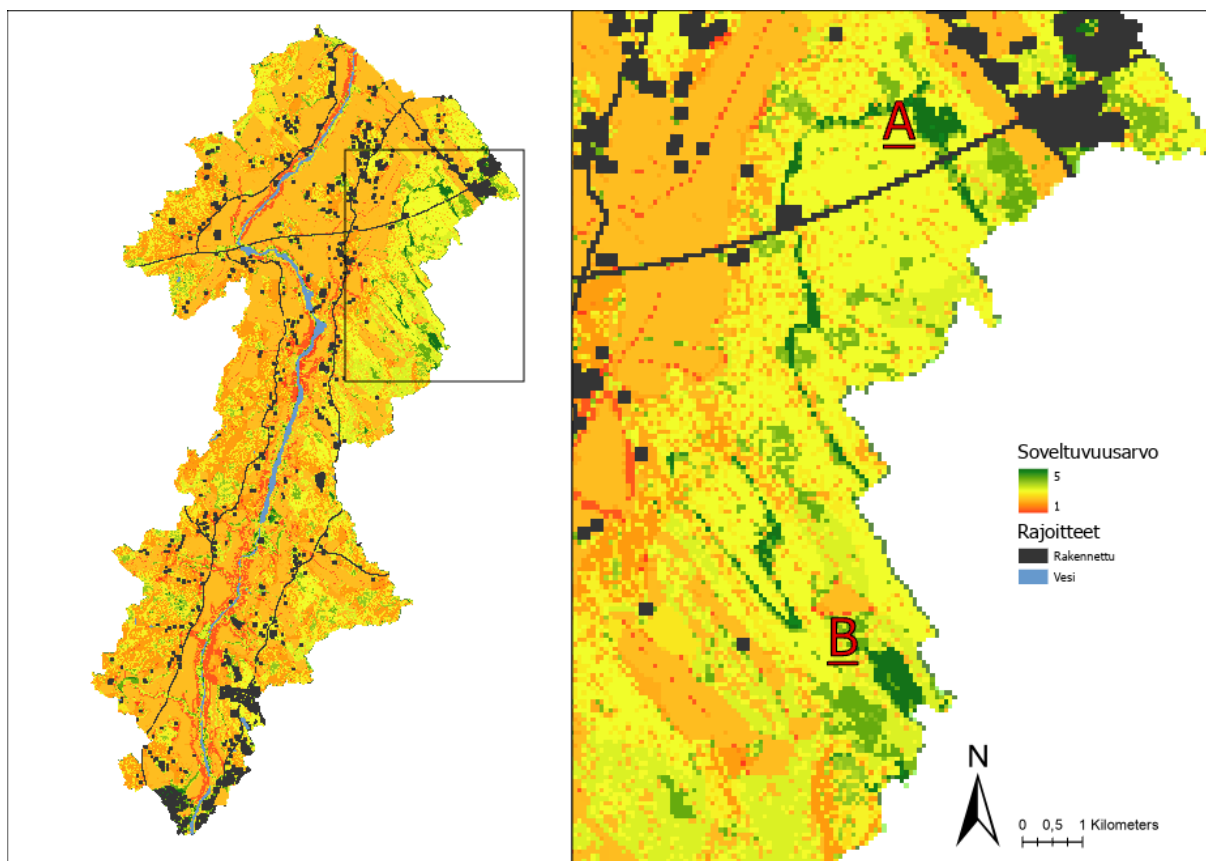
Selkeästi parhaimmat arvot ovat saaneet alueet, joilla vedenkertymä on suurinta ja heikoimmat arvot taas ne alueet, joilla rinnekaltevuus on liian jyrkkä tai maankäyttö on kosteikolle soveltumaton, kuten tässä tapauksessa peltoalueet. Rakennetut alueet sekä vesialueet on visualisoitu kartalle poissulkevinä tekijöinä, eikä näiden alueiden rastereille ole tällöin soveltuvuusarvoja.

Kartan visuaalisen tarkastelun pohjalta huomataan, että parhaimmat sijainnit keskittyvät alueen reunalle sen koillis- ja länsiosiin, jossa maankäyttö on käytännössä joko harvapuustoista metsää tai tiheämpää metsäaluetta. Yksittäisiä lupaavia sijainteja on tällä alueella useampia, joka kertoo kokonaisuudessaan alueen paremmasta soveltuvuudesta suhteessa muuhun valuma-alueeseen, mutta näiden lisäksi myös Paimionjoen varrella voidaan havaita muutamia paremman soveltuvuuden alueita.

Valuma-alueen suurimman päävesistön ollessa joki, voidaan todeta kosteikkojen parhaimpien sijaintien olevan kyseisen vesistön läheisyydessä, jotta kosteikon positiiviset vaikutukset vesistöön olisivat optimaalisimmat. Tässä tapauksessa Paimionjoen välittömässä läheisyydessä olevia sijainteja on useampia, mutta joen

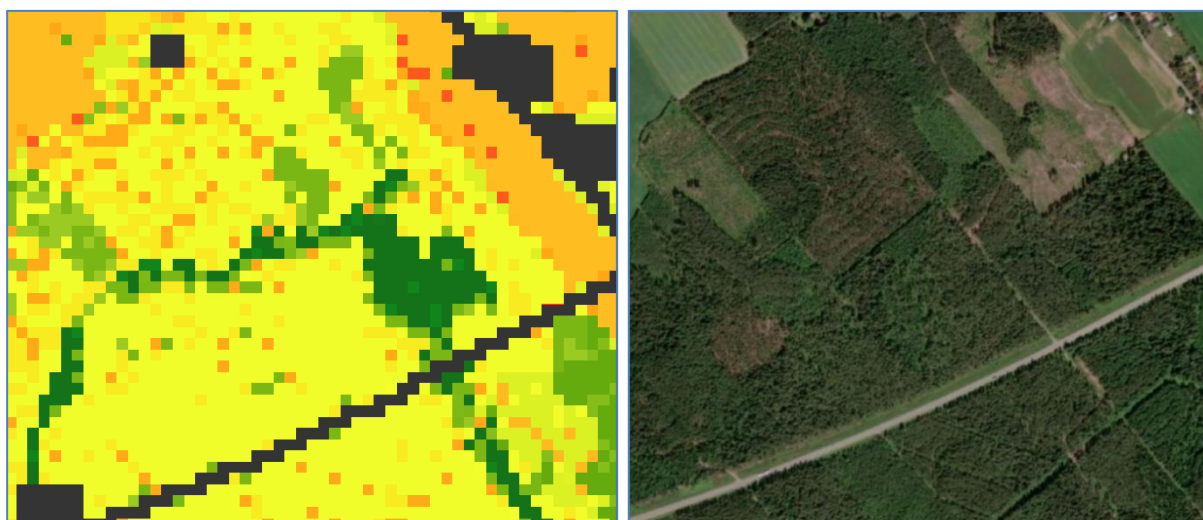
penkkojen reuna-alueet ovat kuitenkin pääasiassa soveltuvuusarvoiltaan heikkoja alueita niiden jyrkän rinnekaltevuuden vuoksi. Suuri osa huonon soveltuvuuden omaavista alueista sijaitsee myös valuma-alueen länsireunoilla, jotka ovat maankäytöltään pääasiassa tiheämpiä metsäalueita.

