



**Yhteiskunnallisesti optimaalinen rantametsien käyttö  
maataloudessa useiden ulkoisvaikutusten oloissa - tapaus  
Eurajoki**

Eveliina Kiiski  
Maisterin tutkielma  
AGERE  
Taloustieteen osasto  
Helsingin yliopisto  
22.11.2023

Tiedekunta – Fakultet – Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Koulutusohjelma – Utbildningsprogram – Degree Programme Maatalous-, ympäristö-, ja luonnonvaraekonomian maisteriohjelma	
Tekijä – Författare – Author Eveliina Kiiski			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Yhteiskunnallisesti optimaalinen rantametsien käyttö maataloudessa useiden ulkoisvaikutusten oloissa - tapaus Eurajoki			
Oppiaine/Opintosuunta – Läroämne/Studieinriktning – Subject/Study track Ympäristö- ja luonnonvaraekonomia			
Työn laji – Arbetets art – Level Maisterin tutkielma		Aika – Datum – Month and year 11/2023	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 43
<p>Tiivistelmä – Referat – Abstract</p> <p>Tutkimuksessa konkretisoidaan muutostarpeita maatalouden suojakaistojen käyttöönottoon liittyen, kun ulkoisvaikutukset huomioidaan ravinnehuuhtouman, eroosion, kasviuonekaasupäästöjen, monimuotoisuuden sekä virkistykseen näkökulmista. Ulkoisvaikutusten taloudellista mittaamista varten muodostetaan haitta- ja hyötyfunktio soveltuvien tutkimusten perusteella. Tutkielmassa optimoidaan suojakaistan leveys ja rantapellohehtaarien lannoitusmäärä ja tarkastellaan optimoinnin tuottamaa hyvinvointia (€/ha). Tarkastelussa muodostetaan kaksi hyvinvointiyhtälöä, joista toisessa on käytössä nurmipeitteisiä suojakaistoja ja toisessa luonnontilaisia suojakaistoja. Tapausesimerkkinä toimii Eurajoen pääuoma.</p> <p>Yksin ravinnehuuhtouman näkökulmasta on voinut olla perusteltua ohjata maanviljelijöitä kapeiden nurmipeitteisten suojakaistojen käyttöönottamiseen. Tämän tarkastelun mukaan suojakaistojen optimaalinen käyttöönotto selvästi muuttuu, kun useampi ulkoisvaikutus huomioidaan. Usean ulkoisvaikutuksen oloissa suurimman hyvinvoinnin Eurajoen pääuoman valuma-alueella tuotti luonnontilainen 86 metriä leveä suojakaista. Optimaalinen typpilannoitustaso vesistön viereisellä pellolla oli tällöin 83 kg N/ha. Lisäksi huomattiin, että kapeat alle kymmenen metriä leveät suojakaistat tuottavat aina hyvinvointitappion. Ulkoisvaikutuksista ilmastohaitta ja monimuotoisuushyöty vaikuttivat tuloksiin voimakkaimmin, ja ravinnehuuhtoumahaitta heikoiten. Herkkyysanalyysissä suojakaistan leveyteen vaikutti voimakkaimmin viljan markkinahinta ja hyvinvoinnin määrään puolestaan maksuhalukkuus monimuotoisuudesta.</p> <p>Nykyisten maataloustukien joukosta ei löydy tukivaihtoehtoa puustoisien suojakaistan säilyttämiseen. Tarkastelun perusteella maatalouden kannustimia tulisi muuttaa tukemaan luonnontilaisten suojakaistojen käyttöönottoa muuttamalla suojakaistoihin tai -vyöhykkeisiin liittyviä maataloustukia ja niiden ehtoja. Tarkastelun optimin saavuttamiseksi luonnontilaisen suojakaistan perustamisen tueksi laskettiin 681 €/ha ja nurmipeitteisen suojakaistan tueksi 580 €/ha. Typpilannoiteveroksi saatiin 0,44 €/kg N.</p> <p>Tarkasteluun liittyy useita oletuksia ja yksinkertaistuksia rajautuen saatavilla olevaan tutkimustietoon maatalouden suojakaistoilla. Esimerkiksi oletettu Eurajoen kasvillisuuden alkuperäisyys ja lajimäärä ovat karkeita arvioita. Lisäksi esimerkiksi luonnontilaisen suojakaistan ravinnehuuhtoumafunktioiden hyödynnettiin metsätaloustutkimukseen perustuvaa tietoa, ja monimuotoisuuden rajahyötyä kuvaa kosteikkotutkimukseen liittyvä arvottamistieto.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Suojakaista, rantametsä, luonnontilainen, nurmipeitteinen, ohjauskeino, maatalous, ulkoisvaikutukset			
Ohjaaja tai ohjaajat – Handledare – Supervisor or supervisors Sanna Lötjönen			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

## Sisällysluettelo

1	Johdanto .....	4
1.1	Luonnontilaisten suojakaistojen ja -vyöhykkeiden nykytilanne ja mahdollisuudet.....	4
1.2	Tutkimuskysymykset ja rajaukset .....	6
2	Teoreettinen tausta.....	9
2.1	Viljelijän voittojen maksimointi.....	9
2.2	Yhteiskunnan hyvinvoinnin maksimointi .....	11
2.3	Ohjauskeinojen analyttinen tarkastelu.....	14
3	Aineiston kuvaus .....	17
3.1	Ulkoisvaikutuksiin liittyvät funktiot ja luvut .....	17
3.2	Viljelijän voittoihin vaikuttavat funktiot ja parametrit.....	23
3.3	Eurajoki .....	24
4	Tulokset ja herkkyysanalyysi .....	27
4.1	Perustapauksen tulokset .....	27
4.2	Sopivan ohjauskeinojen tarkastelu .....	30
4.3	Herkkyysanalyysi .....	31
5	Yhteenveto ja keskustelu .....	34
	Lähteet.....	37

# 1 Johdanto

## 1.1 Luonnontilaisten suojakaistojen ja -vyöhykkeiden nykytilanne ja mahdollisuudet

Suojavyöhykkeet ja -kaistat ovat hoidettuja monivuotisen kasvillisuuden peittämiä alueita vesistön ja pellon välissä. Suojakaista on yleisesti käytössä oleva 3–10 metriä leveä kaista vesistön vieressä (Ruokavirasto, 2023). Suojavyöhyke voi olla maksimissaan 50 metriä leveä (Ruokavirasto, 2023), mutta yleensä se on noin 15 metriä leveä alue (Vilmi ym., 2021). Ravinnehuuhtouman vähentämiseksi niihin ei saa levittää lannoitteita tai kasvinsuojeluaineita. Suojakaistojen ja -vyöhykkeiden tulee olla nurmi-, heinä- tai niittykasvillisuuden peittämiä, ja ne tulee niittää vuosittain fosforikuorman alentamiseksi (Ruokavirasto, 2022).

Vesistökuormituksen vähentäminen oli maatalouden ympäristöpolitiikan keskiössä maaseutuohjelman suunnittelun aikaan vuosina 2012–13 (Lehtonen, 2001). Sen vuoksi suojakaistojen ja -vyöhykkeiden perustaminen vesistön ja viljeltävän alueen väliin on ollut ensisijaisesti vain ravinnehuuhtoumaa vähentävä toimenpide (Hyvärinen ym., 2019). Edelleen vuoden 2023 tukihaussa suojakaistat ovat erityisen tärkeässä roolissa Saaristomeren valuma-alueilla (Vilmi ym., 2021). Ongelma on, että maatalouden ranta-alueiden muut ulkoishyödyt ja -haitat, kuten monimuotoisuus, virkistys ja hiilensidonta eivät ole saaneet ravinnehuuhtouman vähentämisen ohella riittävästi huomiota.

