

**Ekologisten kompensatioalueiden etsintä soveltuvuusanalyysillä
Itäradan ratahankkeessa**
Satu Kellokumpu

Pro gradu -tutkielma (791619S)

Maantieteen tutkinto-ohjelma

Oulun yliopisto

5.12.2024

Tutkinto-ohjelma Maantieteen tutkinto-ohjelma	Pääaine: Maantiede	
Tekijä (Sukunimi ja etunimet, myös entinen sukunimi): Kellokumpu Satu Elisa	Opiskelija-numero: Y57857301	Tutkielman sivumäärä: 89 s. + II liit.
Tutkielman nimi (suomeksi; muun kielinen nimi ilmoitetaan vain jos se on tutkielman kieli): Ekologisten kompensatioalueiden etsintä soveltuvuusanalyysillä Itäradan ratahankkeessa		
Asiasanat: Ekologinen kompensatio, Soveltuvuusanalyysi, Itärata, Luonnon monimuotoisuus, Ennallistaminen		
Tiivistelmä (kirjoitetaan vapaamuotoisesti, selväsanaisesti ja lyhyin lauserakentein, ks. ohje seuraavalla sivulla): <p>Ekologinen kompensatio on tullut ajankohtaiseksi aiheeksi Suomessa uuden luonnonsuojelulain myötä. Käytännössä ekologinen kompensatio toimii siten, että jostain toiminnasta aiheutuneet haitat luonnolle hyvitetään ennallistamalla ja/tai suojelemalla vastaavia luonnonarvoja muualta. Kompensatioajattelun taustalla vaikuttaa tieteellinen konsensus siitä, että ihmisen toiminta aiheuttaa luonnon monimuotoisuuden häviämistä.</p> <p>Tämä tutkielma tehtiin yhteistyössä Itärata-hankkeen kanssa. Tutkielmassa selvitettiin toimisiko soveltuvuusanalyysi osana ekologisen kompensaaion suunnittelua. Tavoitteena oli etsiä tarkasteltavan rataosuuden kompensaaion tarvittavia hyvitysalueita paikkatietopohjaisen soveltuvuusanalyysin avulla. Tutkimuskysymyksiä olivat: 1. Jos tarkasteltava ratalinjauks toteutuisi, kuinka paljon luontohaittaa tulisi kompensoida, jotta kokonaisheikentymättömyys toteutuisi tällä rataosuudella?, 2. Mitkä alueet ovat soveltuvuusanalyysin mukaan tarkasteltavan ratalinjauksen kompensaaion soveltuvia alueita ja toimisivatko ne hyvityksinä hankkeesta aiheutuville haitoille?, 3. Voidaanko soveltuvuusanalyysiä hyödyntää osana ekologisen kompensaaion suunnittelua tämän tutkielman tulosten mukaan?</p> <p>Työn menetelmänä toimi soveltuvuusanalyysi, joka toteutettiin ArcGIS pro -ohjelmiston Suitability modeler -työkalulla. Soveltuvuusanalyysiä varten tarkasteluun valitulle ratalinjaukselle toteutettiin paikkatiedoin ekologisen kompensaaion laskenta BOOST-hankkeessa kehitetyllä työkalulla. Ekologisen kompensaaion voi kohdistaa joko luontotyyppisiin tai lajien elinympäristöihin. Tässä työssä kompensatio kohdennettiin haitattuihin luontotyyppisiin. Ekologisen kompensaaion laskennan tulokset sekä valinnat ohjasivat soveltuvuusanalyysiin tarvittavia kriteereitä ja painotuksia.</p> <p>Tuloksena jokaiselle tarkastellulle luontotyyppille (metsät, suot, lähteiköt, norot ja kallioid) valikoitui ensisijaiset sekä toissijaiset hyvitysalueet. Tulokset osoittavat, että soveltuvuusanalyysi voisi toimia osana ekologisen kompensaaion suunnittelua, kunhan tiedostetaan sen epävarmuustekijät sekä rajoitteet. Soveltuvuusanalyysin hyödyllisyys perustuu siihen, että sen avulla voidaan päästä irti kompensatioalueiden manuaalisesta etsimisestä. Jatkossa soveltuvuusanalyysin voisi ajoittaa suunnittelussa haitta-alueen maastokäynnin jälkeen (jonka avulla voidaan laskea kompensatiomäärät), mutta ennen hyvitysalueen tarkempaa etsimistä ja suunnittelua.</p>		
Muita tietoja:	Toteutettu osana Itärata-hanketta	
Päiväys:	05.12.2024	

Sisällys

1 Johdanto	5
2 Ekologinen kompensatio	7
2.1 Käsitteistöä	7
2.2 Ekologisen kompensaation määritelmä ja tausta	8
2.3 Ekologisen kompensaation periaatteita	11
2.3.1 Lisäisyys.....	11
2.3.2 Alueellisuus ja luonnonarvovastaavuus	11
2.3.3. Ajallisuus ja pysyvyys	13
2.4 Ekologinen kompensatio ratahankkeissa	14
2.5 Ekologisen kompensaation laskennan periaatteet	15
3 Soveltuvuusanalyysi.....	18
3.1 Overlay-menetelmät	19
3.2 Monikriteeriset arviointimenetelmät	20
3.3 Tekoälymenetelmät.....	22
3.4 Weighted overlay -soveltuvuusanalyysin eteneminen.....	23
4 Tarkasteltava rataosuus ja sen ympäristö	25
5 Ekologisen kompensaation laskelmat	30
5.1 Aineistot.....	30
5.2 BOOST-hankkeen menetelmä.....	31
5.2.1 Pinta-alat ja haittalaskenta	31
5.2.2. Vasteet ja niiden yhdistäminen	35
5.2.3. Hyvityslaskenta.....	39
5.3 Laskennan tulokset	40

6 Soveltuvuusanalyysi.....	42
6.1 Ei-aineistot ja niiden käsittely	42
6.2 Soveltuvuusanalyysin aineistot ja niiden käsittely	43
6.3 Soveltuvuusanalyysin toteutus	47
6.4 Soveltuvuusanalyysin tulokset	54
7 Tulosten pohdinta.....	69
7.1 Tulokset suhteessa heikennysalueeseen	69
7.2 Tulosten yhteenveto, luotettavuus ja epävarmuudet.....	76
8 Yhteenveto ja johtopäätökset	78
Kiitokset	81
Lähdeluettelo.....	81
Liitteet	90

1 Johdanto

Luonnon monimuotoisuuden vähenemistä pidetään yhtenä merkittävimmistä globaaleista ympäristöön kohdistuvista uhkista. Tutkimuksien mukaan luonnon monimuotoisuus on heikentynyt merkittävästi viimeisten vuosikymmenien aikana (Butchart ym. 2010, Barnosky ym. 2014, Pereira ym. 2024). Luonnon monimuotoisuuden vähenemiseen ja elinympäristöjen tuhoutumiseen on pyritty kehittämään erilaisia toimintaperiaatteita sekä ratkaisuja ja yksi niistä on ekologinen kompensatio (Grimm & Köppel 2019: 1).

Kompensaatioiden yleistymisen taustalla vaikuttaa ajatus siitä, että yhteiskunnassamme tapahtuva kehitys kiihdyttää luonnon monimuotoisuudessa tapahtuvaa vähenemistä (Mustajärvi ym. 2019: 83). Ekologisessa kompensaatiossa tarkoituksena on hyvittää ympäristölle tapahtuvia haittoja tuottamalla luonnolle hyötyä jossain muualla (Bull ym. 2013, ks. kappale 2.2). Ekologisen kompensatian tavoitteena on estää luonnon monimuotoisuudessa tapahtuvaa katoa mahdollistamalla samalla yhteiskunnassa tapahtuvan kehityksen. Ekologinen kompensatio on ollut olemassa käsitteenä jo 1970-luvulta asti, mutta vasta 1990- ja 2000-luvuilla käsite on saavuttanut suosiota tieteellisissä julkaisuissa (Coralie ym. 2015). Suomessa ekologinen kompensatio on tullut erityisen ajankohtaiseksi aiheeksi vuonna 2023 voimaan tulleen uuden luonnonsuojelulain (Luonnonsuojelulaki 9/2023) ja kompensatioasetuksen (Ympäristöministeriön asetus vapaaehtoisesta ekologisesta kompensatiosta 933/2023) myötä. Tämän uuden luonnonsuojelulain ja asetuksen tarkoituksena on ohjata Suomessa tapahtuvaa vapaaehtoista ekologista kompensatiota. Kompensatioajattelu on kuitenkin Suomessa vasta aluillaan ja sen toteuttamiseen liittyy monia kysymyksiä.

Kompensatioissa tärkeimpiä kysymyksiä ovat kuinka paljon haittaa hanke aiheuttaa luonnolle ja mihin tulevia hyvitysalueita voidaan perustaa hankkeille. Erityisesti laajoissa hankkeissa tarvittavat hyvitysalueet saattavat kasvaa helposti suuriksi laajojen vaikutusten myötä ja siten hyvitysalueiden etsintä vaikeutuu. Se vaikeuttaa merkittävästi kompensatioiden toteuttamista. Tämä ongelma koskee erityisesti laajoja ratahankkeita (esim. Rauhala ym. 2023). Lisäksi tällä hetkellä luonnonsuojelulaissa (LSL 9/2023 103 §) tarkoitettua rekisteriä hyvitysalueille ei ole vielä olemassa, jonka takia haitan aiheuttajat joutuvat etsimään hyvitysalueita omatoimisesti. Sopivan hyvitysalueen löytäminen voi olla työlästä ja aikaa vievää. Esimerkiksi Lahden ekologisten kompensatioiden pilottihankkeessa jouduttiin hyvitysalueita kaava-alueelle

etsimään useampaan kertaan (Varumo ym. 2023). Joskus myös tarkempien selvitysten myötä selviää, ettei valittu hyvitysalue riitä kokonaismääräisen haitan hyvittämiseen. Näin kävi esimerkiksi Vantaan Lumikvarsin ekologisen kompensaation suunnittelussa (Kankkunen 2024).

Pro gradu -tutkielma tehdään yhteistyössä Itärata-hankkeen kanssa. Hankkeen tavoitteena on uusi nopean henkilöliikenteen rata välille Lentorata-Porvoo-Kouvola (Itärata 2024). Radan tarkoituksena on parantaa pääkaupunkiseudun ja Itä-Suomen liikenneyhteyksiä. Hankkeeseen toteutetaan tällä hetkellä ympäristövaikutusten arviointia, jonka tavoitteena on tarkastella eri ratalinjausvaihtoehtoja ja niiden vaikutuksia (Itärata 2024). Ympäristövaikutusten arvioinnista vastaa Ramboll Finland Oy yhteistyössä Sitowise Oy:n kanssa. Tässä tutkielmassa tarkastellaan yhtä ympäristövaikutusten arviointiin kuuluvaa ratalinjausta. Ratalinjan kompensaatiotarkastelu rajattiin vielä maantieteellisesti Sipoon ja Porvoon alueille.

Tutkielman tarkoituksena on selvittää toimitusko soveltuvuusanalyysi osana ekologisen kompensaation suunnittelua. Tavoitteena on etsiä kompensaatioon tarvittavia hyvitysalueita paikkatietopohjaisen soveltuvuusanalyysin avulla. Soveltuvuusanalyysi toteutetaan ArcGIS pro -ohjelmiston Suitability modeler -työkalun avulla. Tätä varten tarkasteluun valitulle ratalinjaukselle toteutetaan ekologisen kompensaation laskenta. Ekologinen kompensaatio voidaan kohdistaa niin lajien elinympäristöihin kuin myös luontotyypeihin (LSL 9/2023 98 §). Tässä tutkielmassa kompensaatio kohdistetaan luontotyypeihin. Kompensaatiolaskennasta saatujen tietojen avulla voidaan kartoittaa ratalinjauksen potentiaaliset hyvitysalueet soveltuvuusanalyysillä. Tässä tutkielmassa ei kuitenkaan oteta kantaa maanomistajuusongelmaan tai siihen tullaanko ekologista kompensaatiota lopulta toteuttamaan hankkeessa. Tämän pro gradu -tutkielman tutkimuskysymyksiä ovat:

1. Jos tarkasteltava ratalinjaus toteutuisi, kuinka paljon luontohaittaa tulisi kompensoida, jotta kokonaisuheikentymättömyys toteutuisi tällä rataosuudella?
2. Mitkä alueet ovat soveltuvuusanalyysin mukaan tarkasteltavan ratalinjauksen kompensaatioon soveltuvia alueita ja toimitusko ne hyvityksinä hankkeesta aiheutuville haitoille?
3. Voidaanko soveltuvuusanalyysiä hyödyntää osana ekologisen kompensaation suunnittelua tämän tutkielman tulosten mukaan?

2 Ekologinen kompensatio

2.1 Käsitteistöä

Kokonaisheikentymättömyys (*No Net Loss, NNL*)

Kokonaisheikentymättömyyden periaatteessa pyritään siihen, ettei suunnitellusta kehityksestä tapahtuisi luonnon monimuotoisuuden heikkenemistä (Gardner ym. 2013). Tällöin hankkeen aiheuttamat hyödyt luonnon monimuotoisuudelle vastaavat hankkeen aiheuttamia haittoja.

Kokonaisparanema (*Net Positive Impact, NPI*)

Toisin kuin kokonaisheikentymättömyys, joka kompensoi vain tapahtuneet ekologiset heikennykset, kokonaisparanemalla pyritään parantamaan luonnon tilaa vielä entisestään (Moilanen & Kotiaho 2021: 3). Tällöin hankkeen hyödyt ylittävät sen aiheuttamat haitat. Vertausajankohta on alueen luonnon tila ennen hanketta.

Suojeluhyvitys

Hyvitys, joka syntyy suojelemalla kompensatioon suunnitellun alueen. Hyvitys muodostuu joko maankäytöllisen riskin välttämisestä tai luonnollisen sukkession etenemisestä. (ks. kappale 2.2)

Ennallistamishyvitys

Hyvitys, joka tapahtuu ennallistamistoimien avulla. Ennallistamistoimien avulla luonnontila saavutetaan nopeammin, kuin alueen luonnollisella palautumisella (ks. kappale 2.2)

Lisäisyys (*Additionality*)

Ekologisen kompensaation yksi periaatteista on, että kompensaation täytyy olla lisäistä. Lisäisyydellä tarkoitetaan, sitä, että ekologiseen kompensaation ei voida hyväksyä sellaisia toimia, jotka olisi tehty ilman kompensaatiota jostain toisesta syystä, esimerkiksi lainsäädännöllisestä velvoitteesta (Moilanen ja Kotiaho 2017).

Luonnonarvohehtaari (hha)

Luonnonarvohehtaari, toiselta nimeltään habitaattihehtaari tai luontotyyppihehtaari on ekologisessa kompensaatiossa käytetty yksikkö, jota käytetään heikennysten ja hyvitysten määrän laskemiseen. Yleisesti luonnonarvohehtaarit saadaan kertomalla luontotyyppipisteet luonnonarvon esiintymän pinta-alalla (Quétier & Lavorel 2011: 2994). Luontotyyppipisteet saadaan arvioimalla alueen luonnontilaisuus asteikolla 0–1 (ks. kappale 2.5). Luonnonarvohehtaarista käytetään lyhennystä hha.

Luonnonarvovastaavuus

Luonnonarvovastaavuudella tarkoitetaan sitä, että muodostuva heikennys on vastaava luonnonarvoiltaan kuin tuleva hyvitys. Luonnonarvovastaavuuteen edellytetään laissa (LSL 9/2023 101 §)

Varovaisuusperiaate

Varovaisuusperiaate, tai ennalta varautumisen periaate, on riskienhallintaa. Periaate on, että toiminnon epäiltäessä aiheuttavan jotain haittaa ympäristölle tai ihmisille, haitan estämiseen liittyviä toimia ei voi estää tieteellisen varmuuden puuttuminen (EUR-Lex 2024; LSL 9/2023 7 §). Ekologisen kompensaaation kohdalla varovaisuusperiaate liittyy yleensä puutteelliseen tietoon alueesta, jolloin haitan arvioinnissa voidaan soveltaa varovaisuusperiaatetta. Tällöin esimerkiksi luontotyyppin luonnontilaisuutta voidaan arvioida suuremmaksi, kuin mitä se välttämättä todellisuudessa on (BOOST for biodiversity offsets 2024a).

2.2 Ekologisen kompensaaation määritelmä ja tausta

Ekologinen kompensaaatio on yleistynyt viime aikoina tapana hillitä luonnon monimuotoisuuden katoa. Kompensaaatioajattelun yleistymisen taustalla on ajatus elinympäristöjen heikkenemisestä ja luonnon monimuotoisuuden vähenemisestä yhteiskunnassa tapahtuvan kehityksen myötä (Mustajärvi ym. 2019: 83). Merkittävimmät tekijät, jotka tällä hetkellä vaikuttavat monimuotoisuuden vähenemiseen ovat maankäytön muutokset maalla sekä merellä, luonnonvarojen liikkakäyttö, saasteet, ilmastonmuutos ja vieraslajien leviäminen (Jaureguiberry ym. 2022). Näitä tekijöitä ei ole saatu pysäytettyä, vaan tutkimuksien mukaan luonnon monimuotoisuus

on viime vuosikymmeninä heikentynyt merkittävästi (Butchart ym. 2010; Barnosky ym. 2014; Pereira ym. 2024). Tämän myötä tutkijat ovat pyrkineet kehittämään uusia toimenpiteitä estämään elinympäristöjen tuhoutumista ja monimuotoisuuden vähenemistä.

Ekologinen kompensatio on toimenpide, jossa hyvitetään ympäristölle tapahtuvia haittoja tuottamalla luontohyötyä muualla (Bull ym. 2013). Esimerkiksi Kujala ym. (2024: 1) mukaan kompensation tarkoituksena on saavuttaa joko luonnon kokonaisparanema (*net positive impact*) tai sen kokonaisheikentymättömyys (*no net loss*) (ks. määritelmä kappaleesta 2.1). Ekologista kompensatiota voidaan tuottaa joko suojeluhyvityksellä tai ennallistamishyvityksellä (Mustajärvi ym. 2019).

Suojeluhyvitys voi muodostua kahdella tavalla: häviämisoriskin pienenemisellä sekä alueen luontaisella ennallistumisella. Häviämisoriskillä viitataan siihen riskiin, että jos aluetta ei suojeltaisi, kohdistuisi sinne erilaisia maankäytöllisiä paineita, jotka voisivat johtaa luonnontilan heikkenemiseen alueella (Moilanen & Kotiaho 2017). Suojelulla siis estetään se riski, että lähitulevaisuudessa alueen ekologista tilaa heikennettäisiin. Hyvitys muodostuu laskennallisesti tämän riskin välttämisestä. Suojeluhyvitys voi myös muodostua, jos alueen luonnontilaa on jo heikennetty ja käyttöpaineen poisto antaa luonnolle tilaisuuden palauttaa kohteen kohti parempaa ekologista tilaa suojelun avulla (passiivinen ennallistuminen) (Mustajärvi ym. 2019). Huomioitavaa on, että käytännössä Suomen uusi luonnonsuojelulaki ja asetus kompensatiosta ohjaavat kompensation toteuttamista ennallistamishyvitykseen. Laki ja asetus eivät tällä hetkellä huomioi yllä mainittua häviämisoriskin poistoa hyvityksen laskennassa, vaan ainoastaan passiivinen ennallistuminen lasketaan suojelulla saaduksi hyvitykseksi (Kujala ym. 2024: 121). Lisäksi luonnonsuojelulain mukaan suojeluhyvitystä voidaan käyttää vain uhanalaisille luontotyypeille (LSL 100 §). Nämä seikat tekevät suojeluhyvityksen hyödyntämisestä Suomessa haasteellista käytännössä. Kujala ym. (2024) ovat tehneet tarkempaa analyysiä laista ja sen vaikutuksista kompensatioiden toteuttamiseen.

Ennallistamishyvityksessä hyöty taas muodostuu alueen ennallistamistoimista. Periaate hyvityksessä Mustajärven ym. (2019) mukaan on, että toimien avulla saavutetaan nopeammin luonnontila alueella kuin silloin, jos luonnon annettaisiin palautua itsestään. Lisäksi Mustajärvi ym. (2019) huomauttavat, että alue voi olla myös sellainen, ettei luonto palautuisi ollenkaan ilman ennallistamistoimia, jolloin kompensointi ennallistamalla mahdollistaa ekologisen tilan palautumisen alueelle.

Ekologinen kompensatio on yksi lieventämishierarkiaan kuuluvista keinoista (Kujala ym. 2024: 1). Lieventämishierarkian tavoitteena on estää luonnon monimuotoisuuden heikkeneminen globaalisti toteutettavissa olevalla lähestymistavalla (Arlidge ym. 2018). Lieventämishierarkia kuvaa prosessia, joka tulisi tehdä haitallisten luontovaikutusten pienentämiseksi. Tässä hierarkiassa on neljä eri vaihetta, joita tulisi harkita tehtäväksi, ennen kuin ympäristön tilaa heikentävä hanke etenee. Nämä neljä toimenpidettä toimenpidejärjestyksessä ovat haittojen välttäminen, minimointi, korjaaminen haitta-alueella (*remediate*) ja kompensointi (Arlidge ym. 2018). Lieventämishierarkian mukaan heikennyksen kompensointi on viimeinen keino pienentää hankkeen negatiivisia luontovaikutuksia. Ekologista kompensatiota voidaan sen mukaan toteuttaa vasta kun lieventämishierarkian muut keinot on jo harkittu tai tehty.

Ensimmäisenä lieventämishierarkiassa tulisi välttää haittoja. Haitat kohdealueelle tulee arvioida ja sitä kautta harkita hankkeen siirtoa luonnon monimuotoisuuden kannalta vähemmän merkittävälle alueelle (Phalan ym. 2018). Usein Suomessa luonnolle tapahtuvien haittojen arviointi tehdään muun muassa ympäristövaikutusten arviointimenettelyn kautta. Arlidge ym. (2018) mukaan muun muassa luonnonvarojen kestävä käyttö ja ympäristöystävälliset rakennuskeinot ovat osa haittojen minimoinnin vaihetta, joka on lieventämishierarkiassa toinen toimenpidevaihe. Kolmantena toimenpiteenä haittoja tulisi korjata hankealueella. Tällaisia toimenpiteitä ovat esimerkiksi luonnontilan palauttaminen hankealueella, villiinnyttäminen (*rewilding*) tai elinympäristöjen luominen keinotekoisesti hankealueelle (Arlidge ym 2018).

Kun nämä kolme ensimmäistä toimenpidettä eivät ole tarpeeksi tehokkaita estämään haittojen muodostumista, voidaan Mustajärven ym. (2019) mukaan ottaa ekologisen kompensatian keinot käyttöön näiden niin sanottujen jäännöshaittojen korjaamiseksi. Huomioitavaa on, ettei lieventämishierarkian noudattamiseen erikseen velvoiteta Suomen luonnonsuojelulaissa (Kujala ym. 2024: 9). Lieventämishierarkian noudattaminen jää silloin Suomessa toimijan vastuulle. Kuitenkin globaaleissa tutkimuksissa ja ohjeistuksissa lieventämishierarkian noudattaminen on koettu erittäin tärkeäksi (mm. Business and Biodiversity Offsets Programme (BBOP) 2012; Arlidge ym 2018; Phalan ym. 2018).

2.3 Ekologisen kompensaation periaatteita

Ekologista kompensaatiota ohjaavat erilaiset periaatteet ja kriteerit. Näihin kriteereihin on otettu kantaa niin luonnonsuojelulaissa (LSL 9/2023 luku 11) kuin myös alan kirjallisuudessakin. Tähän tutkielmaan on tunnistettu 5 kriteeriä tai periaatetta, jotka toistuvasti tulevat vastaan alan artikkeleissa sekä laissa. Ne ovat lisäisyys, alueellisuus, luonnonarvovastaavuus, ajallisuus ja pysyvyys.

2.3.1 Lisäisyys

Lisäisyydellä viitataan siihen, että kompensaation tulee olla lisäävää aiempaan ja tulevaan verrattuna. Sillä tarkoitetaan sitä, että ekologiseen kompensaation ei voida hyväksyä toimia, jotka olisi tehty jostain toisesta syystä (Moilanen ja Kotiaho 2017). Esimerkiksi, jos alueelle on suunniteltu ennallistamista tai suojelutoimenpiteitä, se ei sovellu kompensaatioalueeksi, koska toimenpiteet toteutettaisiin joka tapauksessa ilman kompensaatioita. Lisäisyyden periaatteella estetään se, ettei ekologisia saavutuksia voida laskea kahteen kertaan, vaan kompensaatio todella hyvittää alueelle tapahtuneen heikennyksen ja että heikennyksen aiheuttaja on kompensaation takana (Gardner ym. 2013).

2.3.2 Alueellisuus ja luonnonarvovastaavuus

Alueellisuus on ekologisessa kompensaatiossa erittäin tärkeä kompensaatiota ohjaava periaate. Alueellisuudella tässä tutkielmassa viitataan siihen, kuinka määritellään se, missä ja kuinka kaukana heikennyksestä hyvitys voidaan tehdä. Alueellisuus voidaan huomioida määrittelemällä jokin minimietäisyys tai alue, jossa hyvityksen tulee tapahtua. Etäisyyden tai alueen rajaamisella estetään se, että hyvityksiä ei tehdä liian kaukana heikennyksestä. Luonnonsuojelulain (9/2023) 101 § ensimmäisessä momentissa asia on esitetty seuraavasti:

Hyvittävät toimenpiteet on toteutettava: 1) samalla tai siihen rajautuvalla metsäkasvillisuusvyöhykkeen osa-alueella, samalla merialueella ja saman tai rajautuvan päävesistöalueen samassa vesimuodostuma- tai vesiluontotyyppissä, jolla heikennys aiheutuu; ja 2) sen saamelaisyhteisön alueella, jonka alueella heikennys tapahtuu.

Ekologisen kompensaation asetus (933/2023 7 §) tarkentaa luonnonsuojelulain 101 §:n 1 momentin 1 kohtaa. Alla olevasta taulukosta löytyvät asetuksen tarkemmat määritelmät metsäkasvillisuuden osa-alueista, merialueista, päävesistöalueista ja vesimuodostumatyypeistä (Taulukko 1).

Taulukko 1. Ekologisen kompensaatioasetuksen (933/2023 7 §) määrittelemät metsäkasvillisuuden osa-alueet, merialueet, päävesistöalueet ja vesimuodostumatyypit. Hyvittävät toimenpiteet tulee toteuttaa samalla osa-alueella, jossa heikennys toteutetaan.

Metsäkasvillisuuden osa-alueet	<ol style="list-style-type: none"> 1) hemiboreaalin lounainen rannikkomaa; 2) eteläboreaalin Lounismaa–Pohjanmaan rannikko; 3) eteläboreaalin Järvi-Suomi; 4) keskiboreaalin Pohjanmaa; 5) keskiboreaalin Pohjois-Karjala–Kainuu; 6) keskiboreaalin Lapin kolmio; 7) pohjoisboreaalin Koillismaa; 8) pohjoisboreaalin Peräpohjola; 9) pohjoisboreaalin Metsä-Lappi; 10) pohjoisboreaalin Tunturi-Lappi
Merialueet	<ol style="list-style-type: none"> 1) Perämeri; 2) Merenkurkku; 3) Selkämeri; 4) Ahvenanmaa–Saaristomeri; 5) Suomenlahti
Päävesistöalueet	Viitataan vesienhoitoalueiden asetuksen 1303/2004 liitteessä 1 määritellyjä vesistöalueita.
Vesimuodostumatyyppi	Viitataan vesienhoidon asetuksen 1040/2006 10 §:ssä osoitettuihin pintavesityyppeihin

Uhanalaisien luontotyyppien tai uhanalaisten eliölajien kompensaatioissa on myös huomioitava luonnonarvovastaavuus. Luonnonarvovastaavuudella pyritään ohjaamaan kompensaatio vastaaviin luontoarvoihin, kuin missä heikennys toteutetaan. Luonnonsuojelulain 101 pykälässä ”hyvittämisen kriteerit” sen toisessa momentissa määritellään myös erikseen, miten tulee toimia, jos luonnonarvo on uhanalainen. Sen mukaan hyvitys tulee aina pyrkiä kohdistamaan silloin samaan luontotyyppiin tai saman eliölajin elinympäristöön. Jos hyvitystä ei voida suorittaa

samaan luontoarvoon, hyvitys tehdään vastaavanlaiseen joko uhanalaisempaan tai yhtä uhanalaiseen luontoarvoon (LSL 9/2023 101 §, 2 momentti). Luonnonarvovastaavuudella pyritään varmistamaan se, että heikennetty luonnonarvo todella kompensoidaan, eikä kompensointia toteuteta toisenlaiseen luontoarvoon.

Kompensaatioasetuksessa asiaa tarkennetaan, että hyvitys tehdään kompensatioasetuksen liitteen 2 mukaisilla ryhmäjaolla, jolloin hyvitys voidaan tehdä luontotyyppin ryhmän yhtä uhanalaisemmalle tai uhanalaisemmalle luontotyyppille (Kujala 2024: 3–4). Jos vastaavaa ei ryhmästä löydy, hyvityksenä voidaan hyväksyä samaan pääryhmään kuuluvan luontotyyppi uhanalaisuussäännön ja parhaan tieteellisen tiedon mukaan (933/2023 5 §).

2.3.3. Ajallisuus ja pysyvyys

Keskeinen ja erittäin tärkeä asia kompensaatiossa on myös hyvityksen ajallisuus ja sen pysyvyys. Eli kuinka pysyviä hyvityksien tulee olla ja missä vaiheessa kompensatioita tulee harkita. Ajallisuuden kannalta merkittävää on se, että ekologisen tilan parantaminen voi viedä jopa vuosikymmeniä (Moilanen & Kotiaho 2018: 115). On siis tärkeää, että kompensatiota ja lieventämishierarkian muita vaiheita mietitään jo hankkeen esisuunnitteluvaiheessa. Myös luonnonsuojelulaissa (LSL 9/2023 102 §) ajallisuus on määritelty seuraavasti: ”Ennen heikentävien toimenpiteiden aloittamista on toteutettava toimenpiteet, joilla luodaan edellytykset tavoitellun tilan saavuttamiselle (perustavat toimenpiteet). Tarvittaessa on toteutettava toistuvat, tavoitellun tilan saavuttamisen edellyttämät hoitotoimenpiteet.”. Lisäksi 102 §: ssä on maininta siitä, että suojeluhyvitys on aina toteutettava ennen heikennystä. Eli toimenpiteiden ajallisuus on suunniteltava huolellisesti.

Gardner ym. (2013: 1259) mukaan on erittäin tärkeää, että hyvityksen hyödyt ovat pysyviä ja kestävät yhtä kauan kuin heikennyksistä aiheutuneet haitat. Kompensoinnin toteuttajan on siis otettava pitkäaikainen vastuu ekologisen kompensaation toteuttamisesta ja onnistumisesta. Myös laskennallisesti epävarmuustekijät ja riskit otetaan huomioon kompensaation määrän määrittelyssä muun muassa kertoimien avulla (Moilanen & Kotiaho 2018: 115).

2.4 Ekologinen kompensatio ratahankkeissa

Ekologista kompensatiota on pyritty soveltamaan ratahankkeisiin jo muissa maissa. Muun muassa Rail Baltica -hankkeessa kompensatiota pyritään toteuttamaan parantamalla ja palauttamalla metson elinympäristöjä (Rail Baltica 2024a). Rail Baltica hankkeen tavoitteena on yhdistää Baltian maat osaksi eurooppalaista ratainfrastruktuuria (Rail Baltica 2024b). Rail Baltican (2024a) mukaan ratalinjausta suunnitellaan Virossa alueelle, jossa elää noin 2 % Viron metsopopulaatiosta. Hanke vaikuttaa merkittävästi kyseisiin metsopopulaatioihin, joita eteläisessä Pärnumaassa on hankkeen mukaan vain 45–60 yksilöä. Metsojen elinympäristöjen ennallistaminen toteutetaan Rail Baltican mukaan kahdelle eri alueelle, Häädemeesten ja Saarden alueille yhteensä 350 hehtaarin edestä. Ennallistaminen kohdistetaan alueiden kosteikkojen ja vesistöjen luonnontilan palauttamiseen.