Osa soveltuvimmista alueista sijaitsee myös valuma-alueen eteläosan rakennetun alueen läheisyydessä, joita ei voida kuitenkaan tässä yhteydessä pitää soveltuvina alueina niiden sijainnin puolesta suhteessa ihmistoiminnan läheisyyteen.



Kuva 9. Tarkastelualue, jossa sijaitsee parhaiden kosteikkosijaintien keskittymä tällä tutkimusalueella. Alueet A ja B kuvaavat tummimpia kohteita.

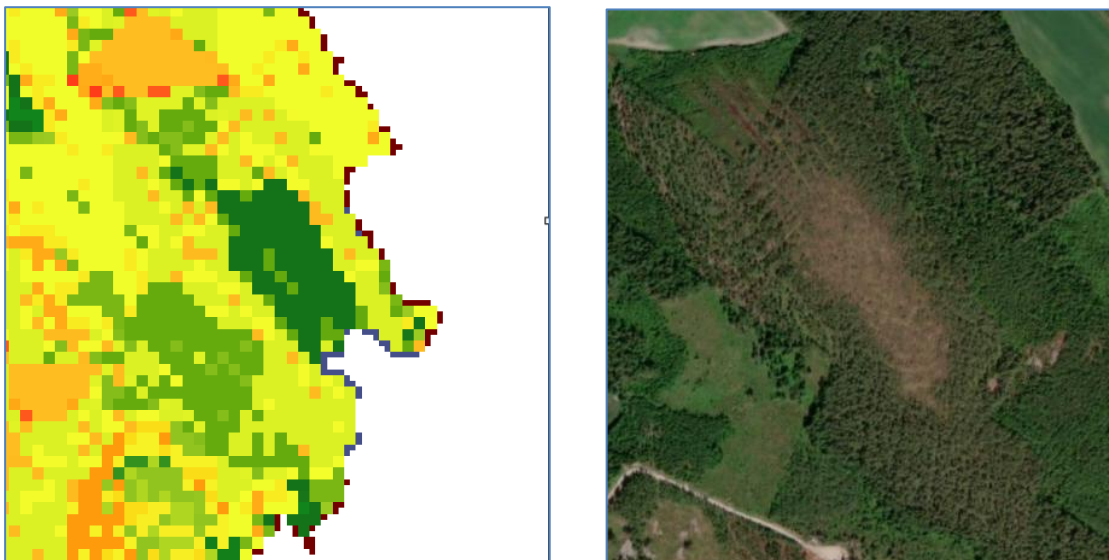
Kosteikon tulisi olla kooltaan vähintään 0,5 % koko valuma-alueen pinta-alasta, jotta se pystyisi pidättämään mahdollisimman tehokkaasti alueilta valuvia pintavesiä (Vuorinen ym 2012). Koon määrittely perustuu vain Suomessa kosteikkojen rakentamiseen haettavan ympäristötuen ehtoihin, eikä sitä voida välttämättä soveltaa globaalisti eri valuma-alueille. Tutkimusalueen pinta-ala on noin 43,67 neliökilometriä, jolloin kosteikon tai kosteikkokokonaisuuden ala tulisi olla vähintäänkin 0,22 neliökilometriä eli noin 222 000 neliömetriä. Valitsin tähän lähempään tarkasteluun muutamia parempia arvoja omaavia alueita, jotka saattaisivat täyttää nämä kyseiset kriteerit (Kuva 8.). Rajattu alue sisältää kokonaisvaltaisesti parhaat kosteikkosijainnit valuma-alueelta.



Kuva 10. Tarkastelualue A. Parhaat soveltuvuusarvot mukailevat pääasiassa Flow Accumulation-aineistoa.

Ensimmäinen tarkastelun kohde (alue A) saa tasaisesti hyviä soveltuvuusarvoja kyseisiin rastereihin ja näin ollen alue soveltuu näillä parametreilla hyvin kosteikkosuunnitteluun. Maankäyttöä, vedenkertymää, Slope-aineistoa sekä maaperää tarkastelemalla voidaan tehdä havaintoja kyseisestä alueesta. Alueella maankäyttö voidaan luokitella pääosin metsäalueeksi ja Slope-aineiston perusteella rinnekaltevuus alueella on kohtalaisen tasaista, keskimäärin välillä 0–2 °. Suurin vaikutus kuitenkin on Flow Accumulation-aineistolla, jonka perusteella ympäröiviltä alueilta valuu kyseisiin pikseleihin suurin määrä vettä. Maaperä alueella on pääasiassa sekalajitteista maalajiketta, joka tekee siitä kuitenkin hieman heikomman alustan savimaahan

verrattuna. Alue sijaitsee kuitenkin lähellä tieyhteyksiä, joka saattaa heikentää sen toimivuutta kosteikkoalueena.



Kuva 11. Tarkastelualue B. Parhaat arvot sijoittuvat valuma-alueen reunalla olevalle turvemaalle, joka erottuu satelliittikuvasta avoimena alueena.