Punaisen kirjan (Hyvärinen ym., 2019) mukaan rantavyöhykkeisiin tulisi kiinnittää huomiota monimuotoisuuden suojelussa. Myös lehdot ovat luonnon monimuotoisuuden kannalta tärkeitä, sillä niissä asuu ensisijaisesti 45 % uhanalaisista lajeista (Koskela ym., 2019). Eteläisen Suomen metsistä suurin osa on ennen peltojen raivauksia ollut lehtometsää, mutta jäljelle jääneistä lehtoalueista on jäljellä vain prosentti (Hyvärinen ym. 2019). Erityisesti sellaisten lehtojen suojelua tulisi edistää, joissa on monipuolista järeää puustoa, lahoppuuta, rantoja sekä pienvesiä kuten lähteitä ja virtavesiä (Hyvärinen ym., 2019). Toisin sanoen suojakaistoiksi tai -vyöhykkeiksi soveltuvat ranta-alueet eteläisessä Suomessa ovat erityisen tärkeässä roolissa, kun halutaan edistää luonnon monimuotoisuutta. Käytännön näkökulmasta muutos on kuitenkin päinvastainen. Nurmen perustamisen ja vuosittaisten niittotoimenpiteiden myötä suojakaista-alueiden luontainen ekologinen tila vaarannetaan (Vilmi ym., 2021).

Rantavyöhykkeiden luonnonmukaisella metsäpeitteisyydellä voisi olla Etelä-Suomessa merkittäviä vaikutuksia paikallisen monimuotoisuuden edistämiseksi. Kuussaaren ym. (2008) seurantatutkimuksen mukaan luonnollisesti perustettu suojakaista on kylvettyä parempi vaihtoehto luonnon sekä maiseman monimuotoisuuden näkökulmista. Raportin tuloksien mukaan jo vain 15 metriä leveät suojakaistat ja pientareet voisivat luonnontilaisina edistää tehokkaasti muun muassa linnuston, putkilokasvien ja perhosten elinvoimaisuutta. Myös Tolkkisen ym. (2021) mukaan makean veden voimakkaasti huonontuneen ekologisen tilan suojelemiseksi tulisi suosia metsitettyjä suojavyöhykkeitä, ja niitä tulisi ottaa käyttöön erityisesti alueilla, joissa joki on voimakkaasti kuormittunut maatalouden vaikutuksesta. Pienten ja keskisuurten maatalousjokien varsien muuttaminen metsäisemmiksi 10 %:sta 60 %:iin voi muuttaa joen ekologista tilaa jopa yhdellä tilaluokalla viisiportaisella asteikolla. Tutkimuksessa vertailtiin 900 jokea Suomessa tarkastellen jokivarren metsäistä kasvillisuutta ja sen vaikutuksia jokien ekologiseen tilaan (Tolkkinen ym., 2021).

Samalla luonnonmukaiset rantavyöhykkeet voivat edistää paikallisten virkistysmahdollisuuksia. Jokien virkistysmahdollisuuksia on tutkittu taloudellisesta näkökulmasta viime vuosina erityisesti kalastuksen näkökulmasta (esimerkiksi Pokki ym. (2018) ja Lankia ym. (2022)). Kun joen rantavyöhykkeet ovat elinvoimaisia, joen virkistyskäyttö voi lisäksi parantua esimerkiksi lenkkeilyn, retkeilyn, veneilyn ja lintubongailun muodossa. Reunametsien hakkuut nähdään usein negatiivisena maiseman muutoksena, jolla voi olla suuri vaikutus kohteen virkistyskäyttöön. On tutkittu, että paikallisten hyvinvointi pysyy samana vain, jos maisemalle tärkeiden reunametsien hakkuista maksettaisiin paikallisille korvauksia. Toisaalta asukkaiden mieltymyksistä riippuen, suojakaistojen siistiminen voidaan jossain määrin nähdä myös maisemaa parantavana tekijänä (Kuussaari ym., 2008).

Suojavyöhykkeet ja -kaistat ovat hyödyllisimpiä käytössä olevia ympäristötoimenpiteitä myös ilmastohyötyjen näkökulmasta niiden monivuotisen kasvipeitteisyyden ansiosta (Lehtonen, 2001). Siten luonnontilaisuuden mahdollistama puupeitteinen suojavyöhyke tai -kaista voisi olla vielä tehokkaampi vaihtoehto hiilensidontaan verrattuna nurmipeitteiseen suojakaistaan. Esimerkiksi Cole ym., (2020) mukaan suojakaistat voisivat olla hyvin tehokkaita hiilinieluja erityisesti nuorissa rantametsissä.

Ilmaston lämmetessä sateet tulevat lisääntymään Suomessa, jolloin jokivarren eroosioon eli maaperän kulumiseen liittyvät riskit kasvavat (Tuomenvirta ym., 2018). Rantavyöhykkeen kasvillisuudella tulee olla hyvät ja syvät juuret, jotta ne sitovat maata. On tutkittu, että erityisesti alueelle luontaiset puulajit sopivat eroosion ehkäisemiseen parhaiten (Wenger, 1999).

Puupelteisiin tai luonnontilaisiin maatalouden ranta-alueisiin ei ole olemassa kannustimia, vaikka niistä voisi olla enemmän hyötyä kuin nurmipeitteisistä suojakaistoista. Tähän asti monimuotoisuuden lisääminen on vaikuttanut ranta-alueiden tukipolitiikkaan käytännössä vain pölyttäjien ja lintujen lisäämiseen näkökulmasta (Hyvärinen ym., 2019), joten suojakaistojen puupelteisyyteen tai luonnontilaisuuteen ei ole puututtu myöskään monimuotoisuuden näkökulmasta. Sen sijaan nykyinen tukijärjestelmä voi jopa kannustaa viljelijöitä kaatamaan jäljellä olevia harvinaisia rantametsätilkkuja nurmiksi.

Joensuun suojakaistoille on esitetty useita mittoja, jopa kolmesta metristä 200 metriin, jolloin nykyiset vain kolmen metrin levyiset suojakaistat vaikuttavat minkä tahansa tavoiteltavan hyödyn suhteen kapealta. Castelle ym. (1994) suosittelevat sopivaksi leveydeksi vähintään 15 metriä, jotta virtavesiä pystytään suojelemaan useimmissa olosuhteissa. Oldén ym. (2019) määrittelevät sopivaksi metsätalouden suojakaistan leveydeksi vähintään 30 metriä. Tutkimuksen mukaan alueella ei tulisi tehdä harvennushakkuita, koska ne vaikuttavat merkittävästi ranta-alueen mikroilmastoihin (Oldén ym., 2019). Wengerin (1999) mukaan suojakaistan minimileveyden optimaalisuus vaihtelee pitkällä ja lyhyellä aikavälillä: ravinnehuuhtouman näkökulmasta lyhyellä aikavälillä 4,6 metrin suojakaista oli riittävä, kun taas pitkällä aikavälillä ehdoton minimileveys oli 9 metriä.