Myös Englannissa on toteutettu kompensatioita East West Rail -nimisessä hankkeessa. East West Rail -hankkeen mukaan (East West Rail 2020) noin 100 hehtaaria uusia elinympäristöjä on muodostettu kompensoimaan hankkeen vaikutuksia lajistoon. Näille kompensatioalueille on hankkeessa muun muassa istutettu noin 136 000 puuta sekä uudelleenistutettu niittyjä ja luontaista kasvillisuutta, kuten orkideoita. Lisäksi hankkeessa on ratalinjauksen läheisyyteen pystytetty lepakoille lepakkotalo sekä keinotekoisia luolastoja mäyrille.

Suomessa ekologisen kompensatian laskentaa on suoritettu muun muassa Suomirata hankkeessa, jonka tarkoituksena oli muodostaa uusi ratayhteys Helsingistä Helsinki-Vantaan lentoaseman kautta Tampereelle (Suomi-rata Oy 2022). Ratayhteyden suunnittelu keskeytettiin Petteri Orpon hallituksen päätöksellä vuonna 2023 lukuun ottamatta Lentorata-osuutta (Lentorata 2023). Suomiradan ekologisen kompensatian laskenta toteutettiin BOOST-hankkeen laskureilla paikkatiedon avulla (Rauhala ym. 2023). Selvityksen mukaan Suomiradan hankkeessa varovaisuusperiaatteet huomioon ottaen olisi täytynyt kompensoida noin 4000 hehtaaria metsää ja soita vastaavasti 420,6 hehtaaria.

Usein kompensatioyritykset ovat olleet ratahankkeissa vain osittaisia kompensatioita tai vähäisiä suhteessa hankkeiden määrään. Muun muassa Ruotsissa on havaittu, että rata- ja tiehankkeissa kompensatio kohdistuu yleensä pieniin habitaattialueisiin, kuten esimerkiksi lampiin, eikä koko haitalle (Persson ym. 2015). Myös tässä osiossa esitetyn Rail Baltican toimet kohdistuvat vain metsopopulaatioiden ennallistamiseen, eikä ennallistamistoimissa ole huomioitu muita luontoarvoja, kuten luontotyyppejä tai muita lajiryhmiä. Ratahankkeiden kompensatioita

onkin niiden laajuuden takia hankala toteuttaa, sillä ne usein vaativat suuria määriä kompensatioita, kuten Suomiradan tapauksessa on käynyt.

2.5 Ekologisen kompensaation laskennan periaatteet

Tässä tutkielmassa ekologisen kompensaation laskenta toteutetaan BOOST-hankkeessa kehitettyä laskentatyökalua hyödyntäen. Ekologisen kompensaation laskentatyökalu on kehitetty BOOST-hankkeen ja Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) yhteistyönä Ekologisen kompensaation pilotointi -hankkeessa (BOOST for biodiversity offsets 2023). BOOST-hankkeen laskentatyökalusta ei ole vielä teknistä kuvausta olemassa, mutta ekologisen kompensaation laskennan perustaa on käsitelty useammassa hankkeessa ja tutkimuksessa (esim. Kujala ym. 2024; Kujala ym. 2021). Tässä tutkielmassa ekologisen kompensaation laskennan kuvaukseen on pääosin käytetty ympäristöministeriön asetusta vapaaehtoisesta ekologisesta kompensaatiosta 933/2023. Muita tieteellisiä lähteitä, jotka käsittelevät kompensaatioiden laskentaa ja eivätkä liity Suomen lakiin tai asetukseen, ei ole tässä osiossa huomioitu, sillä ne poikkeavat osittain uudesta kompensatioasetuksesta ja luonnonsuojelulaista.

Tavoitteena kompensaatiossa voi olla kokonaisheikentymättömyys tai kokonaisparanema (2024: 1). Tämä vaikuttaa hyvityksen määrään ja siten kompensaation laskentaan. Kun tavoitteena on kokonaisheikentymättömyys, hyvitys on yhtä suuri kuin heikennys, kun taas jos tavoitteena on kokonaisparanema, hyvitys on suurempi kuin heikennys (Kujala ym. 2021). Kujalan ym. (2021) mukaan tavoitetila lausekkeessa tarkastellaan kertoimen K avulla:

$$\text{Hyvitys} = \text{Heikennys} * K.$$

Mikäli tavoitteena on kokonaisheikentymättömyys, on Kujalan ym. mukaan kerroin 1. Jos tavoitteena on kokonaisparanema, on kerroin suurempi kuin 1.

Seuraavaksi laskennassa arvioidaan heikennyksen suuruus. Heikennyksen suuruutta laskiessa laskennassa täytyy huomioida niin suorat kuin epäsuoratkin vaikutukset (Moilanen 2023). Heikennyksen ja hyvityksen suuruuden mittaamisen käytetään kompensatioasetuksen (933/2023 3 §) mukaan luonnonarvohehtaarin käsitettä. Ympäristöministeriön (2023) kompensatioasetuksen esittelymuistiossa tarkennetaan, että luonnonarvohehtaarilla tarkoitetaan asetuksessa samaa kuin

alan kirjallisuudessa usein esiintyvät käsitteet habitaattihehtaari tai luontotyyppihehtaari. Habitaattihehtaarin laskentatapaa käytetään usein ekologisen kompensaation haitan ja hyvityksen mittaamiseen, sillä se antaa laajan arvion alueen luonnontilaisuudesta tai biologisen monimuotoisuuden tilasta (Quétier & Lavorel 2011: 2994).

Laskennassa luonnonarvohehtaari lasketaan seuraavasti (Kujala 2024: 4):

$$\text{Luonnonarvon pinta} - \text{ala} * \text{Luonnonarvon ekologinen tila}$$

Luonnonarvon ekologinen tila arvioidaan kompensaatioasetuksen 2 § mukaan välillä 0–1. Luontotyypin tilan arviointi tulee suorittaa kompensaatioasetuksen liitteessä 1 osoitettujen luontotyyppien piirteiden painotettuna keskiarvona, jossa tärkeimpien piirteiden painoarvo on kaksinkertainen (933/2023 2§). Asetuksen mukaan alin luokka eli 0 on luonnontilansa täysin menettänyt alue ja luokka 1 on luonnontilainen tai luonnontilaiseen verrattava alue. Ekologinen tila välillä 0–1 arvioidaan asetuksen mukaan kymmenesosan tarkkuudella. Siten, jos luonnonarvo on ekologiselta tilaltaan esimerkiksi 0,7 ja luonnonarvoa on alueella hehtaarin verran, on luonnonarvohehtaari 0,7 (1 ha * 0,7 = 0,7 luonnonarvohehtaaria).

Luonnonarvohehtaarien laskemisessa täytyy vielä huomioida uhanalaisuus. Laskennassa määritellään uhanalaisille luonnonarvoille kerroin, joka nostaa lopullisten luonnonarvohehtaarien määrää (Pappila ym. 2023: 198). Kompensaatioasetuksen mukaiset uhanalaisuuskertoimet löytyvät alla olevasta taulukosta (Taulukko 2).

Taulukko 2. Uhanalaisuuskertoimet kompensaatioasetuksen (933/2023) 3 § mukaan.

Uhanalaisuusluokka	kerroin
Äärimmäisen uhanalainen luontotyyppi	1,52
Erittäin uhanalainen luontotyyppi	1,14
Vaarantunut luontotyyppi	1,03
Äärimmäisen uhanalainen eliölaji	8
Erittäin uhanalainen eliölaji	1,4
Vaarantunut eliölaji	1,03

Uhanalaisuuskerroin huomioidaan kertomalla saatu heikennyksen määrä uhanalaisuuskertoimella (933/2023 3 §). Siten heikennyksen määrä tullaan laskemaan kompensatioasetuksen 3 § mukaan seuraavasti:

Heikennettävän alueen luonnonarvojen muutos arvioidaan luonnonarvohehtaareina kertomalla kunkin luonnonarvon 2 §:n mukaisesti arvioidun tilan ja heikentävien toimenpiteiden seurauksena muodostuvan tilan erotus heikentyvän luonnonarvon pinta-alalla. Heikennettävän luonnonarvon uhanalaisuus huomioidaan kertomalla arvioitu heikennyksen määrä uhanalaisuuskertoimella, - -.

Tästä saatava lauseke on muotoa:

$$\textit{Heikennys} = (\textit{Luonnonarvon tila} - \textit{Heikentävien toimenpiteiden muodostama tila}) * \textit{Heikentyvän luonnonarvon pinta - ala} * \textit{Uhanalaisuuskerroin}.$$

Heikennyksen laskennan jälkeen lasketaan hyvitykseen vaadittava määrä luonnonarvohehtaareja. Luonnontilan muutoksen arviointia hyvitysalueella suoritetaan samalla luonnonarvohehtaariperiaatteella kuin heikennyksen laskemisessakin. Eli tuotettavat luonnonarvot lasketaan seuraavasti (933/2023 4 §):

$$\textit{Toimenpiteillä sekä suojelehyvityksellä tuotetun tilan muutos alueella} * \textit{Muutoksen pinta - ala}.$$

Tilan muutos lasketaan asetuksen mukaan ennen toimenpiteitä tai suojeleä, arvioidun luonnontilan ja tavoiteltavan luonnontilan erotuksena. Siten hyvityksen laskemisen lauseke on seuraava:

$$\textit{Hyvitys} = (\textit{Luonnontila ennen} - \textit{Tavoiteltu luonnontila toimenpiteillä ja suojelella}) * \textit{Muutoksen pinta - ala}.$$

Tavoiteltu luonnontila perustuu Kujalan (2024: 11) mukaan olemassa olevaan tieteelliseen tietoon luonnonarvon vasteesta suunniteltuihin toimenpiteisiin.

Ekologisen kompensaation laskennan periaatteet siis perustuvat heikennys- ja hyvitysalueiden laskentaan, joka pohjautuu tämänhetkiseen luonnonsuojelulakiin ja asetukseen. Kompensaation alussa määritetään, onko kompensaatio kokonaisheikentymätöntä vai kokonaisparantavaa. Tämä määrittää sen onko hyvitys suurempaa kuin heikennys. Sitten lasketaan heikennyksen määrä laissa ja asetuksessa esitettyjä periaatteita käyttäen, jonka jälkeen tiedetään, kuinka suuri alue luonnonarvohehtaareita alueelta tuhoutuu. Heikennyksen määrän laskemisen jälkeen lasketaan vaadittavan hyvityksen määrä habitaattihehtaareina. Hyvitysalueen habitaattihehtaarien täytyy joko vastata heikentymän määrää (kokonaisheikentymättömyys) tai olla suurempia kuin heikentymän määrä, jolloin kompensaatio olisi nettopositiivista.

3 Soveltuvuusanalyysi

Soveltuvuusanalyysi on paikkatietomenetelmien joukko, jonka avulla voidaan tunnistaa soveltuvimpia alueita jonkin toiminnon sijoittamiselle (Collins ym. 2001: 611). Soveltuvuusanalyysiä on käytetty monissa erilaisissa konteksteissa. Tätä menetelmää on esimerkiksi käytetty usein maankäytön suunnitteluun (Malczewski 2004), potentiaalisten viheryhteyksien etsimiseen (Miller ym. 1998) sekä muun muassa eliölajien habitaattien kartoitukseen (Store & Jukkamäki 2003). Lisäksi soveltuvuusmallinnuksen periaatteita, erityisesti habitaattien soveltuvuusmallinnusta, on käytetty muutaman kerran myös ekologisen kompensaation kontekstissa (esim. Meineri ym. 2015, Clauzel & Godet 2020). Soveltuvuusmallinnus tässä kontekstissa on kuitenkin vasta alkutekijöissään.

Soveltuvuusmallinnus sisältää useita eri menetelmätyyppejä. Soveltuvuusanalyysi ei siis ole vain pelkkä yksi menettelytapa vaan se kattaa sisälleen useampia eri metodeja. Nämä menetelmätyypit voidaan jakaa overlay-menetelmiin, monikriteerisiin arviointimenetelmiin sekä tekoälymenetelmiin (Malczewski 2004: 32).

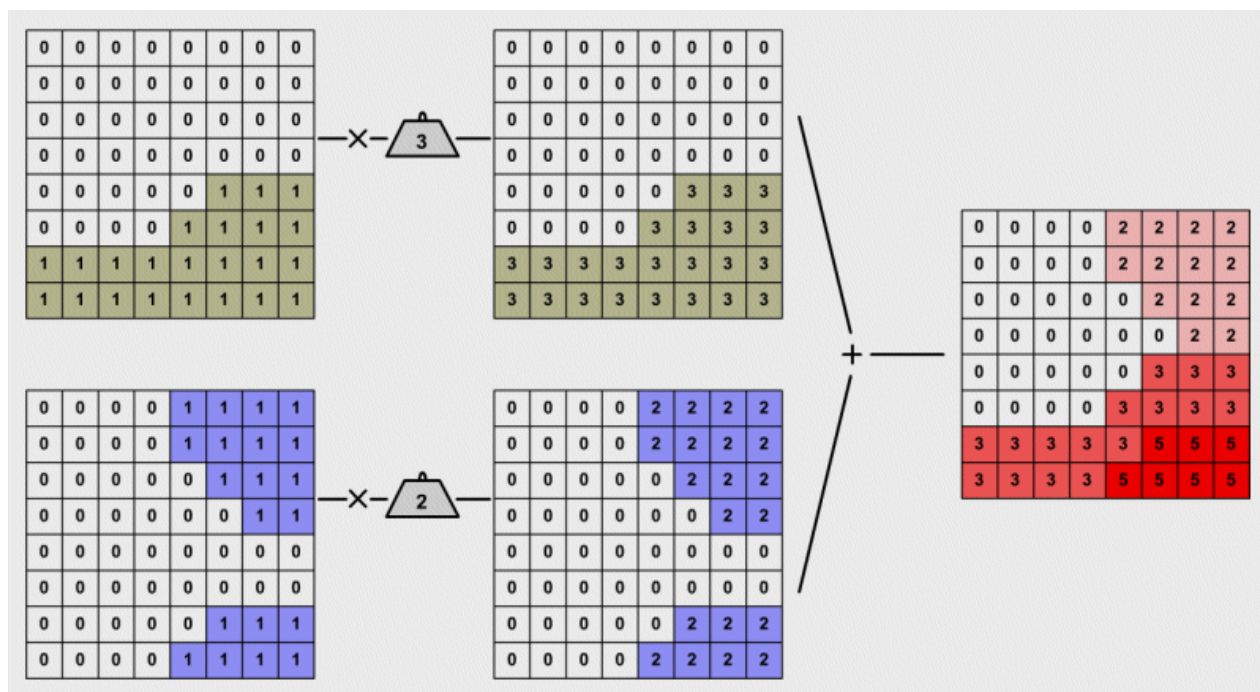
3.1 Overlay-menetelmät

Paikkatietopohjaisen soveltuvuusanalyysin juuret juontavat Malczewski (2004: 32) mukaan 1800-luvun loppupuolelle ja 1900-luvun alkuun, jolloin amerikkalaiset maisema-arkkitehdit hyödynsivät käsin piirretyillä kartoilla niin sanottua kerrostus- eli overlay-tekniikkaa maankäytön suunnittelussa. Tarkemmin overlay-soveltuvuusanalyysin menetelmänä kehittyi Malczewskin mukaan 60-luvun lopulla, kun McHarg kehitti siitä virallisen manuaalisen kartografisen menetelmän. Tämän jälkeen tietokoneilla tehtävät mallinnukset kehittyivät osaksi soveltuvuusanalyysiä.

Käsin tehtynä overlay-mallinnus on yksinkertaisimmillaan karttatasojen päällekkäisyyttä, joista sitten on väritetty karttaa väriskaalalla soveltuvuuden mukaan (Malczewski 2004: 32). Tietokonemallinnuksissa taas karttatasojen ”päällekkäisyyttä” tarkastellaan vektori- tai rasteridatan avulla. Overlay-mallinnuksessa usein tyypillistä on ollut soveltaa joko boolean operaattoreita tai Weighted Linear Combination (WLC) menetelmää (Malczewski 2004: 32). Boolean menetelmä vaatii, että muuttujat yhdistellään toisiinsa loogisilla operaattoreilla AND ja OR, jolloin kaikki muuttujat ovat soveltuvuusanalyysissä yhtä tärkeitä ja ne saavat analyysissä saman painoarvon (Romano ym. 2015: 134). Boolean logiikkaa pidetään kuitenkin hieman ongelmallisena menetelmänä soveltuvuuden muodostamiseen. Operaattori AND sulkee tiukasti alueen pois, jos yksikin kriteeri ei saavuta kynnyсарvoa, kun taas OR operaattori valitsee alueen liian herkästi mukaan, jos yksikin kriteeri saavuttaa kynnyсарvon (Jiang & Eastman 2000: 174). Näitä ongelmia voidaan välttää painottamalla muuttujia eri tavoin ja WLC-menetelmä on niistä kenties tunnetuin.

WLC-menetelmä tai weighted overlay, pyrkii pääsemään eroon boolean operaattorin liiallisesta ehdottomuudesta. WLC:n toiminta perustuu standardisoituun numeeriseen asteikkoon ja painotettuun keskiarvoon (Romano ym. 2015: 134). Laskennassa muuttujille asetetaan painoarvo niiden suhteellisen tärkeyden mukaan, jolloin kokonaispistemäärä saadaan kertomalla kullekin ominaisuudelle annettu tärkeysaste skaalatulla arvolla ja tämä lasketaan kaikille vaihtoehtoisille yhdistelmille (Malczewski 2004: 35). Vaihtoehto, joka saa suurimman kokonaispisteytyksen, valitaan. WLC-mallinnuksessa yhden kriteerin korkea pistemäärä voi siten kompensoida alhaisia pistemääriä toisessa ominaisuudessa (Jiang & Eastman 2000: 174). Siten alue saattaa valikoitua toiminnolle soveltuvaksi, vaikka kaikki valitut kriteerit eivät ehdottomasti täyty alueella. WLC-mallinnuksen voidaan ajatella olevan osa myös monikriteerisiä

arviointimenetelmiä, vaikkakin se hyödyntää overlay-tekniikkaa. Weighted overlay toimii vektorija rasterimuotoisena. Esimerkki weighted overlayn toiminnasta rasterimuotoisella aineistolla havainnollistaa tarkemmin menetelmän toiminnan (Kuva 1). Kuvassa ylempi kriteeri saa painoarvon kolme, kun taas alempi kriteeri saa painoarvon kaksi, jonka jälkeen soveltuvuusasteet lasketaan yhteen. Yhteenlasketuista pisteistä muodostuu soveltuvuuspinna, jossa suurimmat pisteet saanut alue on soveltuvinta tarkasteltavalle toiminnalle.



Kuva 1. Esimerkki weighted overlaysta rasterimuotoisella aineistolla. Kuva: Geographic Information Training Alliance (2013).

3.2 Monikriteeriset arviointimenetelmät

Monikriteeriset arviointimenetelmät (*Multicriteria Decision Making Methods*), lyhenteeltään MCDM, ovat menetelmiä, jota käytetään monipuolisesti eri tieteenaloissa. GIS-pohjaiset monikriteeriset arviointimenetelmät voidaan yksinkertaisemmillaan ajatella eräänlaisena prosessina, joka muuntaa ja yhdistää spatiaalista tietoa ja arvoja, jotka kuvaavat analyysin tekijän ”mieltymyksiä” (Malczewski 2006: 703). Analyysiin käytettävät päätössäännökset voidaan

jakaa monioobjektiiviseen (*Multiobjective*) ja moniattribuuttiseen (*Multiattribute*) päätöksenteon menetelmiin. Monioobjektiiviset menetelmät perustuvat matemaattisiin ohjelmointimalleihin, kun taas moniattribuuttiset menetelmät perustuvat käytettävään dataan (Malczewski 2004: 33).

Monioobjektiiviset menetelmät ovat matemaattisia algoritmeja, joita voidaan hyödyntää myös soveltuvuusmallinnuksen kontekstissa. Soveltuvuusmallinnukseen on muun muassa hyödynnetty lineaarista sekä heuristista algoritmia (Malczewski 2004:34). Nämä menetelmät eivät kuitenkaan ole kovin suosittuja tapoja tehdä soveltuvuusmallinnusta. Malczewskin (2004: 34) arvelee, että suurin syy niiden käyttämättömyydelle on laskennan monimutkaisuus ja työläys. Siksi moniattribuuttiset menetelmät ovat soveltuvuusanalyysin kontekstissa huomattavasti suosittumpia menetelmiä.

Multiattribuutti-menetelmiin voidaan lukea muun muassa jo aiemmin esitetty WLC, Ordered Weighted Averaging (OWA) ja Analytical Hierarchy Process (AHP). Ordered Weighted Averaging kehittyi, kun huomattiin, että WLC:ssä käytetty lineaarinen skaalaus ei aina joissain tapauksissa toiminut, vaan tarpeen oli myös joskus skaalata arvoja ei-lineaarisesti (Jiang & Eastman 2000: 174). Lisäksi Jiang & Eastmanin mukaan päätöksiin kytkeytyvä riski (eli riski että tehty valinta on väärä), on WLC-menetelmässä vaikeaa arvioida stokastisilla menetelmillä. Näitä ongelmallisuuksia korjaamaan Jiang ja Eastman kehittivät OWA-metodin. OWA-menetelmässä kriteerit saavat kaksi eri painotusta: tärkeys-painotuksen ja järjestyspainotuksen (Malczewski 2004: 35). Tärkeys-painotuksella viitataan Jiang ja Eastmanin (2000: 179) mukaan kriteeripainotukseen, jotka koskevat tiettyjä kriteerejä analyysissä. Heidän menetelmässään järjestyspainotus taas lisätään, kun kyseiset kriteerit on arvoitettu ja niille on annettu tärkeys-painotus.

Analytical Hierarchy Process eli AHP:tä, on myös hyödynnetty paljon GIS-pohjaisessa monikriteerisessä arvioinnissa. AHP on matemaattinen menetelmä, joka perustuu parivertailuun ja jota käytetään sitten kriteerien painotukseen (Collins ym. 2001: 615). AHP-menetelmää voidaan hyödyntää GIS-ympäristössä kahdella eri tavalla. Ensimmäisenä sitä voidaan käyttää kriteerien painotukseen, jossa painotus lasketaan mieltymysmatriisin avulla, jossa vertaillaan keskenään kaikkia tunnistettuja olennaisia kriteerejä keskenään käyttämällä preferenssitekijöitä (Romano ym. 2015: 134). Toisena sen avulla voi koota prioriteetteja kaikille hierarkian tasoille, mukaan lukien vaihtoehtoja edustavalle tasolle (Borouhaki & Malczewski 2008: 400).

Borouhaki ja Malczewski (2008: 400–402) myös avaavat AHP-menetelmän vaiheet artikkelissaan. Ensimmäisenä AHP-mallinnuksessa päätösongelma hajotetaan hierarkiaksi, joka

koostuu kaikista ongelman tärkeimmistä elementeistä. Huippu on päätöksen perimmäinen tavoite hierarkiassa, ja alemmas hierarkiassa mentäessä ongelmaa tarkennetaan yleisestä tavoitteesta kohti spesifimpiä ongelman elementtejä kohti. Sen jälkeen toteutetaan elementtien parivertailu, jossa edetään hierarkiassa ylhäältä alaspäin. Parivertailu vähentää ongelmanratkaisun monimutkaisuutta sillä vain kahta komponenttia harkitaan kerrallaan. Parivertailun jälkeen kriteereille lasketaan painotukset niiden tärkeyden mukaan.

3.3 Tekoälymenetelmät

Tekoälyn kehityksen myötä myös sitä on pyritty hyödyntämään soveltuvuusanalyysin kontekstissa. Tekoälymenetelmiä on useita ja soveltuvuusanalyseissä on sovellettu muun muassa sumeaa logiikkaa, geneettisiä algoritmeja ja neuroverkostomenetelmiä (Malczewski 2004).

Sumea logiikka (Fuzzy logic) on laajennus binäärilogiikasta, jonka avulla on mahdollista määritellä dataa ilman selkeitä rajoja (Zadeh 1965 Malczewski 2004: 38 mukaan). Binäärilogiikassa arvo on joko nolla tai yksi, mutta sumeassa logiikassa muuttujat voivat saada arvoja myös niiden väliltä (Montgomery & Dragičević 2016; Malczewski 2004: 38), jolloin kriteeri voi täytyä osittain.

Geneettiset algoritmit ovat hakumenetelmä, joka perustuu Darwinin teoriaan luonnonvalinnasta (Collins 2001: 617). Siinä käyttökelpoiset ratkaisut ”kilpailevat jälkeläisten lisääntymisestä” luonnonvalinnan periaatteiden mukaan ja jäljelle jääneet ratkaisut ovat optimaalisimmat ratkaisut ongelmaan (Zhou & Civco 1996: 1289). Neuroverkostomenetelmät perustuvat taas ihmisten aivorakenteeseen (Malczewski 2004: 39). Neuroverkostomenetelmää harjoitetaan omalla datalla, josta neuroverkosto oppii halutun toiminnon (Collins 2001: 616). Tarkemmin datan avulla opetetaan neuroverkostolle haluttu lopputulos, jonka myötä se oppii löytämään datan välillä olevia yhteyksiä (Malczewski 2004: 39).

Esimerkiksi Sachit ym. (2022) hyödynsivät tekoälyä aurinkovoimaloiden ja maatuulivoimaloiden globaalissa soveltuvuusmallinnuksessa. He hyödynsivät tutkimuksessa erityisesti koneoppimismenetelmiä ja menetelmän lopputuloksen arviointiin he käyttivät selitettävän tekoälyn menetelmää (XAI).

3.4 Weighted overlay -soveltuvuusanalyysin eteneminen

Tämä kappale käsittelee weighted overlay -tyyppisen soveltuvuusmallinnuksen etenemisen pääpiirteittäin. Soveltuvuusanalyysin ensimmäisenä vaiheena voidaan pitää tutkimuksen tavoitteen määrittelyä (Al Salah 2023). Tutkimuksen tavoitteen määrittely on tärkeä vaihe sillä, se määrittää kaikkia analyysin seuraavia vaiheita. Tavoitteen määrittämisen jälkeen mietitään soveltuvuusanalyysissä käytettävät kriteerit (Al Salah 2023; The general suitability modeling workflow 2024). Kriteerit valitaan olemassa olevan tieteellisen tiedon tai asiantuntijuuden avulla (Store & Kangas 2001: 82). Lisäksi kriteerien valinnassa voi konsultoida erilaisia sidosryhmiä, kuten Atici ym. (2015) tekivät tutkiessaan tuulipuiston sijoittamista.

Seuraavana kriteerien arvot tulee yhdenmukaistaa standardisoimalla kriteerien arvot soveltuvuus pisteytyksen saamiseksi (Al Salah 2023, The general suitability modeling workflow 2024). Tätä standardisointia voidaan tehdä muun muassa käyttämällä jatkuviin muuttujiin erilaisia funktioita (Malczewski 2011), kuten esimerkiksi lineaarista funktiota, Gaussin käyrää, logaritmia tai eksponenttifunktiota (Rescale by Function 2024). Standardisoinnin jälkeen kriteereille valitaan vielä painotukset.

Painotusten päättämiseen voidaan hyödyntää tässä tutkielmassa aiemmin esiteltyjä metodeja kuten esimerkiksi AHP-menetelmää. Lisäksi painotuksia voidaan valita myös asiantuntijuuden (joko tutkijan omaa tai sidosryhmän) ja/tai aiempien tutkimuksien perusteella. Muun muassa Malczewski ym. (2003) hyödynsivät painotuksien selvittämiseen sidosryhmän konsultointia tutkimuksessaan vesistöalueiden kunnostuksien kehittämisestä. Painotus toteutetaan lopullisesti kertomalla standardisoitu kriteeri halutulla painotuksella (ks.Kuva 1).

Soveltuvuuskartan muodostamista varten standardoidut kriteerit ja niiden painotukset lasketaan yhteen (The general suitability modeling workflow 2024). Pisteytys lasketaan jokaiselle rasterisolulle tai alueelle, jos kyseessä on vektoriaineisto. Korkea pisteytys kertoo korkeasta soveltuvuudesta, ja matala pisteytys huonosta soveltuvuudesta (Al Salah 2023). Pisteytys voidaan esittää visuaalisesti soveltuvuuskartalla esimerkiksi väriskaalalla ja visualisoinnin avulla voikin helposti tarkastella soveltuvuuden toteutumista halutulla tarkastelualueella.

Soveltuvuuskartan muodostamisen jälkeen, voidaan tehdä soveltuvien alueiden etsintä. Tämä niin sanottu ”site search analysis” tehdään, jos tutkimuksessa ei ole vielä määritetty toisiinsa verrattavia ehdokasalueita toiminnolle (Malczewski 2004: 5). Soveltuvuusalueiden etsinnässä

käytetään apuna määritettyjä spatiaalisia ominaisuuksia, kuten esimerkiksi kokoa, muotoa ja jatkuvuutta (Malczewski 2006: 707). ArcGIS pro:ssa alueiden etsintä toteutetaan Locate regions -toiminnon avulla, joka perustuu parameterized region-growing (PRG) -algoritmiin (Locate Regions (Spatial Analyst) 2024). Brookesin (1997) kehittämä menetelmä toimii siten, että se kasvattaa potentiaalista aluetta etsiessään rasterisolukkoa aina solu kerrallaan.

PRG-menetelmä perustuu geneettiseen algoritmiin. Se on Brookesin (1997) kehittämä algoritmi, joka yhdistää yksinkertaisen alueiden kasvatuksen (*simple region growing*) ja parametrisoidun muodon kasvatuksen (*parameterized shape growing*). Simple region growing kasvattaa solukkoa valitsemalla aina naapurisolun, jolla on korkein soveltuvuus, kun taas parameterized region growing taas valitsee naapurisolun, joka vaikuttaisi haluttuun muotoon parhaiten (Brookes 1997: 203). Brookesin PRG-menetelmä yhdistää nämä pisteytykset ja muodostaa siten potentiaalisen alueet soveltuvuusmallinnuksesta. Se siis käyttää kolmea parametria: alueen koon parametria, muodon parametria ja näiden kahden suhteellisen tärkeyden parametria (trade-off).

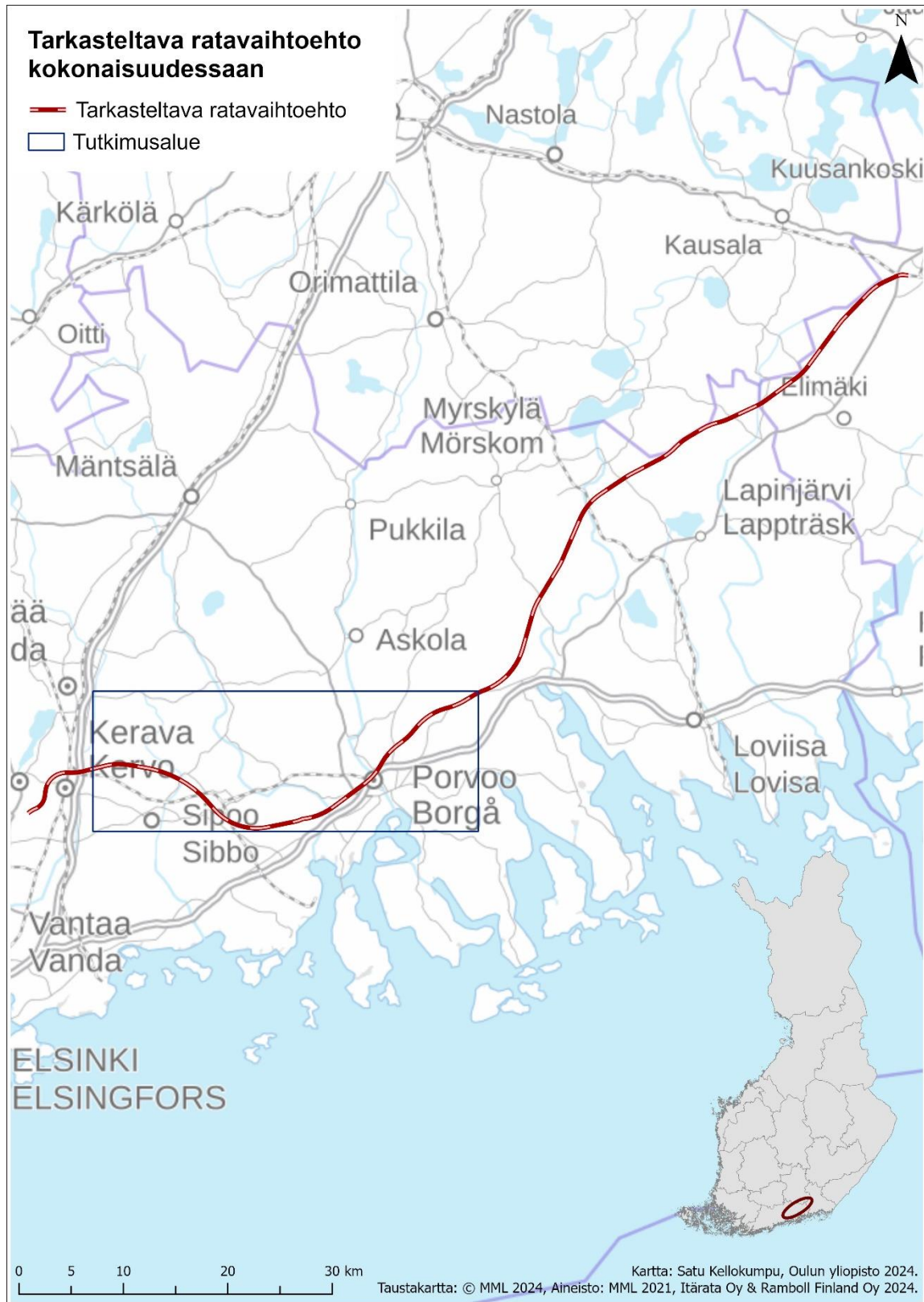
Kaiken tämän jälkeen on viimeinen vaihe eli soveltuvuusmallin arvioiminen (Miller ym. 1998). Soveltuvuusmallin onnistumista on aina tärkeä arvioida, jotta tiedetään miltä osin mallinnus onnistunut ja onko mallinnuksessa esiintynyt erityisiä heikkouksia. Soveltuvuusmallin arviointia voi myös tehdä eri tavoin, esimerkiksi Miller ym. (1998) pyysivät kolmea viheryhteyksiin perehtynyttä asiantuntijaa arvioimaan soveltuvuusmallinnuksensa tuloksia. Baroudy (2016) taas vertasi paikkatietopohjaisen soveltuvuusmallinnuksensa tuloksia kahteen muuhun soveltuvuuden mallinnustapaan.