Toinen esimerkkialue (alue B) sijaitsee noin 2,5 kilometriä etelään suhteessa ensimmäiseen esimerkkialueeseen. Alue saa soveltuvuudeltaan vahvimmat arvot tutkimusalueelta ja sen voidaankin katsoa näillä parametreilla ja kriteereillä soveltuvan optimaalisimmaksi kosteikkosijainniksi suhteessa koko valuma-alueeseen. Satelliittikuva kertoo alueen olevan myös harvapuustoisempaa ja aukeaa aluetta sekä sen rinnekaltevuus on hyvin tasainen ($< 1^\circ$). Alueen maaperä on kokonaisuudessaan paksua turvekerrosta, joka on kosteikkojen sijoittamiselle hyvin sopivaa maaperä. Flow Accumulation aineistosta huomataan, että alueen läpi virtaa myös runsaasti vettä. Ominaisen turvemaansa, vedenkertymän sekä kohtalaisen tasaisen rinnekaltevuudensa ($< 1^\circ$) puolesta voidaan todeta alueen pidättävän hyvin sinne saapuvia vesimääriä, jolloin kosteikon laatiminen tämänkaltaiselle alueelle voisi olla perusteltua.

5 Keskustelu

5.1 Paikkatieto osana kosteikkosuunnittelua

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää sekä lisätä ymmärrystä paikkatietoaineistojen- ja menetelmien soveltuvuudesta kosteikkosuunnittelun tukena. Kosteikkojen ilmenevyys tieteellisessä keskustelussa on kohtalaisen pieni suhteessa niiden merkittävyyteen muun muassa vesien ekologiaan, biodiversiteetin lisäämiseen sekä tulvahallintaan (Kotsyurbenko ym. 2019). Maatalouspainotteisilla alueilla rakennettujen kosteikkojen suunnittelu on tärkeää, mutta niihin liittyviä spatiaalisia ja kokonaisvaltaisia malleja ei ole kuitenkaan vielä olemassa, joita voitaisiin soveltaa monelle eri alueelle (Chen ym. 2025). Olemassa olevat mallit saattavat ottaa huomioon vain yksittäisiä, kyseiselle tutkimusalueelle ominaisia kriteerejä, joita ei välttämättä voida muille alueille soveltaa (Chen ym. 2025). Kosteikkosuunnittelun ja paikkatietomenetelmien haasteena on myös suuret datamäärät sekä asiantuntemuksen tarve tutkimusalueelta (Moreno-Mateos ym. 2010).

Suomessa kosteikkosuunnittelun raportointia on tehty vuosien ajan eri puolilta maata, mutta raporteissa harvemmin kuitenkin painottuu niiden menetelmällinen puoli. Kansainväliset tutkimukset kosteikkojen sijoittamisesta paikkatietomenetelmillä sisältävät usein tarkemmin kuvailtuja menetelmäosioita sekä muun muassa AHP-menetelmän käyttö toistuu useassa tämänkaltaisessa tutkimuksessa. Eri paikkatietomenetelmien soveltaminen on kuitenkin tutkimuksissa hyvin vaihtelevaa riippuen käytettävissä olevista ohjelmista ja aineistoista. Kuitenkin esimerkiksi maankäyttöluokituksen hyödyntäminen on ollut yleisesti mukana kosteikkopaikkojen paikantamisessa jo ensimmäisistä tutkimuksista lähtien (Moreno-Mateos ym. 2010). Menetelmät painottuvat usein kuitenkin päällekkäisyysanalyysiin (*Weighted Overlay*). Tämä tutkimus osoittaa myös ArcGIS Pro:n tarjoaman *Suitability Modeler* -työkalun olevan varsin pätevä työkalu kosteikkopaikkojen paikantamiselle sekä yleisesti painotetun päällekkäisyysanalyysin toteuttamiselle.

Tulosten perusteella todettiin, että kosteikoille soveltuvia sijainteja tutkimusalueella oli vähän suhteessa koko alueen pinta-alaan, mutta hyvän soveltuvuuden keskittymiä kuitenkin saatiin analyyseillä esille useampia. Huomioitavaa kuitenkin on, että nämäkin alueet painottavat osittain olemassa olevan kirjallisuuden pohjalta hyödynnettyjä soveltuvuusarvoja. Myös *Flow Accumulation* -aineiston suurempi painotus tuo tässä analyysissä esille kyseisiä alueita.

Tuloksista voidaan myös todeta tutkimusalueen koillis- ja länsiosissa sijaitsevan pysyvämpiä kosteita alueita suhteessa koko alueeseen. Tuloksissa kuvailtu pienempi tarkastelukohde (Kuva 11.) sisälsi osittain kosteikkosuunnittelulle soveltuvaa turvemaata, joka on ominaista etenkin kosteammille alueille (Kotsyurbenko ym. 2019). Turvemaiden ominaisuuksiin kuuluu paksu turvekerros, joka on peräisin maatuneesta kasvijätteestä ja niiden biodiversiteetti on yleensä ympäröiviä alueita suurempi. Ne ovat usein myös veden kyllästämiä ja voivat luonnontilaisesti tulvia sadekausien aikana jopa 50 cm (Evers ym. 2017). Turvemaat ovat biologiselta tuotannoltaan hyvin tehokkaita ja näillä alueilla tuottavuus ylittää usein hajoamisen määrän (Kotsyurbenko ym. 2019.). Ne ovat myös tehokkaita sitomaan hiilidioksidia ja näin ollen edistävät myös ilmastonmuutoksen hidastamista sekä tarjoavat eliö- ja kasvilajeille yhä monimuotoisempia elinympäristöjä.

Kosteikkojen rakentaminen turvealueille luo kuitenkin haasteita, sillä kosteikon perustaminen saattaa muuttaa turvealueen hydrologisia ominaisuuksia, kuten turpeen vedenjohtavuuskykyä, valuntakerroksen sijaintia turvekerroksessa ja näiden lisäksi myös turvealueen kasvillisuutta (Postila ym. 2014). Suunnitteluprosessi poikkeaa myös tavanomaisesta kosteikkosuunnittelusta, sillä turvealueiden ollessa valmiiksi kosteita alueita niille toteutetaan usein ennallistamistoimenpiteitä, kuten kasvillisuuden palauttaminen tai uudelleenvettäminen, jota voidaan toteuttaa esim. kuivuneille kosteikko- tai turvealueille (Schuster ym. 2024).