## **1.2 Tutkimuskysymykset ja rajaukset**

Kuten johdannossa todettiin, maatalouden taloudelliset kannustimet huomioivat ranta-alueiden tuottaman hyvinvoinnin pääosin vain ravinnevalumien näkökulmasta, vaikka suojavyöhykkeet ja -kaistat vaikuttavat monella muullakin tapaa maaseudun ympäristön elinvoimaisuuteen. Tämän tutkielman avulla pyritään konkretisoimaan maaseutu-ympäristöistä vastuussa oleville päättäjille muutostarpeita maatalouden suojakaistojen kasvipeitteisyyteen liittyen, kun ympäristöön kohdistuvat positiiviset ja negatiiviset ulkoisvaikutukset huomioidaan rahallisina arvoina. Tutkielmassa optimoidaan suojakaistan leveys, lannoitusmäärä sekä kaistan kasvipeitteisyyden valinta nurmen tai luonnontilaisen kasvipeitteisyyden välillä. Optimointia tehdään peltotasolla ja tuloksia pyritään

yleistämään joen varrella. Tapausesimerkiksi on valittu Eurajoki, joka on käytännön näkökulmasta, maisemallisesti ja kulttuurillisesti merkittävä joki Satakunnassa. Tutkimuksen tavoitteena on vastata seuraaviin kysymyksiin:

1. Kuinka leveä ja millainen suojakaista (nurmipeitteinen tai luonnontilainen kasvillisuus) on yhteiskunnan optimi Eurajoella, kun ulkoisvaikutuksina huomioidaan ravinnehuuhtouma, eroosio, kasvihuonekaasupäästöt, virkistys ja monimuotoisuus?
2. Miten puisen rantavyöhykkeen käyttöönotto vaikuttaa viljelijän voittojen maksimointiin?
3. Millainen ohjauskeino tarvitaan yhteiskunnan optimin saavuttamiseksi?

Tutkimukseen liittyy useita oletuksia ja yksinkertaistuksia. Kasvillisuus jaotellaan luonnontilaiseen tai luonnontilaista muistuttavaan puustoiseen kasvillisuuteen sekä nurmipeitteiseen kasvillisuuteen. Jatkossa käytetään termejä luonnontilainen suojakaista ja nurmipeitteinen suojakaista. Rantavyöhykettä tarkastellaan kivennäismailla, jossa valuma-alueen maaperä on Eurajoen mukaisesti (Eurajoen vesiensuojeluyhdistys, haettu 22.11.2023) pääosin savimaata. Lisäksi oletetaan, että alueelle luontainen alkuperäinen kasvillisuus olisi pääosin Etelä-Suomelle tyypillistä lehtometsää.

Ympäristöhallinnon ympäristö- verkkopalvelun (Varsianis-Suomen ELY-Keskus, 2023) mukaan lehtometsäisen vyöhykkeen kasvillisuus on eritasoista. Siinä kasvaa iältä ja lajilta erilaisia puita, pensaita ja matalaa aluskasvillisuutta. Lehtometsän aluskasvillisuus on monimuotoista ja pensaskerros on rehevä. Puusto voi olla myös melko harva. Lehdolle tyypillisiä lajeja ovat kaikki metsäkasvillisuusvyöhykkeelle luontaiset lajit, ellei kyseessä ole erityisen kostea tai kuiva lehto. Tarkennus tehdään sen vuoksi, että tutkimukseen pyritään soveltamaan vastaavanlaisiin ympäristöihin tehtyjä arvottamistutkimuksia.

Tutkimuksen menetelmänä optimoidaan yhteiskunnan hyvinvointia, kun valintamuuttujina ovat lannoitus ja suojakaistan leveys. Optimointi selittää suojakaistan optimileveyden prosenttiosuutena peltoalasta valittujen ulkoisvaikutuksien oloissa Eurajoen valuma-alueella. Kasvillisuuden vaikutusta tarkastellaan kahdenlaisen skenaarion kautta, joissa toisessa suojakaistat ovat kokonaan nurmipeitteisiä ja toisessa luonnontilaisia. Käytännössä muodostetaan kaksi hyvinvointiyhtälöä, joissa toisessa on nurmipeitteiseen suojakaistaan liittyviä parametrejä ja toisessa luonnontilaiseen suojakaistaan liittyviä parametrejä. Lisäksi tutkitaan, millä ohjauskeinolla viljelijä toimisi yhteiskunnan näkökulmasta optimaalisesti.

Optimoinnissa tarkastellaan yhteiskunnan hyvinvoinnin muutoksia staattisesti. Pitkän aikavälin tarkastelua ei tehdä, vaikka se voisi vaikuttaa optimiin. Numeerinen malli sovelletaan Eurajokeen käytettävissä olevan tai soveltuvan datan avulla. Viljelyyn valittiin yksinkertaisuuden vuoksi ainoastaan yksi kasvi, joka on kaura ja on Tilastokeskuksen (Luke, 2023a) mukaan alueen yleisimmin viljelty kasvi.

Useita ulkoisvaikutuksia jätetään pois tarkastelusta, kuten tulvien torjuntaan sekä tuholaiden torjuntaan liittyvät taloudelliset vaikutukset. Myös esimerkiksi vieraslajien torjumiseen tai kasvuston varjostavaan vaikutukseen liittyvät toimenpiteet ja ulkoisvaikutukset jätetään tarkastelusta pois. Tarkastelussa maatalouden ranta-alueesta puhutaan jatkossa yleisesti suojakaistana, vaikka tutkimuksessa käytetään kirjallisuutta koskien maa- ja metsätalouden pientareita, suojakaistoja, suojavyöhykkeitä, rantavyöhykkeitä tai puskurivyöhykkeitä.

Suojakaistojen optimaalista leveyttä sekä suojakaistan tuomaa hyvinvointia tarkastellaan hieman eri näkökulmista, jotta nähdään kuinka eri ulkoisvaikutusten huomioiminen vaikuttaa yhteiskunnan optimiin eri tavoitteiden näkökulmasta. Optimia tarkastellaan tilanteissa, joissa kaikki ulkoisvaikutukset ovat mukana, kaikki muut kuin ilmastovaikutus ovat mukana, kukin ulkoisvaikutus yksitellen mukana ja muutamia tilanteita, joissa ulkoisvaikutukset ovat pareittain mukana yhtälössä.

Seuraavassa kappaleessa esitellään yhteiskunnan hyvinvointiin ja viljelijän voiton maksimointiin liittyvä analyyttinen malli. Kolmannessa kappaleessa kuvataan ulkoisvaikutuksien haitta- ja hyötyfunktiot sekä niihin ja viljelijän voittoihin liittyvät parametrit. Neljännessä kappaleessa tarkastellaan tutkimustuloksia ja vertaillaan optimia ilman ulkoisvaikutuksia ja erinäiset ulkoisvaikutus- ja kasvillisuusskenaariot huomioiden. Optimien muutoksia tarkastellaan herkkyyksianalyysin avulla. Lisäksi lasketaan myös sopivat ohjauskeinot. Viidennessä kappaleessa keskustellaan tuloksista ja tehdään johtopäätökset.



## 2 Teoreettinen tausta

Seuraavaksi esitellään viljelijän voiton maksimointiin liittyvä teoria ja yhteiskunnan hyvinvoinnin maksimoinnin teoria, jossa on mukana tutkimukseen valitut ulkoisvaikutukset. Lopuksi tehdään ohjauskeinon analyyttinen tarkastelu, jossa tarkastellaan ohjauskeinon valintaan liittyviä muuttujia.