Kokonaisuudessaan weighted overlay -tyyppinen soveltuvuusanalyysi etenee seuraavien vaiheiden mukaisesti (Miller ym. 1998; Al Salah 2023; The general suitability modeling workflow 2024):

1. Tutkimuksen tavoitteen määrittely
2. Kriteerien määrittely
3. Kriteerien arvojen skaalaus (yhdenmukaistaminen)
4. Kriteerien painotuksen määrittely
5. Kriteerien yhdistäminen soveltuvuuskartan muodostamiseksi
6. Soveltuvien alueiden etsintä
7. Soveltuvuusmallin arvioiminen

4 Tarkasteltava rataosuus ja sen ympäristö

Esimerkkitapaus liittyy Itärata-hankkeeseen, jonka tavoitteena on uusi nopean henkilöliikenteen rata Lentoradalta Porvoon kautta Kouvolaan, joka parantaisi raideyhteyksiä koko itäiseen Suomeen. Ratalinjaus sijoittuu Uudenmaan ja Kymenlaakson maakuntien alueelle (Kuva 2). Tarkasteltava ratalinjaus kulkee lännessä ympäristövaikutusten arvioinnin linjausvaihtoehdon Sähköaseman eteläinen mukaan, jatkuen kohti Porvoota Kuninkaanportin linjausvaihtoehdon mukaisesti. Ympäristövaikutusten arvioinnin edetessä muutokset ratalinjauksiin ovat mahdollisia, mistä johtuen tämän tutkielman ratalinjauksissa saattaa olla pieniä eroja verrattuna käynnissä olevaan ympäristövaikutusten arviointiin. Tutkimusalue on rajattu tutkielmassa tarkemmin välille Sipoo-Porvoo, jotta hyvitys- ja haittalaskentoihin vaadittavat manuaalisesti tehtävät valmistelutyöt pysyisivät työmäärältään kohtuullisena ja jotta soveltuvuusanalyysin kokeilu olisi siten helpommin toteutettavissa.



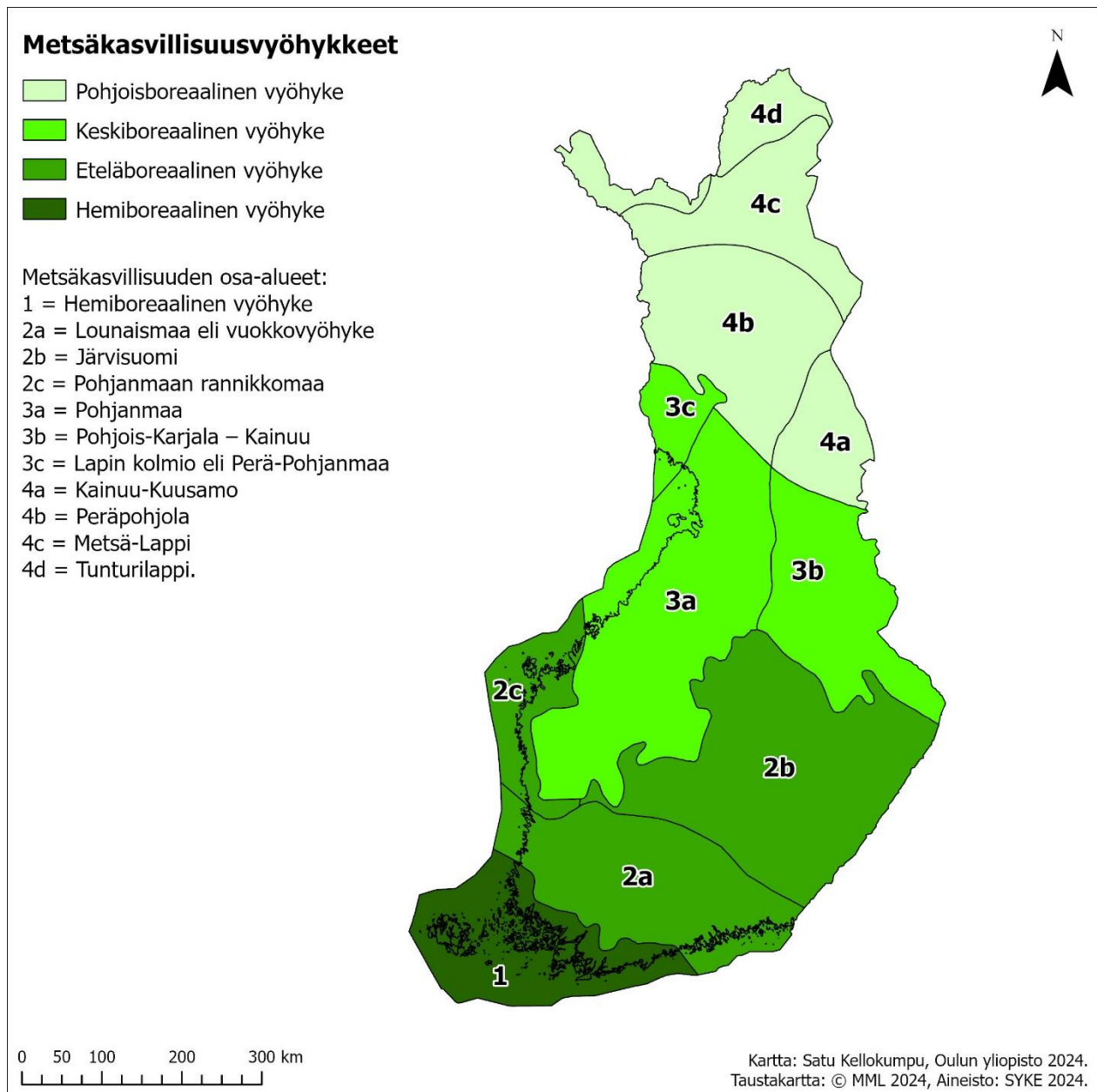
Kuva 2. Tarkasteltava ratalinjaus kokonaisuudessaan.

Tutkimusalue on rajattu välille Sipoo-Porvoo (Kuva 3). Pituutta tutkittavalle ratalinjaukselle tulee noin 43 kilometriä. Ratalinjauksen leveytenä käytetään tässä tutkimuksessa 65 metriä, josta 35 metrin leveydeltä ratalinjan läheisyydestä oletetaan kasvillisuuden poistuvan täysin. Loput 30 metriä ratalinjauksen leveyttä ovat suojavyöhykettä, joista kasvillisuus poistuu vain osittain. Tutkimusalueen pinta-ala on yhteensä noin 278,81 hehtaaria.



Kuva 3. Tutkimusalueen rajaus välille Sipoo-Porvoo.

Luonnonsuojelulain 101 § mukaan hyvittävät toimenpiteet on tehtävä samalla metsäkasvillisuusvyöhykkeen osa-alueella. Metsäkasvillisuusvyöhykkeeltään tarkasteltava alue kuuluu eteläboreaaliseen vyöhykkeeseen, tarkemmin vielä eteläboreaaliseen lounaismaahan eli vuokkovyöhykkeelle (Kuva 4). Hyvittävien toimenpiteiden etsiminen täytyy siis toteuttaa samalle metsäkasvillisuuden osa-alueelle, joten soveltuvuusanalyysi rajataan koskemaan eteläboreaalista lounaismaata.



Kuva 4. Metsäkasvillisuusvyöhykkeet ja niiden osa-alueet.

Ekologisen kompensaation laskennan yhteydessä alueelle tehtiin paikkatietotarkastelua, jossa tarkastettiin alueelle sijoittuvat arvokkaat luontoalueet ja -kohteet. Tarkemmassa paikkatiedoin tehdyssä tarkastelussa tutkimusalueelle ei sijoittunut luonnonsuojelualueita tai luonnonsuojeluohjelma-alueita. Natura 2000 -alueista tutkimusalueelle sijoittui Sipoonjoen Natura-alue (SAC, FI0100086). Alueelle ei sijoittunut myöskään perinnebiotooppeja, arvokkaita pienvesiä tai valtakunnallisesti arvokkaita kallioita, kivikoita, moreenimuodostumia tai tuuli- ja rantakerrostumia.

Tutkimusalueelle sijoittuu Metsäkeskuksen paikkatietoaineiston mukaisia arvokkaita elinympäristöjä sekä Suomen ympäristökeskuksen LuTU2018-aineiston mukaisia luontotyyppiä. LuTU2018 mukaisista metsien erikoistyypeistä alueella esiintyy kalliometsää, joka on uhanalaisuusluokaltaan Etelä-Suomessa silmälläpidettävä (NT). Lisäksi LuTU2018 aineiston mukaan rata-alueelle sijoittuu kolme lähteikköä, jotka ovat uhanalaisuusluokitukseltaan Etelä-Suomessa vaarantuneita (EN). Alueelle sijoittuu myös karuja kalliotierasammalkallioita, jotka ovat Etelä-Suomessa uhanalaisuusluokaltaan säilyviä (LC). Paikkatietotarkasteluun käytettyjä aineistoja voi tarkemmin tarkastella alla olevasta taulukosta (Taulukko 3).

Taulukko 3. Paikkatietotarkasteluun käytetyt aineistot

Aineisto	Rata-alueella	Lähde
Luontotyyppiaineisto 2018 (LuTU2018)	Kyllä	SYKE
Luonnonsuojelualueet (Valtion ja yksityinen)	Ei	SYKE
Natura 2000-alueet	Kyllä	SYKE
Luonnonsuojeluohjelmien alueet	Ei	SYKE
Valtakunnalliset arvokkaat kivikot, moreenimuodostumat, tuuli- ja rantakerrostumat ja kalliot	Ei	SYKE
Metsälakikohteet ja erityisen tärkeät elinympäristökuviot (Metsävarakuviot)	Kyllä	Metsäkeskus
Perinnebiotooppikohteet	Ei	Metsähallitus
Arvokkaat pienvedet	Ei	SYKE

5 Ekologisen kompensaation laskelmat

5.1 Aineistot

Ekologisen kompensaation laskennan apuna tarvitaan pinta-alat sekä haitta- ja hyvitysalueen luontotyypeistä sekä arviot niiden luonnontilaisuudesta. Nämä tiedot laskettiin ja arvioitiin paikkatietojen avulla. Aineistoina hyödynnettiin avoimia paikkatietoaineistoja. Suurin osa käytetyistä aineistoista kuului Suomen ympäristökeskukselle sekä Suomen Metsäkeskukselle. Tarkemmat tiedot käytetyistä aineistoista ja niiden esiintyvyydestä rata-alueella on esitetty alla olevassa taulukossa (Taulukko 4).

Taulukko 4. Ekologisen kompensaation laskennan apuna käytetyt paikkatietoaineistot. Tärkeysjärjestys kuvaa kuvioinnin päällekkäisyyksissä käytettyä logiikkaa, jossa tarkempi tai arvokkaampi alue korvaa toisen.

Aineisto	Rata-alueella	Tärkeysjärjestys kuviointiin	Lähde
Luontotyyppiaineisto 2018 (Lutu)	Kyllä	1	SYKE
Natura 2000-alueet, SAC (Sipoonjoki)	Kyllä	2	SYKE
Metsävarakuviot	Kyllä	3	Metsäkeskus
Maanpeite soilla ja rantakosteikoilla	Kyllä	4	SYKE
Ranta10 -aineiston joet	Kyllä	5	SYKE
Corine Land Cover 2018 (Level 4)	Kyllä	6	SYKE
Luonnonsuojelualueet (Valtio ja yksityinen)	Ei	Ei esiinny rata-alueella	SYKE
Luonnonsuojeluohjelmien kohteet	Ei	Ei esiinny rata-alueella	SYKE
Valtakunnalliset arvokkaat kivikot, moreenimuodostumat, tuuli- ja rantakerrostumat ja kalliot	Ei	Ei esiinny rata-alueella	SYKE
Perinnebiotooppikohteet	Ei	Ei esiinny rata-alueella	Metsähallitus
Arvokkaat pienvedet	Ei	Ei esiinny rata-alueella	SYKE
Ranta10 -aineiston järvet	Ei	Ei esiinny rata-alueella	SYKE

5.2 BOOST-hankkeen menetelmä

Tässä tutkielmassa ekologisen kompensaation laskentaan hyödynnetään BOOST-hankkeessa kehitettyä laskentatyökalua. Ekologisen kompensaation laskentatyökalu on kehitetty BOOST-hankkeen ja Suomen ympäristökeskuksen yhteistyönä Ekologisen kompensaation pilotointi -hankkeessa (BOOST for biodiversity offsets 2023). Kyseessä on Excel-muotoinen laskuri, joka on kehitetty helpottamaan kompensaatiolaskentaa Suomessa. Sen avulla voidaan laskea hankealueelle tapahtuvan haitan sekä kompensaatioon vaadittavan hyvityksen määrät (Moilanen 2023; BOOST for biodiversity offsets 2023). Excel sisältää erilliset laskurit haitan laskemiseen, vasteiden määrittelyyn ja hyvityksen määrän laskemiseen. Tässä tutkielmassa tehty laskenta on kuvattu kappaleissa 5.2.1, 5.2.2 ja 5.2.3. BOOST-hankkeen laskentatyökalusta ei ole vielä teknistä kuvausta olemassa, mutta Excel-työkalua on kuvattu tarkemmin mm. Kauramäen pilottihankkeessa (Nieminen ym. 2023). Laskentatyökalu toimii apuvälineenä luonnonsuojelulain ja kompensaatioasetuksen mukaisen kompensaation toteutukseen. Työkalu ei ole kuitenkaan täydellinen toisinto laissa mainitusta laskentatavasta. Sen avulla voidaan huomioida muun muassa asioita, joita kompensaatioasetus ei velvoita tällä hetkellä tekemään. Laskentatyökalun avulla voi esimerkiksi halutessaan huomioida aikadiskonttauksen. Tarkemmat laskukaavat mihin BOOST-hankkeen menetelmä perustuu, on esitetty kappaleessa 2.5. Kompensatioita voidaan kohdistaa niin lajien elinympäristöihin kuin myös luontotyyppeihin (LSL 9/2023 98 §). Tässä tutkielmassa kompensaatiotarkastelu on kohdistettu luontotyyppeihin.

5.2.1 Pinta-alat ja haittalaskenta

Ekologisen kompensaation mukaista haittalaskentaa varten hankealueen luontotyyppien pinta-alatiedot ja luonnontilaisuus arvioitiin tutkielmassa paikkatietomenetelmin. Laskennan pohjaineistona käytettiin yllä olevassa taulukossa (Taulukko 4) olevia aineistoja. Pinta-alan laskentoihin ja aineistoihin otettiin mallia Suomirata-hankkeesta, jossa myös haittojen hyvittäminen ekologisen kompensaation periaatteiden mukaisesti laskettiin paikkatiedoin (Rauhala ym. 2023). Ensin aineistolle määriteltiin luontotyyppikuviot ja laskettiin niiden pinta-alat, jonka jälkeen määriteltiin luontotyyppikuvioille niiden ekologinen tila.

Hankealueen luontotyyppien pinta-alojen laskentaa varten tehdyssä hankealueen kuvioinnissa aina arvokkaampi alue tai tarkempi tieto korvaa toisen, kun kyseessä ovat päällekkäiset paikkatietoaineistot (Rauhala ym. 2023). Kuvioinnissa on siten huomioitu aineiston sisältö, laatu ja resoluutio. Tärkeimpänä ja ensimmäisenä aineistona kuvioinnissa oli Suomen ympäristökeskuksen luontotyyppiaineisto, joka perustuu vuoden 2018 uhanalaisuusarvioinnin tuloksiin. SYKE:n aineisto sisältää tärkeää tietoa arvokkaista luontotyypeistä kuten metsien erikoistyypeistä, joita muissa aineistoissa ei ole. Tässä vaiheessa myös Natura-alueet lisättiin kuviointiin. Kolmas aineisto kuvioinnissa oli Metsäkeskuksen metsävaratietoaineisto ja neljäntenä oli SYKE:n maanpeite soilla ja rantakosteikoilla. Metsäkeskuksen metsävaratietoaineisto sisältää metsien lisäksi myös tarkkaa tietoa alueen soista, ja oli siksi kuvioinnissa ennen SYKE:n suoaineistoa, joka on rasterimuotoinen aineisto ja sisältää lähinnä tiedot soiden puustoisuudesta. Viidentenä kuviointiin lisättiin Ranta10-aineiston jokiaineiston tarkentamaan jokien kuviointia. Viimeisenä tasona jäljelle jääneitä aukkoja täydensi Corine Land Cover 2018 -aineisto, josta hyödynnettiin mahdollisimman tarkinta tasoa (Level 4). Kuvioinnin avulla saatiin eri luontotyyppien ja maankäyttötyyppien pinta-alat laskettua hankealueelta.

Metsävaratietoaineiston avulla suuri osa hankealueen metsistä pystyttiin luokittelemaan vielä tarkemmin kasvupaikkatyypeihin. Kasvupaikkatyyppit jaotellaan Etelä-Suomessa lehtoihin, lehtomaisiin kankaisiin, tuoreisiin kankaisiin, kuivahkoihin kankaisiin, kuiviin kankaisiin ja karukkokankaisiin (Hotanen ym. 2008). Lisäksi metsistä eroteltiin metsien erikoistyyppiä luokiteltu kalliometsä (Kontula & Raunio 2018), jota löytyi radan alueelta. Corinen metsäaineistot kuitenkin täytyi luokitella vielä järkeviin luontotyypeihin. Corine-aineiston metsäluontotyyppit luokiteltiin Luonnonvarakeskuksen (Luke) MVMI-aineistolla karkealla tarkkuudella. MVMI eli monilähteisen valtakunnan metsien inventoinnin kartta-aineisto sisältää tietoa erilaisista muuttujista kuten esimerkiksi biomassasta, puuston iästä ja tilavuudesta (Mäkisara ym. 2022). Tähän määrittelyyn käytettiin vuoden 2021 tietoa metsän kasvupaikkatyypeistä.

Hankealueen luontotyyppien pinta-alat on jaettu suoraan ja epäsuoraan haittaan. Jako suoraan ja epäsuoraan haittaan on tehty periaatteella, jossa 35 metrin leveydeltä radan keskiosasta kasvillisuuden odotetaan poistuvan kokonaan radan alta (suora haitta) ja lopun 30 metrin suojavyöhykkeeltä (15 m + 15 m radasta) kasvillisuus poistuu vain osittain (epäsuora haitta) (Rauhala ym. 2023). Radan suojavyöhykkeelle, eli epäsuoran haitan alueelle oletetaan jäävän kasvipeitettä, jota pidetään matalana. Kuten Suomiradan hankkeessa (Rauhala ym. 2023), myös

tässä tutkielmassa epäsuoran haitan alueella oletus on, että 50 % kasvillisuudesta tuhoutuu. Pinta-aloissa huomioitavaa on myös se, että turvekankaat on laskettu kangasmetsiksi, eikä soiksi, luontotyyppien tilamittarien tulkintaohjeiden luonnoksen mukaisesti (BOOST for biodiversity offsets 2024a). Tätä perustellaan ohjeissa siten, että turvekankailla kasvillisuus on jo muuttunut metsämäiseksi ja suotyypin tunnistaminen voi olla vaikeaa. Hankealueen luontotyyppien pinta-alat jaettuna suoraan ja epäsuoraan haittaan on esitetty liitteessä 1.

Luontotyypeille tehtiin pinta-alan laskemisen jälkeen niiden ekologisen tilan arviointi kokonaishaitan laskentaa varten. Ekologisen tilan arviointi perustuu ekologisen kompensaaation asetukseen, jossa on määritelty, että tila arvioidaan välillä 0–1 kymmenesosan tarkkuudella, jossa nolla on luonnontilan menettänyt alue ja yksi täysin luonnontilainen alue (933/2023 2§). Haitan laskennassa joet jätettiin laskennasta pois, sillä jokia ylittävistä silloista ei ole vielä tässä hankkeen suunnitteluvaiheessa tarkempaa tietoa. Tämän takia on mahdotonta arvioida hankkeesta aiheutuvaa haittaa joille. Tutkielmassa huomioitiin kaikki luontotyypit (pl. joet), joita esiintyi hankealueella vähintään 0,05 hehtaarin verran. Hyvin pienialaiset luontotyypit ovat tarkoituksenmukaisempaa huomioida vasta tarkemmassa suunnitteluvaiheessa.

Metsäaineistojen luonnontilaisuuden määrittelemiseen hyödynnettiin metsäkeskuksen metsävara- ja hila-aineistoja. Jos näitä tietoja ei joltain alueelta ollut, arvioitiin luonnontilaa viereisten palstojen ja ilmakuvien avulla. Metsäaineistojen luonnontilaisuuden määrittelemiseen sovellettiin luontotyyppien tilamittareiden tulkintaohjeiden luonnosta (BOOST for biodiversity offsets 2024a: 61) sekä Kauramäen esimerkkiä metsien ekologisen kompensaaation laskemisesta (Nieminen ym. 2023).

Poiketen BOOST-hankkeiden uusista ohjeista, luokiteltiin kaikki taimikot ja siemenpuumetsiköt tilaltaan heikoiksi (0,3). BOOST-hankkeen ohjeiden (BOOST for biodiversity offsets 2024a) mukaan alle 1,3 metriset taimikot olisi tullut luokitella luonnontilaltaan erittäin heikoiksi (0,1), mutta tässä tutkielmassa taimikkojen kehitysluokkia ei lähdetty enää erottelemaan toisistaan. Tähän työhön sovellettiin Kauramäen esimerkkiä, jossa taimikon kehitysluokkia ei oltu eritelty toisistaan (Nieminen ym. 2023). Tätä päätöstä tukee myös ekologisessa kompensaatiossa käytetty varovaisuusperiaate. Varovaisuusperiaatteessa ekologinen tila voidaan toimijan puolesta tulkita kuuluvan parempaan luokkaan puutteellisen tiedon vuoksi (BOOST for biodiversity offsets 2024a). Metsien ekologisen tilan määrittelemiseen käytetyt tilaluokat voi nähdä alla olevasta taulukosta (Taulukko 5). Tilaluokittelut tässä tutkielmassa perustuvat vain kehitysluokkien

antamiin tietoihin, sillä alueelle ei ole tehty maastokartoitusta, eikä laadullisia tietoja ole kovin hyvin paikkatiedoin saatavilla.

Taulukko 5. Metsien ekologisen tilan arviointi. Sovellettu Kauramäen esimerkistä (Nieminen ym. 2023).

Tilaluokka	Kuvaus
Erittäin heikko (0,1)	Avohakkuualueet tai muut vastaavat alueet
Heikko (0,3)	Taimikot, siemenpuumetsiköt, ylispuustoinen taimikko
Kohtalainen (0,5)	Nuori tai varttunut kasvatusmetsä
Hyvä (0,7)	Uudistuskypsä metsä
Erinomainen (1,0)	Vanhat metsät, Eri-ikäisrakenteiset metsät

Soiden ekologisen tilan luokitteluun sovellettiin osittain Sakatin kaivokselle tehtyä ekologisen kompensaaion laskentaa, jossa nykytila on määritelty keskimääräisen nykytilan avulla (Moilanen & Kotiaho 2020: 60). Poikkeuksena turvekankaat, jotka tässä työssä laskettiin kangasmetsien mittaristolla BOOST-hankkeiden ohjeiden mukaan (BOOST for biodiversity offsets 2024a: 53). Ekologisen tilan luokittelu saatiin pääosin suoraan Metsäkeskuksen metsävaratiedoista. Alueilta, joissa ei ollut käytettävissä metsävara-aineistoa, hyödynnettiin määrittelyyn Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) suoluontotyyppiaineistoa. Aineistosta selvisi, että jäljelle jääneet luokittelemattomat suot olivat ojitettuja soita. Alla olevasta taulukosta voi nähdä suoluontotyypeille tehdyt tilaluokittelut (Taulukko 6).

Taulukko 6. Suon ekologisen tilan arviointi. Sovellettu Moilanen ja Kotiaho 2020.

Tilaluokka	Kuvaus
Erinomainen (1,0)	Luonnontilainen suo
Hyvä (0,8)	Ojikko
Kohtalainen (0,5)	Muuttuma

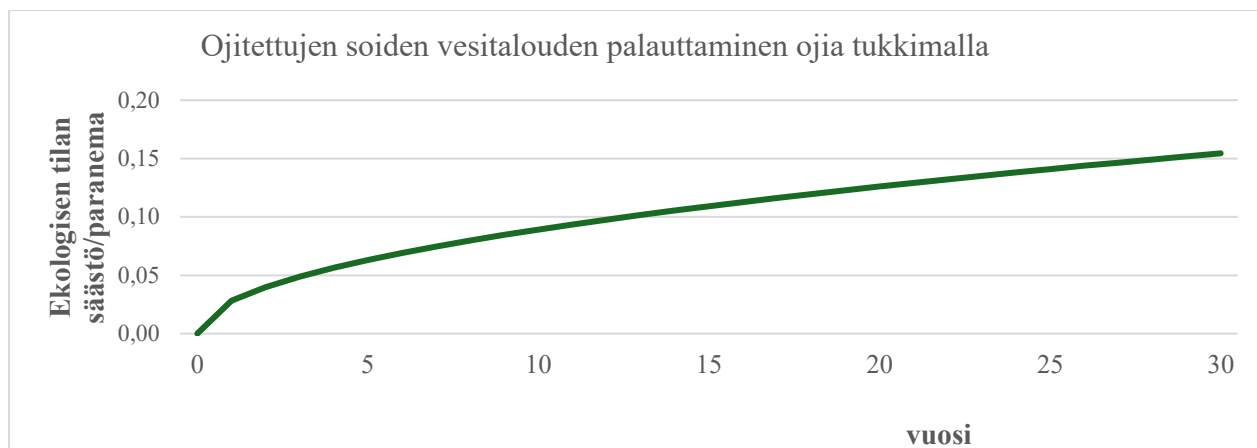
Rata-alueelta löytyi paikkatietotarkastelussa kolme lähteikköluontotyyppiä ja yksi noro. Näistä luontotyypeistä on saatavilla vain vähän paikkatietoa, minkä vuoksi niiden todellista pinta-alaa ei voitu laskea. Tämän vuoksi haitta on arvioitu ympäröivän metsäkuvion perusteella. Lisäksi kallioiden, lähteikköjen ja norojen luonnontilaisuudesta on saatavilla avoimista paikkatiedoista niin vähän tietoa, on niitä mahdotonta luokitella ekologisen tilan mukaan. Puutteellisen tiedon takia niille sovelletaan varovaisuusperiaatetta, jossa oletuksena on, että kalliot, lähteiköt ja norot ovat luonnontilaisia.

5.2.2. Vasteet ja niiden yhdistäminen

Haittalaskuri antaa vain tiedot siitä, kuinka paljon haittaa tapahtuu alueella, eikä sen avulla saa tietoa kompensaation toteutumiseen vaadittavasta hyvityspinta-alasta. Tätä varten on tehtävä vielä hyvityksen laskenta. Koska tutkielman tarkoituksena on etsiä potentiaalisia hyvitysalueita, eivätkä hyvitysalueet ole valmiiksi tiedossa, täytyy laskenta tehdä yksinkertaisemmin. Tässä vaiheessa hyvitykseen vaadittava määrä lasketaan valitsemalla 1–3 teoreettista vastetta eri elinympäristöistä.

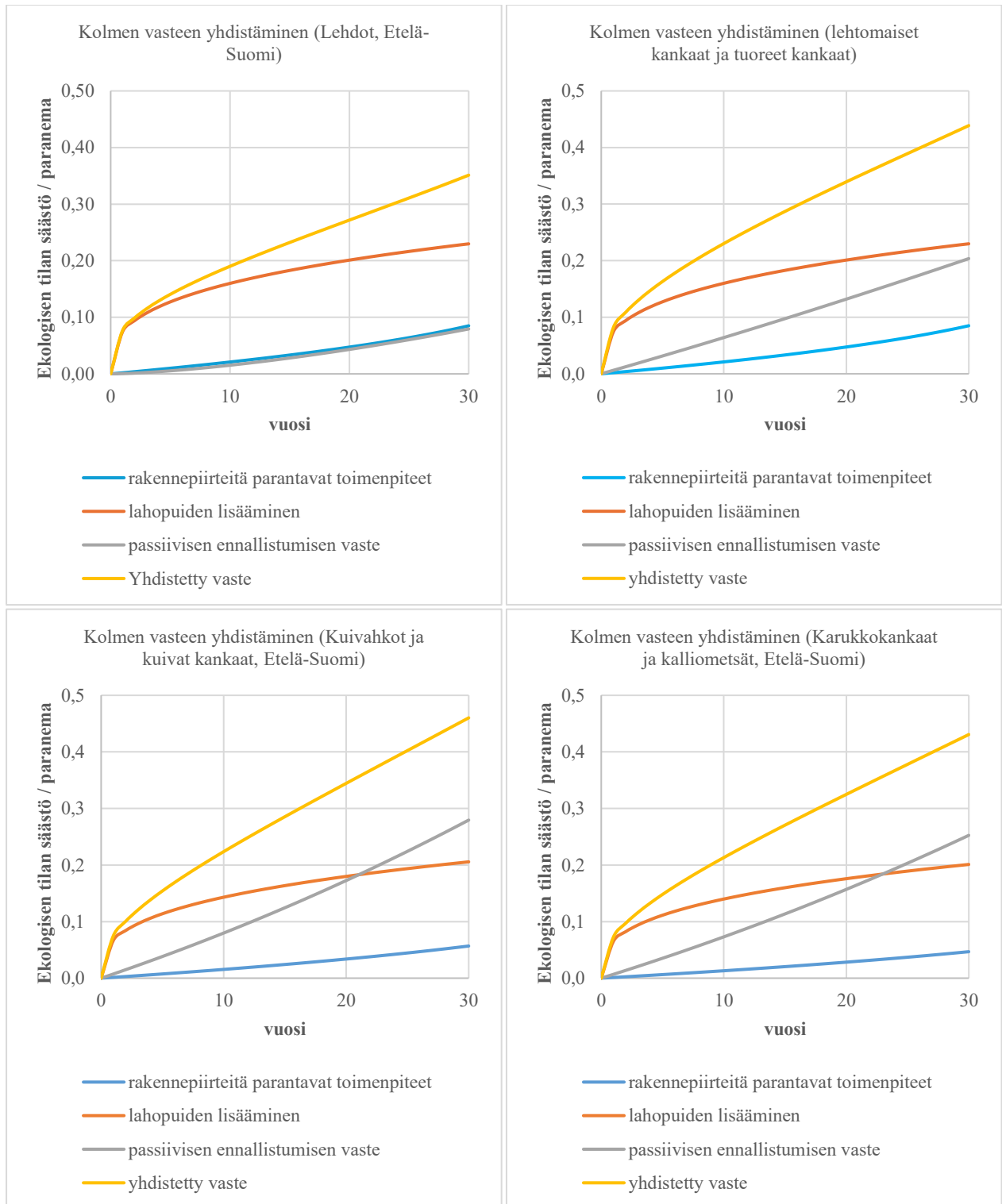
Vasteita ennallistamiseen, hoitoon tai suojeluun voi laskea ja yhdistellä BOOST-hankkeen laskureiden avulla. Vasteita voi joko muodostaa itse työkalun avulla tai valmiiksi määriteltyjen vasteiden avulla (Moilanen 2023; BOOST for biodiversity offsets 2024b). Tässä tutkielmassa on hyödynnetty BOOST-hankkeessa valmiiksi määritettyjä vasteita eri toimenpiteisiin. Jos alueella on suunnitteilla tehdä useampia eri hoito-, suojelu tai ennallistamistoimenpiteitä, muodostuva vaste eli muutos luontotyypin ekologisessa tilassa muodostetaan vastelaskurissa yhdistämällä eri toimien vasteet yhdeksi vasteeksi.