5.2 Erilaisten kosteikkotyyppien suunnittelu

Padottavia kosteikkoja rakentaessa muun muassa joen penkat ovat sopivia rakennuskohteita huolimatta niiden rinnekaltevuudesta, joita ei tässä tutkimuksessa kuitenkaan otettu erikseen huomioon. Laaja-alaisesti kaikki kosteikkotyypit huomioon ottaessa Slope-aineiston merkitsevyys tässä analyysissä jää vähemmälle, jolloin lopputulokset eivät välttämättä kerro kaikkia kosteikoille soveltuvia sijainteja. Tämä tutkimus ottaa painopisteekseen Flow Accumulation-työkalun tuottamat vedenkertymäalueet, joka on kosteikkosuunnittelussa yleisesti keskeinen tekijä. Myös maankäyttö ratkaisee päätöksenteossa, sillä maankäyttöaineisto sisältää useita kosteikot poissulkevia luokkia, joille rakentaminen ei ole mahdollista. Maaperän painoarvo jäi tässä tutkimuksessa huomattavan pieneksi, sillä maaperän ominaisuudet eivät välttämättä toimi kynnysehtoina kosteikkoalueita paikantaessa, vaan toiset maalajit voivat toimia muita maalajeja paremman esimerkiksi vedenpidättävyyden puolesta.

Etenkin padottuja kosteikkoja voidaan hyvin toteuttaa myös joen penkkoihin, joissa rinnekaltevuudet ovat usein hyvin suuria, kuten tässäkin tapauksessa Paimionjoen reunoilla olevat penkat. Slope-aineistosta voidaan havaita kyseinen ilmiö, mutta koska tämän tutkimuksen parametrit painottuivat veden pidättävyyteen, jäivät nämä alueet analyyseistä pimentoon. Keskittämällä tutkimuksen tavoitteita pääasiassa padottujen kosteikkojen sijaintien paikantamiselle, voitaisiin huomioon ottaa myös joen penkkojen jyrkemmät alueet.

Koska kosteikot voivat olla kokonaisuuksina monimutkaisia ja niitä voidaan rakentaa monella eri tavalla eri käyttötarkoituksiin, on tämänkaltaisia tarkasteluja tehokkaampaa toteuttaa tietyntylaisille kosteikkotyypeille erikseen. Esimerkiksi jätevesien hallintaan saatetaan rakentaa erilaisia kosteikkoja kuin vaikkapa pintavalunnan pidättämiseen tarkoitettuja kosteikkoja (Vyzamal 2014).

5.3 Tutkimuksen epävarmuustekijät ja jatkotoimenpiteet

Tutkimukselle haastavuutta loi olemassa olevien tutkimusten vähäinen määrä, jolloin menetelmien toteuttaminen pohjautui tieteellisen tiedon pienempään määrään.

Aineistojen määrittelyssä on kuitenkin konsultoitu myös Elinvoimakokeskuksen

vesitalousasiantuntijaa, jonka näkemyksien perusteella Flow Accumulation, Slope sekä maaperä- ja maankäyttöaineistot on asetettu järjestykseen painottaen niiden merkitsevyyttä kosteikkosuunnittelussa. Keskustelut antoivat hyviä näkemyksiä siihen, millaiset aineistot ja niiden parametrit ovat olennaisimpia kosteikkosuunnittelussa ja miten näitä tulisi tulkita. Kuitenkin tarkempien ja luotettavampien tuloksien saamiseksi laajemmat keskustelut aineistojen merkitsevyyksistä toisi asiantuntevampaa pohjaa tutkimukselle.

Tutkimus ei ota analyysivaiheessa huomioon kaikkia kosteikkoja poissulkevia kriteerejä, kuten esimerkiksi Natura 2000-alueita, joita myös Varsinais-Suomen alueella sijaitsee. Toinen kosteikkosuunnittelussa olennainen suunnitteluvaiheen kriteeri on myös perinnebiotoopit sekä muut lajit, jotka vaativat suojelua. Perinnebiotoopeilla tarkoitetaan biologisesti sekä kulttuurisesti arvokkaita levinneisyysalueita, joiden elinympäristöjen määrä on viime vuosikymmenten aikana ollut suuressa laskussa (Raatikainen ym. 2017).

Tutkimusalueen Natura 2000-alueita tarkastellessa selvisi, että Paimionjokilaakson alue määritellään Natura 2000-alueeksi (tunnuksella FI0200103) ja alueella suojellaan uhanalaisia luontotyyppisiä, kuten lehtokasvilajistoa sekä katajaketoja (Syke 2018). Paimionjokilaakson alueellakin sijaitsee muutamia hyviä arvoja saavia alueita, jotka ovat käytännössä joenvarren läheisyydessä. Natura 2000-verkoston pääperiaatteina on kuitenkin ennallistaa ja suojella arvokkaita luontoympäristöjä ja ehostaa uhanalaisten kasvi- ja eliölajien selviytymismahdollisuuksia (Maiorano ym. 2007). Rakennettujen kosteikkojen monipuoliset ekosysteemipalvelut saattaisivat edistää myös Natura 2000-alueiden suojelua, sillä ne tarjoavat luonnonmaisemalle muun muassa ravinteikkaita ja uniikkeja elinympäristöjä kasvilajeille sekä eliöille.

Kosteikkoja ei suositella suunnittelemaan ympäristöhallinnon luokittelimille pohjavesialueille, sillä ne voivat aiheuttaa vedensaannin vaikeutumista pohjavedenottamoilla tai heikentää pohjavesialueen käyttömahdollisuuksia (Hagelberg ym. 2012). Tutkimusalueella ei kuitenkaan näitä alueita esitarkastelun ohessa ilmennyt, joten niitä ei tarvinnut analyysien aikana huomioida. Muita rajoittavia tekijöitä rakentamiselle saattaa olla myös maanomistus tai maankäytön rajoitteet, jotka

kuitenkin ovat olennaisempia tekijöitä vasta jatkotutkimuksien osalta (Moreno-Mateos ym. 2010).