### 2.1 Viljelijän voittojen maksimointi

Viljelijän tuotantopäätöstä tarkastellaan kuvitteellisilla yhden hehtaarin kokoisilla (10 000 m<sup>2</sup>) neliön mallisilla peltolohkoilla, jotka rajoittuvat jokeen. Jokainen tuotantolohko on tässä yksinkertaistuksessa samanlainen. Peltolohkon tuotos riippuu typpilannoituksesta  $l$  (kg N/ha) ja sitä kuvataan satovastefunktiolla  $q(l)$ . Tuotantofunktiossa lannoitepanos  $l$  lisää tuotoksen  $q$  (kg/ha) määrää vähenevästi eli  $q'(l) > 0$  ja  $q''(l) < 0$  (Lötjönen & Ollikainen, 2017). Kauran  $q$  markkinahinta merkitään  $p$  (€/kg) ja typpilannoitteen hinta merkitään  $c$  (€/kg N). Muut viljelykustannukset  $K$  (€/ha) ovat vakioita sisältäen työskentelyajan palkan, työkoneisiin liittyvät kustannukset sekä siementen hinnat. Kun tarkastellaan viljelijän vapaata optimia ilman ohjausta, viljelijän ei kannata ottaa käyttöön suojakaistaa tai -vyöhykettä, koska maksimoidessaan voittoja, viljelijä ei halua pienentää viljasta saatavia tuloja tai saada kustannuksia suojakaistojen ylläpitämisestä. Ilman yhteiskunnan ohjausta viljelijä maksimoi voittoja yhtälön (2.1) mukaisesti:

$$\text{Max } \pi(l) = pq(l) - K - cl \quad (2.1)$$

Viljelijä valitsee lannoitepanoksen niin, että sadosta saatavan tuoton ja kustannusten erotusta maksimoidaan. Ensimmäisen kertaluvun ehto on muotoa  $pq'(l) - c = 0$ , josta saadaan  $pq'(l) = c$ , jonka mukaan viljelijän yksityinen optimi tavoitetaan silloin, kun lannoituksen rajatuotos on yhtä suuri kuin rajakustannus. Suojakaistojen käyttöönotto vaikuttaa viljelijän hyvinvointiin viljelyalan vähentymisen ja ylläpitokustannusten kautta. Seuraavaksi kuvataan kasvipeitteisyyteen liittyvä muuttuja  $k$ , jonka jälkeen viljelijän voiton maksimointitehtävään lisätään suojakaistojen perustaminen.

Esimerkiksi valtakunnan metsien inventoinnissa metsät jaetaan luonnonmukaisuuden näkökulmasta kahteen eri luokkaan (Korhonen ym., 2017). Myös tässä suojakaistojen kasvillisuutta kuvataan kahden eri luokan avulla. Tässä tarkastelussa kasvillisuus  $k$  saa arvon riippuen suoja-alueen luonnontilaisuudesta, joka riippuu kasvillisuuden lajien määrästä, muokkaamattomuudesta ja alueen

koosta. Kun  $k = 0$ , suojakaista on täysin nurmipeitteinen, niittyistä tai heinäinen matalan kasvillisuuden alue, ja kun  $k = 1$ , alue on luonnontilainen tai luonnontilaista muistuttava rehevä, lehtipuuvaltainen, monitasoinen ja monilajinen metsäinen suojakaista-alue. Analyysisessä osiossa  $k$  kuvataan jatkuvana muuttujana, jossa  $0 \leq k \leq 1$ , mutta numeerisessa osiossa suojakaistojen kasvipeitteisyyttä tarkastellaan kahden eri skenaarion avulla, jossa  $k$  saa arvon 1 tai 0. Nämä toimivat dummy-muuttujina, joiden avulla suojakaistan kasvillisuusskenaariota kuvaavat parametrit ja yhtälöt tulevat käyttöön hyvinvointiyhtälössä. Tämä on saatavilla olevan datan käyttöönottoon liittyvä yksinkertaistus, sillä kasvillisuuden muuttumista oli tutkimukseen valitun datan puitteissa vaikea kuvata jatkuvana muuttujina. Vaikka todellisuudessa voitaisiin myös valita suojakaistoille sopiva kasvillisuus luonnontilaisen ja nurmipeitteisen kasvillisuuden väliltä tai sekalaisesti esimerkiksi sijainnin mukaan.

Suojakaistan ominaisuuksista riippuva perustamis- ja ylläpitokustannus  $E$  (€/ha) riippuu suoja-alueen leveydestä  $s$  (%/100, eli esimerkiksi  $0.01 = 1$  metriä leveä suojakaista) sekä kasvillisuudesta  $k$ , joka saa arvoja kasvipeitteisyyden mukaan. Oletuksen mukaan  $E(s, k)$  saa ensimmäisen ja toisen kertaluvun ehdoista  $E'(s) \geq 0$ ,  $E''(s) < 0$ ,  $E'(k) \geq 0$  ja  $E''(k) < 0$  eli kustannukset kasvavat kasvillisuuden ja suojakaistan leveyden suhteen vähenevästi. Lisäksi nyt myös suojakaistan osuus  $s$  vaikuttaa viljelijän voiton maksimointiin (2.2) viljelyalan vähenemisen kautta  $(1 - s)$ :

$$\text{Max } \pi(s, l, k) = (1 - s)(pq(l) - cl - K) - E(s, k) \quad (2.2)$$

Yhtälössä optimoidaan kolmea valintamuuttujaa eli typpilannoitusmäärää  $l$  (kg/ha), suojakaistan  $s$  leveyttä sekä kasvillisuutta  $k$ . Ensimmäisen kertaluvun ehdoista saadaan yhtälöt (2.3) -(2.7):

$$\frac{\partial \pi}{\partial l} = (1 - s)(pq'(l) - c) = 0 \quad (2.3)$$

$$pq'(l) = c \quad (2.4)$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial s} = q(l)p + \frac{\partial E(s, k)}{\partial s} - cl - K = 0 \quad (2.5)$$

$$cl + K = q(l)p + \frac{\partial E(s, k)}{\partial s} \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial k} = \frac{\partial E(s, k)}{\partial k} = 0 \quad (2.7)$$

Ehdosta (2.4) nähdään, että suojakaistan mukanaolo ei vaikuta viljelijän lannoituspäätökseen ja viljelijä valitsee niin että rajakustannus on yhtä suuri lannoituksen rajatuotoksen kanssa. Toiseksi ehdosta (2.7) nähdään, että ennallistamiskustannukset pienentävät viljelijän tuloja. Tällöin viljelijä ei ota suojakaistaa käyttöön, koska suojakaistan leveys kannattaa valita siten, että sen perustamisen rajakustannus on nolla. Kolmanneksi ehdon (2.7) mukaan, yksityisessä optimissa ennallistamisen rajakustannus kasvillisuuden suhteen on nolla, eli viljelijän ei ole optimaalista käyttää suojakaistan kasvipeitteisyyteen panoksia.

## 2.2 Yhteiskunnan hyvinvoinnin maksimointi

Seuraavaksi oletetaan, että yhteiskunnan päättäjät arvostaa suojakaistojen tuottamia ulkoisvaikutuksia yksityisen voiton lisäksi. Tällöin yhteiskunnan hyvinvointia tuottaa viljelykasvien tuoton ja ulkoisvaikutusten muodostava rahamääräinen lopputulos. Virkistyspalvelut ja luonnon monimuotoisuus, joita maatalouden suojakaistat ylläpitävät, ovat ulkoishyötyjä, ja ravinnehuuhtoumat, kasvihuonekaasupäästöt sekä eroosio ovat ulkoishaittoja. Ulkoisvaikutuksiin liittyvät funktiot kuvataan seuraavaksi analyttisesti, jonka jälkeen ne lisätään hyvinvoinnin maksimointiongelmiaan. Ulkoisvaikutusten analysointiin liittyy yksinkertaistuksia, sillä esimerkiksi virkistykseen liittyen toisille Eurajoen varressa asuville avara ja puuton suojakaista voisi olla miellyttävämpi vaihtoehto virkistyskäytössä verrattuna rehevään ja monimuotoiseen jokivarteen. Tässä tutkimuksessa kuitenkin oletetaan, että ihmiset arvostavat jälkimmäistä. Se on myös perusteltua Eurajoen tapauksessa, sillä rehevä lehtomaisema on Eurajoen valuma-alueella hyvin vähäistä.