Suon vasteiden laskemista varten täytyi tietää suon ravinnetasot karkealla tarkkuudella (Moilanen 2023). Ratalinjan alueelle sijoittuvat suot olivat suuremmalta osalta runsasravinteisia soita. Suon vasteiden laskemiseen hyödynnettiin ennallistamisen vasteita, jotka saa valmiiksi määriteltynä BOOST-hankkeen työkalupaketista. Vasteisiin valittiin ennallistamistoimenpiteistä ojitettujen soiden vesitalouden palauttaminen ojia tukkimalla. Muita toimenpiteitä ei valittu, sillä jotta vasteita voidaan yhdistellä, täytyy niiden olla riippumattomia toisistaan (Moilanen 2023). Alla olevasta kuvasta voi nähdä ennallistamisen vasteen paraneman 30 vuoden oletuksella (Kuva 5).



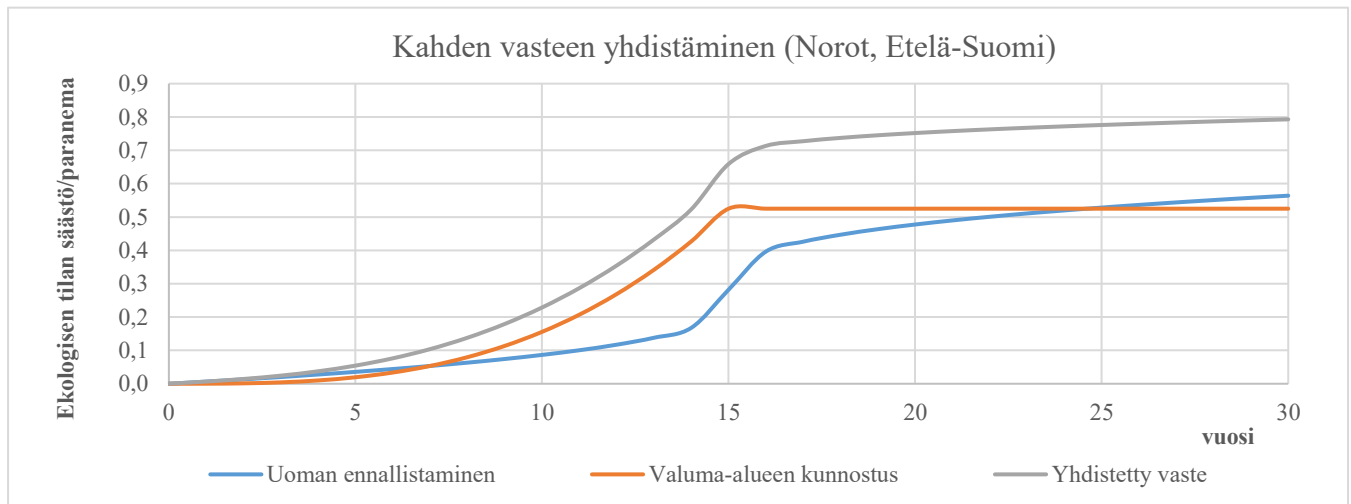
Kuva 5. Ojien tukkimisen vaikutus ojitettujen soiden ekologiseen paranemaan 30 vuoden aikavälillä.

Metsien osalta ennallistamistoimenpiteiden vasteet täytyi määrittellä kasvupaikkatyyppien mukaan seuraavasti (Moilanen 2023): vasteet lehdoille; vasteet lehtomaisille kankailla ja tuoreelle kankaalle; vasteet kuivahkolle ja kuivalle kankaalle; ja vasteet karukkokankailla ja kalliometsille. Tämä johtuu siitä, että toimenpiteet vaikuttavat eri luontotyyppeihin eri tavoin. Kaikille metsätyypeille käytettiin vasteina samoja ennallistamistoimia. Nämä olivat metsän rakennepiirteitä parantavat toimenpiteet ja lahoppuun määrän lisääminen. Lisäksi metsien vasteisiin tulee BOOST-hankkeiden ohjeiden mukaan lisätä metsien passiivisen ennallistamisen vaste (Moilanen 2023). Passiivisen ennallistamisen vasteen käyttöä varten täytyy arvioida metsän haluttu lähtötila eli luonnontilaisuus. Tässä työssä lähtötilaksi valittiin 0,5 eli kohtalainen luonnontilaisuus. Tämä valittiin, koska puuntuotannon metsämaista suurin osa on joko nuoria tai varttuneita kasvatusmetsiä. Korhonen ym. (2017: 40) mukaan noin 36 % Suomen metsistä on nuorta kasvatusmetsää, 30 % varttuneita kasvatusmetsiä, 19 % uudistuskypsiä metsiä ja 19 % taimikoita. Nuoret ja varttuneet metsät luokiteltiin ekologiseltaan tilaltaan tässä työssä kohtalaiseksi (0,5) (ks. Taulukko 5). Lisäksi passiivisen ennallistamisen vasteeseen lisätään epävarmuus, joka oli tässä 25 % BOOST-hankeen ohjeiden mukaisesti (Moilanen 2023). Alla olevasta kuvasta voi nähdä ennallistamistoimenpiteiden vasteet ja niiden yhteisen vaikutuksen ekologiseen paranemaan 30 vuoden oletuksella (Kuva 6).



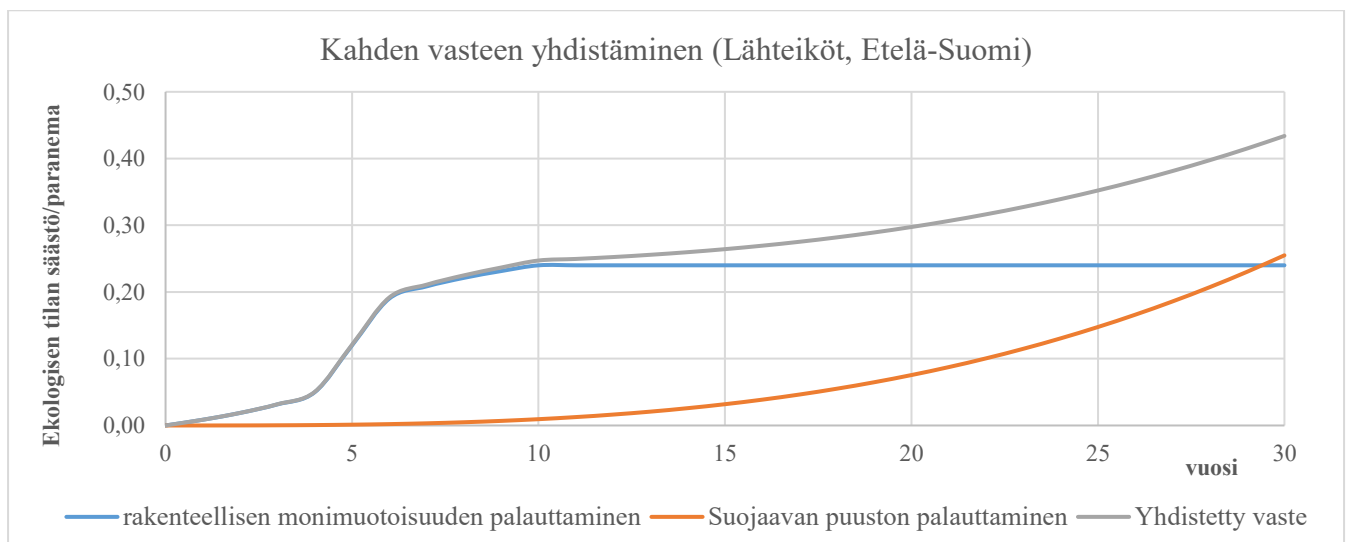
Kuva 6. Valittujen metsien ennallistamistoimenpiteiden vaikutus ekologiseen paranemaan 30 vuoden aikavälillä.

Norojen osalta ennallistamistoimenpiteiksi valittiin uoman ennallistaminen ja valuma-alueen kunnostus. Alla olevasta kuvasta voi nähdä toimenpiteille muodostuvan yhteisen vasteen (Kuva 7).



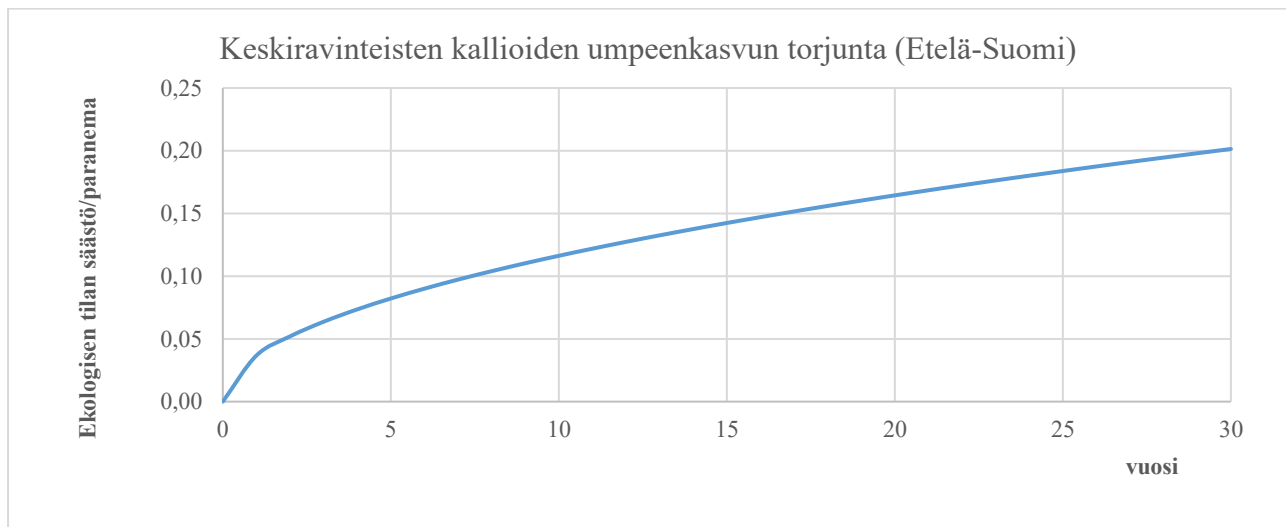
Kuva 7. Valittujen norojen ennallistamistoimenpiteiden vaikutus ekologiseen paranemaan 30 vuoden aikavälillä.

Lähteiköille valittiin ennallistamistoimenpiteiksi rakenteellisen monimuotoisuuden palauttaminen sekä lähteikköä suojaavan puuston palauttaminen. Alla olevasta kuvasta voi nähdä toimenpiteiden vaikutuksen ekologiseen paranemaan (Kuva 8).



Kuva 8. Valittujen lähteikköluontotyypin ennallistamistoimenpiteiden vaikutus ekologiseen paranemaan 30 vuoden aikavälillä.

Paikkatietotarkastelun perusteella ratalinjalle sijoittuvat kalliot ovat karuja kallioita. Näille ei kuitenkaan ole ennallistamistoimenpiteitä BOOST-hankkeessa määritelty, jolloin hyvitys voidaan tehdä vastaavaan, yhtä uhanalaiseen tai uhanalaisempaan luontotyyppiin LSL 101 § momentin 2 mukaan. Tässä tutkielmassa ennallistamistoimenpiteet kohdistetaan momentin mukaisesti keskiravinteisiin kallioihin, jotka ovat Suomessa uhanalaisuudeltaan silmälläpidettäviä. Keskiravinteisille kallioille voidaan ennallistamistoimenpiteenä suorittaa vain umpeenkasvun poistoa (Kuva 9).



Kuva 9. Umppeenkasvun torjunnan vaikutus keskiravinteisten kallioiden ekologiseen paranemaan 30 vuoden aikavälillä.

5.2.3. Hyvityslaskenta

Vasteiden määrittämisen jälkeen täytyy tehdä hyvityslaskenta, jonka avulla saadaan tässä vaiheessa suuntaa antava luku vaadittavien hyvitysalasta määriteltyjen vasteiden avulla. Tässä vaiheessa huomioidaan myös osakertoimia, joiden avulla voidaan tarkastella esimerkiksi yleistä epävarmuutta, uhanalaisuutta tai mittaamisen yksinkertaistusta. Yleisen epävarmuuden ja mittaamisen yksinkertaistamisen kertoimet on kaikkien luontotyyppien osalta asetettu 1,3 tässä työssä. Kertoimet on asetettu, koska luontotyypit ja niiden ekologinen tila on arvioitu paikkatietojen perusteella, mikä lisää laskennan epävarmuutta ja yksinkertaistaa mittaamista.

Uhanalaisuuskerrointa on käytetty jokaisen luontotyypin uhanalaisuuden mukaan. Uhanalaisuuskerroin määräytyy kompensatioasetuksen (933/2023) 3 § mukaan (ks. Taulukko 2)

ja se asetetaan sen mukaan, mille luontotyyppille aiheutuu haittaa hankealueella. Uhanalaisuusluokittelut luontotyypeille on tarkastettu luontotyyppien punaisesta kirjasta (Kontula & Rainio, 2018). Hankealueen soita ei voitu määrittää luontotyyppien uhanalaisuusarvion mukaisiin suoluontotyyppeihin luotettavasti pelkkien paikkatietoaineistojen avulla. Tämän vuoksi kaikille hankealueen soille käytettiin varovaisuusperiaatteen mukaisesti erittäin uhanalaisen luontotyypin uhanalaisuuskerrointa 1,14. Erittäin uhanalaisen kerroin valittiin, koska Suomessa 50 suoluontotyyppistä noin 54 % arvioitiin olevan vuonna 2018 uhanalaisia (Kaakinen ym. 2018: 134). Tämän selvityksen mukaan näistä 54 prosentista 4 % ovat äärimmäisen uhanalaisia, 22 % erittäin uhanalaisia ja 28 % vaarantuneita suoluontotyyppejä.

Kertoimien jälkeen edellisestä vaiheesta määrittelyt vasteet täydennetään laskuriin. Hyvitysten laskemista varten vasteille täytyy asettaa aikaväli, jossa niitä tarkastellaan. Tämä tehdään, koska suojelun ja ennallistamisen hyödyt toteutuvat vasta vuosikymmenien jälkeen (Moilanen & Kotiaho 2018: 115; Moilanen 2023). Mitä lyhyempää aikaväliä hyödynnetään, sitä vähemmän hyötyä toimenpide pystyy tuottamaan. Tässä tutkielmassa hyvitykselle määriteltiin aikayksiköksi 30 vuotta kaikille luontotyypeille kompensatioasetuksen mukaisesti. Kompensatioasetuksen (933/2023 4 §) mukaan, jos luonnonarvon tavoiteltua tilaa ei ole saavutettu ennen kuin päätös hyvityksen korvattavuudesta tehdään luonnonsuojelulain 9/2024 104 § mukaisesti, voidaan luonnonarvon tilan muutokseen hyväksyä luonnontilan siihenastinen muutos sekä vasteen tuomat hyödyt seuraavan 30 vuoden ajalta. Laskurin avulla voisi myös laskea myös nettopositiivisia hyötyjä tai huomioida aikadiskonttausta, johon ei laissa velvoiteta. Tässä tutkielmassa kumpaakaan ei huomioitu.

5.3 Laskennan tulokset

Ekologisen kompensatian haittalaskurin ja hyvityslaskurin tulokset voi nähdä alla olevasta taulukosta (Taulukko 7). Laskuri huomioi niin suorat kuin epäsuoratkin haitat. Suoran haitan alle jäävää aluetta ovat Itäradan tapauksessa ratalinjaus ja epäsuoran haitan alle jäävää aluetta ovat radan suojavaohykkeet. Oletuksena tässä tapauksessa pidettiin, että suoran haitan alle jäävistä alueilta kasvillisuus poistuu 100 prosenttisesti, kun taas suojavaohykkeiden osalta kasvillisuus poistuu vain 50 prosenttisesti.

Taulukko 7. Ekologisen kompensaation laskennan tulokset habitaattihehtaareina sekä hehtaareina. Hha = habitaattihehtaari, ha = hehtaari.

Luontotyyppi	Epäsuora haitta		Suora haitta		Yhteensä haitta		Hyvitys
	ha	hha	ha	hha	ha	hha	ha
Metsät yhteensä	90,71	20,32	104,43	47,25	195,13	67,57	435,38
Lehto	0,13	0,03	0,13	0,06	0,26	0,097	0,75
Lehtomainen kangas	17,13	3,77	18,82	8,97	35,94	12,74	80,75
Tuore kangas	54,44	12,05	64,01	28,09	118,45	40,15	254,49
Kuivahko kangas	11,36	2,63	12,49	5,78	23,85	8,41	58,62
Kuiva kangas	1,49	0,38	1,56	0,81	3,06	1,18	8,25
Karukkokangas	0,22	0,04	0,26	0,13	0,48	0,17	1,27
Kalliometsä	5,94	1,42	7,15	3,41	13,09	4,83	31,25
Suot	1,76	1,19	1,54	0,70	3,30	1,88	35,60
Norot	0,08	0,04	0,20	0,20	0,28	0,24	0,87
Kalliot	0,32	0,16	0,39	0,29	0,61	0,45	5,72
Lähteiköt	0,04	0,02	0,28	0,28	0,32	0,30	2,10

Haittalaskurin mukaan tarkasteltavalle rataosuudella yhteensä haitatut hehtaarit ovat noin 199,64 ha (Taulukko 7). Habitaattihehtaareina haitta on 70,45. Kolmanneksi eniten haittoja kohdistuu kuivahkoihin kankaisiin, toiseksi eniten lehtomaisiin kankaisiin ja eniten tuoreisiin kankaisiin. Kallioihin haittoja kohdistuu vain 0,45 habitaattihehtaarin osalta ja soihin 1,88 habitaattihehtaarin osalta. Valtaosa haitoista kohdistuu metsiin, yhteensä noin 67,57 habitaattihehtaaria. Haittalaskuri ei kuitenkaan huomioi mitään kertoimia tai toimenpiteiden vasteita, joten kompensaation toteutumiseen tarvittava hyvityspinta-ala täytyi laskea erikseen.

Hyvityksen määrä kertoo, kuinka paljon hyvityksiä tarvittaisiin korvaamaan tarkasteltavasta ratalinjauksesta aiheutuva haitta ympäristölle. Tässä tutkielmassa tarkasteltavan ratalinjauksen hyvitysalueisiin tarvittaisiin noin 435,38 hehtaaria metsää, 35,6 hehtaaria suota, 0,87 hehtaaria noroja, 5,72 hehtaaria kalliota ja 2,10 hehtaaria lähteikköjä (Taulukko 7). Metsistä eniten tarvitsisi hyvittää tuoretta kangasta, lehtomaista kangasta ja kuivahkoa kangasta. Tulokset antavat karkean arvion tarkasteltavan rataosuuden tuottamasta heikennyksestä ja vaadittavasta hyvityksestä. Tämän arvion avulla voidaan kokeilla soveltuvuusanalyysiä mahdollisten hyvitysalueiden etsintään.

6 Soveltuvuusanalyysi

6.1 Ei-aineistot ja niiden käsittely

Ekologisen kompensaation hyvitysalueiden etsintään liittyy alueita, joille kompensaatioita ei voi ehdottomasti toteuttaa. Tällaisia alueita ovat muun muassa jo suojellut alueet, tarkasteltava ratalinjaus, asuin- ja lomarakennuksien välitön pihapiiri, tiet, ratalinjaukset ja puolustusvoimien alueet. Näitä kutsutaan ei-alueiksi. Alla olevasta taulukosta voi nähdä tässä tutkielmassa käytetyt ei-alueet ja niihin liittyvät suojavyöhykkeet (Taulukko 8). Kaikkien työssä käytettyjen aineistojen lataustiedot löytyvät liitteestä 2.

Taulukko 8. Soveltuvuusanalyysiä varten määritetyt ei-alueet.

Ei-alueet	Suojavyöhyke	Ladattu
Tarkastelussa ollut ratalinjaus	0	Saatu Ramboll
Yksityiset suojelualueet	0	SYKE
Valtion suojelualueet	0	SYKE
Luonnonsuojeluohjelma-alueet (pl. maisemat)	0	SYKE
Natura 2000 -alueet	0	SYKE
Muut valtion suojelualueet	0	SYKE
Asuin- ja lomarakennukset	50 m	MML maastotietokanta
Valta- ja kantatiet	30 m keskilinjasta	MML maastotietokanta
Seutu- ja yhdystiet	20 m keskilinjasta	MML maastotietokanta
Rautatiet	30 m keskilinjasta	MML maastotietokanta
Puolustusvoimien alueet ja ampuma- ja harjoitusalueet	0	Maakuntakaava-aineistot, Lounaistieto.fi, Avoindata.fi

Selkeyden vuoksi kaikki suojelualueet ja suojeluohjelma-alueet jätettiin analyyseistä pois lisäisyyden vaatimuksen takia (ks. määritelmä kpl 2.1). Alueet ovat jo suojeltuja, joten toimia ekologisen tilan parantamiseen on todennäköisesti alueilla jo tehty. Suojeluohjelmista ainoastaan maiseman arvoalueet (MAO) jätetään ei-alueista pois, sillä ne eivät suoraan liity alueen luontoon tai luonnontilan parantamiseen, joten yllä mainittua lisäisyyden ongelmaa ei näillä alueilla pitäisi olla. Suojelualueille ei osoiteta suojavyöhykkeitä.

Infrastruktuurin osalta asuin- ja lomarakennuksien, tiestön ja rautateiden läheisyys ovat sellaisia alueita, joille hyvityksiä ei voi tai on vaikeaa suorittaa. Koska tämä soveltuvuusanalyysi perustuu rasterimuotoisiin aineistoihin, vaarana on, että aineiston epätarkkuuden myötä esimerkiksi ihmisten pihapiirejä valikoituisi mukaan. Todennäköisestä on, että näiden kohteiden välittömässä läheisyydessä ei ole hyvityksiin tarvittavia luontotyyppjä tai alueilla ei ole mahdollista suorittaa ennallistamistoimenpiteitä. Asuin- ja lomarakennuksille valittiin 50 metrin suojavyöhyke kuvastamaan mahdollista pihapiiriä. 50 metrin suojavyöhyke takaa sen, ettei rakennuksen välitön läheisyys valikoidu hyvitysalueeksi. Tiestölle suojavyöhyke valittiin Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen (2024) ohjeistuksen mukaan. Rautateille suojavyöhyke valittiin Väyläviraston (2024) ohjeistuksen mukaan. Aineisto tuotettiin MML tiestöaineistosta tienumerointijärjestelmän perusteella. Puolustusvoimien alueet otettiin myös ei-alueisiin mukaan, sillä nämä alueet on varattu puolustusvoimien toiminnalle, eikä siellä voida siten tehdä hyvityskompensatioita tällä hetkellä.

6.2 Soveltuvuusanalyysin aineistot ja niiden käsittely

Luonnonsuojelulain 101 § mukaan hyvittävät toimenpiteet on tehtävä samalla metsäkasvillisuusvyöhykkeen osa-alueella. Tutkimusalueena soveltuvuusanalyysiin toimii tässä tapauksessa eteläboreaalinen lounaismaa. Soveltuvuusmallinnus toteutetaan jokaiselle luontotyyppille erikseen. Jokaiselle luontotyyppille on siis omat aineistonsa, joita käytetään. Poikkeuksena ovat pienvedet (norot ja lähteiköt), joille aineistot analyysiin ovat samoja, mutta analyysi erillinen. Aineistot voi nähdä alla olevasta taulukosta luontotyypeittäin (Taulukko 9). Aineistot rajattiin SYKE:n metsäluontotyyppiaineistolla ArcGIS pro:n Extract by mask -työkalulla vastaamaan eteläboreaalista lounaismaata. Lisäksi kaikkia luontotyyppjä varten tuotettiin etäisyysrasteri tarkastellusta rata-alueesta ArcGIS pro:n Distance Accumulation -työkalulla.

Vaikka laki rajaa hyvitysalueiden tapahtuvan metsäkasvillisuusvyöhykkeiden osa-alueille, on kuitenkin paikallisille ihmisille ja eliöstölle parempi, että hyvitys tapahtuisi mahdollisimman lähellä haittaa (Kujala ym. 2021).

Taulukko 9. Soveltuvuusanalyysissä käytettävät aineistot luontotyypeittäin sekä niiden esikäsittely ArcGIS pro -ohjelmassa.

Metsän soveltuvuusanalyysin aineistot	Ladattu	Esikäsittely ArcGIS pro:ssa
LuTu2018 metsien erikoistyytit	SYKE	Kalliometsien valikoiminen ja muuttaminen rastereiksi Feature to Raster -työkalulla. Rasterin yhdistäminen kasvupaikkatyyppi-aineistoon Raster Calculator -työkalulla.
Kasvupaikkatyytit	Luke MVMI	Rasterin yhdistäminen metsien erikoistyyppiaineiston kanssa Raster Calculator -työkalulla. Pikseliarvojen 32766 muuttaminen No dataksi.
Puuston ikä	Luke MVMI	Pikseliarvojen 32766 muuttaminen No dataksi.
Puuston keskiläpimitta	Luke MVMI	Ei-alueiden leikkaaminen analyysistä tason avulla. Pikseliarvojen 32766 muuttaminen No dataksi.
Monimuotoisuudelle tärkeit metsäalueet 2018, lahoppupotentiaali	SYKE	Ei esikäsittelyä.
Etäisyysrasteri tarkastellusta ratalinjauksesta	-	Muodostettu Distance Accumulation -työkalulla etäisyys tarkasteltuun ratalinjaukseen.
Soiden soveltuvuusanalyysin aineistot	Ladattu	Esikäsittely ArcGIS pro:ssa
Soiden ojitustilanne	SYKE	No Data -arvojen muuttaminen nolliksi Reclassify-työkalulla. Ei-alueiden leikkaaminen analyysistä tason avulla.
Soiden ja turvemaiden ravinteisuus	GTK	Ei esikäsittelyä.
Suotyypit ja turvekankaat	GTK	Suotyyppien jako uhanalaisuuden mukaan, turvekankaiden poistaminen aineistosta.

Etäisyysrasteri tarkastellusta ratalinjauksesta	-	Muodostettu Distance Accumulation -työkalulla etäisyys tarkasteltuun ratalinjaukseen.
Pienvesien soveltuvuusanalyysin aineistot	Ladattu	Esikäsittely ArcGIS pro:ssa
Norot ja lähteiköt metsävara-aineistosta	Metsäkeskus	Ei-alueiden leikkaaminen analyysistä.
Hakkuuilmoitukset	Metsäkeskus	Norojen ja lähteiköjen hakkuuilmoitusten irrottaminen aineistosta. No Data -arvojen muuttaminen nolliksi Reclassify-työkalulla
Puuston kehitysluokka	Metsäkeskus	Norojen ja lähteiköjen suojaavan puuston kehitysluokan irrottaminen aineistosta.
Etäisyysrasteri tarkastellusta ratalinjauksesta	-	Muodostettu Distance Accumulation -työkalulla etäisyys tarkasteltuun ratalinjaukseen.
Kallioiden soveltuvuusanalyysin aineistot	Ladattu	Esikäsittely ArcGIS pro:ssa
Maastotietokannan kallioalueet	MML	Kalliopaljastumien esiintymien leikkaaminen LuTU2018 aineistosta.
LuTU2018		Keskiravinteisten kallioiden esiintymisaineistojen yhdistäminen. Aineiston muuttaminen rasteriksi. Kalliopaljastumien esiintymien leikkaaminen aineistosta.
Corine 2018	SYKE	Ei-alueiden leikkaaminen aineistosta.
Kallioperä	GTK	Kallioperän jakaminen keskiravinteisuuden mukaan. Aineiston muuttaminen rastereiksi.
Etäisyysrasteri tarkastellusta ratalinjauksesta	-	Muodostettu Distance Accumulation -työkalulla etäisyys tarkasteltuun ratalinjaukseen.

Metsien osalta rasteriaineistot sisälsivät No Data -arvoja, jotka näkyvät aukkoina aineistossa. Nämä aukot jätettiin täyttämättä tässä analyysissä, sillä no data -alueet eivät ole aineistoissa metsää. Lisäksi Luken MVMI metsäaineistot sisältävät pikseliarvoja 32766, joka on todennäköisesti metsää, mutta sille ei ole satelliittikuvapeittoa. Jotta tiedoiltaan epäselviä alueita ei valikoituisi analyysin tuloksiin mukaan, muutettiin nämä pikseliarvot no dataksi. Kalliometsien aineisto

(LuTU2018) lisättiin myös kasvupaikkatyyppiaineistoon ArcGIS pro:n Raster Calculator työkalulla, sillä Luken aineisto ei sisällä tarkkaa tietoa kalliometsien esiintymisestä.

Soiden osalta aineistoksi valikoitui GTK:n soiden ja turvemaiden ravinteisuustaso, SYKE:n soiden ojitustilanne sekä etäisyysrasteri tarkastellusta ratalinjauksesta. GTK:n soiden ja turvemaiden ravinteisuustaso on luokitellut aineiston erikseen ojittamattomiin ja ojitettuihin soihin, mutta tarkemman tarkastelun perusteella vaikutti, että aineistossa oli pieniä eroja luokittelussa verrattuna SYKE:n aineistoon. Ojitustilannetta varmistamaan käytettiin SYKE:n aineistoa, josta No Data -arvot muutettiin nolliksi, jotta aineisto ei pois lue täysin GTK:n ja SYKE:n aineiston eroja analyysistä. Soiden osalta uhanalaisuusluokaksi valittiin varovaisuusperiaatteen mukaisesti erittäin uhanalainen luokka (ks. kappale 5.2.3), joten myös hyvitykset täytyisi saada uhanalaisuusluokaltaan vastaaviin tai uhanalaisempiin suoluontotyyppeihin. Tämä tehtiin GTK:n suoluontotyyppiaineistolla, josta poistettiin turvekankaat, sillä ne ajatellaan ekologisessa kompensaatiossa jo metsiksi (BOOST for biodiversity offsets 2024a). Suot luokiteltiin suoluontotyyppiaineiston avulla punaisen kirjan (Kontula & Raunio 2018) mukaisiin uhanalaisuusluokkiin.

Pienvesille (lähteiköt, norot) aineistoksi valikoitui Metsäkeskuksen aineistoista norojen ja lähteikköjen esiintyminen puuston kehitysluokka, hakkuuilmoitukset ja etäisyys ratalinjauksesta. Metsäkeskuksen metsävara-aineistosta sai irrotettua lähteikköjen ja norojen esiintymiset sekä niiden suojuspuuston kehitysluokat. Lähteikköjen ja norojen esiintymisaineistosta poistettiin Ei-alueet. Metsäkeskuksen hakkuuilmoitus -aineistosta irrotettiin lähteikköjen ja noroihin osuvat hakkuuilmoitukset sekä muokattiin No Data -arvot nolliksi. Hakkuuilmoitusten No Data alueet päätettiin muokata nolliksi, jotta alueet, jossa ei ole tehty hakkuuilmoitusta ei valikoituisi täysin pois analyysistä.