Myös esimerkiksi eroosioherkkien alueiden tunnistaminen tutkimusalueelta edistäisi kosteikoista saatuja hyötyjä. Paimionjoen valuma-alue on hyvin eroosioherkkää aluetta ja etenkin Paimionjokilaakson alue, joka on tutkimusalueenkin keskiössä, on hyvin merkittävää viljeltyä kulttuurimaisemaa, jonka suojeleminen on tärkeää (Perkonen & Salmi 2014). Eroosionhallinnan voidaan katsoa kuuluvan yksiin rakennettujen kosteikkojen ekosysteemipalveluihin ja niiden avulla voidaan pidättää vesien liikkeistä aiheutuvaa maanpinnan kulumista, joka on maatalousvaltaisille jokilaaksoalueille myös ominaista (Agaton & Guila 2023). Yksi yleisimpiä eroosioherkkiä alueita kuvaavia aineistoja on RUSLE-malli (*Revised Universal Soil Loss Equation*), jonka avulla pystytään paikantamaan eroosiolle alttiimmat alueet valuma-alueelta (Ghosal & Bhattacharya 2020). Tämän aineiston ottaminen mukaan analyyseihin toisi varmasti yhä arvokkaampaa tietoa tutkimusalueesta.

Jatkotoimenpiteitä valikoiduille tarkastelualueelle vaatisi muun muassa maastokäyntejä, jotta alueille voitaisiin arvioida muun muassa kaivamismahdollisuudet sekä saataisiin yleinen käsitys alueen ympäristöstä. Muita yleisiä toimenpiteitä maastoon lähtiessä on esimerkiksi alueen ojitusten huomiointi, sillä ne vaikuttavat veden virtaussuuntaan (Suomen riistakeskus 2026). Yleisesti myös olemassa oleva syvällisempi tietämys valuma-alueen ominaisuuksista helpottaa huomattavasti tämänkaltaisen tutkimuksen toteuttamista, aineistojen valintaa sekä varsinkin painoarvojen luomista (Moreno-Mateos ym. 2010).

5.4 AHP- ja GIS-menetelmien soveltuvuus

Sanja Anticin ym. (2023) tutkimus rinnastaa tätä tutkimusta hyvin sen samankaltaisuudella sekä menetelmäotteella. Tutkimuksessa selvitettiin Serbiassa sijaitsevan Vojdovinan maakunnan kosteikkopotentiaaleja hyödyntämällä samankaltaisia tutkimusmenetelmiä (AHP ja GIS), joilla pyrittiin luomaan soveltuvuuskartta sopivista alueista. Tutkimuksessa paikkatietoaineistoja hyödynnettiin aineistojen keräämiseen sekä analysointiin ja AHP-menetelmällä laadittiin tärkeysjärjestys sekä kriteerit eri luokille. Tutkimustulokset paljastivat, että kyseisellä

alueella sen tasainen maasto sekä maatalousvaltaisuus tuottavat optimaalisimpia kosteikkosijainteja. Tähän tutkimukseen rinnastettuna yleisesti parhaimmat alueet olivat myös tasaisia maanpinnan topografialtaan. Menetelmät painottivat ensisijaisesti maankäyttöaineistoa, joka huomataan tuloksissa suurimpana vaikutustekijänä. Tämän tutkimuksen painoarvo maankäytölle oli 27 % ja Anticin ym. tutkimuksessa maankäyttö sai painoarvokseen 29 %. Kyseinen tutkimus kuitenkin hyödynsi useampaa eri hydrologiaan perustuvaa aineistoa, jotka saivat alhaisempia arvoja. Toiseksi merkittävien aineisto oli tulvatasankoja kuvaava aineisto, jota voidaan tässä tutkimuksessa rinnastaa Flow Accumulation-aineistoon.

Tämänkaltaisessa tutkimuksessa, jossa luokkia ja niiden alaluokkia arvioidaan tärkeysjärjestyksessä, on lähdekriittisyys tärkeässä roolissa, sillä painoarvojen ja soveltuvuusluokkien arviointi kerää herkästi virhearvioita (Antic ym. 2023). Aineistojen tärkeysjärjestyksen laatiminen vaatii laajaa aihepiirin tietämystä, jotta tuloksista saadaan tarpeeksi todenmukaisia eivätkä kriittiset päätöksenteon vaiheet jää vain yksilön vastuulle. Laajemmat vertaisarvioinnit päätöksenteon prosesseista tuottavat aina luotettavampia tuloksia (Antic ym. 2023). Kvantitatiivisia sekä kvalitatiivisia menetelmiä yhdistäessä saadaan aineistojen tilastolliset ominaisuudet yhdistettyä parhaisiin todellisen maailman luontoa mukaileviin ratkaisuihin, jotka ovatkin tällaisen tutkimuksen keskiössä (Antic ym. 2023).

AHP-menetelmä on tieteellisessä tutkimuksessa yksi suosituimmista päätöksentekomenetelmistä ja sitä voidaan hyödyntää kosteikkosuunnittelun lisäksi myös monialaisesti erilaisissa maankäyttöön ja alueiden soveltuvuuteen liittyvissä tutkimuksissa (Bozdag ym. 2016). Tässä tutkimuksessa hyödynnetyt neljä aineistoa (maankäyttö, maaperä, Slope- sekä Flow Accumulation -aineisto) tukevat hyvin keskenäänkin tämänkaltaista soveltuvuusanalyysiä. Slope-aineisto rajoittaa rakentamisvaiheen puolesta kaltevimmat alueet pois analyysistä, joissa rakennuskustannukset sekä veden virtaama olisivat liian suuria (Moreno-Mateos ym. 2010). Maankäytön sekä Flow Accumulation-aineistot yhdistämällä saadaan tietoa alueista, joilla ihmistoiminta on vähäisempää ja jotka keräävät suuremman määrän valumaa. Korkeusmallista on kuitenkin tärkeää huomioida sen resoluutio, sillä hydrologista mallinnusta suorittaessa 2 metrin sekä 10 metrin DEM-aineistoilla on hyvin

suuri vaikutus lopputuloksiin. Moreno-Mateoksen ym. (2010) samankaltaisessa tutkimuksessa ”*Optimal Location of Created and Restored Wetlands in Mediterranean Agricultural Catchments*” havaittiin, että jo 20 metrin resoluution korkeusmallia käyttämällä pienemmät vedenkeruualtaat jäävät havainnoimatta, jolla on suuri vaikutus etenkin veden liikkeille. Suuremmat tutkimusalueet saattavat vaatia 2 metrin resoluution korkeusmallille tehtäville analyyseille parempaa suorituskykyä, joka ei kuitenkaan tässä tutkimuksessa koitunut ongelmaksi. 2 metrin korkeusmallista saatiin tähän tutkimukseen todenmukaisempi kuva veden kerääntymisestä

Paikkatietomenetelmät- ja ohjelmistot, kuten tässä tutkimuksessa laajalti hyödynnetyt ArcGIS Pro (ver. 3.2) sekä QGIS (ver. 3.40.) sisältävät monipuolisesti hydrologian eri ilmiöitä mallintavia algoritmeja, joilla pystytään luomaan todellisuutta kuvaavia aineistoja esimerkiksi veden liikkeistä. Etenkin DEM-aineistojen tulkinta ja mallinnus antaa arvokasta dataa maanpinnan topografiasta ja mahdollistaa hydrologisten algoritmien suorittamisen. Hyvin tarkat korkeusmallit tehostavat algoritmien toteutusta ja antavat yhä parempaa informaatiota vesien liikkeistä paikallisesti (Rocha ym. 2023).