Huuhtoumahaitta kuvaa ulkoisvaikutusta typen, liukoisen fosforin ja partikkelifosforin huuhtoumasta vesistöön. Mille tahansa osuudelle joenvarren peltoa huuhtoumahaitta on  $D_r(r(l, s, k))$ , jossa  $D_r$  kuvaa kokonaishaittaa, joka saa arvoja (€/kg N) huuhtoumafunktion  $r(l, s, k)$  mukaisesti. Huuhtoumafunktion,  $r$ , muuttujina ovat typpilannoitus  $l$ , suojakaistan leveys  $s$  sekä kasvillisuus  $k$ . Ravinnehuuhtoumaa voi vähentää tiettyyn pisteeseen asti suojakaistan avulla. Tällöin huuhtoumahaitan ensimmäinen ja toinen derivaatta ovat suojakaistan leveyden suhteen  $r'(s) < 0$  ja  $r''(s) > 0$  (Miettinen (2020) ja Lötjönen & Ollikainen (2017)). Tämä tarkoittaa sitä, että suojakaistojen käyttöönotossa tietyn leveyden jälkeen suojakaista ei tuota enää hyötyjä tai tuottaa

seuraavaa yksikköä kohden vain hyvin vähän lisähyötyä. Jos otetaan derivaatat typpilannoitteen suhteen, saadaan  $r'(l) > 0$  ja  $r''(l) > 0$ , koska huuhtoumahaitta kasvaa kiihtyvästi jokaista typpilannoitekiloa kohden (Lötjönen & Ollikainen, 2017). Huuhtoumaan vaikuttaa myös suojakaistan kasvillisuus  $k$ , jonka mukaan  $r'(k) < 0$  ja  $r''(k) > 0$ , eli suojakaistan leveyden tavoin huuhtoumahaitta vähenee kasvillisuuden lisääntyessä, mutta vähenevästi eli kasvillisuus vähentää ravinnehuuhtoumahaittaa vain tiettyyn pisteeseen asti. Ravinnehuuhtoumahaitan kasvillisuuteen liittyvät oletukset perustuvat eroosiofunktion käyttäytymisen kautta siten, että tutkimukseen valitussa numeerisessa datassa luonnontilainen suojakaista pidättää nurmipeitteistä suojakaistaa paremmin sedimenttiä.

Ilmastohaitta kuvaa viljelytoiminnasta aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä. Kokonaisilmastohaitta merkitään  $D_i(i(s, k, l))$ , jossa haitta riippuu ilmastopäästöjä kuvaavasta funktiosta  $i$ . Sen muuttujina ovat suojakaistan leveys, kasvillisuus ja typpilannoituksen määrä.  $D_i$  (€/ha) kuvaa kasvihuonekaasupäästöistä koituvaa kokonaishaittaa. Suojakaistan levenemisen myötä myös lannoitukseen liittyvät päästöt vähenevät, koska lannoitusta tarvitaan vähemmän. Lisäksi suojakaistan levetessä monivuotinen kasvillisuus lisääntyy lisäten tarkasteltavan alueen hiilensidontaa, jolloin ilmastohaitta pienenee ehtojen  $i'(s) < 0$  ja  $i''(s) > 0$  mukaisesti (Lötjönen & Ollikainen, 2027). Samoin valintamuuttujan  $k$  suhteen, saadaan  $i'(k) < 0$  ja  $i''(k) > 0$ , koska luonnonmukaisen kasvillisuuden oletetaan sitovan nurmea enemmän hiiltä ilmakehästä. Lannoituksen lisäämisen suhteen ilmastohaitta kasvaa pellolla  $i'(l) > 0$  ja  $i''(l) > 0$  (Lötjönen & Ollikainen, 2017).

Virkistystä kuvaava kokonaishyöty merkitään  $B_v(v(s, k))$ , ja se kuvaa hehtaarikohtaisia virkistysyötyjä suojakaistasta. Virkistyksen kokonaishyöty riippuu virkistysfunktioista  $v(s, k)$ , joka saa arvoja suojakaistan leveyden sekä kasvillisuuden mukaisesti.  $B_v$  kuvaa virkistysyödyistä koituvaa kokonaishyötyä (€/ha). Virkistysyöty kasvaa suojakaistan kasvaessa, mutta hidastuvasti  $v'(s) > 0$  ja  $v''(s) < 0$ . Lisäksi oletetaan, että virkistysyödyt kasvavat kasvillisuuden luonnontilaisuuden kasvaessa eli  $v'(k) > 0$  ja  $v''(k) < 0$ . Oletukset virkistysyödyn käyttäytymisestä ovat numeerisen osion datan mukaisia (Juutinen ym., 2017).

Luonnon monimuotoisuudesta koituvan kokonaishyödyn määrää merkitään  $B_m(m(s, k))$ .  $B_m$  (€/laji) kuvaa kokonaishyötyä monimuotoisuuden muutoksesta, jota mitataan lajimäärillä (lajia/ha) ja

monimuotoisuuteen liittyvillä maksuhalukkuuksilla (€/laji). Monimuotoisuudesta saatava kokonaishyöty saa arvoja hyötyfunktion  $m(s, k)$  mukaisesti, joka muuttuu suojakaistan leveyden ja kasvillisuuden mukaan. Hyötyfunktioon liittyvät derivaatat ovat numeerisessa osiossa käytetyn datan mukaisesti muotoa  $m'(k) > 0$ ,  $m''(k) < 0$ ,  $m'(s) > 0$  ja  $m''(s) < 0$ . Monimuotoisuuteen liittyvä yhteiskunnallinen hyöty kasvaa hidastuen luonnontilaisuuden ja suojakaistan leveyden kasvaessa. Funktion mukaan asukas suosii luonnontilaista suojakaistaa, mutta kuitenkin vähenevästi eli sitä vähemmän, mitä enemmän sitä on saatavilla.

Nyt kaikki tähän tarkasteluun valitut ulkoisvaikutukset on kuvattu Eurajoen suojakaistoiksi soveltuvien ranta-alueiden näkökulmasta. Seuraavaksi ne lisätään yhteiskunnan hyvinvointiyhtälöön. Viljelijän tuloihin vaikuttaa edelleen  $(1 - s)$  eli suojakaistan osuus pellostä. Kun hinnat ja kustannukset otetaan vapailta markkinoilta annettuina ja yhteiskunnan hyvinvointia viljelystä maksimoidaan päätösmuuttujien  $(s, k$  ja  $l)$  suhteen, saadaan:

$$\begin{aligned} \text{Max } W(s, l, k) \\ = (1 - s)(pq(l) - cl - K) - E(s, k) - D_r(r(l, s, k)) \\ - D_i(i(l, s, k)) + B_m(m(s, k)) + B_v(v(s, k)) \end{aligned} \quad (2.8)$$

Hyvinvointifunktion (2.8) avulla optimoidaan typpilannoitusmäärää  $l$  (kg), suojakaistan  $s$  leveyttä (%/100) sekä suojakaistan kasvillisuutta  $k$ , joka edustaa rantavyöhykkeen kasvillisuuden luonnontilaisuuden tasoa. Otetaan ensimmäiset kertaehdot yhtälöstä (2.8) suojakaistan leveyden, lannoituksen ja kasvillisuuden suhteen. Asettamalla ne yhtä suuriksi nollan kanssa, saadaan yhteiskunnan optimin välttämättömät ehdot (2.9) -(2.19):

$$\frac{\partial W(s, l, k)}{\partial l} = (1 - s)(pq'(l) - c) - \frac{\partial D_r}{\partial r} \frac{\partial r}{\partial l} - \frac{\partial D_i}{\partial i} \frac{\partial i}{\partial l} = 0 \quad (2.9)$$

$$pq'(l) = \frac{\frac{\partial D_r}{\partial r} \frac{\partial r}{\partial l} + \frac{\partial D_i}{\partial i} \frac{\partial i}{\partial l}}{1 - s} + c \quad (2.10)$$

Yhtälöstä (2.13) huomataan, että lannoituksen rajatulo vastaa lannoituksen rajakustannusten ja lannoituksen ulkoisvaikutusten summaa. Yhtälön (2.10) oikealla puolella oleva rajakustannus on tässä suurempi kuin yksityisessä optimissa, koska ulkoisvaikutukset ovat mukana. Siten myös yhtälön vasemmalla puolella oleva lannoituksen rajatulo on suurempi. Yhtälöstä (2.10) huomataan

myös, että lannoituksen rajatulo  $pq'(l)$  on suurempi silloin, kun lannoitusta vähennetään, sillä mitä pienempi lannoitus on, sitä pienempiä ravinnehuuhtomaan ja ilmastoon liittyvät ulkoisvaikutukset ovat. Tästä syystä yhteiskunnallisesti optimaalinen lannoitustaso on yksityistä optimia alhaisempi.