Kallioiden osalta aineistoiksi valikoituivat Maastotietokannasta kallioalueet, LuTU2018 kallioiden ruutukartat, Corine 2018 -aineisto, GTK:n kallioperäaineisto sekä etäisyysrasteri tarkastellusta ratalinjasta (Taulukko 9). Maastotietokannan kallioalueet aineistosta sai irrotettua kaikki alueen kalliopaljastumat. Kallioiden osalta tarkoituksena oli etsiä keskiravinteisia kallioita, jossa voidaan suorittaa umpeenkasvun poistoa. LuTU2018 ruutukartoista yhdistettiin tieto keskiravinteisten kallioiden esiintymistodennäköisyydestä eteläborealisella lounaismaalla. LuTU2018 ruutuaineistosta luokiteltiin kaikki keskiravinteisten kallioiden esiintymisruudukot ykkösiksi ja ei esiintymistä -ruudut nolliksi. LuTU2018 ruutuaineisto on todella karkea (10 km x

10 km ruudut), joten keskiravinteisuutta täytyi myös yrittää ennustaa toisella aineistolla. Kontulan ja muiden (2018: 206) mukaan keskiravinteisiin kivilajeihin kuuluu esimerkiksi amfiboliitti, dioriitti, gabro, diabaasi sekä kiilleliuske. Huomioitavaa on, että vallitseva kivilaji ei yksin välttämättä selitä ravinteisuusluokkaa, vaan siihen vaikuttaa myös kivilajien rapautumisaste, kallion rikkonaisuus ja sivukivilajit (Kontula ym. 2018: 206). Näistä ei kuitenkaan ollut tarvittavaa aineistoa saatavilla, joten kallioperäaineisto valittiin tarkasteluun tarkentamaan LuTU2018 ruutukartta-aineistoa. GTK:n kallioperäaineisto luokiteltiin kivilajeiltaan keskiravinteisiin ja ei keskiravinteisiin Kontulan ym. (2018) mukaan. Lisäksi aineistona käytettiin Corine-aineistoa metsäisyyden määrittämiseen, sillä hyvitysalueeksi tulisi valikoitua alue, jossa voidaan suorittaa umpeenkasvun poistoa.

6.3 Soveltuvuusanalyysin toteutus

Tässä tutkielmassa soveltuvuusanalyysi toteutettiin ArcGIS pro -ohjelmiston versiolla 3.3.0 Suitability modeler -nimisellä työkalulla. Suitability modeler toimii weighted overlay -periaatteella ja rasterimuotoisilla aineistoilla (Suitability modeling framework 2024). Työkalusta löytyy myös Locate -toiminto, jonka avulla voidaan paikantaa hyvityksille soveltuvimmat alueet. Tähän työhön valittiin weighted overlay -tyyppinen analyysi, sillä verrattuna tekoälymenetelmiin tai monikriteerisiin arviomenetelmiin, on sen toiminta suhteellisen yksinkertaista. Weighted overlayn avulla pystyi muun muassa helposti tarkastelemaan, miten painotukset vaikuttivat lopputulokseen. Nämä ominaisuudet ovat tärkeitä, sillä soveltuvuusmallinnusta ei ole ekologisissa kompensatioissa aiemmin juurikaan hyödynnetty.

Soveltuvuusanalyysi toteutettiin jokaiselle luontotyypille erikseen. Poikkeuksena pienvedet (norot ja lähteiköt), joilla on samat aineistot, mutta analyysi erillinen. Valittujen kriteerien arvot saavat soveltuvuusanalyysissä erilaisia painotuksia, jotka kuvaavat soveltuvuutta hyvitysalueeksi. Tutkielman aiemmassa vaiheessa saadut ekologisen kompensatian tulokset määrittivät pitkälti sen mitä painotuksia kriteerit saavat. Etäisyys tarkastellusta ratalinjasta valittiin kriteeriksi jokaiseen luontotyyppiin, jotta ainakin osa kompensatioista sijoittuisi lähemmäs suunniteltua haittaa.

Metsien hyvitysalueiden etsinnässä kriteereinä toimi metsän kasvupaikkatyyppi, puuston ikä, puuston keskiläpimitta, metsien lahoppupotentiaali sekä etäisyys tarkastellusta ratalinjauksesta. Kasvupaikkatyyppien avulla saadaan valittua ekologisen kompensaation laskennan tuloksien mukaisia metsäalueita. Puuston keskiläpimitan ja iän kriteerien tarkoituksena on kohdistaa soveltuvuus nuoriin tai varttuneisiin kasvatusmetsiin (ekologiseltaan tilaltaan 0,5), mitkä valittiin ennallistamistoimenpiteitä valittaessa (ks. kappale 5.2.2). Hyvitysalueen ennallistamistoimenpiteeksi valittiin myös lahoppuun määrän nostaminen, joten analyysin avulla tuli etsiä myös lahoppupotentiaaliltaan matalia alueita.

Valittujen kriteerien arvoille täytyi tässä vaiheessa soveltuvuusmallinnusta valita painotukset. Painotus tapahtuu välillä 1–10, jossa 1 on pienin arvo ja 10 parhaan soveltuvuuden arvo. Pisteytyksiä voidaan antaa muun muassa luokittelemalla arvoja tai funktioiden avulla. Metsien lahoppupotentiaalille ja Distance Accumulation -rasterille käytettiin lineaarista funktiota pisteytyksien antamiseen. Lahoppupotentiaalissa parhaimmat arvot ovat pienimmät arvot, sillä se kertoo sen, että alueella on mahdollisesti potentiaalia kasvattaa lahoppuun määrää ennallistamistoimenpiteenä. Etäisyys tarkasteltavasta ratalinjasta taas saa parhaimmat arvot mitä lähempänä ratalinjaa ollaan. Puuston iälle ja keskiläpimitalle hyödynnettiin Gaussin käyrää, johon muutettiin keskikohta analyysiä varten sopivammaksi. Käytännössä näiden aineistojen avulla haluttiin kohdistaa painotus nuoreen tai varttuneeseen metsään. Tämän määrittelyyn apuna käytettiin tietoja metsien kehitysluokista (Maanmittauslaitos 2021a) ja niiden suositelluista uudistamiskypsyksistä (Maanmittauslaitos 2021b). Muun muassa nuoren kasvatusmetsikön keskiläpimitta on vähintään 8 cm ja keski-ikä on enintään 0,8 kertaa suosituskiertoaika (Maanmittauslaitos 2021a). Näistä tiedoista pystyi laskemaan ja arvioimaan suunnilleen mihin keskiläpimitaan ja ikähaarukkaan nuoret ja varttuneet metsät sijoittuvat. Gaussin käyrän keskipistettä ja muotoa muokkaamalla pisteytyksen sai kattamaan siten, että puuston iässä parhaimmat arvot aineisto sai 34 vuoden kohdilla ja keskiläpimitan osalta parhaimmat arvot sijoittuivat 14 cm läheisyyteen. Metsien kasvupaikkatyypeille annettiin painotukset jokaiselle arvolle erikseen, jotka voi nähdä alla olevasta taulukosta (Taulukko 10). Käytännössä painotukset tulivat hyvityslaskelmien tuloksista sekä erilaisten painotuksien kokeilusta. Tavoitteena oli saada analyysi etsimään monipuolisesti hyvitykseen vaadittavia metsiä.

Taulukko 10. Metsien kasvupaikkatyyppien painotukset soveltuvuusanalyysissä.

Kasvupaikkatyyppi	Painotus
Lehto	2
Lehtomainen kangas	8
Tuore kangas	10
Kuivahko kangas	8
Kuiva kangas	7
Karukkokangas	6
Kalliometsä	8
Kalliomaat, hietikot, kitu- ja joutomaat	1

Soveltuvuusanalyysissä voidaan antaa myös erilliset painotukset kriteereille (eli koko aineistolle), eikä pelkästään niiden arvoille. Tässä työssä hyödynnettiin kertoimia painotuksiin. Distance Accumulation ja puuston ikä -aineistot saivat tässä työssä painotuksen 1, puuston keskiläpimitta ja lahoppupotentiaali painotuksen 2 ja kasvupaikkatyytit painotuksen 2,5. Etäisyysrasteri sai painotuksen 1, sillä vaikka olisi tärkeää, että hyvitysalueet sijoittuisivat mahdollisimman lähelle haitta-alueita, analyysin ei haluta rajaavan liikaa potentiaalisia hyvitysalueita metsien kohdalla. Jotta tarvittava määrä metsiä löydetäisiin hyvitysalueeksi, painotettiin metsän kasvupaikkatyyppijä sekä luonnontilaisuuden kriteerejä enemmän. Puuston ikä sai myös arvon 1, sillä tässä analyysissä ajateltiin keskiläpimitan olevan parempi aineisto tarvittavan kehitysluokan etsimiseen. Kasvupaikkatyytit saivat vähän keskiläpimittaa ja lahoppupotentiaalia paremman painotuksen (2,5), jotta analyysi pystyisi oikeasti etsimään monipuolisesti hyvitykseen tarvittavia kasvupaikkatyyppijä.

Tämän jälkeen suoritettiin analyysi, jonka tulokseksi saatiin soveltuvuuspinna, joka kertoo metsien soveltuvuudesta tämän ratalinjauksen hyvityksiin. Tämän tuloksen myötä voidaan vielä suorittaa soveltuvien alueiden etsintä. Määriteltiin haettavan alueen pinta-ala (435,38 ha), alueiden määrä (1), alueen muoto (neliö) sekä tapa millä Locate-työkalu etsii alueen. Metsien osalta valittiin, että työkalu etsii soveltuvuuspiisteityksestä suurimman summan perusteella soveltuvat alueet. Lisäksi määriteltiin miten vahvasti muoto saa vaikuttaa valittaviin alueisiin. Tässä analyysissä valittiin muodon ja hyödyllisyyden tasapainoksi 50 prosenttia. Näillä painotuksilla haettiin 2 vaihtoehtoista aluetta, jotta voidaan tarkastella laajemmin kriteerien täyttymistä.

Soiden hyvitysalueiden etsinnässä kriteereinä toimivat soiden ojitustilanne, soiden ravinteisuus, suotyypien uhanalaisuus sekä etäisyys tarkasteltavasta ratalinjauksesta. Soille ennallistamistoimenpiteeksi valittiin soiden ojien tukkiminen, joten soveltuvuus tulee kohdistaa ojitettuihin soihin. Lisäksi varovaisuusperiaatteena laskentavaiheessa valittiin soille erittäin uhanalaisten luontotyyppien kerroin, jonka myötä hyvitykset tulisi kohdistaa mahdollisuuksien mukaan erittäin uhanalaisiin suoluontotyyppeihin. Ravinteisuuden tarkoituksena on kohdistaa hyvitykset runsasravinteisiin soihin.

Etäisyysrasterille annettiin painotukset lineaarisen funktion perusteella, samoin kuten metsien kohdalla. Muille soiden soveltuvuuden kriteereille painotukset annettiin yksittäisten arvojen avulla. Soiden ojitustilanne aineistossa ojitettu turvemaa sai arvon 10, kun muut arvot (ojittamaton turvemaa, turpeenottoalueet, No Data) saivat arvon 1. Soiden ravinteisuustaso aineistossa turvepelto, kytöheitto ja mineraalimaa saivat arvon 1. Muut ravinteisuustasot on jaettu BOOST-hankkeen ohjeistuksien mukaan runsasravinteisiin, keskiravinteisiin ja karuihin soihin (Moilanen 2023). Runsaaravinteiset (ruoho- ja mustikkaturvekangas) suot saivat arvon 10, keskiravinteiset (puolukka- ja varputurvekangas) arvon 5 ja karut (jäkäläturvekangas) suot arvon 2. Uhanalaisuusaineistossa (suoluontotyypit) erittäin uhanalaiset suoluontotyypit (EN) saivat painotuksen 10, vaarantuneet (VU) painotuksen 6, silmälläpidettävät ja säilyvät painotuksen 2 ja muut suotyypit (turvepelto, kytöheitto, mineraalimaa) arvon 1.

Seuraavaksi kriteereille täytyi antaa myös kokonaisvaltaiset painotukset välillä 1–10. Etäisyysrasteri ja soiden ojitustilanne -aineisto saivat painotuksen 1, soiden ravinteisuustaso painotuksen 2 ja soiden uhanalaisuustaso painotuksen 4. Tärkeimpänä kriteerinä soiden osalta oli uhanalaisuus, sillä laskennassa tehtyjen valintojen takia on tärkeää, että analyysi löytää pääosin uhanalaisluokiteltuja soita. Soiden ojitustilanne -aineistolle ei siten annettu suurempaa painotusta, sillä aineisto oli vain varmistamassa GTK:n aineistoja virheiden varalta (ks. kpl 6.2). Myöskään etäisyyden ei haluttu vaikuttavan liikaa soihin, sillä hyvitysalueeksi sopivan erittäin uhanalaisen suon löytäminen voi olla hankalaa.

Analyysin suorittamisen jälkeen oli aika paikantaa soiden hyvitykseen soveltuvat alueet Locate-työkalulla. Haettavan alueen pinta-ala tuli olla yhteensä 35,6 hehtaaria. Alueen muodoksi valittiin ympyrä ja hakutavaksi suurimman summan saanut alue. Muoto sai vaikuttaa alueeseen vain vähän (10 %), sillä suoalueet saattoivat olla minkä muotoisia tahansa. Näillä painotuksilla etsittiin 2 aluetta, jotka yhdessä luovat hyvityksen ja jotka olivat maksimissaan toisistaan 50

kilometrin päässä. Kaksi aluetta haettiin siksi, sillä analyysillä oli vaikeuksia löytää yhtä yhtenäistä aluetta. Tässä tutkielmassa periaatteena oli, että useat hyvitysalueet voivat olla maksimissaan 50 kilometrin päässä toisistaan, jotta ne eivät sijoittuisi liian kauas toisistaan. Myös toiset vaihtoehtoiset alueet haettiin analyysillä samoilla painotuksilla ja alueen lukumäärillä.

Pienvesien osalta hyvitysalueiden etsinnässä kriteereinä toimivat lähteikköä ja noroa ympäröivän puuston kehitystilanne, hakkuuilmoitukset sekä etäisyys tarkastellusta ratalinjauksesta. Lähteikköjen osalta ennallistamistoimenpiteiksi valittiin rakenteellisen monimuotoisuuden sekä lähteikköä suojaavan puuston palauttaminen. Noroille ennallistamistoimenpiteitä olivat uoman ennallistaminen ja valuma-alueen kunnostus. Ongelmana näiden kriteerien kanssa oli se, että lähteikköjen ja norojen luonnontilaisuudesta on erittäin vähän paikkatietoaineistoja saatavilla. Tämän takia analyysissä täytyi tehdä päätelmiä luonnontilaisuudesta puuston perusteella. Metsien uudistamis- ja hoitotoimenpiteet ovat Suomen luontotyyppien uhanalaisuusarvion mukaan merkittäviä uhkatekijöitä sekä lähteiköille että noroille (Kontula & Raunio 2018). Soveltuvuusanalyysissä ennallistamistoimenpiteisiin soveltuvia pienvesiä pyrittiin löytämään yhdistämällä norojen ja lähteikköjen sijaintitietoa sekä metsien hoito- ja uudistamistoimenpiteiden esiintymistä. Lähteiköt ja norot, jotka sijaitsevat alueilla, joilla on tehty metsien hoito- ja uudistamistoimia, ovat saattaneet heikentyä esimerkiksi morfologialtaan, hydrologialtaan tai kasvillisuudeltaan. Menetelmään liittyvää epävarmuutta on käsitelty kappaleessa 7, ja luonnontilaisuus tulisi varmistaa maastokäynnillä.

Etäisyysrasterille annettiin painotukset lineaarisen funktion perusteella, samoin kuten metsien ja soiden kohdalla. Muille pienvesien kriteereille painotukset annettiin yksittäisten arvojen avulla. Pienvesien esiintyvyys sekä hakkuuilmoitus -aineistolle annettiin painotukset sen mukaan kumpi analyysi (noro vai lähteikkö) oli kyseessä. Kun kyseessä oli lähteiköt, saivat ne painotuksen 10 ja norot painotuksen 1. Painotukset olivat päinvastoin, jos kyseessä oli norojen analyysi. Puuston kehitysluokka -aineistossa painotukset olivat seuraavat: Aukea sai painotuksen 10, taimikot painotuksen 7, nuori metsä painotuksen 4 ja muut (uudistuskypsä -, varttunut -, erikäisrakenteinen -, suojuspuumetsä) painotuksen 1.

Lisäksi kriteeristölle täytyi antaa kokonaisvaltaiset painotukset. Metsän kehitysluokalle annettiin painotukseksi 2 ja muille painotukseksi 1. Tämä siksi, että metsän kehitysluokka kertoo paremmalla varmuudella sen missä kunnossa puusto on. Hakkuuilmoitukset ohjaavat kyllä

hyvitystä oikeaan suuntaan, mutta hakkuuilmoitukset eivät täysin kerro todellista tilannetta alueella. Välttämättä alueella ei ole tehty mitään toimia, vaikka siitä olisi tehty hakkuuilmoitus.

Painotuksien määrittelyn jälkeen noroille ja lähteiköille paikannettiin mahdolliset hyvitysalueet. Lähteikköjä tulisi olla vähintään 2,10 hehtaaria. Hakutapa oli suurimman summan saanut alue. Muoto oli ympyrä ja muodon vaikutus valittuun alueeseen oli 50 prosenttia. Lähteikköjä haettiin yhteensä 3 eri aluetta (max. 50 km päässä toisistaan), jotta lähteikköjen määrä ei vähenisi verrattuna haittaan. Koska lähteikköjen aineisto perustuu ympäröivään metsikköön ja etsiminen hehtaareihin, vaarana olisi muuten se, että niiden määrä olisi liian pieni haittaan nähden. Hyvitysalueille haettiin myös vaihtoehtoinen alue. Norojen osalta haitta-alueella oli vain yksi noro, joten myös alueita haettiin vain yksi kerrallaan. Hehtaarimäärältään noroa tulisi olla noin 0,87 hehtaaria. Noroilla muotokriteeri oli neliö ja vaikutus muotoon 50 prosenttia.

Kallioiden hyvitysalueiden etsinnässä kriteereinä toimivat kallioiden keskiravinteisuus, kallioiden metsäisyys (umpeenkasvu) sekä etäisyys tarkasteltavasta ratalinjauksesta. Kallioille valittiin ennallistamistoimenpiteeksi umpeenkasvun poistaminen, joten analyysi tulisi kohdistaa keskiravinteisiin kallioihin, jossa umpeenkasvua on jo tapahtunut.

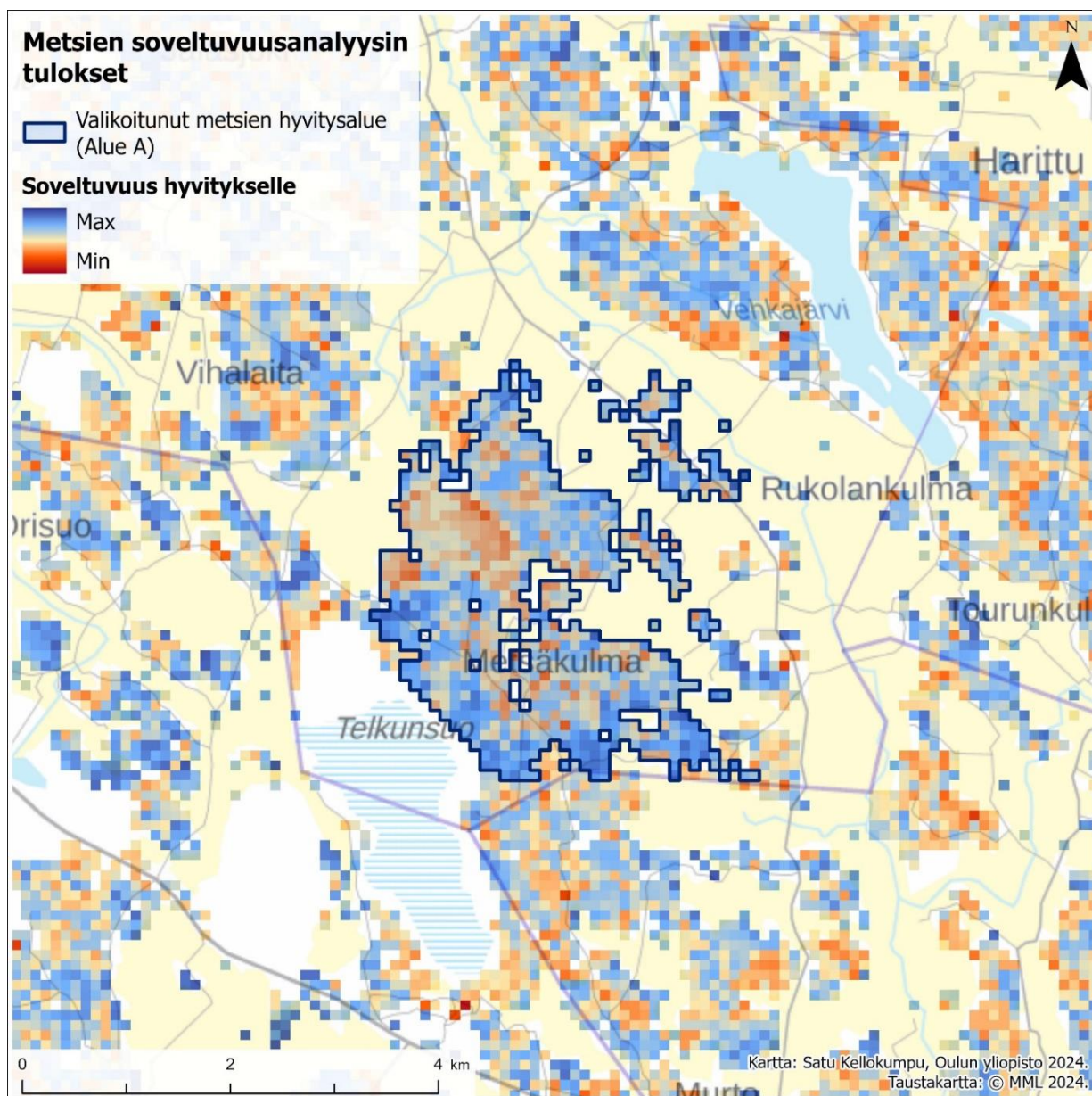
Etäisyysrasterille annettiin painotukset lineaarisen funktion perusteella, samoin kuten muiden luontotyyppien kohdalla. Muille kallioiden soveltuvuuden kriteereille painotukset annettiin yksittäisten arvojen avulla. LuTU2018 aineistossa nollat (ei keskiravinteisia kallioita) sai arvon 1 ja ykköset (esiintyy keskiravinteisia kallioita) saivat arvon 10. GTK:n kallioperäaineistoon oli tehty sama luokittelu soveltuvuusanalyysien aineistojen käsittelyvaiheessa, joten aineisto sai myös saman painotuksen LuTU ruutukartta-aineiston kanssa. Corine 2018 -aineistossa taas painotukset annettiin Level 3 -luokan mukaan, jossa harvapuustoiset alueet saivat painotuksen 10, metsät (lehti-, havu- ja sekametsät) painotuksen 5 ja loput aineistosta painotukset 1. Tämän aineiston painotuksen tavoitteena oli kohdistaa analyysi sellaisiin alueisiin, jossa kallioiden umpeenkasvua olisi jo jonkin verran tapahtunut, mutta ei kuitenkaan liikaa.

Seuraavaksi kriteeristölle tuli antaa kokonaisvaltaiset painotukset. Päätin antaa kaikille muille saman painotuksen (2), paitsi LuTU2018 ruutuaineistolle painotuksen 1. Tämä siksi, että LuTU2018 aineisto on kaikista aineistoista karkein tarkkuudeltaan. Lisäksi analyysi vaikutti hyvin tällä painotuksella löytävän kriteereihin soveltuvia kallioalueita. Analyysin jälkeen kallioiden hyvitykseen soveltuvat alueet paikannettiin Locate-välilehdellä. Haettavan alueen pinta-ala tuli

olla yhteensä 5,72 hehtaaria. Koska hehtaarimäärä on niin pieni, haettiin vain yksi alue. Alueen muodoksi valittiin ympyrä ja hakutavaksi suurimman summan saanut alue. Muoto sai vaikuttaa 50 %. Samoilla painotuksilla haettiin myös tarkastelua varten toinen vaihtoehtoinen alue.

6.4 Soveltuvuusanalyysin tulokset

Metsien ensisijaiseksi hyvitysalueeksi valikoitui metsäalue Punkalaitumelta. Alue sijoittuu Humppilan kunnan ja Punkalaitumen rajalle. Alue on soveltuvuusanalyysin perusteella pääosin hyvitykselle soveltuvaa (Kuva 10 10). Keskellä vaikuttaisi olevan osin hyvitykselle soveltumatonta aluetta, jota on valikoitunut mukaan. Alueen pinta-ala on yhteensä 731 hehtaaria. Pinta-alojen jakautuminen metsätyypeittäin voi nähdä myös taulukosta 11.

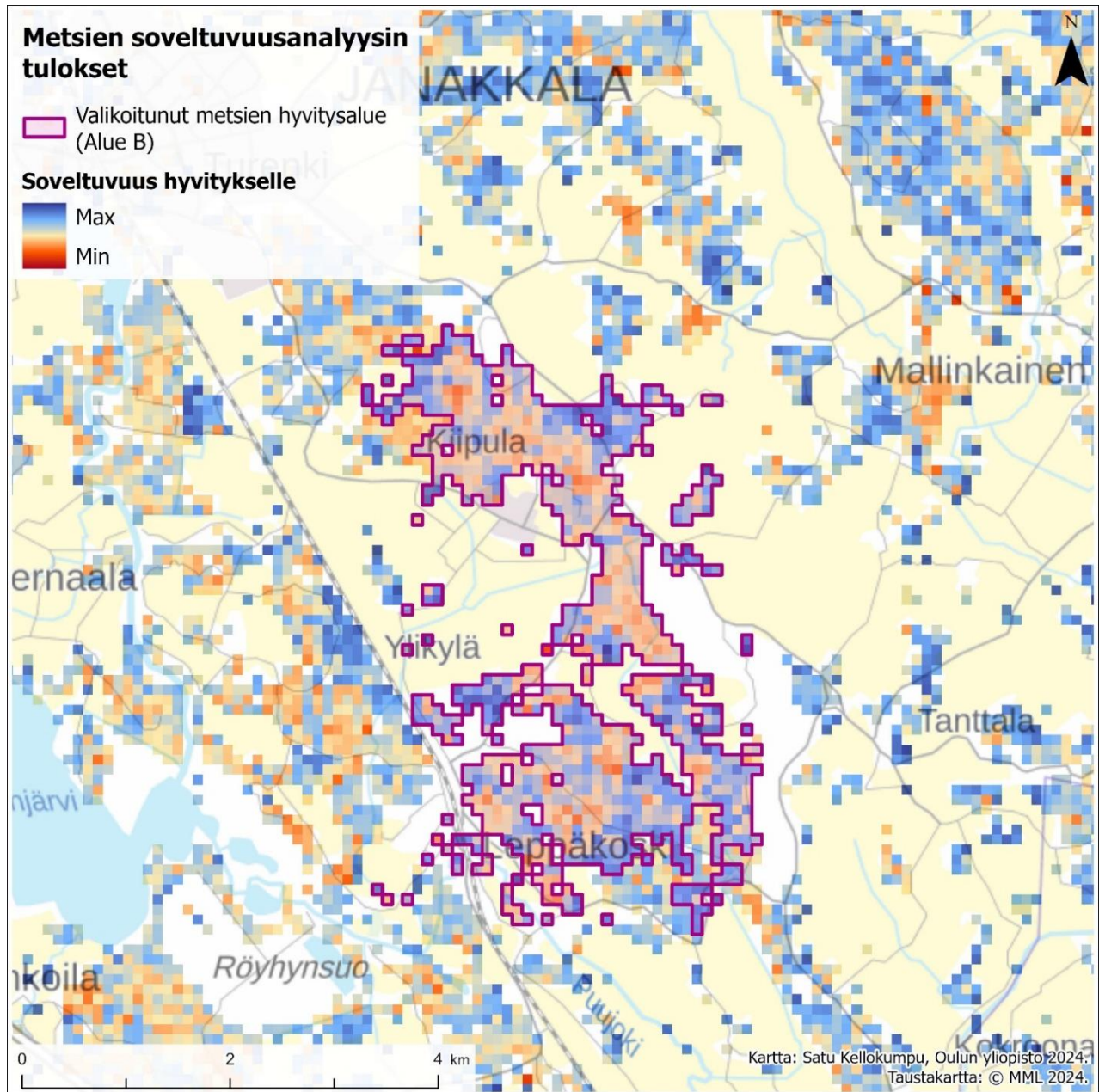


Kuva 10. Metsien ensisijaiseksi hyvitysalueeksi (Alue A) valikoitunut alue Punkalaitumella.

Taulukko 11. Metsien ensisijaiselle hyvitysalueelle sijoittuvien metsien pinta-alat kasvupaikkatyypeittäin.

Metsätyyppi	Pinta-ala (ha)
Lehto	1,64
Lehtomainen kangas	164,81
Tuore kangas	375,88
Kuivahko kangas	45,31
Kuiva kangas	12,29
Karukkokangas	46,11
Kalliometsä	28,70
Kalliomaat, hietikot, kitu- ja joutomaat	1,64

Kaikille luontotyypeille etsittiin myös toissijainen hyvitysalue. Metsien osalta toissijainen hyvitysalue sijoittui Janakkalan kunnan alueelle (Kuva 11). Alueen soveltuvuus hyvitykselle vaihtelee alueen sisällä jonkin verran, eikä ole niin selkeästi ole yhtenäisesti soveltuvaa aluetta. Alueen pinta-ala on noin 799 hehtaaria. Alueen jakautumisen metsätyypeittäin voi nähdä taulukosta 12.

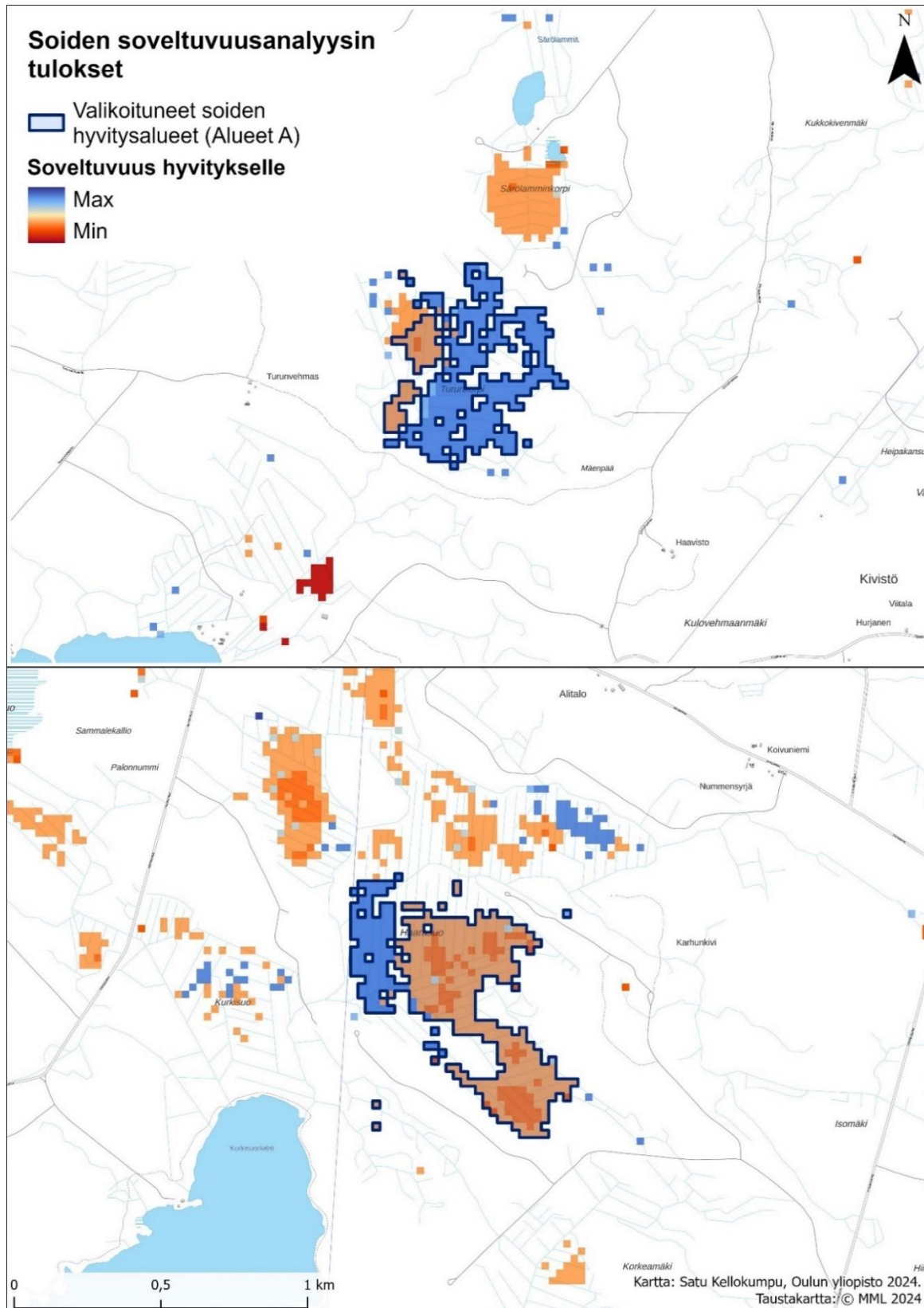


Kuva 11. Metsien toissijaiseksi hyvitysalueeksi (Alue B) valikoitunut alue Janakkalassa.