5.5 Analyysien automatisointi

Nykyajan paikkatietomenetelmät antavat myös mahdollisuuksia rakentaa itseään toistavia malleja, kuten QGIS:iin sekä ArcGIS:iin sisältyvät Model Builder -työkalut. Tämän tutkimuksen toteuttamisen aikana heräsikin kysymyksiä ja ajatuksia siitä, miten tämänlaista mallia voitaisiin ajaa useammallekin valuma-alueelle. Model Builder toimii algoritmien siten, että aineistot voidaan laittaa käymään läpi tiettyjä menetelmiä tietyssä järjestyksessä, jolloin saadaan aina samankaltainen, haluttu lopputulos (Velamala & Pant 2024). Aineistojen ja työkalujen parametreja ja asetuksia voidaan muokata haluttaessa analyysiin soveltuvaksi ja malli voidaan laittaa toteuttamaan esimerkiksi uudelleenluokitteluja, rasterointeja tai interpolointeja (Velamala & Pant 2024). Lopputuloksena voidaan saada samalla mallilla eri alueilta karttaesityksiä halutusta ilmiöstä. Kosteikkosuunnittelun yhteydessä näiden esimerkkien pohjalta voitaisiin luoda myös laajempia määriä aineistoja hyödyntävä malli, johon voitaisiin ottaa osaksi muun muassa aikaisemmin mainittu eroosioaineisto, Natura2000-alueet tai esimerkiksi tarkentavampia hydrologiatyökaluja.

Viime vuosien saatossa etenkin DEM-aineistojen tarkkuus ja saatavuus on lisääntynyt, joka mahdollistaa muun muassa maanpinnan topografian realistisemmän kuvaamisen. Kehittyneempien hydrologiatyökalujen ja algoritmien avulla voidaan saada DEM-kuvien pohjalta tietoa valuma-alueesta myös muun muassa maanvyörymäriskeistä, ilmastomallinnuksesta tai lajien levinneisyysmallinnuksesta (Chowdhury 2023). Hydrologisessa mallinnuksessa yleisesti suosittu algoritmi TWI (Topographic Wetness Index) kuvaa suoraan alueen vedenvarastointikapasiteettiä ottamalla huomioon DEM-aineistosta tuotettujen Slope, - Flow Direction -sekä Flow Accumulation -aineistojen ominaisuudet (Chowdhury 2023). Jatkotutkimuksien kannalta esimerkiksi tämänlaisen työkalun hyödyntäminen kosteikkosuunnittelussa saattaisi tuottaa tarkempia ja havainnollistavampia tuloksia tutkimusalueen vedenpidätyskyvystä, kuin pelkkä Flow Accumulation-aineisto.

Jotta tämänkaltaisista maanpinnan soveltuvuuksia mittaavista analyyseistä saataisiin yhä enemmän hyötyjä irti, voitaisiin valmiiksi rakennettuja malleja toistaa tähän aihe yhteyteen liittyen useammilla valuma-alueilla. Kyseinen ajatus on kuitenkin keskeinen, sillä pienemmätkin valuma-alueet ovat osa suurempia valuma-aluekokonaisuuksia, joten niiden tarkastelu samojen parametrien ja periaatteiden pohjalta tuo kokonaisvaltaisemman kuvan koko alueesta. Kokonaisuudessaan pienempien osavaluma-alueiden mallien ajaminen suuremmilla valuma-alueilla ei luo kuitenkaan päteviä lopputuloksia, sillä topografiset tekijät sekä veden hydrologiset ovat näillä skaaloilla erilaisia (Tang ym. 2019). Kosteikkojen ennallistamiseen ja sijoitteluun tarkoitettuja malleja voidaan soveltaa suuremmille valuma-alueille lähinnä suunnittelutasolla, muttei kuitenkaan yksittäisten alueiden tunnistamiseen, sillä mallien tarkkuustaso ei tähän yleensä riitä (Moreno-Mateos 2010).

Valmiiden mallien tulisi olla mahdollisimman sovellettavia hyvinkin erilaisille ympäristöille ja niitä tulisi pystyä integroimaan päätöksentekoprosesseihin ilman suuria muutoksia mallin toimintaan (Moreno-Mateos 2010). Helposti saatavilla olevat aineistot sekä niiden yksinkertaiset käsittelymenetelmät, kuten Slope-aineiston tai bufferien luominen tekevät malleista helpompikäyttöisempiä (Moreno-Mateos 2010).

6 Johtopäätökset

Tutkimus osoitti nykyaikaisten paikkatietomenetelmien soveltuvan hyvin kosteikkosuunnitteluun liittyvän maanpinnan analyysin toteuttamiseen, mutta nosti kuitenkin esiin tutkimusalueeseen ja kosteikkosuunnitteluun liittyvän asiantuntemuksen merkityksen. Ilman asiantuntevaa osaamista kosteikkosuunnittelun periaatteista sekä tietämystä valuma-alueiden ja topografian ominaisuuksista, on vaikeaa saada täsmällistä tietoa parhaista kosteikkosijainneista. Kirjallisuuteen perustuvat arviot esimerkiksi maankäyttöluokkien soveltuvuuksista eivät tuota välttämättä samoja lopputuloksia, sillä valtakunnalliset kosteikkosuunnittelun periaatteet ja tutkimusalueiden ominaisuudet voivat olla hyvinkin erilaisia. Soveltuvuuskartasta ei siis voida välttämättä määritellä suoraan tutkimusalueen kokonaisvaltaista soveltuvuutta kosteikkosuunnittelulle, mutta tulosten perusteella voidaan kuitenkin todeta, että yksittäisiä ns. ”hot spotteja” pystytään tuomaan aineistojen perusteella esille.