Seuraavaksi tarkastellaan hyvinvointia suojakaistan leveyden näkökulmasta. Ensimmäisen kertaluvun ehtojen (2.11) ja (2.12) mukaan optimissa suojakaistan leventämisen seurauksena menetetyt tulot ovat yhtä suuret suojakaistan leventämisen nettorajahyödyn kanssa:

$$\frac{\partial W(s, l, k)}{\partial s} = -pq(l) + cl + K - \frac{\partial E}{\partial s} - \frac{\partial D_r}{\partial r} \frac{\partial r}{\partial s} - \frac{\partial D_i}{\partial i} \frac{\partial i}{\partial s} \quad (2.11)$$

$$+ \frac{\partial B_m}{\partial m} \frac{\partial m}{\partial s} + \frac{\partial B_v}{\partial v} \frac{\partial v}{\partial s} = 0$$

$$pq(l) + \frac{\partial E}{\partial s} - cl - K = -\frac{\partial D_r}{\partial r} \frac{\partial r}{\partial s} - \frac{\partial D_i}{\partial i} \frac{\partial i}{\partial s} + \frac{\partial B_m}{\partial m} \frac{\partial m}{\partial s} + \frac{\partial B_v}{\partial v} \frac{\partial v}{\partial s} \quad (2.12)$$

Lopuksi tarkastellaan hyvinvointia kasvillisuuden muutoksen näkökulmasta. Ehdoista (2.13) ja (2.14) nähdään, että tässä tarkastelussa kasvillisuus vaikuttaa yksityisestä näkökulmasta ainoastaan ennallistamiskustannuksiin, jolloin yhteiskunta maksimoi kasvillisuuden voittoja silloin, kun ennallistamisen nettohyödyt vastaavat nettokustannuksia:

$$\frac{\partial W(s, l, k)}{\partial k} = -\frac{\partial E}{\partial k} - \frac{\partial D_r}{\partial r} \frac{\partial r}{\partial k} - \frac{\partial D_i}{\partial i} \frac{\partial i}{\partial k} + \frac{\partial B_m}{\partial m} \frac{\partial m}{\partial k} + \frac{\partial B_v}{\partial v} \frac{\partial v}{\partial k} = 0 \quad (2.13)$$

$$\frac{\partial E}{\partial k} = -\frac{\partial D_r}{\partial r} \frac{\partial r}{\partial k} - \frac{\partial D_i}{\partial i} \frac{\partial i}{\partial k} + \frac{\partial B_m}{\partial m} \frac{\partial m}{\partial k} + \frac{\partial B_v}{\partial v} \frac{\partial v}{\partial k} \quad (2.14)$$

Optimiehdoista (2.9) -(2.14) nähdään, että yhteiskunnallisen optimin saavuttamiseksi ohjauskeinojen tulee tuottaa seuraavat muutokset yksityiseen optimiin: 1) lannoitekäyttöä tulee tarkastella ravinnevalumien ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi 2) suojakaistojen leveyttä sekä suojakaistojen kasvillisuutta tulee optimoida kaikkien tarkastelun ulkoisvaikutusten kannalta ja siten, että suojakaistojen ennallistamiskustannukset huomioidaan.

### 2.3 Ohjauskeinojen analyttinen tarkastelu

Maataloustuotannon yhteiskunnallista hyvinvointia maksimoidaan, kun viljelyn aiheuttamat ulkoisvaikutukset huomioidaan tuotantoprosessissa yksityisten voittojen ja kustannusten lisäksi.

Yksittäisen viljelijän ei ole kannattavaa huomioida ulkoisvaikutuksia, koska niistä koituu tälle yleensä kustannuksia. Yhteiskunnan optimin saavuttamiseksi tarvitaan yhteiskunnan suunnittelijan ohjauskeinoja. Jos ulkoisvaikutus on positiivinen, sen toimeenpanemista kannattaa edistää maksamalla tukea. Ympäristöön kohdistuvia negatiivisia ulkoisvaikutuksia kannattaa vähentää haittaverolla, jota kutsutaan yleensä Pigoun veroksi (Metcalf, 2003).

Yhteiskunnan optimin saavuttamiseksi tuotannon rajahyöty tulee olla samalla tasolla tuotannosta syntyvän rajahaitan kanssa. Toinen vaihtoehto on, että toimijan tuotannon rajapuhdistuskustannukset eli tässä tapauksessa suojakaistan perustamisen rajakustannukset ovat yhtä suuria yhteiskunnalle koituvan rajahyödyn kanssa. Seuraavaksi edellisten kappaleiden analyyttisistä yhtälöistä johdetaan lannoituksen haittavero  $\varphi$  sekä suojakaistan perustamiseen liittyvät maataloustuet kasvillisuudesta ja leveydestä  $\tau_k$  ja  $\tau_s$ . Kun ne otetaan mukaan yksityisen voiton maksimointiin, yhtälö näyttää tältä:

$$\text{Max } \pi(s, l, k) = (1 - s)(pq(l) - cl - K - \varphi l) - E(s, k) + k\tau_k + s\tau_s \quad (2.15)$$

Yhtälössä (2.15) typpilannoitusmäärä kerrotaan verolla, joka lisää typpilannoituksen kustannuksia viljelijälle. Kun yhtälöstä otetaan ensimmäisen kertaluvun ehdot lannoituksen suhteen ja se asetetaan yhtä suureksi nollan kanssa, saadaan:

$$(1 - s)(pq'(l) - c - \varphi) = 0 \quad (2.16)$$

Yhtälöistä (2.16) nähdään, että viljelypäättökseen vaikuttaa nyt lannoituskustannusten lisäksi lannoitevero. Seuraavaksi viljelijän (2.26) ja yhteiskunnan (2.9) ehdot lannoituksen suhteen yhdistetään ja saadaan yhtälöt (2.17) ja (2.18):

$$(1 - s)(pq'(l) - c - \varphi) = (1 - s)(pq'(l) - c) - \frac{\partial D_r}{\partial r} \frac{\partial r}{\partial l} - \frac{\partial D_i}{\partial i} \frac{\partial i}{\partial l} \quad (2.17)$$

$$\varphi = \frac{\frac{\partial D_r}{\partial r} \frac{\partial r}{\partial l} + \frac{\partial D_i}{\partial i} \frac{\partial i}{\partial l}}{1 - s} \quad (2.18)$$

Tästä nähdään, että veron suuruus riippuu ilmastoon ja ravinnevalumiin liittyvien rajahaittojen summasta. Lisäksi nähdään, että yhteiskunnallisesti optimaalinen tuotantopanoksen taso

saavutetaan, kun lannoituksen rajatuotos on yhtä suuri lannoituksesta aiheutuvien rajahaittojen ja lannoituksen rajakustannuksen summan kanssa.