Taulukko 12. Metsien toissijaiselle hyvitysalueelle sijoittuvien metsien pinta-alat kasvupaikkatyypeittäin.

Metsätyyppi	Pinta-ala (ha)
Lehto	13,62
Lehtomainen kangas	206,41
Tuore kangas	374,14
Kuivahko kangas	90,24
Kuiva kangas	27,29
Karukkokangas	6,20
Kalliometsä	2,15
Kalliomaat, hietikot, kitu- ja joutomaat	0,38

Soiden osalta hyvitysalueeksi etsittiin kahta aluetta maksimissaan 50 kilometrin etäisyydellä toisistaan. Tätä pidettiin periaatteena tutkielmassa, jos hyvitysalueita etsittiin useampia. Tällä estetään se, etteivät alueet sijoittuisi liian kauas toisistaan. Ensisijaiseksi hyvitysalueiksi valikoituneet alueet on esitetty alla olevassa kuvassa (Kuva 12). Kuvassa ylempi alue sijoittuu Hämeenlinnan alueelle ja alempi Lopen kunnan alueelle. Erityisesti Hämeenlinnan alueelle sijoittuva Turunkorven suo vaikuttaa sisältävän paljon hyvitykselle soveltuvaa suoaluetta. Lopen alueella olevan Haarasuon soveltuvuus vaikuttaisi kokonaisvaltaisesti olevan matalampaa, mutta alueen länsipuolella vaikuttaisi olevan hyvitykselle soveltuvaa suota. Haarasuon koillisosassa vaikuttaisi myös olevan hyvitykselle soveltuvaa aluetta, joka ei tässä ole kuitenkaan valikoitunut alueisiin mukaan. Alueiden yhteinen pinta-ala on yhteensä noin 44 hehtaaria. Suurin osa alueista on isovarpurämettä tai puolukkarorpea (Taulukko 13).

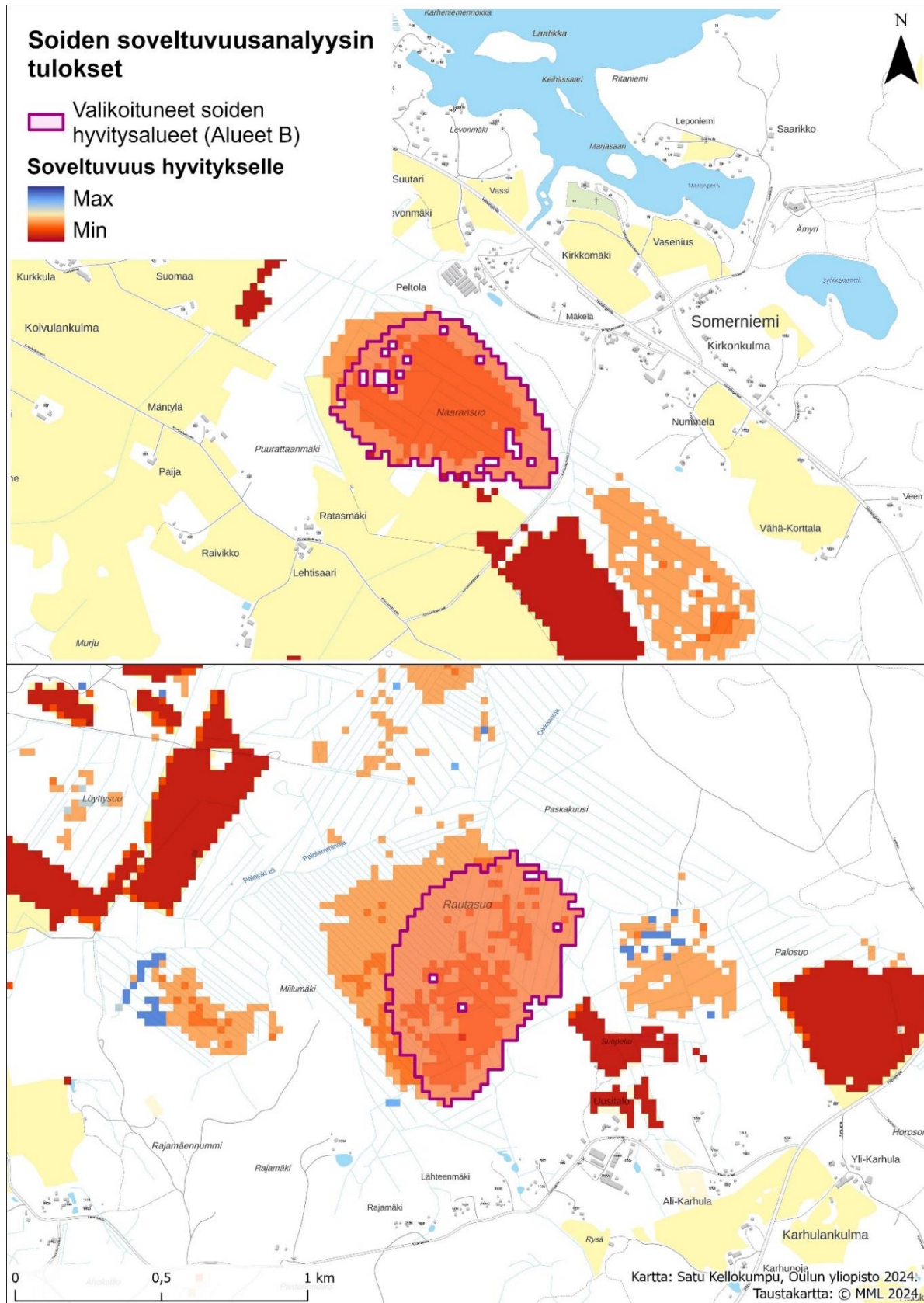


Kuva 12. Soiden ensisijaisiksi hyvitysalueiksi (Alueet A) valikoituneet alueet Hämeenlinnassa ja Lopella.

Taulukko 13. Soiden ensisijaiselle hyvitysalueelle sijoittuvat suopinta-alat suoluontotyypeittäin.

Suoluontotyyppi ja uhanalaisuus	Pinta-ala (ha)
Isovarpuräme (NT)	13,43
Puolukkakorpi (EN)	11,61
Rahkaräme (LC)	4,7
Korpiräme (EN)	4,39
Lyhytkorsiräme (NT)	1,67
Tupasvillaräme (NT)	1,26
Sararäme (VU)	0,23

Toissijaisiksi soiden hyvitysalueiksi valikoitui Naaransuo Somerossa ja Rautasuo Lopessa (Kuva 13). Kuvassa ylempi on Naaransuon alue ja alempi Rautasuo. Molemmat alueet vaikuttavat oleva huonommin soveltuvia alueita hyvitykselle analyysin mukaan. Alueiden pinta-ala yhteensä on noin 64 hehtaaria. Alueet ovat suurimmaksi osaksi suoluontotyypiltään isovarpurämettä sekä rahkarämettä (Taulukko 14).

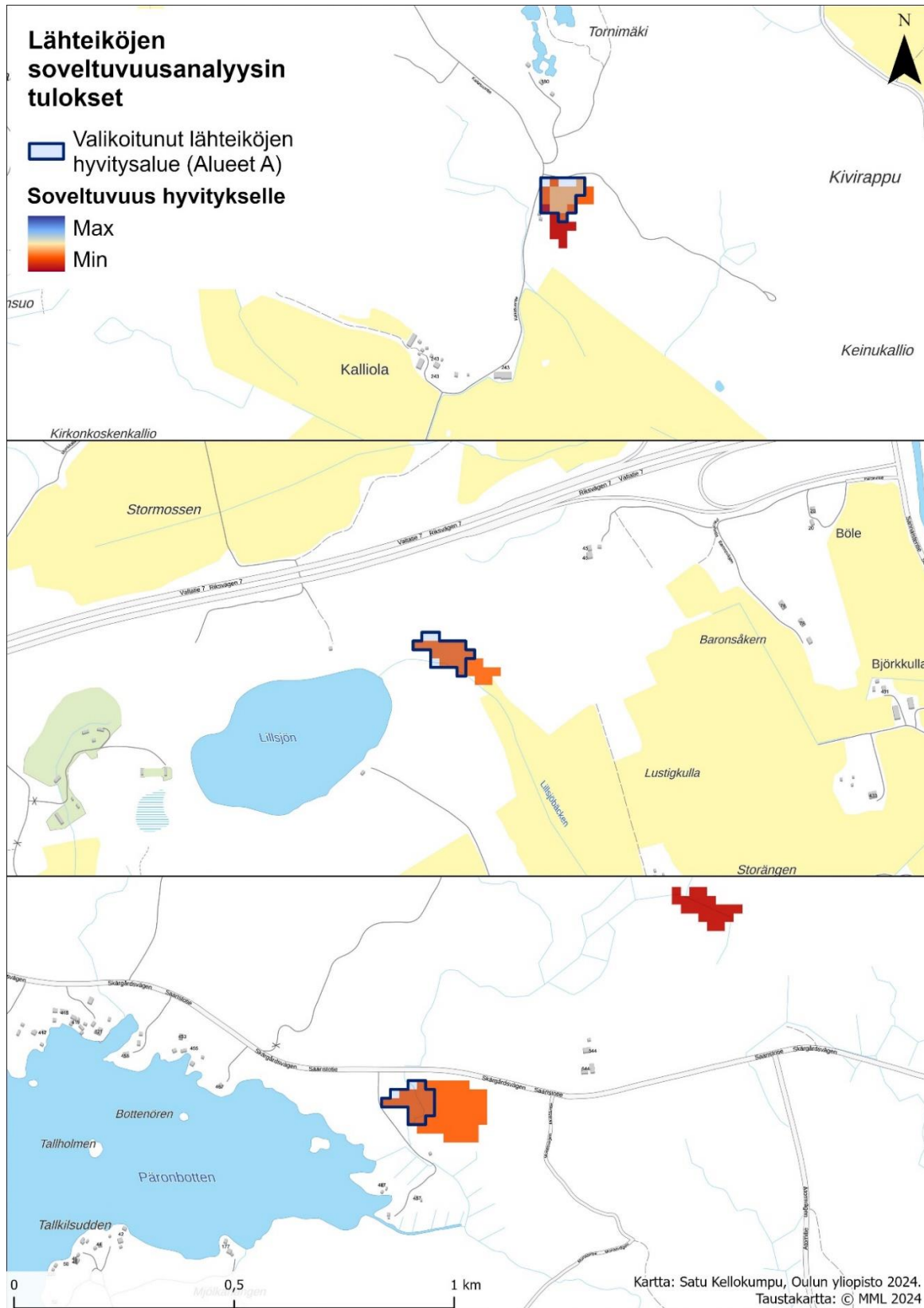


Kuva 13. Soiden toissijaiseksi hyvitysalueiksi (Alueet B) valikoituneet alueet Somerossa ja Lopella.

Taulukko 14. Soiden toissijaiselle hyvitysalueelle sijoittuvat suopinta-alat suoluontotyypeittäin.

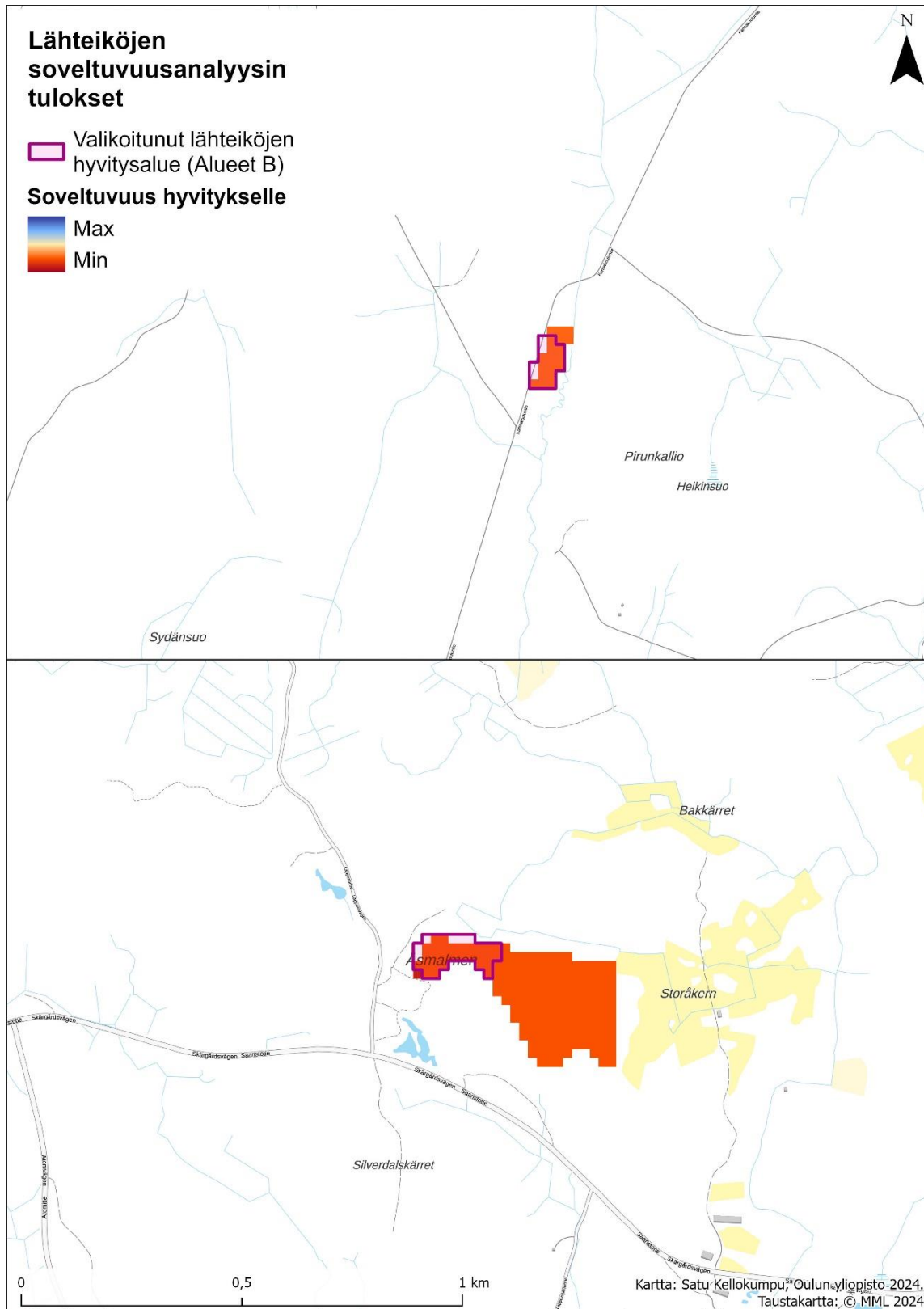
Suoluontotyyppi ja uhanalaisuus	Pinta-ala (ha)
Isovarpuräme (NT)	31,5
Rahkaräme (LC)	25,6
Keidasräme (LC)	2,11
Tupasvillaräme (NT)	1,54
Turvepelto	0,05
Korpiräme (EN)	0,02

Lähteikköjen osalta hyvitysalueeksi etsittiin kolmea aluetta maksimissaan 50 kilometrin päässä toisistaan. Ensisijaisiksi hyvitysalueiksi valikoituivat lähteiköt Iitin, Porvoon ja Loviisan alueilta (Kuva 14). Kuvassa ylin valikoitunut hyvitysalue on Iitin kunnan alueella, keskimäinen Porvoossa ja alin hyvitysalue Loviisassa. Soveltuvuusmallinnuksen mukaan kaikki kolme aluetta ovat soveltavuudeltaan noin keskiluokkaa, Iitin alueella oleva lähteikkö vaikuttaisi soveltuvan hyvitykseen hieman paremmin kuin Porvoon ja Loviisan alueelle valikoituneet lähteiköt (Kuva 14). Alueiden yhteinen pinta-ala on yhteensä 2,2 hehtaaria.



Kuva 14. Lähteikköjen ensisijaisiksi hyvitysalueiksi (Alueet A) valikoituneet alueet Itäissä, Porvoossa ja Loviisassa.

Toissijaisiksi hyvitysalueiksi valikoituivat lähteiköt Orimattilan ja Loviisan alueilta (Kuva 15). Kuvassa ylin valikoitunut hyvitysalue on Orimattilan alueella ja alin Loviisassa. Analyysin oli tarkoituksena löytää kolme lähteikköä, mutta kolmas alue tuli poistaa manuaalisesti sillä se oli noro. Myös toissijaiset hyvitysalueet ovat soveltavuudeltaan hyvitykseen noin keskiluokkaa (Kuva 15). Toissijaisten hyvitysalueiden yhteinen pinta-ala on yhteensä 2,12 hehtaaria.



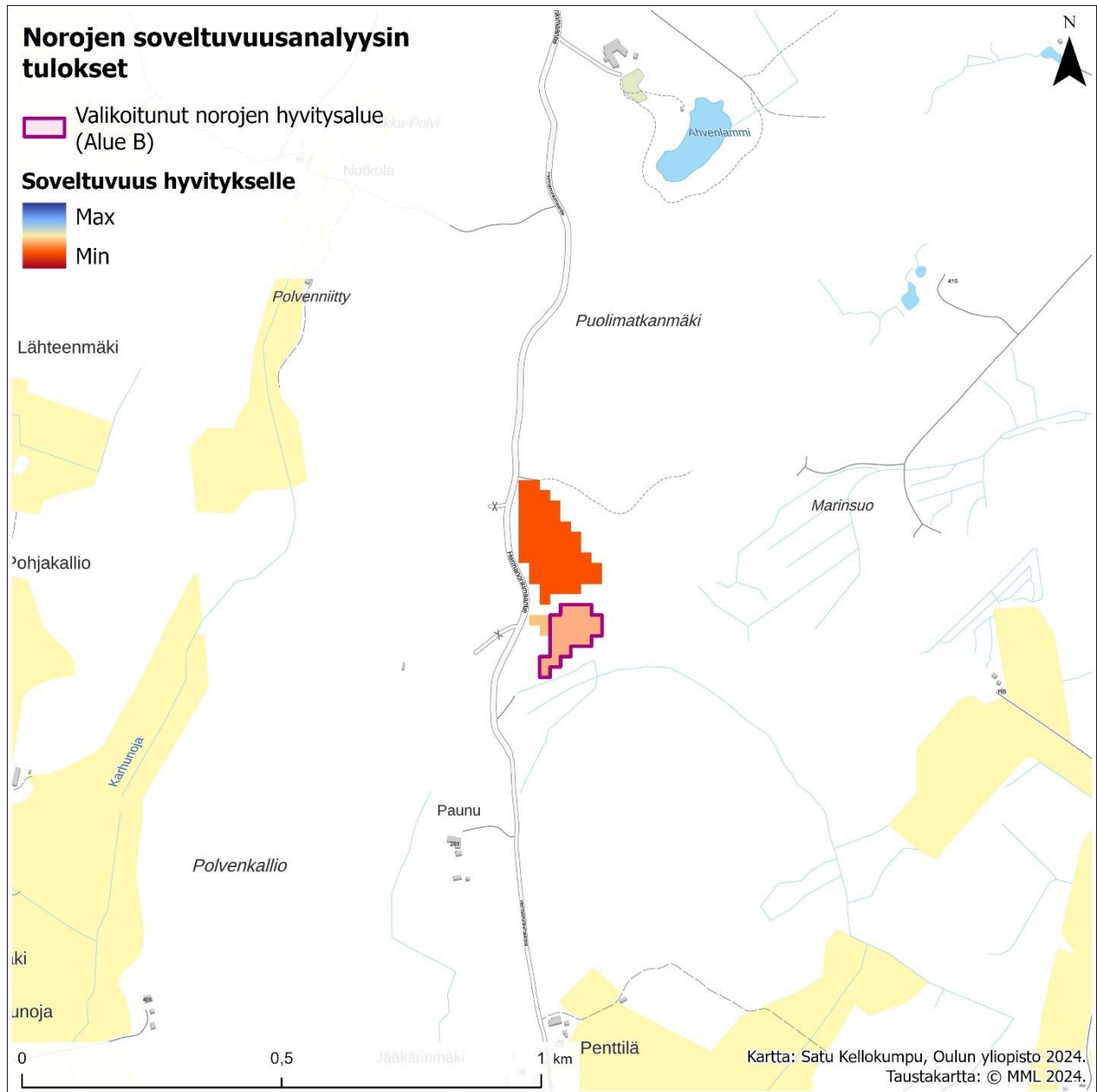
Kuva 15. Lähteikköjen toissijaisiksi hyvitysalueiksi (Alueet B) valikoituneet alueet Orimattilassa ja Loviisassa.

Norojen osalta hyvitysalueeksi etsittiin yhtä, vähintään noin 0,87 hehtaarin kokoista noroa. Ensisijaiseksi hyvitysalueeksi valikoitui Mäntsälän keskuksen lähellä sijaitseva noro (Kuva 16). Soveltuvuus näyttäisi hyvitykselle olevan keskiluokkaa. Alue on pinta-alaltaan noin 0,92 hehtaaria.



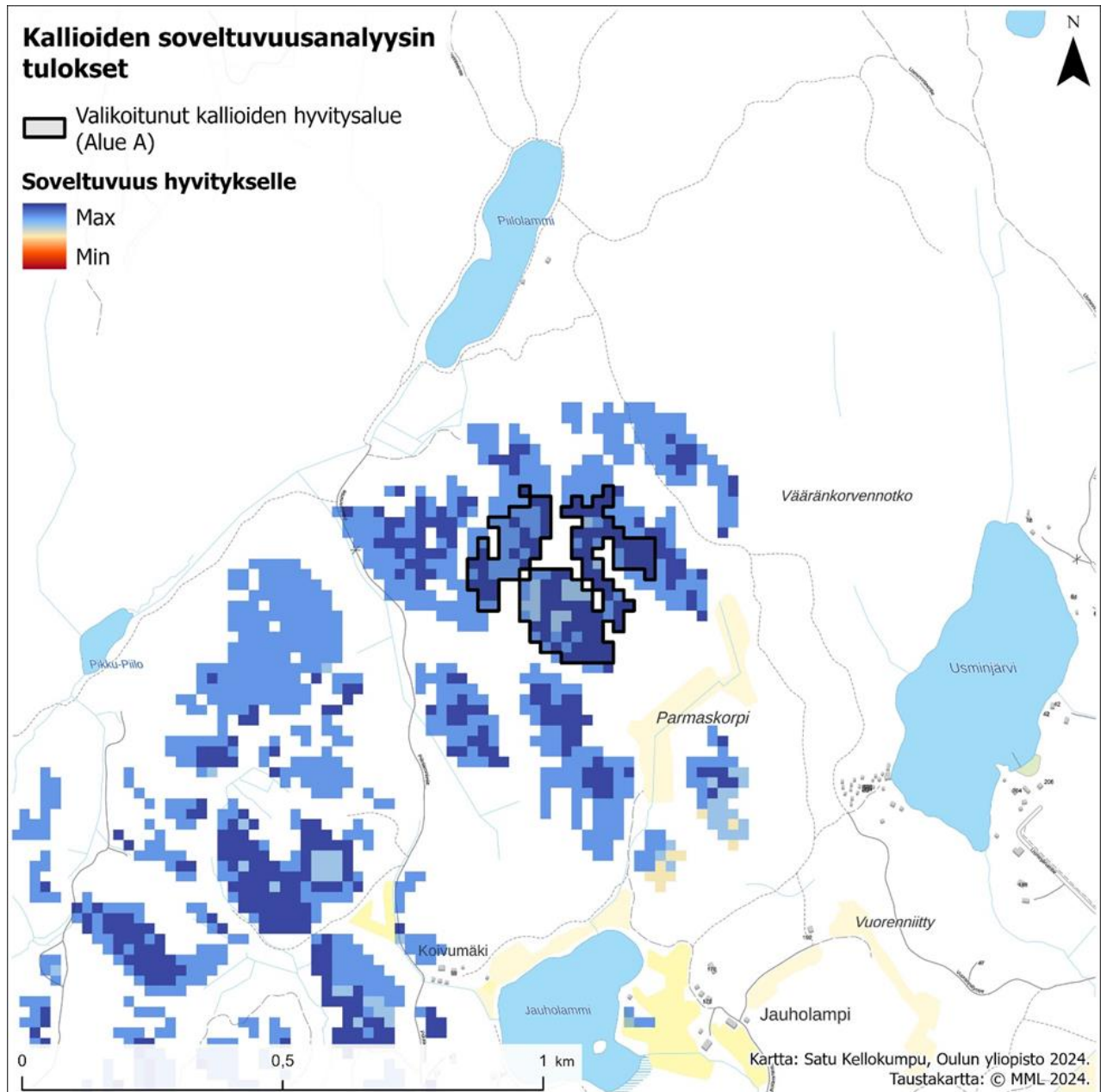
Kuva 16. Norojen ensisijaiseksi hyvitysalueeksi (Alue A) valikoitunut alue Mäntsälän keskuksen lähetyillä.

Myös norojen toissijainen hyvitysalue sijoittuu Mäntsälään, noin pari kilometriä etelään keskuksesta (Kuva 17). Toissijaisen hyvitysalueen soveltuvuus on myös samaa luokkaa ensisijaisen hyvitysalueen kanssa. Alue on pinta-alaltaan noin 0,88 hehtaaria.



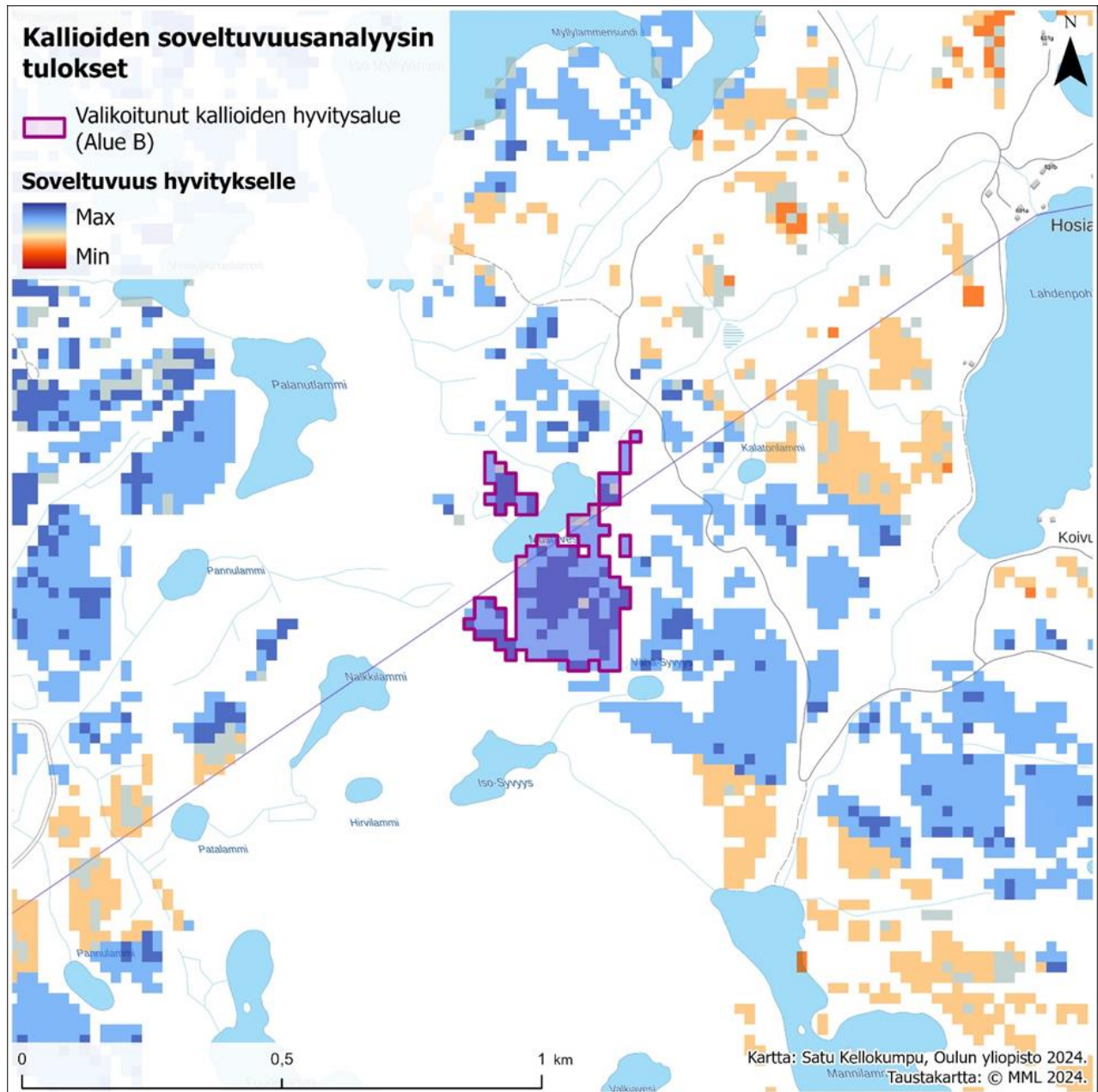
Kuva 17. Norojen toissijaiseksi hyvitysalueeksi (Alue B) valikoitunut alue Mäntsälän keskustasta pari kilometriä etelään.

Kallioiden osalta ensisijaiseksi hyvitysalueeksi valikoitui kalliopaljastuma Vääränkorvennotkon alueelta Hyvinkäältä (Kuva 18). Alueen pinta-ala on noin 6 hehtaaria. Soveltuvuus hyvitykselle vaikuttaisi analyysin tuloksien mukaan olevan erittäin korkeaa. Alueen kallioperä on gabroa GTK:n kallioperäkartan mukaan.



Kuva 18. Kallioiden ensisijaiseksi hyvitysalueeksi (Alue A) valikoitunut alue Hyvinkäältä.

Kallioiden toissijaisen hyvitysalueen voi nähdä alla olevasta kuvasta (Kuva 19). Kallioalue sijaitsee Mustaveden läheisyydessä Raaseporin ja Salon rajalla. Suurin osa hyvitysalueesta sijaitsee Raaseporin puolella. Alueen pinta-ala on 7 hehtaaria. Soveltuvuus hyvitykselle vaikuttaisi analyysin tuloksien mukaan olevan erittäin korkea. GTK:n kallioperäkartan mukaan hyvitysalueen kallioperä koostuu dioriitista.



Kuva 19. Kallioiden toissijaiseksi hyvitysalueeksi (Alue B) valikoitunut alue Raaseporin ja Salon rajalta.

7 Tulosten pohdinta

7.1 Tulokset suhteessa heikennysalueeseen

Metsien hyvitysalueeksi tulisi valikoitua noin 435,38 hehtaaria metsää, josta suurin osa tulisi olla metsätyypiltään tuoretta kangasta (254,49). Ennallistamistoimenpiteenä alueelle pitäisi pystyä tekemään metsän rakennepiirteitä parantavia toimenpiteitä sekä lahopuun lisäämistä. Lisäksi hyvityksen tulisi kohdistua nuoriin tai varttuneisiin kasvatusmetsiin.