Suitability Modeler-työkalusta on vielä tämän tutkimuksen julkaisun aikana hyvin vähän olemassa tieteellistä tietoa varsinkin kosteikkosuunnittelun osalta, mutta myös yleisesti maankäytön soveltuvuusanalyysien puolesta. AHP-menetelmän voidaan todeta edelleenkin tukevan hyvin soveltuvuusanalyysijä, sillä se on helposti ymmärrettävissä ja sen perusteella voidaan luoda kosteikkosuunnittelussa kriteerejä useammankin aineiston pohjalta. Luotettavampia ja tarkempia tuloksia saadaan kuitenkin keskittämällä menetelmät vain yhdenlaiselle kosteikkotyypille.

Loppujen lopuksi voidaan todeta, että nykyaikaisten paikkatietomenetelmien ja varsinkin hydrologisten algoritmien pohjalta voidaan tuottaa hyvinkin tehokkaasti luotettavaa tietoa valuma-alueiden ominaisuuksista. Vahva ymmärrys tutkimusalueesta yhdistettynä huolellisesti arvioituihin aineistojen soveltuvuusluokitteluihin, voidaan lopputuloksena saada hyvä käsitys kyseisen alueen kosteikkomahdollisuuksista.

Kiitokset

Haluan tässä vaiheessa kiittää Varsinais-Suomen ELY-keskusta (nyk. Elinvoimakeskus) inspiraationlähteistä aiheelle. Kiitokset myös Elinvoimakeskuksen vesitalousasiantuntijalle Pekka Parkkilalle näkemyksistä ja ajatuksista aineistoihin liittyen sekä Harri Tolvaselle kommentoinnista sekä ohjauksesta.

Kirjallisuus

Acreman, M. & Holden, J. (2013) How wetlands affect floods. *Wetlands* 33 773–786.

<https://doi.org/10.1007/s13157-013-0473-2>

Agaton, C. B. & Guila, P. M. C., (2023) Ecosystem services valuation of constructed wetlands as a nature-based solution to wastewater treatment. *Earth* 4 78–92.

<https://doi.org/10.3390/earth4010006>

Antic, S., Benka, P. Blagojevic, B., Santrac, N., Salvai, A., Stajic, R. Z. & Bezdán, J. (2023) Defining optimal location of constructed wetlands in Vojvodina, Serbia. *Hydrology*

10 192. <https://doi.org/10.3390/hydrology10100192>

Bernal, B., Hernandez, M. E. & Mitsch, W. J. (2015) Ecosystem services of wetlands.

International Journal of Biodiversity, Science, Ecosystem Services & Management

11(1) 1–4. <https://doi.org/10.1080/21513732.2015.1006250>

Bozdaq, A., Yavuz, F. & Gunay, A. S. (2016) AHP and GIS based land suitability analysis for Cihanbeyli (Turkey) County. *Environmental Earth Sciences* 75 813.

<https://doi.org/10.1007/s12665-016-5558-9>

Chen, C., Keming, W., Hongming, L., Yang P., Yuan, Y. & Meiru H. (2025) Location selection model of constructed wetlands based on AHP and GIS spatial Analysis.

Journal of Physics: Conference series. [https://doi.org/10.1088/1742-](https://doi.org/10.1088/1742-6596/3015/1/012003)

6596/3015/1/012003

Chowdury, S. (2023) Modelling hydrological factors from DEM using GIS. *MethodsX* 10

102062. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102062>

Erwin, K. L. (2009) Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world. *Wetlands Ecology and Management* 17 71–84.

<https://doi.org/10.1007/s11273-008-9119-1>

Evers, S., Yule, C. M., Padfield, R., O'Reilly, P. & Varkkey, H. (2017) Keep wetlands wet: the myth of sustainable development of tropical peatlands – implications for policies and management. *Global Change Biology* 23 534–549.

<https://doi.org/10.1111/gcb.13422>

Ferreira, C., Kalantai, Z., Kašanin-Grubin, M., Minkina, T., Solomun, M.K., Sushkova, S. & Zhao, W. (2023) Wetlands ad nature-based solutions for water management in different environments. *Current Opinion in Environmental Science & Health* 33 100476. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2023.100476>

Fleming, V., Berninger, K., Aikola, T. Huttunen, M., Iho, A., Kuosa, H., Niskanen, L., Piiparinen, J., Räike, A., Salo, M., Sarkkola, S., Valve, H., (2023) *Rannikkovesien ravinteiden kuormituskatot ja kuormituksen vähentämisen keinoja*.

Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2023 45.

Valtioneuvosto, Helsinki. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-325-8>

Ghermandi, A., van den Bergh, J. C. J. M., Brander, L. M., de Groot & Nunes, P. A. L. D. (2010) Values of natural and human-made wetlands: A meta-analysis. *Water Resources Research* 46. <https://doi.org/10.1029/2010WR009071>

Ghosal, K. & Bhattacharya, S. D. (2020) A review of RUSLE model. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 48 (4) 689–707.

GTK (2016) Maaperä 1:200 000 (maalajit). Turku, ladattu 2.3.2026 Hakku-palvelusta.

<https://hakku.gtk.fi/fi/locations?id=3>

Gustafsson, L., Härjämäki, K., Karhunen, A., Myllyoja, I. & Paassilta, E. (2011) *Maa- ja metsätalousalueiden monimuotoisuus ja kosteikot*. Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 9/2011.

Jenkins, D. G. & McCauley, L. A. (2006) GIS, SINKS, FILL and disappearing wetlands: unintended consequences in algorithm development and use. SAC '06: *Proceedings of the 2006 ACM symposium on Applied computing* 277–282.

<https://doi.org/10.1145/1141277.1141342>

Karim, W. M. H. W. A. & Hashim, M. G. (2014) Development of a new D16 algorithm for single flow direction model. *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-03644-1_4

Kazemi, H. & Akinci, H. (2018) A land use suitability model for rainfed farming by Multi-criteria Decision-making Analysis (MCDA) and Geographic Information System (GIS). *Ecological Engineering* 116 1–6.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.02.021>

Kingsford, R. T., Basset, A. & Jackson, L. (2016) Wetlands: conservation's poor cousins. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 26 892–916.