Suojakaistan leveyteen ja sen kasvillisuuteen liittyvät tuet määräytyvät samaan tapaan. Seuraavaksi yhtälöstä (2.15) otetaan ensimmäisen kertaluvun ehdot suojakaistan leveyden ja kasvillisuuden suhteen, jotka asetetaan yhtä suuriksi nollan kanssa. Ratkaisemalla tuet yhtälöistä saadaan yhtälöille muodot (2.19) ja (2.20):

$$\tau_s = pq(l) - cl - K - \varphi l + \frac{\partial E(s, k)}{\partial s} \quad (2.19)$$

$$\tau_k = \frac{\partial E(s, k)}{\partial k} \quad (2.20)$$

Suojakaistan tuet molempien valintamuuttujien suhteen asetetaan siten, että ne ovat kaikille toimijoille yhtä suuria. Jos viljelijä ei ota käyttöön suojakaistaa tai lisää sen kasvillisuutta, tuki on nolla. Kun yksityisestä voitosta johdetut yhtälöt (2.19) ja (2.20) asetetaan yhtä suureksi yhteiskunnan maksimointiongelmasta poimitujen yhtälöiden (2.11) ja (2.13) kanssa, saadaan suojakaistan leveyttä ja kasvillisuutta koskeville tuille tasot yhtälöiden (2.21) ja (2.22) mukaisesti:

$$\tau_s = \varphi l - \frac{\partial D_r}{\partial r} \frac{\partial r}{\partial s} - \frac{\partial D_i}{\partial i} \frac{\partial i}{\partial s} + \frac{\partial B_m}{\partial m} \frac{\partial m}{\partial s} + \frac{\partial B_v}{\partial v} \frac{\partial v}{\partial s} \quad (2.21)$$

$$\tau_k = - \frac{\partial D_r}{\partial r} \frac{\partial r}{\partial k} - \frac{\partial D_i}{\partial i} \frac{\partial i}{\partial k} + \frac{\partial B_m}{\partial m} \frac{\partial m}{\partial k} + \frac{\partial B_v}{\partial v} \frac{\partial v}{\partial k} \quad (2.22)$$

Yhtälöiden mukaisesti suojakaistan tuet ovat yhtä suuria kuin suojakaistan kasvillisuudesta ja leveydestä aiheutuvien ulkoisvaikutusten yhteenlasketut nettohyödyt yhteiskunnalle. Lisäksi huomataan, että suojakaistan leveyden tuen suuruuteen vaikuttaa lisäksi myös lannoitevero.



### 3 Aineiston kuvaus

Tässä kappaleessa kuvataan maatalouden rantavyöhykkeen ulkoisvaikutuksiin liittyvät haitta- ja hyötyfunktiot, niihin sovellettavat arvot ja viljelijän yksityiseen voittoon vaikuttavat arvot. Funktiot tai niiden tekemisessä käytetty data on poimittu vertaisarvioidusta kirjallisuudesta. Virkistyshyödyille, monimuotoisuushyödyille ja huuhtoumafunktiioon sijoitettavalle eroosiohaitalle muodostettiin funktiot Matlab-ohjelman (R2022b) Curve Fitting Toolbox-sovelluksen avulla (Mathworks, 2023). Maatalouden rantavyöhykkeitä ei ole tutkittu ulkoisvaikutusten oloissa taloudellisilla menetelmillä tämän tarkastelun perusteella paljoa, joten uusiin funktioihin sovellettavaa dataa löytyi vähän. Haussa on kuitenkin pyritty valitsemaan tutkimustuloksia, jotka soveltuvat riittävästi Eurajoki-tapaukseen. Esimerkiksi tutkimuksia pyrittiin poimimaan vain alueilta, joissa kasvillisuus oli Suomen olosuhteisiin rinnastettavia havu- tai lehtimetsäisiä alueita. Lisäksi maksuhalukkuuksien osalta huomioitiin, että tutkimusmaiden elintaso ei poikkeaisi huomattavasti Suomen elintasosta. Eroosiofunktiioon käytettävän datan kohdalla pyrittiin huomioimaan vain jokia, joissa tutkimuskohteiden maalaji oli Eurajokea mukaillen savea.

#### 3.1 Ulkoisvaikutuksiin liittyvät funktiot ja luvut

Ulkoisvaikutukset lisätään numeeriseen malliin funktioina. Ravinnehuuhtouman haittafunktio saa muodon Lötjösen & Ollikaisen (2017) tutkimuksen mukaisesti:

$$D_r(r(l, s, k)) = d_r \left( r_n + 7.2(r_{arp} + r_{pp}) \right) \quad (3.1)$$

jossa  $d_r$  kuvaa huuhtouman rajahaittaa. Sen arvona käytetään Gren (2001) vakioista rajahaittaa, joka on rahanarvonmuuntimen (Tilastokeskus, 2023) avulla nykyarvoon muutettuna 12 €/kg N. Luku 7,2 on Redfieldin arvo, joka kuvaa fosforia typen ekvivalenttina, kun tarkastellaan niiden molekyyylimäärien keskinäistä suhdetta kasviplanktonissa (Kiirikki ym., 2003). Haittafunktiossa (3.1) on erikseen funktiot typen (N), liukoisen fosforin (DPR) ja partikkelifosforin (PP) määrille. Haittafunktiossa on valintamuuttujina lannoitus, suojakaistan leveys ja kasvillisuus. Typen huuhtouman funktio (3.2) on lähteestä (Simmelsgaard & Djurhuus, 1998):

$$r_n = (1 - s^{\alpha_0}) \phi \exp(b_0 + b_1 l(1 - s)) \quad (3.2)$$

Liukoisen fosforin huuhtoumafunktio (Saarela ym., 1995) on muotoa:

$$r_{dpr} = \left( (1 - s^{\alpha_1}) \omega (\psi (0.021(\varphi + 0.01(1 - s)P(l))) - 0.015) \right) / 100 \quad (3.3)$$

Liukoisen fosforin  $r_{dpr}$  huuhtoumafunktiossa (3.3) on valintamuuttujina alkuperäisesti fosforilannoituksen määrä  $P$ . Fosforilannoituksen määrä saadaan malliin typpilannoituksen funktiona. Se muodostetaan perustuen NPK-lannoitukseen, jossa on typpeä, fosforia ja kaliumia tietyt määrät. Yaran (Yara Suomi, 2018) nettisivujen tietojen mukaan kauran viljelyssä käytettävässä NPK-lannoitteessa (YaraMila Y 3) on typpeä (N) 23 % ja fosforia (P) 3 %, joten fosforin funktioksi muodostetaan typen suhteen funktio  $P(l) = \frac{23}{3}l$ . Partikkelifosforin huuhtoumafunktio (Uusitalo & Jansson, 2002) on:

$$r_{pp} = (1 - s^{\alpha_2}) \Delta(e(s, k)(250 \text{Log}[\varphi + 0.01(1 - s)P(l)] - 150)) / 1000000 \quad (3.4)$$

Kasvillisuus vaikuttaa ravinnehuuhtoumaan tässä tarkastelussa ainoastaan eroosiofunktion kautta, ja se sisältyy partikkelifosforin huuhtoumafunktioon (3.3). Suojakaistan leveys merkitsee osuutta pellostasta (%/100), muuttuja on jatkuva ja saa tässä kappaleessa arvoja siten, että  $0 \leq s \leq 1$ . Typpilannoitus  $l$  (kg N/ha) on jatkuva muuttuja. Loput ravinnehuuhtoumaan vaikuttavat parametrit on kuvattu taulukossa 1.

Taulukko 1. Ravinnehuuhtouman parametrit (Lötjönen & Ollikainen, 2017).