Ensisijainen hyvitysalue Punkalaitumelta olisi noin 731 hehtaarin kokoinen alue. Hyvitysalueen etsintä Locate-työkalulla tuotti siis paljon enemmän hyvityspinta-alaa kuin oli vaadittu. Todennäköisesti koko alueella ei pystytä tekemään ennallistamistoimia, jolloin hyödyllistä on se, että hyvityspinta-alaa on reilusti. Tarkemmassa metsätyyppitarkastelussa kalliometsistä vajaaksi jäi 2,55 hehtaaria ja kuivasta kankaista vajaaksi 13,3 hehtaaria. Kuitenkin taas muita metsäluontotyyppejä valikoitui runsaammin mukaan (Taulukko 15). Esimerkiksi tuoretta kangasta tuli 121 hehtaaria ylimääräistä mukaan. Analyysi löysi kuitenkin suhteellisen hyvin sellaisen hyvitysalueen, missä oli monipuolisesti erilaisia metsätyyppejä.

Taulukko 15. Metsien ensisijaisen hyvitysalueen sekä vaadittavan hyvityspinta-alan erotus hehtaareissa.

Metsätyyppi	Ensisijainen hyvitysalue (ha)	Vaadittava hyvityspinta-ala (ha)	Erotus (ha)
Lehto	1,64	0,75	0,89
Lehtomainen kangas	164,81	80,75	84,06
Tuore kangas	375,88	254,49	121,39
Kuiva kangas	45,31	58,62	-13,31
Kuivahko kangas	12,29	8,25	4,04
Karukkokangas	46,11	1,27	44,84
Kalliometsä	28,7	31,25	-2,55

Lahopuupotentiaalin määrä vaihtelee alueella välillä 0,01–0,99. Matalimmat arvot lahopuupotentiaalissa keskittyvät alueen reunoille ja korkeammat arvot alueen keskikohdille. Suurin osa alueesta vaikuttaa lahopuupotentiaaliltaan olevan alle 0,7. Mahdollisuuksia lahopuun määrän lisäämiselle siis on. Metsävara-aineiston mukaan alueelle sijoittuu eri-ikäisrakenteista metsää vain alle hehtaarin verran, joten myös rakennepiirteitä parantavia toimenpiteitä pitäisi pystyä tekemään alueella. Todennäköisesti kyseiset metsät ovat rakennepiirteiltään yksipuolisia, sillä metsätalouskäyttö tyypillisesti heikentää metsien rakennepiirteitä (Spies 1998).

Metsien hyvitysalueen tulisi ikärakenteeltaan olla myös nuorta tai varttunutta metsää vasteiden laskennan vuoksi. Metsävara-aineiston perusteella noin 67 % alueesta on nuorta tai varttunutta kasvatusmetsää. Loput alueesta on pääosin joko taimikkoa (16 %) tai uudistuskypsää metsää (7 %). Alue vaikuttaisi olevan suurimmaksi osalta haluttua ikärakennetta.

Toissijainen hyvitysalue Janakkalasta oli noin 799 hehtaaria. Myös tämä hyvitysalue on pinta-alaltaan reilumpi kuin tarvetta oli. Tarkemmassa metsätyyppitarkastelussa vain kalliometsä jäi reilusti vajaaksi 29 hehtaarilla, mutta muita metsätyyppejä valikoitui reilusti (Taulukko 16). Vaikka kalliometsät jäivätkin reilusti vajaaksi, tuli muita metsäluontotyypejä reilusti mukaan.

Taulukko 16. Metsien toissijaisen hyvitysalueen sekä vaadittavan hyvityspinta-alan erotus hehtaareissa.

Metsätyyppi	Toissijainen hyvitysalue (ha)	Vaadittava hyvityspinta-ala (ha)	Erotus (ha)
Lehto	13,62	0,75	12,87
Lehtomainen kangas	206,41	80,75	125,66
Tuore kangas	374,14	254,49	119,65
Kuiva kangas	90,24	58,62	31,62
Kuivahko kangas	27,29	8,25	19,04
Karukkokangas	6,2	1,27	4,93
Kalliometsä	2,15	31,25	-29,1

Lahopuupotentiaalin määrä vaihtelee alueella 0,002–0,99. Myös tällä alueella lahopuupotentiaalin matalat arvot sijoittuvat hyvitysalueen reunoille ja korkeammat arvot keskemmas. Suurin osa alueesta vaikuttaa lahopuupotentiaalin puolesta olevan korkeampaa (yli 0,7). Tämän aineiston perusteella alue ei vaikuttaisi niin hyvin soveltuvan lahopuumäärän lisäämiseen. Metsävara-aineiston mukaan alueelle ei sijoitu eri-ikäisrakenteista metsää, joten rakennepiirteitä parantavia toimenpiteitä voisi mahdollisesti tehdä alueella. Alue on myös pääosin nuorta tai varttunutta kasvatusmetsää, eli rakennepiirteiltään suhteellisen yksipuolista.

Metsävara-aineiston perusteeltaan ikärakenteeltaan alue on nuorta tai varttunutta kasvatusmetsää. Alueesta noin 71 % on nuorta tai varttunutta kasvatusmetsää. Loput alueesta on pääosin joko taimikkoa (18 %) tai uudistuskypsää metsää (10 %). Myös toissijainen alue on suurimmaksi osaksi haluttua ikärakennetta.

Kaiken tarkastelun perusteella vaikuttaisi, että ensisijainen hyvitysalue sopisi paremmin hyvitysalueeksi kuin toissijainen. Vaikka hyvitykseen vaadittava pinta-ala ei kaikkien metsäluontotyyppien osalta täyttynyt, niin muilta osin (lahopuupotentiaali, ikärakenne) alue vaikuttaa olevan parempi hyvitykselle. Metsätyyppejä voisi täydentää esimerkiksi toissijaisella hyvitysalueella sijaitsevilla metsätyypeillä. Myös analyysi löysi joidenkin metsätyyppien osalta enemmän kuin tarpeeksi hyvitystä, jolloin voidaan myös pohtia, soveltuuko esimerkiksi karukkokankaan 44 hehtaarin alueesta osa korvaamaan kuivan kankaan hyvityksen vajetta. Vaihteluahan alueella on myös pelkästään ison koon takia, joten ikärakenne ei täysin tietenkään ole nuorta tai varttunutta kasvatusmetsää. Alueelle voisi tarkastelun perusteella tehdä mainittuja ennallistamistoimenpiteitä. Ikärakenne vaikuttaa vain metsissä vasteiden muodostamiseen ja arvoihin, jolloin tässäkin tapauksessa jälkikäteen täytyisi vielä tehdä laskenta, jossa valituista alueista laskettaisiin paljonko todellisia hyvityksiä niistä muodostuisi. Tämä tarkastelu rajattiin tämän työn ulkopuolelle sen laajuuden vuoksi. Suurimmaksi osaksi alue on nuorta tai varttunutta kasvatusmetsää. Koska analyysi löysi niin reilusti hyvitetävää aluetta, voidaan tarkemman tarkastelun perusteella myös jättää epäsopivimmat alueet hyvityksestä pois ja kohdistaa ne sellaisiin alueisiin, joissa kriteerit täyttyvät. Huomioitavaa myös lahopuun kasvattamisen osalta on, että joidenkin lähteiden mukaan metsikkötasolla lahopuun määrän lisäykseen soveltuu ensisijaisesti varttuneet metsät (Similä & Junninen 2011). Tässä tapauksessa nuoremmat metsät huomioitiin, mutta jatkossa nuorten kasvatusmetsien pitämistä analyysissä tulisi harkita tarkemmin.

Analyysi löysi hyvin yhtenäiset alueet Punkalaitumelta sekä Janakkalasta. Jatkossa voidaan miettiä tulisiko näin suuria pinta-alamääriä etsiä tasaisemmin eri alueilta, sillä nyt alueet vievät kunnista aika suurehkon alueen. Locate-työkalussa on mahdollisuus jakaa hehtaarimäärää myös pienempiin alueisiin. Tässä tutkielmassa yhtenäisemmän alueen etsiminen oli analyysin toimivuuden tarkastelun takia helpompaa, mutta käytännössä pinta-alamäärien tasaisempi jakautuminen eri alueille olisi kompensaation toteuttamisen kannalta järkevämpää.

Soiden osalta hyvitysalueeksi tulisi valikoitua noin 35,6 hehtaaria runsasravinteisia ja erittäin uhanalaisia soita, joissa ennallistamistoimenpiteenä voisi tehdä ojien tukkimista. Soiden osalta vaikuttaa, että analyysillä oli vaikeuksia täyttää kaikkia vaadittuja kriteereitä. Tähän erityisesti vaikuttaa varovaisuusperiaatteena valittu uhanalaisuuden kerroin.

Kaksi ensisijaista hyvitysaluetta muodostivat yhdessä yhteensä 44 hehtaarin kokoisen alueen. Valitut suot ovat ojitettuja GTK:n ja SYKE:n aineiston perusteella. Myös maastokartasta voi nähdä ojituksen. Ennallistamistoimenpiteiden tulisi siis onnistua alueilla. 44 hehtaarista noin 16 hehtaaria on maanlaajuisesti erittäin uhanalaisia (Puolukkakorpi ja korpiräme) (Taulukko 13). Se on alle halutun määrän. Korpiräme ja puolukkakorpi kuuluvat myös keskirasvinteisiin suotyyppeihin (Moilanen 2023). Ravinteisuutta tärkeämpää analyysillä oli löytää erittäin uhanalaisia soita, joka tuli myös analyysien painotuksien valinnassa esille.

Kaksi toissijaista hyvitysaluetta vaikuttavat olevan pelkästään soveltuvuusanalyysin puolesta jo epäsoivia hyvitykseksi (Kuva 13). Alueet muodostavat yhdessä 64 hehtaarin kokoisen alueen, joista vain 0,02 hehtaaria oli erittäin uhanalaista suotyyppiä (Taulukko 14). Suot ovat kyllä ojitettuja. Toissijaisten alueiden etsinnässä oli analyysillä vaikeuksia löytää hyvitykseen soveltuvia alueita.

Analyysin Locate työkalulla oli selkeästi vaikeuksia löytää laajoja erittäin uhanalaisia soita, joka suurimmaksi osalta johtuu luultavasti valitusta varovaisuusperiaatteesta hyvityslaskentavaiheessa. Kompensaation laskentavaiheessa varovaisuusperiaatteena soille valittiin erittäin uhanalaisten soiden kerroin, joka tarkoittaa myös, että hyvitys tulisi kohdistaa erittäin uhanalaiseihin soihin. Kuitenkin erityisesti Etelä-Suomessa laajempia erittäin uhanalaisia soita on suhteellisen vähän (Kaakinen ym. 2018). Osittain myös ongelmana on GTK:n suoluontotyyppiaineiston muoto. Aineisto on rasterimuotoinen sekä pikselikooltaan tarkkaa. Aineistossa on siis paljon alueita, jotka eivät selkeästi muodosta yhtenäisiä suoalueita. Esimerkiksi

Haarasuon vieressä olevalla Kurkisuolla (Kuva 12) sijaitsee rasterisoluja, jotka ovat erittäin uhanalaista korpirämettä. Alue ei kuitenkaan valikoitunut joukkoon sillä se ei muokatussa aineistossa muodosta yhtenäistä aluetta, vaan korpirämeiden pikseleiden vieressä on myös isovarpurämettä tai täysin tyhjiä pikseleitä. Tähän tutkielmaan uhanalaisuus katsottiin maanlaajuisen tilanteen mukaan, mutta maanlaajuiset luokittelut saattavat hieman erota Etelä-Suomen luokittelusta. Esimerkiksi sararäme on Etelä-Suomessa luokiteltu erittäin uhanalaiseksi, kun taas maanlaajuisesti luokitus on vaarantunut. Kompensaatioasetuksen (933/2023 3 §) uhanalaisuuden määrittely kompensatioissa tulee tehdä aina tuoreimman kansallisen uhanalaisuusarvioinnin mukaisesti.

Vaikka analyysissä Locate-työkalulla oli vaikeuksia löytää erittäin uhanalaisia soita, on analyysistä silti apua. Tarkemmalla tarkastelulla voi huomata, että esimerkiksi Haarasuon koillisosassa vaikuttaisi myös olevan hyvitykselle soveltuvaa aluetta (Kuva 12). Tarkemmalla tarkastelulla alue paljastuu ojitetuksi korpirämeeksi. Soveltuvuuskartan avulla voi siis myös manuaalisesti koittaa etsiä soveltuvia hyvitysalueita. Tässä tilanteessa esimerkiksi Haarasuon koillisosa toisi karkeasti laskettuna noin 5,63 hehtaarin kokoisen hyvitysalueen lisää. Soiden osalta voisi siis harkita soveltuvuuskartan manuaalista tarkastelua, jotta erittäin uhanalaisia soita löytyisi. Tuloksiin luultavasti kuitenkin aina valikoituu hieman uhanalaisuusluokaltaan alempia soita niiden vähyden ja aineiston muodon vuoksi. Uhanalaisuus tulee tarkistaa myöhemmin aina maastokäynnillä.

Pienvesien analyyseissä kriteerit olivat samoja niin lähteiköille ja noroille. Kriteereinä toimivat lähteikköä ja noroa ympäröivän puuston kehitystilanne, hakkuuilmoitukset sekä etäisyys tarkastellusta ratalinjauksesta. Lähteikköjen osalta tavoitteena oli löytää 2,10 hehtaaria lähteikköjä, joissa voisi tehdä suojuspuuston lisäämistä sekä rakenteellisen monimuotoisuuden palauttamista. Noroja täytyi taas löytää 0,87 hehtaaria, joissa voisi tehdä uoman ennallistamista ja valuma-alueen kunnostusta.

Lähteiköillä ensisijaiset hyvitysalueet olivat yhteensä noin 2,2 hehtaaria. Suurin osa kaikista kolmesta alueesta ovat metsien kehitysluokaltaan taimikkoa. Vain Iitissä sijaitsevalla lähteiköllä on tehty hakkuuilmoitus vuodelta 2020 ja hakkuutapana on ollut avohakkuu. Ortokuvassa kyseisellä alueella näkyy selkeä hakkuuaukea, jossa on tapahtunut jo hiukan taimettumista. Porvoossa ja Loviisassa sijaitsevilla lähteiköillä ei ollut niin selkeää hakkuuta tehty,

eikä alueilta ole myöskään hakkuuilmoitusta. Alueet kuitenkin näyttävät ortokuvassa hieman harvapuustoisilta ja metsä on alueella nuorta metsäkeskuksen aineiston mukaan. Hakkuuilmoitusaineisto ei välttämättä sisällä tietoja aiemmista hakkuista. Ennallistamistoimenpiteistä esimerkiksi suojuspuiden lisääminen puita istuttamalla voisi mahdollisesti soveltua kohteille. Koska lähteiköistä on muuten huonosti saatavilla paikkatietoaineistoa, voisi metsien tilasta myös päätellä, että mahdollisesti rakenteellista monimuotoisuutta voisi parantaa alueilla. Tämä täytyisi kuitenkin varmistaa vielä maastokäynneillä.

Lähteikköjen toissijaiset hyvitysalueet muodostivat yhteensä 2,12 hehtaaria. Analyysin oli tarkoituksena löytää kolme lähteikköä, mutta kolmas alue tuli poistaa manuaalisesti, sillä metsävara-aineiston tarkemman tarkastelun myötä se paljastui noroksi. Tämä johtui siitä, että aineistot pidettiin analyysissä noroille ja lähteiköille samana, vain niiden painotuksia muutettiin. Analyysi löysi kuitenkin tarpeeksi hyvitys-alaa. Orimattilassa oleva alue on taimikkoa, kun taas Loviisassa sijaitsevan lähteikön metsikkö on varttunutta kasvatusmetsikköä. Loviisan lähteikölle oli tehty hakkuuilmoitus vuonna 2023, mutta ortokuvasta (2022) hakkuuta ei voida varmistaa. Osa hakkuuilmoituksista ei välttämättä ole heti toteutuneet, sillä ilmoitus on luonteeltaan hakkuu-aikomus eikä se ei velvoita hakkuuseen (Metsäkeskus 2023). Mikäli lähteikön ympärillä ei ole tehty metsien uudistamis- ja hoitotoimia, ei lähde välttämättä ole heikentynyt. Orimattilan lähteiköllä voisi mahdollisesti lisätä suojuspuustoa sekä parantaa rakenteellista monimuotoisuutta, mutta asia tulisi varmistaa maastokäynnillä.

Norojen ensisijainen hyvitysalue sijoittui Mäntsälään ja oli noin 0,92 hehtaaria. Alue oli kehitysluokaltaan ylispuustoista taimikkoa ja alueella ei ollut hakkuuilmoitusta. Ortokuvassa oli kuitenkin erittäin lähellä aluetta hakkuuaukea sekä teollisuusaluetta. Todennäköisesti noro saattaisi siten olla valuma-alueeltaan huonommassa kunnossa, jolloin uoman ennallistaminen ja valuma-alueen kunnostus voisi onnistua.

Norojen toissijainen hyvitysalue sijoittui myös Mäntsälään ja oli noin 0,88 hehtaaria. Toissijainen hyvitysalue oli myös kehitysluokaltaan taimikkoa, ja alueella ei ollut myöskään hakkuuilmoituksia. Alue näyttää ilmakuvassa mahdolliselta vanhalta hakkuuaukealta, joka on taimikoitunut. Läheltä noroa kulkee myös maantie sekä metsäautotie. Alue voisi mahdollisesti soveltua noron ennallistamistoimenpiteisiin, mutta asia tulisi varmistaa maastokäynnillä.

Pienvesien osalta epävarmuutta analyysiin aiheuttavat puutteelliset paikkatietoaineistot. Lähteiköistä ja noroista on suhteellisen vähän paikkatietoa saatavilla, mikä vaikeuttaa hyvitysalueiden etsintää paikkatietopohjaisesti. Lisäksi olemassa oleva paikkatietoaineisto (Metsäkeskus 2021) on keskittynyt etenkin metsälailla suojeltuihin luonnontilaisiin lähteikköihin ja noroihin, ei niinkään luonnontilaltaan heikentyneisiin kohteisiin. Pienvesien tilaan liittyvistä kriteereistä ainoastaan suojuspuuston tilasta oli saatavilla aineistoa. Tässäkin työssä osa kriteereistä perustui sille ajatukselle, että alueella, jossa on tehty metsänhakkuita, on myös noron tai lähteikön rakennepiirteet mahdollisesti vaurioituneet samalla. Tämä ei välttämättä ole todellinen tilanne alueella, joten erityisesti pienvesien kohdalla tulisi analyysin tulokset tarkistaa maastokäynneillä. Oletus kuitenkin vaikutti toimivan osittain, sillä esimerkiksi norojen kohdilla analyysi vaikutti löytävän hyvin sellaisia alueita, joissa muun muassa rakentamista ja hakkuita oli tapahtunut alueella tai alueen välittömässä läheisyydessä. Jatkossa pienvesien hyvitysalueiden etsinnässä ainakin norojen osalta voisi yrittää hyödyntää myös Metsäkeskuksen tuottamaa virtausverkkoa sekä uoma-analyysia.

Kallioiden osalta hyvitysalueeksi tuli valikoitua noin 5,7 hehtaaria keskiravinteisia kallioita, jossa voisi tehdä ennallistamistoimenpiteenä umpeenkasvun poistoa. Kallioiden osalta vaikuttaa, että soveltuvuusanalyysi toimi hyvin ja löysi hyvin hyvitystä vastaavia alueita.

Ensisijainen hyvitysalue oli noin 6 hehtaaria pinta-alaltaan, josta koko alue oli gabroa. Gabron esiintyvyys viittaa Kontulan ja muiden (2018: 206) mukaan kallion keskiravinteisuuteen. Lisäksi Corine-aineiston mukaan suurin osa alueesta on harvapuustoista aluetta ja loput alueesta havumetsää tai sekametsää. Ilmakuvatarkastelun perusteella alue vaikutti kallioiselta alueelta, jossa oli hieman umpeenkasvua havaittavissa.

Toissijainen hyvitysalue oli noin 7 hehtaaria pinta-alaltaan, josta koko alue oli dioriittia, eli kallio todennäköisesti on keskiravinteista (Kontula 2018: 206). Myös toissijaisen hyvitysalueen kohdalla suurin osa alueesta on harvapuustoista ja loput alueesta havumetsää. Myös ilmakuvassa alue vaikuttaa kallioiselta alueelta, jossa on tapahtunut umpeenkasvua jo paljon. Myös toissijainen alue vaikuttaa paikkatietotarkastelun mukaan sopivalta hyvitysalueeksi.

Kallioiden osalta epävarmuutta tuo käytetyt aineistot. Keskiravinteiseksi luokiteltu kallioperä kertoo jotain kallion ravinteisuudesta, mutta siihen vaikuttaa myös kivilajien rapautumisaste, kallion rikkonaisuus ja sivukivilajit (Kontula ym. 2018: 206), joista ei löytynyt

tarvittavaa aineistoa analyysiin. Suomen kallioista noin 99 % on joko keskiravinteisia tai karuja kallioita (Kontula ym. 2018: 205), joten erittäin todennäköistä on, että arvio kallioperän ravinteisuudesta pitäisi paikkansa. Varman vastauksen saa toteuttamalla alueelle maastokäynnin.

7.2 Tulosten yhteenveto, luotettavuus ja epävarmuudet

Soveltuvuusanalyysi vaikuttaa toimivan osittain hyvitysalueiden etsinnässä. Täydellinen se ei kuitenkaan ole, ja käytettävät aineistot vaikuttavat lopputulokseen merkittävästi. Analyysi vaikuttaa toimivan paremmin mittakaavaltaan laajemmilla luontotyypeillä, kuten metsillä, kallioilla ja soilla. Pienempien luontotyyppien kuten norojen ja lähteikköjen osalta hyvitysalueiden etsiminen on vaikeampaa pienen mittakaavan sekä aineiston vähyyden takia. Myös soiden osalta pienempiä suoalueita ei oikein valikoitunut analyysissä mukaan, eli aineistojen mittakaava vaikutti osaltaan tuloksiin.

Aineistojen osalta epävarmuutta kaikkiin paikkatietoanalyysiin tuo tietenkin niiden sisältö, laatu sekä päivitystiheydet. Joidenkin aineistojen kohdalla analyysin ei vaikuta se, että aineistot ovat vanhoja, sillä muutosta ei ole välttämättä tapahtunut. Esimerkiksi kallioperäaineisto on tällainen aineisto, joka tuskin on muuttunut vuosien aikana. Joidenkin aineistojen kohdalla, kuten tässä tutkielmassa metsien osalta, muutoksia taas saattaa tapahtua nopeastikin. Tässä tutkielmassa käytettiin esimerkiksi tuoreinta metsien valtakunnallista inventointiaineistoa vuodelta 2021. Huomioitavaa on, että tämän jälkeen muutoksia esimerkiksi metsien ikärakenteessa on voinut tapahtua muun muassa hakkuiden myötä. Vaikka kyseessä onkin tuorein mahdollinen aineisto, tuo se silti analyysiin epävarmuutta todelliseen tilanteeseen nähden. Lisäksi erityisesti lähteikköjen ja norojen osalta analyysissä ongelmaksi muodostui aineistojen vähäinen määrä. Lähteiköt ja norot ovat nyt tunnistettu niin laskenta- kuin analyysivaiheessakin metsävara-aineiston perusteella, mikä vääristää niiden todellista pinta-alaa, sillä metsävara-aineistossa lähteikön tai noron esiintyminen ottaa mukaan ympäröivän metsäalueen. Esimerkiksi lähteiköt ovat yleensä vain noin 0,01 hehtaarin kokoisia (Kontula & Raunio 2018: 237). Todellisuudessa vaadittava hyvityspinta-ala ja löydetty hyvitysalueet ovat pinta-alaltaan pienempiä. Koska aineisto oli sama niin laskennassa kuin myös hyvitysalueen etsinnässä, on virhe koossa samansuuruinen, eikä pitäisi merkittävästi vaikuttaa lopputulokseen.

Analyysi on myös osaltaan subjektiivinen ja sen käyttäminen tässä kontekstissa vaatii osittain luontotyyppien asiantuntijuutta. Subjektiivisuutta soveltuvuusanalyysiin tulee painotuksien valinnan kautta. Tästä aihepiiristä ei myöskään löytynyt aikaisempia tutkimuksia, joissa soveltuvuusanalyysiä tai sen painotuksia olisi käsitelty, joten painotuksia ei voinut verrata aikaisempaan tutkimustietoon. Jos analyysiä hyödynnetään laajemminkin ekologisen kompensaation hankkeissa, painotukset varmasti vaihtelevat myös tilanteen ja hankkeen mukaan. Tässäkin työssä ekologisen kompensaation haitta- ja hyvityslaskennat ohjasivat vahvasti sitä, minkälaisia alueita analyysin tulisi etsiä. Haittatut luontotyypit ja niiden määrä sekä valitut ennallistamistoimenpiteet ovat hankekohtaisia tietoja, joten yhtä oikeaa vastausta painotuksiin tuskin onkaan. Painotuksien valintaan on tietenkin myös erilaisia menetelmiä (esim. AHP), jotka ovat menetelmällisesti objektiivisempia tapoja valita painotuksia (ks. kappale 2). Hyvitys- ja haittalaskenta ohjaa niin vahvasti osaltaan painotuksien ja aineistojen valintaa, joten näiden menetelmien käyttäminen voi olla vaikeaa. Siksi niitä ei myöskään tässä työssä lähdetty kokeilemaan.

Tässä tutkielmassa myös ekologisen kompensaation laskenta perustui vahvasti paikkatietoihin. Tämä tuo ekologisen kompensaation hyvitys- ja haittamäärien tuloksiin epävarmuutta, sillä rata-alueen sijoittuvista luontotyypeistä ei ollut laatutietoa saatavilla. Puutteellisen tiedon takia luonnontilaisuuden arviointia sovellettiin paikkatiedoista eri lähteiden ja tutkimuksien avulla. Luonnontilaisuus ja luontotyypit tulisi ekologisessa kompensaatiossa aina tarkistaa maastokäynnillä. Tässä tutkielmassa maastokäyntien puutteesta ei ole haittaa, sillä ekologista kompensaatiosta ei lähdetä suunnittelemaan tämän työn pohjalta, vaan ekologisen kompensaation laskenta toimi työssä lähtötietona soveltuvuusanalyysin kokeilemiselle ja kehittämiselle. Jatkossa, jos analyysiä hyödynnetään ekologisen kompensaation hankkeissa, tulisi se sijoittua maastokäynnin pohjalta tehdyn ekologisen kompensaation laskennan jälkeen. Myös hyvitysalueiden analysoinnin jälkeen tulee toteuttaa maastokäynti, jossa varmistetaan hyvitysalueen luontotyypit ja niiden nykyinen tila.

8 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tämän tutkielman tavoitteena oli selvittää toimisiko soveltuvuusanalyysi yhtenä työvaiheena osana ekologisen kompensaation suunnittelua. Tällä hetkellä luonnonsuojelulaissa (9/2023 103 §) tarkoitettua rekisteriä hyvitysalueille ei ole vielä olemassa. Tämän myötä haitan aiheuttajat joutuvat etsimään hyvitysalueita omatoimisesti. Sopivan hyvitysalueen löytäminen voi olla työlästä ja aikaa vievää. Esimerkiksi Lahden ekologisen kompensaation pilottihankkeessa jouduttiin hyvitysalueita kaava-alueelle etsimään useampaan kertaan (Varumo ym. 2023). Joskus myös tarkempien selvitysten myötä selviää, ettei valittu hyvitysalue riitä kokonaismääräisen haitan hyvittämiseen, kuten esimerkiksi Vantaan Lumikvartsin ekologisen kompensaation suunnittelussa selvisi (Kankkunen 2024). Lisäksi suurien hankkeiden laajuus lisää vaadittavien hyvityksien määrää, mikä vaikeuttaa osaltaan hyvitysalueiden etsimistä. Tämän tutkielman tavoitteena oli helpottaa hyvitysalueiden etsimistä ja kokeilla paikkatietopohjaista soveltuvuusanalyysiä hyvitysalueiden etsintään. Tavoitteena oli etsiä Itärata-hankkeen tarkasteltavan rataosuuden kompensaatioon vaadittavia hyvitysalueita paikkatietopohjaisen soveltuvuusanalyysin avulla ArcGIS pro -ympäristössä. Tutkielmassa ei otettu kantaa maanomistajuusongelmaan tai siihen tullaanko ekologista kompensaatiota lopulta toteuttamaan hankkeessa. Työtä varten toteutettiin tarkasteluun valitulle ratalinjaukselle ekologisen kompensaation laskenta BOOST-hankkeen työkaluilla. Laskennasta saatujen tietojen avulla kartoitettiin soveltuvuusanalyysillä hyvitykseen potentiaalisia alueita. Seuraavassa osiossa käsitellään jokainen tutkimuskysymys sekä niihin tämän tutkielman aikana saadut vastaukset.

Ensimmäinen tutkimuskysymys käsitteli ekologisen kompensaation laskennan tuloksia. Tutkimuskysymys oli seuraava: Jos tarkasteltava ratalinjaus toteutuisi, kuinka paljon luontohaittaa tulisi kompensoida, jotta kokonaisheikentymättömyys toteutuisi tällä rataosuudella? Tämän työn ekologisen kompensaation laskennan tuloksien mukaan tarkasteltavan ratalinjauksen haittoja tulisi kompensoida yhteensä 435,38 hehtaarilla metsää, 35,6 hehtaarilla suota, 5,72 hehtaarilla kalliota, 2,10 hehtaarilla lähteikköjä ja 0,87 hehtaarilla noroja kokonaisheikentymättömyyden toteutumiseksi. Oletuksena tutkielmassa oli Suomiradan (Rauhala ym. 2023) tapaan, että epäsuoralla haittavyyhykkeeltä tulee kasvillisuus poistumaan 50 prosenttisesti. Jos haitan todetaan myöhemmässä vaiheessa olevan suurempi epäsuoralla haittavyyhykkeellä, tulisi haitan määrä myös muuttumaan. Lisäksi laskenta on tehty paikkatiedoin, joka tuo omia epävarmuuksia haitan

määrään (ks. tarkemmat epävarmuustekijät kappaleesta 7.2). Alueelle tulisi tehdä paikoin myös maastokäyntejä tuloksien varmistamiseksi. Hankkeen laajuuden takia koko radan inventointi on todennäköisesti liian työlästä, jolloin tämän työn tapaiseen paikkatietotarkasteluun on turvauduttava jossain määrin myös haitan määrän määrittelyssä. Tässä tutkielmassa joet jätettiin kompensaatiotarkastelun ulkopuolelle, sillä tämänhetkisessä suunnitteluvaiheessa ei ole tarkempia tietoja, miten sillat tulisivat vaikuttamaan jokiin. Jatkosuunnittelun edetessä tulisi myös selvittää joille tapahtuva haitan määrä.

Toinen ja kolmas tutkimuskysymys käsittelivät aiheeltaan soveltuvuusanalyysin tuloksia sekä sen hyödyntämistä laajemmin. Toinen tutkimuskysymys liittyi siihen mitkä alueet soveltuvuusanalyysin mukaan ovat tarkasteltavan ratalinjauksen hyvitykseen soveltuvia alueita ja toimisivatko ne hyvityksinä hankkeesta aiheutuville haitoille. Kysymyksen ensimmäiseen osioon vastattiin tarkemmin tulososiossa (ks. tarkemmat alueet kappale 6.4). Alueita löytyi eteläboreaalisen lounaismaan metsävyöhykealueelta useita ja niiden sijainti vaihteli merkittävästi. Pääosin hyvitysalueet sijoittuvat Uusimaan, Varsinais-Suomen, Kanta-Hämeen ja Päijät-Hämeen maakuntien alueille. Hyvitysalueet vaikuttivat keskimäärin soveltuvan hyvityksille, mutta joitain vaikeuksia hyvitysalueiden etsinnässä oli. Erityisesti pienemmän mittakaavan hyvitysalueet (pienet suoalueet, lähteiköt, norot) olivat selkeästi vaikeampia löytää analyysillä. Silti soveltuvuusanalyysin löytämät alueet vaikuttivat pääosin soveltuvan hyvityksiin, erityisesti kallioiden ja metsien osalta. Jatkossa hyvitysalueiden etsinnän jälkeen valituille alueille tulisi tehdä myös maastokäynti varmistamaan paikkatietotarkastelusta saadut tulokset sekä hyvitysten todellinen määrä alueella. Tässä työssä myös yritettiin löytää mahdollisimman yhtenäisiä hyvitysalueita, eikä huomioitu maanomistajuutta. Alueiden käyttö vaatisi myös maanomistajan suostumuksen ja yhteistyön. Esimerkiksi metsien kohdalla alueet olivat suhteellisen suuria hyvitysalueita (435 ha), joten laajojen hyvitysalueiden perustaminen voi olla vaikeaa maanomistajuuteen liittyvien seikkojen takia. Jatkossa tulisi pohtia onko järkevämpää etsiä useampia pienempiä hyvitysalueita. Lisäksi analyysiä voisi mahdollisesti jatkokehittää huomioimaan maanomistajuuden jollain tavalla.