<https://doi.org/10.1002/aqc.2709>

Kotsyurbenko, O. R., Glagolev, M. V., Merkel, A. Y., Sabrekov, A. F. & Terentjeva, I. E. (2019) Methanogenesis in soils, wetlands and peat. *Handbook of Hydrocarbon and Lipid Microbiology*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-53114-4_9-1

Lee, B. & Scholz, M. (2005) Constructed wetlands: a review. *International Journal of Environmental Studies* 62(4) 421–447.

<https://doi.org/10.1080/00207230500119783>

Lehmijoki, A. & Koivunen, S. (2015) Paimionjoen, Tarvasjoen ja Vähäjoen tarkkailututkimus. Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy. Vuosiraportti 2015.

Maanmittauslaitos (2026) Korkeusmalli 2 m. Turku, 7.1. 2026.

<https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/aineistot-ja-rajapinnat/tuotekuvaukset/korkeusmalli-2-m>

Maiorano, L., Falcucci, A., Garton, E. O. & Botani, L. (2007) Contribution of the Natura 2000 network to biodiversity conservation in Italy. *Conservation Biology* 21 1433–1444. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00831.x>

Maltby, E. & Acreman, C. M. (2011) Ecosystem services of wetlands: pathfinder for a new paradigm. *Hydrological Sciences Journal* 56(8) 1341–1359.

<https://doi.org/10.1080/02626667.2011.631014>

Martinez-Espinosa, C., Sauvage, S., Al Bitar, A., Green, P. A., Vörösmarty, C. J. & Sanchez-Perez, J. M. (2021) Denitrification in wetlands: a review towards a quantification at global scale. *Science of The Total Environment* 754 142398.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142398>

Moreno-Mateos, D., Mander, U. & Pedrocchi, C. (2010) Optimal location of created and restored wetlands in mediterranean agricultural catchments. *Water Resources Management* 24 2485–2499. <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9564-5>

Mulligan, M. (2004) Modelling catchment hydrology. *Environmental Modelling: Finding Simplicity in Complexity* 4 107–121.

Nezhad, S. G., Mokhtari, R. A. & Rodsari, P. R. (2017) The true sample catchment basin approach in the analysis of stream sediment geochemical data. *Ore Geology Reviews* 83 127–134. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.12.008>

Paimionjokilaakson Natura 2000-luokitus. Turku, 5.4.2026.

<https://experience.arcgis.com/experience/3b9dbcd2e5f940fd822c7fd48be9f8cd>

Pellikka, J., Hiedanpää, J., Lindén, A. & Seimola, S. (2022) Rakennettujen kosteikkojen pitkän aikavälin hoitajuus. *Suomen Riista* 68 24–40.

<https://www.riistasaaatio.fi/wp-content/uploads/pellikka-ym-rakennettujen-kosteikkojen-pitkan-aikavalin-hoitajuus-web.pdf>

Peñacoba -Antona, L., Gómez-Delgado, M. & Esteve-Núñez, A. (2021) Multi-criteria evaluation and sensitivity analysis for the optimal location of constructed wetlands (METland) at Oceanic and Mediterranean areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18 (10) 5415. <https://doi.org/10.3390/ijerph18105415>

Postila, H., Saukkoriipi, J., Heikkinen, K., Karjalainen, S. M., Kuoppala, M., Marttila, H. & Klove, B. (2014) Can treatment wetlands be constructed on drained peatlands for efficient purification of peat extraction runoff? *Geoderma* 228–229 33–43. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.12.008>

Puustinen, M. Koskiaho, J., Gran, V., Jormola, J., Maijala, T., Mikkola-Roos, M., Puumala, M., Riihimäki, J., Räty, M. & Sammalkorpi, I. (2001) Maatalouden vesiensuojelukosteikot: VESIKOT-projektin loppuraportti.

Raatikainen, K. J., Mussaari, M., Raatikainen, K. M. & Halme, P. (2017) Systematic targeting of management actions as a tool to enhance conservation of traditional rural biotopes. *Biological Conservation* 207 90–99.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.01.019>

Rocha, J., Duarte, A., Fabres, S., Quintela, A. & Serpa, D. (2023) Influence of DEM resolution on the hydrological responses of a terraced catchment: an exploratory modelling approach. *Remote Sensing* 15(1) 169.
<https://doi.org/10.3390/rs15010169>

Russo, R. F. S. M. & Camanho R. (2015) Criteria in AHP: A systematic review of literature. *Procedia Computer Science* 55 1123–1132.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.081>

Salimi, S., Almuktar, S. A. A. N. & Scholz, M. (2021) Impact of climate change on wetland ecosystems: a critical review of experimental wetlands. *Journal of Environmental Management* 286 112160.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112160>

Schuster, L. Taillardat, P. Macreadie, P. I. & Malerba, M. E. (2024) Freshwater wetland restoration and conservation are long-term natural climate solutions. *Science of The Total Environment* 922 (20) 171218.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171218>

Suomen riistakeskus, Kosteikko.fi. 7.4.2026.

SYKE (2023a) Harmonisoitu Corine-maanpeiteaikasarja muutostulkintaan (20 m).

Turku, 2.3.2026. <https://ckan.ymparisto.fi/dataset/harmonisoitu-corine-maanpeiteaikasarja-muutostulkintaan-20m>

SYKE (2023b) Valuma-aluejako. TASO3 & TASO1. Turku, 29.12. 2025.

<https://ckan.ymparisto.fi/dataset/valuma-aluejako>

Tang, Y., Leon, S. A. & Kavvas, M. L. (2020) Impact of size and location of wetlands on watershed-scale flood control. *Water Resources Management* 34 1693–1707.

<https://doi.org/10.1007/s11269-020-02518-3>

Velamala, R. R. & Kumar Pant, P. (2024) SFM_MB Toolbox: a new ArcGIS toolbox for building spatial distribution maps of soil fertility using model builder in ArcMap of ArcGIS, a case study. *Arabian Journal of Geosciences* 17 46.

<https://doi.org/10.1007/s12517-023-11843-x>

Vuorinen, E., Nyqvist, P., Anttila, S. & Heljä, J. (2012) Maa- ja metsätalousalueiden monimuotoisuus ja kosteikot. Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Raportteja 29/2012.

Wagener, T., Sivapalan, M., Troch, P. & Woods, R. (2007) Catchment classification and hydrological similarity. *Geography Compass* 1/4 901–931.

<https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2007.00039.x> Digital Object Identifier (DOI)