Kolmas tutkimuskysymys käsitteli yleisesti sitä, voidaanko soveltuvuusanalyysia hyödyntää osana ekologisen kompensaation suunnittelua tämän työn tulosten mukaan. Tämän tutkielman perusteella soveltuvuusanalyysia voitaisiin hyödyntää osana ekologisen kompensaation suunnittelua, kunhan tiedostetaan sen rajoitteet ja epävarmuustekijät. Analyysi on hyödyllinen,

mutta sen tuloksiin liittyy jonkin verran subjektiivisuutta sekä epävarmuustekijöitä. Johtopäätöksenä on, että analyysi olisi hyödynnettävissä, kun se ajoitettaisiin suunnittelussa haitta-alueen maastokäynnin jälkeen, mutta ennen hyvitysalueen etsimistä. Potentiaalisen hyvitysalueen löytämisen jälkeen tulisi alue vielä käydä myös todentamassa maastokäynnillä. Tämän analyysin hyödyllisyys perustuu siihen, että tällä hetkellä haitan aiheuttaja joutuu etsimään hyvitysalueita omatoimisesti, mikä on aikaa vievää ja työlästä. Tilanteiden muuttuessa riskinä myös on, että hyvitysalueita joudutaan etsimään myös useaan kertaan. Soveltuvuusanalyysin avulla pystytään alustavasti kartoittamaan suoraan useampia potentiaalisia hyvitysalueita. Tämä pienentää riskiä, että hyvitysalueita tulisi etsiä useampaan kertaan. Soveltuvuusanalyysi voisi toimia myös siinä tapauksessa, jos tiedossa on jo mahdollisia hyvitysalueita, mutta niiden luontoarvoja tulisi vertailla keskenään parhaimman vaihtoehdon löytämiseksi. Soveltuvuusmallinnusta onkin käytetty tutkimuksissa alueiden vertailuun (esim. Kar & Hodgson 2008). Tässä tutkielmassa soveltuvuusanalyysi toteutettiin weighted overlay -menetelmällä. Soveltuvuusanalyysin menetelmiä on useampia ja ne eroavat hieman ominaisuuksiltaan. Tähän tutkielmaan valittiin käytettäväksi menetelmäksi weighted overlay sen yksinkertaisuuden vuoksi. Hyviä puolia weighted overlay:ssa oli analyysin joustavuus sekä menetelmän helppokäyttöisyys. Sen avulla oli helppo tarkastella muun muassa valittujen kriteerien ja painotuksien vaikutusta lopputuloksiin. Painotuksien valintaan liittyy kuitenkin paljon subjektiivisuutta. Toiset soveltuvuusanalyysit, kuten AHP, ovat painotuksien määrittelyltään hieman objektiivisempia. Jatkossa voisi miettiä myös olisiko muista soveltuvuusmallinnuksen menetelmistä hyötyä tässä kontekstissa. Tässä tutkielmassa weighted overlay toimi parhaiten, sillä painotuksia ohjaa hyvin vahvasti ekologisen kompensaaation hyvityslaskennasta saadut tulokset.

Ajallisesti analyysien toteuttaminen oli tässä tutkimuksessa suhteellisen työlästä. Arvio on, että jatkossa analyysin toteutuksen haasteellisuus vähenee, kun sitä hyödynnetään laajemmin ekologisen kompensaaation hankkeissa ja aiheesta kertyy lisää tietoa. Erityisesti aineistojen etsiminen ja hankinta sekä niiden esikäsittely helpottuisi jatkossa. Aihetta tulisi vielä tutkia jatkossa tarkemmin. Erityisesti mielenkiintoista tietoa olisi se, kuinka paljon paikkatiedot eroavat maastokäynnein saadusta tiedosta. Lisäksi tutkimusta tulisi toistaa eri hanketyypeillä sekä tilanteilla.

Kiitokset

Kiitos Itärata Oy:lle, erityisesti Minna Weurlanderille, tämän tutkielman mahdollistamisesta. Haluan erityisesti kiittää myös ohjaajiani Mikko Jaloa, Tiia Palvimoa ja Harri Antikaista. Teidän asiantuntemuksenne sekä neuvonne olivat korvaamattomia. Iso kiitos myös työkavereille, opiskelukavereille, ystäville sekä läheisille kannustamisesta ja kärsivällisyydestä.

Lähdeluettelo

- Al Salah, S. (2023). A GIS-MCDA-Based Analysis for Spatial Ecotourism Suitability Assessment in Saudi Arabia's Hail Province. *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation* 10(3) 361-377.
- Arlidge, W.N.S., Bull, J.W., Addison, P.F.W., Burgass, M.J., Gianuca, D., Gorham, T.M., ...& Milner-Gulland, E.J. (2018). A Global Mitigation Hierarchy for Nature Conservation. *BioScience* 68(5) 336–347. <https://doi.org/10.1093/biosci/biy029>
- Atici, K. B., Simsek, A. B., Ulucan, A., & Tosun, M. U. (2015). A GIS-based Multiple Criteria Decision Analysis approach for wind power plant site selection. *Utilities Policy* 37 86–96. doi:10.1016/j.jup.2015.06.001
- Barnosky, A., Matzke, N., Tomiya, S., Wogan, G., Swartz, B., Quental, T., ...& Ferrer, E. (2011). Has the Earth's Sixth Mass Extinction Already Arrived? *Nature* 471 51-7. <https://doi.org/10.1038/nature09678>
- BBOP. (2012). *Standard on Biodiversity Offsets*. Business and Biodiversity Offsets Programme (BBOP). https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/imported/BBOP_Standard_on_Biodiversity_Offsets_1_Feb_2013.pdf.
- BOOST for biodiversity offsets (2023). Työkalut. 20.3.2024. <https://boostbiodiversityoffsets.fi/tyokalut/>
- BOOST for biodiversity offsets. (2024a). *Luontotyyppejen ekologisen tilan arviointi ekologisessa kompensaatiossa, luonnos 2024*. Ekologinen kompensatio oikeudenmukaisessa siirtymässä kohti luonnon kokonaisuikentymättömyyttä (BOOST)- ja Suomen ympäristökeskuksen ekologisen kompensaaation pilotointi -hankkeet. 1.8.2024.

https://boostbiodiversityoffsets.fi/wp-content/uploads/2024/07/20240704_Luontotyyppien_tilamittarit_kompensaatioissa_tulkit_ohjeet_Luonnos.pdf

- BOOST for biodiversity offsets. (2024b). *Luontotyyppien ennallistamisen, luontaisen palautumisen ja luonnonhoidon vasteet ekologisessa kompensaatioissa*. Ekologinen kompensaatio oikeudenmukaisessa siirtymässä kohti luonnon kokonaisuikentymättömyyttä (BOOST)- ja Suomen ympäristökeskuksen ekologisen kompensaation pilotointi -hankkeet. 13.8.2024. https://boostbiodiversityoffsets.fi/wp-content/uploads/2024/07/20240704_Vasteiden_kuvaukset_kompensaatioissa_Luonnos.pdf
- Borouhaki, S. & Malczewski, J. (2008). Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS. *Computers & Geosciences* 34 399-410. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2007.04.003>
- Brookes, C. J. (1997). A genetic algorithm for locating optimal sites on raster suitability maps. *Transactions in GIS* 2(3) 201-212.
- Bull, J. W., Suttle, K. B., Gordon, A., Singh, N. J., & Milner-Gulland, E. J. (2013). Biodiversity offsets in theory and practice. *Oryx* 47(3) 369–380. doi:10.1017/S003060531200172X
- Butchart, S. H., Walpole, M., Collen, B., Van Strien, A., Scharlemann, J. P., Almond, R. E., ... & Watson, R. (2010). Global biodiversity: indicators of recent declines. *Science* 328(5982) 1164-1168.
- Clauzel, C. & Godet, C. (2020) Combining spatial modeling tools and biological data for improved multispecies assessment in restoration areas. *Biological Conservation* 250. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108713>.
- Collins, M. G., Steiner, F. R., & Rushman, M. J. (2001). Land-Use Suitability Analysis in the United States: Historical Development and Promising Technological Achievements. *Environmental Management* 28(5) 611–621. <https://doi.org/10.1007/s002670010247>
- Coralie, C., Guillaume, O., & Claude, N. (2015). Tracking the origins and development of biodiversity offsetting in academic research and its implications for conservation: a review. *Biological Conservation* 192 492-503.
- Dirzo, R., Young, H., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, N. & Collen, B. (2014). Defaunation in the Anthropocene. *Science* 345(6195) 401-406 [10.1126/science.1251817](https://doi.org/10.1126/science.1251817).

- East West Rail (2020). We're protecting the natural environment. 31.5.2024. <https://eastwestrail.co.uk/news/latest-stories/protecting-the-natural-environment>
- El Baroudy, A. A. (2016). Mapping and evaluating land suitability using a GIS-based model. *Catena* 140 96–104.
- Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. (2024). Maantien suoja-alueelle rakentaminen. 3.9.2024. <https://www.ely-keskus.fi/suoja-ja-nakemaalueelle-rakentaminen>
- EUR-Lex. (2024). Ennalta varautumisen periaate. 20.8.2024. <https://eur-lex.europa.eu/FI/legal-content/glossary/precautionary-principle.html>
- Gardner, T. A., Von Hase, A., Brownlie, S., Ekstrom, J. M., Pilgrim, J. D., Savy, C. E., ... & Ten Kate, K. (2013). Biodiversity offsets and the challenge of achieving no net loss. *Conservation biology* 27(6) 1254-1264.
- Geographic Information Training Alliance. (2013). *Weighted Overlay – Raster Model*. [Kuva]. 31.5.2024. http://www.gitta.info/Suitability/en/html/WeightOverla_learningObject1.html
- Grimm, M., & Köppel, J. (2019). Biodiversity offset program design and implementation. *Sustainability* 11(24) 6903.
- Hotanen, J. -P., Nousiainen, H., Mäkipää, R., Reinikainen A. & Tonteri, T. (2008) *Metsätyypit-opas kasvupaikkojen luokitteluun*. Metsäkustannus, Hämeenlinna.
- Itärata. (2024). Itäradan ympäristövaikutusten arviointi alkaa. 21.8.2024. <https://www.itarata.fi/itaradan-ymparistovaikutusten-arvioinnin-toteuttajaksi-ramboll/>
- Jaureguiberry, P., Titeux, N., Wiemers, M., Bowler, D. E., Coscieme, L., Golden, A. S., ... & Purvis, A. (2022). The direct drivers of recent global anthropogenic biodiversity loss. *Science advances* 8(45).
- Jiang, H. & Eastman, R. (2000). Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. *International Journal of Geographical Information Science* 14 173-184. 10.1080/136588100240903.
- Kaakinen, E., Kokko, A., Aapala, K., Autio, O., Eurola, S., Hotanen, J-P... & Virtanen, K. (2018). Suot. Teoksessa Kontula, T. & Raunio, A. (toim.). *Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 1: tulokset ja arvioinnin perusteet*. Suomen ympäristö 5/2018 117–170. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161233>
- Kankkunen, P. (2024). *Ekologisen kompensaation mahdollisuuksia Vantaalla*. Esitelmä, Mitä olet halunnut tietää ekologisesta kompensaatiosta? -seminaari, Helsinki, 17.1.2024.

https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamishankkeet/Hankkeet/Ekologisen_kompensaation_pilotointi

- Kar, B., & Hodgson, M. E. (2008). A GIS - based model to determine site suitability of emergency evacuation shelters. *Transactions in GIS* 12(2) 227–248.
- Kontula, T. & Raunio, A. (toim.). (2018). *Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 2: luontotyyppien kuvaukset*. Suomen ympäristö 5/2018. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161234>
- Kontula, T., Teeriaho, J., Husa, J., Grönlund, A., Gustafsson, J., Juutinen, R... & Pykälä, J. (2018). Kalliot ja kivikot. Teoksessa Kontula, T. & Raunio, A. (toim.). *Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Luontotyyppien punainen kirja – Osa 1: tulokset ja arvioinnin perusteet*. Suomen ympäristö 5/2018 117–170. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161233>
- Korhonen, K., Ihalainen, A., Ahola, A., Heikkinen, J., Henttonen, H. M., Hotanen, J-P... & Viiri, H. (2017). *Suomen metsät 2009–2013 ja niiden kehitys 1921–2013*. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 59/2017.
- Kotiaho, J. S., Kuusela, S., Nieminen, E., Päivinen, J., Matveinen, K., Moilanen, A., ... & Kumpula, J. (2015). *Elinympäristöjen tilan edistäminen Suomessa: ELITE-työryhmän mietintö elinympäristöjen tilan edistämisen priorisointisuunnitelmaksi ja arvio suunnitelman kokonaiskustannuksista*. Suomen ympäristö 8/2015. <http://hdl.handle.net/10138/156982>
- Kujala, H., Halme, P., Pekkonen, M., Rytteri, T., Raunio, A., Kullberg, P., ... & Keränen, I. (2021). *Heikkennyksen ja hyvityksen arviointi ekologisessa kompensaatiossa*. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 39. <https://helda.helsinki.fi/items/0c4d7ff2-8ac5-4206-b493-fb70445fff11>
- Kujala, H., Pappila, M., Leskinen, P., Tuomisaari, J., Jalkanen, J., Salokannel, V., ... & Kotiaho, J. (2024). Ekologinen kompensatio Suomessa: analyysi sääntelyn vahvuuksista, heikkouksista ja kehitysmahdollisuuksista. *Alue ja Ympäristö* 53(1) 112–135. <https://doi.org/10.30663/ay.141917>
- Lentorata (2023). Suomi-rata Oy jatkaa toimintaansa Lentorata Oy:nä. 19.11.2024. <https://lentorata.fi/suomi-rata-oy-jatkaa-toimintaansa-lentorata-oyna/>

- Locate regions (Spatial Analyst) (2024). Esri. 5.7.2024. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/3.1/tool-reference/spatial-analyst/the-transformation-functions-available-for-rescale-by-function.htm>
- Maanmittauslaitos (2021a). Kehitysluokat ja uudistamiskypsyys. 25.9.2024. <https://ak.maanmittauslaitos.fi/2021/metsatalous/metsan-inventointi/kehitysluokat-ja-uudistamiskypsyys#Aukea>
- Maanmittauslaitos (2021a). Suositellut uudistamiskeskiläpimitat (cm) ja uudistamisiät (v). 25.9.2024. <https://ak.maanmittauslaitos.fi/2021/suosittelut-uudistamiskeskilapimitat-cm-ja-uudistamisiat-v>
- Malczewski, J., Chapman, T., Flegel, C., Walters, D., Shrubsole, D., & Healy, M. A. (2003). GIS–Multicriteria Evaluation with Ordered Weighted Averaging (OWA): Case Study of Developing Watershed Management Strategies. *Environment and Planning A: Economy and Space* 35(10) 1769-1784. <https://doi.org/10.1068/a35156>
- Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in Planning* 62(1) 3–65. <https://doi.org/10.1016/J.PROGRESS.2003.09.002>
- Malczewski, J. (2006) GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science* 20(7) 703–726. DOI: 10.1080/13658810600661508
- Malczewski, J. (2011). Local Weighted Linear Combination. *Transactions in GIS* 15(4) 439-455. DOI:10.1111/j.1467-9671.2011.01275.x
- Meineri E., Deville A.-S., Grémillet D., Gauthier-Clerc M. & Béchet A. (2015). Combining correlative and mechanistic habitat suitability models to improve ecological compensation. *Biological Reviews* 90(1) 314–329. DOI: 10.1111/brv.12111
- Metsäkeskus (2021). Tietotuotekuvaus. 24.11.2024. <https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/document/tietotuotekuvaus-erityisen-tarkeat-elinymparistokuviot.pdf>
- Metsäkeskus (2023). Tietotuotekuvaus. 24.11.2024. <https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/document/tietotuotekuvaus-metsankayttoilmoitukset.pdf>

- Miller, W., Collins, M.G., Steiner, F.R. & Cook, E. (1998). An approach for greenway suitability analysis. *Landscape and Urban Planning* 42 91-105. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(98\)00080-2](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(98)00080-2).
- Moilanen, A. (2023). *Yksinkertaiset ekologisen kompensaaion laskenta-Excelit*. [Työkalu] 1.7.2024. <https://boostbiodiversityoffsets.fi/tyokalut/>
- Moilanen, A. & Kotiaho, J.S. (2017). *Ekologisen hyvityksen määrittämisen tärkeät operatiiviset päätökset*. *Suomen ympäristö* 5/2017.
- Moilanen, A., & Kotiaho, J. S. (2018). Fifteen operationally important decisions in the planning of biodiversity offsets. *Biological Conservation* 227 112-120. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.09.002>
- Moilanen, A. & Kotiaho, J. S. (2020). *Vapaaehtoinen ekologinen kompensatio AA Sakatti Mining Oy:n mahdolliselle Sakatin kaivokselle – Liite ympäristövaikutusten arviointiin*. https://www.ymparisto.fi/sites/default/files/documents/LAPPI_Liite_18_Ekologinen_kompensaatio.pdf
- Moilanen, A. & Kotiaho, J. S. (2021). Three ways of delivering a net positive impact with biodiversity offsets. *Conservation Biology* 35 197-205.
- Montgomery, B., & Dragičević, S. (2016). Comparison of GIS-based Logic Scoring of preference and multicriteria evaluation methods: urban land use suitability. *Geographical Analysis* 48(4) 427–447.
- Mustajärvi, L. J., Kotiaho, J. S., Moilanen, A., Mönkkönen, M., & Suvantola, L. (2019). Ekologisten haittojen hyvittäminen suojelualueita ennallistamalla. *Alue ja Ympäristö* 48(2) 83–98. <https://doi.org/10.30663/ay.70941>
- Mäkisara, K., Katila, M. & Peräsaari, J. (2022). *The Multi-Source National Forest Inventory of Finland - methods and results 2017 and 2019*. *Natural resources and bioeconomy studies* 90/2022.
- Nieminen, E., Halme, P., Jalkanen, J., & Moilanen, A. (2023). Metsien ekologisen kompensaaion laskenta, versio 1.0 (1.0). *Zenodo*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8177239>
- Pappila, M., Leskinen, P. & Salokannel, V. (2023). Ekologisten kompensatioiden ja lieventämishierarkian rooli alueiden käytön suunnittelussa. *Ympäristöpolitiikan ja -oikeuden vuosikirja XVI* 168–213.

- Pereira, H. M., Martins, I. S., Rosa, I. M., Kim, H., Leadley, P., Popp, A., ... & Alkemade, R. (2024). Global trends and scenarios for terrestrial biodiversity and ecosystem services from 1900 to 2050. *Science* 384(6694) 458-465.
- Persson, J., Larsson, A., & Villarroya, A. (2015). Compensation in Swedish infrastructure projects and suggestions on policy improvements. *Nature Conservation* 11 113-127.
- Phalan, B., Hayes, G., Brooks, S., Marsh, D., Howard, P., Costelloe, B., ... Whitaker, S. (2018). Avoiding impacts on biodiversity through strengthening the first stage of the mitigation hierarchy. *Oryx* 52(2) 316–324. doi:10.1017/S0030605316001034
- Quétier, F. & Lavorel, S. (2011) Assessing ecological equivalence in biodiversity offset schemes: key issues and solutions. *Biological Conservation* 144(12) 2991–99. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.09.002>
- Rail Baltica (2024a). Rail Baltica: habitats for the capercaillie will be restored. 29.5.2024. <https://www.railbaltica.org/rail-baltica-habitats-for-the-capercaillie-will-be-restored/>
- Rail Baltica (2024b). Rail Baltica – Project of the Century. 29.5.2024. <https://www.railbaltica.org/about-rail-baltica/>
- Rescale by Function. (2024). Esri. 27.9.2024. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/rescale-by-function.htm>
- Rauhala, A-M., Makkonen, P., Meskanen, P., Renvall, J., Teittinen, T., Tenlenius, T., ... & Virta, T. (2023). *Suurnopeusradan ekologisen ja uudistavan suunnittelun periaatteet*. Ramboll Finland Oy. https://lentorata.fi/wp-content/uploads/2023/04/Suurnopeusradan-ekologisen-ja-uudistavan-suunnittelun-periaatteet_2023.pdf
- Romano, G., Dal Sasso, P., Trisorio Liuzzi, G & Gentile, F. (2015). Multi-criteria decision analysis for land suitability mapping in a rural area of Southern Italy. *Land Use Policy* 48 131-143. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.013>.
- Sachit, M. S., Shafri, H. Z. M., Abdullah, A. F., Rafie, A. S. M., & Gibril, M. B. A. (2022). Global spatial suitability mapping of wind and solar systems using an explainable ai-based approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 11(8) 422.
- Similä, M. & Junninen, K. (2011). *Metsien ennallistamisen ja luonnonhoidon opas*. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja, Sarja B 157.
- Spies T. A. (1998). Forest structure: A key to the ecosystem. *Northwest Science* 72(2) 34–39.

- Store, R. & Jokimäki, J. (2003). A GIS-based multi-scale approach to habitat suitability modeling. *Ecological Modelling* 169(1) 1-15. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(03\)00203-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(03)00203-5).
- Store, R., & Kangas, J. (2001). Integrating spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habitat suitability modelling. *Landscape and Urban Planning* 55(2) 79–93. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(01\)00120-7](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(01)00120-7)
- Suitability modeling framework. (2024). Esri. 15.11.2024. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/spatial-analyst/suitability-modeler/suitability-modeling-framework.htm>
- Suomi-rata Oy (2022). *Suurnopeusradan pääsuuntaselvitys Vantaa – Tampere*. https://lentorata.fi/wp-content/uploads/2022/10/Suomirata_Suurnopeusradan-paasuuntaselvitys_Vantaa-Tampere_RevB.pdf
- The general suitability modeling workflow. (2024). Esri. 11.5.2024. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/spatial-analyst/suitability-modeler/the-general-suitability-modeling-workflow.htm>.
- Varumo, L., Kangas, J., Kotilainen, J., Kullberg, P., Ojala, E., Pekkonen, M., ... & Ollikainen, M. (2023). Oppeja Suomen ensimmäisestä kunnan ekologisesta kompensatiosta Lahdessa. *Alue ja Ympäristö* 52(1) 128–137. <https://doi.org/10.30663/ay.127325>
- Väylävirasto. (2024). Rautatien suoja-alue. 3.9.2024. <https://vayla.fi/vaylista/rataverkko/rautatien-suoja-alue>
- Ympäristöministeriö (2023). *Esittelymuistio: Ympäristöministeriön asetus vapaaehtoisesta ekologisesta kompensatiosta. Diaarinro VN/1661/2023*. <https://ym.fi/documents/1410903/39422803/Muistio+YMA+vapaaehtoisesta+ekologisesta+kompensaatiosta.pdf/7a73547e-ea23-e149-5add-00ce4278a755/Muistio+YMA+vapaaehtoisesta+ekologisesta+kompensaatiosta.pdf?t=1694684852782>
- Zadeh, L.H. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control* 8 338–353.
- Zhou, J., & Civco, D. L. (1996). Using genetic learning neural networks for spatial decision making in GIS. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 62(11) 1287–1295.

Lait ja asetukset

Luonnonsuojelulaki 9/2023

Valtioneuvoston asetus vesienhoidon järjestämisestä 30.11.2006/1040

Valtioneuvoston asetus vesienhoitoalueista 30.12.2004/1303

Ympäristöministeriön asetus vapaaehtoisesta ekologisesta kompensatiosta 933/2023

Liitteet

Liite 1. Pinta-alatiedot suoralle ja epäsuoralle haitalle. Jako suoraan ja epäsuoraan haittaan on tehty periaatteella, jossa 35 metrin leveydeltä radan keskiosasta kasvillisuuden odotetaan poistuvan kokonaan (suora haitta) ja lopun 30 metrin suojavyöhykkeeltä (15 m + 15 m) kasvillisuus poistuu vain osittain (epäsuora haitta).

Suora haitta	Pinta-ala hehtaareina
Natura-alue, SAC (Sipoonjoki)	0,019898
Kalliometsä (LuTu2018)	5,725460889
Kalliotierasammalkallio (LuTu2018)	0,288524599
Joet (Ranta10)	0,555964306
Luonnontilainen suo (Metsävaratieto)	0,46417137
Ojikko (Metsävaratieto)	0,606919075
Muuttuma (Metsävaratieto)	0,4673285186
Lehto (Metsävaratieto)	0,127510455
Lehtomainen kangas (Metsävaratieto)	16,99785098
Tuore kangas (Metsävaratieto)	53,67996106
Kuivahko kangas (Metsävaratieto)	12,49196806
Kuiva kangas (Metsävaratieto)	1,56150285
Karukkokangas (Metsävaratieto)	0,264294719
Kallioma ja hietikko (Metsävaratieto)	1,304554139
Vähäpuustoinen avosuo (SYKE)	0,001773986
Puustoinen avosuo (SYKE)	0,00049004
Harvapuustoiset alueet, cc <10% (CORINE)	0,119006126
Harvapuustoiset alueet, cc 10-30%, kalliomaalla (CORINE)	0,021031698
Harvapuustoiset alueet, cc 10-30%, kivennäismaalla (CORINE)	2,683802827
Harvapuustoiset alueet, sähkölinjan alla (CORINE)	1,28819938
Havumetsät kalliomaalla (CORINE)	0,101743586
Havumetsät kivennäismaalla (CORINE)	2,955268831
Joet (CORINE)	0,04540482
Kalliomaat (CORINE)	0,001609

Lehtimetsät kivennäismaalla (CORINE)	1,388674151
Liikennealueet (CORINE)	2,008075
Maa-ainesten ottoalueet (CORINE)	0,152286
Maataloustukijärjestelmän maatalousmaat (CORINE)	2,163754263
Muut urheilu- ja vapaa-ajan toiminta –alueet (CORINE)	0,007563
Palveluiden alueet (CORINE)	0,559456699
Pellot (CORINE)	33,3068996
Pientaloalueet (CORINE)	3,648174231
Sekametsät kivennäismaalla (CORINE)	3,401073506
Sekametsät turvemaalla (CORINE)	0,001144
Sisämaan kosteikot maalla (CORINE)	0,005319
Teollisuuden alueet (CORINE)	0,005951
Vapaa-ajan asunnot (CORINE)	0,236338444
Epäsuora haitta	Pinta-alat hehtaareina
Natura-alue, SAC (Sipoonjoki)	0,018759
Kalliometsä (LuTu2018)	4,975518985
Kalliotierasammalkallio (LuTu2018)	0,298575721
Joet (Ranta10)	0,492067495
Luonnontilainen suo (Metsävaratieto)	0,353055813
Ojikko (Metsävaratieto)	0,348848376
Muuttuma (Metsävaratieto)	0,310452528
Lehto (Metsävaratieto)	0,131474843
Lehtomainen kangas (Metsävaratieto)	15,08901654
Tuore kangas (Metsävaratieto)	45,48307925
Kuivahko kangas (Metsävaratieto)	11,36197293
Kuiva kangas (Metsävaratieto)	1,494376379
Karukkokangas (Metsävaratieto)	0,218218185
Kalliomaa ja hietikko (Metsävaratieto)	0,864926583
Avosuo (SYKE)	0,0285948
Vähäpuustoinen suo (SYKE)	0,01772122
Puustoinen suo (SYKE)	0,688756213

Harvapuustoiset alueet , cc <10% (CORINE)	1,336931394
Harvapuustoiset alueet, cc 10-30%, kalliomaalla (CORINE)	0,0078467
Harvapuustoiset alueet, cc 10-30%, kivennäismaalla (CORINE)	1,900572407
Harvapuustoiset alueet, sähkölinjan alla (CORINE)	1,189454839
Havumetsät kalliomaalla (CORINE)	0,059836359
Havumetsät kivennäismaalla (CORINE)	2,496411375
Joet (CORINE)	0,032952365
Kaatopaikat (CORINE)	0,008234
Kalliomaat (CORINE)	0,021047669
Lehtimetsät kivennäismaalla (CORINE)	0,699803943
Liikennealueet (CORINE)	1,415669
maa-ainesten ottoalueet (CORINE)	0,094363
Maataloustukijärjestelmän ulkopuoliset maatalousmaa (CORINE)	1,887430737
Muut urheilu- ja vapaa-ajan toiminta -alueet (CORINE)	0,037809
Palveluiden alueet (CORINE)	0,421660609
Pellot (CORINE)	28,79707452
Pientaloalueet (CORINE)	3,255113765
Sekametsät kalliomaalla (CORINE)	0,03003678
Sekametsät kivennäismaalla (CORINE)	3,368899699
Sisämaan kosteikot maalla (CORINE)	0,016606
Teollisuuden alueet (CORINE)	0,001554
Vapaa-ajan asunnot (CORINE)	0,298767593

Liite 2. Paikkatietojen lataustiedot.

Tuottaja	Aineisto/Aineistot	Osoite
MML	kuntarajat, maakuntarajat maastotietokanta (tiestö, rautatiet, rakennukset)	https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/tiedostopalvelu?lang=fi
SYKE	Metsäkasvillisuusvyöhykkeet, Luontotyyppiaineisto 2018, Maanpeite soilla ja kosteikoilla, valtion luonnonsuojelualueet, yksityiset luonnonsuojelualueet, Natura 2000 -aineisto, luonnonsuojeluohjelmien alueet, Muut valtion suojelualueet, valtakunnalliset arvokkaat kivikot, arvokkaat moreenimuodostumat, arvokkaat tuuli- ja rantakerrostumat, arvokkaat kalliot, Corine Land Cover 2018, arvokkaat pienvedet, Ranta10- aineisto, Monimuotoisuudelle tärkeät metsäalueet, Soiden ojitustilanne	https://www.syke.fi/fi-FI/Avoin_tieto/Paikkatietoaineistot/Ladattavat_paikkatietoaineistot
Metsäkeskus	Metsävarakuviot, hakuuilmoitukset	https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto/aineistot-paikkatieto-ohjelmille/paikkatietoaineistot
GTK	Soiden ja turvemaiden ravinteisuustaso, soiden ja turvemaiden suoluontotyypit, kallioperä 1:200 000	https://hakku.gtk.fi/

Luke	Puuston MVMI-aineisto (kasvupaikkatyypit, puuston ikä, puuston keskilämpimitta)		https://kartta.luke.fi/
Pirkanmaan liitto	Puolustusvoimien maakuntakaavasta	alueet	https://www.avoindata.fi/data/fi/dataset/pirkanmaan-maakuntakaavayhdistelma-yhtenaisessa-tietomallissa
Päijät-Hämeen liitto	Puolustusvoimien maakuntakaavasta	alueet	https://www.avoindata.fi/data/fi/dataset/paijathameen-maakuntakaava-yhtenaisessa-tietomallissa
Kymenlaakson liitto	Puolustusvoimien maakuntakaavasta	alueet	https://www.avoindata.fi/data/fi/dataset/kymenlaakson-maakuntakaava-2040-yhtenaisessa-tietomallissa
Satakunnan liitto	Puolustusvoimien maakuntakaavasta	alueet	https://www.avoindata.fi/data/fi/dataset/satakunnan-maakuntakaavayhdistelma-yhtenaisessa-tietomallissa-hame1
Kanta-Hämeen liitto	Puolustusvoimien maakuntakaavasta	alueet	https://www.avoindata.fi/data/fi/dataset/kantahameen-maakuntakaava-2040-yhtenaisessa-tietomallissa
Uudenmaan liitto	Puolustusvoimien maakuntakaavasta	alueet	https://www.avoindata.fi/data/fi/dataset/uudenmaan-maakuntakaavojen-yhdistelma-2017-yhtenaisessa-tietomallissa
Varsinais-Suomen liitto	Puolustusvoimien maakuntakaavasta	alueet	https://www.avoindata.fi/data/fi/dataset/varsinais-suomen-maakuntakaavayhdistelma