Symboli	Selitys	Arvo	Lähde
$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$	Suojakaistan kyky pidättää ravinteita N, DPR ja PP	0,2, 1,3, 0,3	(Lankoski & Ollikainen, 2011)
$\varphi$	Typen huuhtouma keskimääräisellä lannoituksella	15	
$\phi$	Maaperän fosfori	12,29	(Eurofins Viljavuuspalvelu, 2013)
$b_0$	Typpihuuhoutumaan liittyvä vakio	-0,7	(Simmelsgaard & Djurhuus, 1998)
$b_1$	Typpihuuhoutumaan liittyvä vakio	0,7	
$\omega$	Kasvi- ja teknologiakohtainen parametri	0,5	(Puustinen ym., 2010)
$\psi$	Huuhtouma (mm)	270	

Partikkelifosforin funktion (3.4) eroosiomuuttuja tehtiin tähän tutkimukseen erikseen, jotta kasvipeitteisyys huomioitaisiin ulkoisvaikutuksena tarkemmin. Sen paikalle sijoitetaan taulukossa 2 esitettyihin datapisteisiin sovitetut funktiot.

Taulukko 2. Taustakirjallisuuden mukaisesti nurmipeitteisen ( $k=0$ ) ja luonnontilaisen ( $k=1$ ) suojakaistan vaikutukset eroosioon eri leveyksillä.

<b>k</b>	<b>metriä</b>	<b>s (%/ha)</b>	<b>pidättää sedimenttiä (%/100)</b>	<b>Lähde</b>
0 ja 1	0	0	0	Oletus
0	12	0,12	0,7	(Dosskey ym., 2008)
0	20	0,2	0,85	
0	30	0,3	0,92	
0	16	0,16	0,45	(Daniels & Gilliam, 1996)
0	27	0,27	0,43	(Newbold ym., 2010)
1	50	0,5	0,94	(Peterjohn & Correll, 1984)
1	19	0,19	0,89	
1	15	0,15	0,8	(Hawes & Smith 2005)

Eroosiofunktiot (3.5) ja (3.6) käyttäytyvät analyttisessä osiossa esitetyn ravinnehuhtoumaafunktion mukaisesti:

$$e(s, k = 1) = 20.5207s^3 - 23.2051s^2 + 8.3524s \quad (3.5)$$

$$e(s, k = 0) = -0.02955s^4 + 0.3359s^3 - 1.274s^2 - 1.811s + 0.276 \quad (3.6)$$

Eroosiofunktiot saavat kaksi erilaista muotoa, riippuen kasvillisuudesta  $k$ , joka vastaa onko kyseessä luonnontilainen suojakaista (3.5) vai nurmipeitteinen suojakaista (3.6). Funktiot määriteltiin Matalabin avulla taulukon 2 tietojen mukaisesti. Funktiot kertovat, kuinka paljon suojakaista pidättää sedimenttiä prosentteina eri kasvillisuuden oloissa ja suojakaistan leveyden muuttuessa. Esimerkiksi, jos suojakaista pidättää yhtälön (3.5) tai (3.6) mukaisesti valitulla leveydellä 20 % sedimentistä, vesistöön päätyy (1-0,2)\*eroosioriski (kg/ha) verran sedimenttiä. Lisäksi eroosiofunktiot määriteltiin Maplen optimointitehtävään niin, että ne eivät voi tuottaa negatiivisia arvoja.

Tutkielmaa varten käytyjen keskustelujen perusteella eroosioriskin tasoksi asetettiin 1000 kg/ha. Se on hyvin varovainen arvio kuvaamaan Eurajoen eroosiota, ja on mahdollista, että Eurajoella oleva eroosio on todellisuudessa enemmän. Eurajoen valuma-alueella potentiaalinen eroosioriski vaihtelee

Räsänen ym. (2021) mukaan yleisesti keskimäärin 800–1800 kg/ha/vuosi välillä, koska eroosio on korkeampaa jokilaaksoissa ja erityisesti 50 metrin säteen sisällä vesistöistä, jolloin eroosioriski voi olla jopa 5,5 kertaa keskimääräistä suurempi (Räsänen ym., 2023.) Toisaalta aiemmin esimerkiksi Lankoski & Ollikainen (2011) käyttivät vain 800 kg/ha kuvaamaan keskimääräistä eroosiota vesistöön ja esimerkiksi Varsinais-Suomessa sijaitsevan savipohjaisen Aurajoen eroosioriskin laskettiin olevan jopa 5800 kg/ha/vuosi (Räsänen ym. 2021).

Metsäpeitteistä tai luonnontilaista rantavyöhykettä on tutkittu taloudellisesta näkökulmasta nurmipeitteiseen suojakaistaan verrattuna hyvin vähän. Siten myös tämän tarkastelun tietopohja on luonnontilaisen suojakaistan kohdalla nurmipeitteistä heikompi. Eroosiofunktion taustamateriaalissa suojakaistan leveyteen ja kasvillisuuteen liittyvä data oli hyvin erilaista eri tutkimuskohteissa. Eroosiofunktion taustalle valittiin vain kaksi eri lähdeä, kun kasvipeitteisyys on luonnontilainen. Colen ym. (2020) mukaan parhaimmat tulokset eroosion ehkäisyssä savimaalla voidaan saada, kun suojakaista on leveä ja metsäpeitteinen. Tässä tutkimuksessa tehtiin oletus se mukaisesti, joten luonnontilainen suojakaista pidättää jo 30 metrin leveydellä yli 90 % sedimentistä, kun taas nurmipeitteisellä suojakaistalla vastaavaan tulokseen päästään vasta 60 metrin leveydellä.

Viljelyn kasvihuonekaasupäästöistä koitua ilmastohaitta (3.7) esitetään lannoituksen, suojakaistan ja kasvillisuuden funktiona. Hiilidioksidipäästöihin liittyvää ulkoishaittaa kuvataan seuraavalla tavalla Lötjösen & Ollikaisen (2017) kuvaamalla tavalla:

$$D_i(i(l, s, k)) = d_i \left( (\varepsilon l + X_0 + S)(1 - s) + s(X_1 + \beta(k)) \right) \quad (3.7)$$

Haittafunktiossa  $d_i$  on ilmastopäästöihin liittyvä rajahaitta ja saa arvon 0,0976 €/kg hiilidioksidiekvivalenttia (CO<sub>2</sub>-ekv.) (Statista, 16.2.2023). Luku on EU ETS päästökaupan päästöoikeuden hinta muutettuna kilohinnaksi ja edustaa yhteiskunnan kustannusta ilmastopäästöistä. Ilmastohaittafunktiosta löytyvät lannoitteiden valmistamiseen liittyvä päästökerroin  $\varepsilon=4,32$  kg (CO<sub>2</sub>-ekv.)/kg N), viljelyyn liittyvät ilmastopäästöt koneistosta  $X_0=362$  (CO<sub>2</sub>-ekv./ha), suojakaistan ylläpitämiseen liittyvät ilmastopäästöt koneistosta  $X_1=22$  (kg CO<sub>2</sub>-ekv./ha), pellon maaperäpäästöt  $S=1535$  (kg CO<sub>2</sub>-ekv./ha) sekä suojakaistan sitoma hiili  $\beta(k)$  (CO<sub>2</sub>-ekv./ha) (Lötjönen & Ollikainen, 2017).

Lötjösen & Ollikaisen (2017) tarkastelusta poiketen,  $\beta$  saa kahdenlaisia arvoja riippuen kasvipeitteisyydestä  $k$ , koska luonnontilaisella suojakaistalla hiiltä sitoutuu kasvustoon ja maaperään enemmän. Yhdistyneiden kansakuntien elintarvike- ja maatalousjärjestön (FAO, 2001) mukaan hiilensidonta vaihtelee 0,8 ja 2,4 hiilitonnin välillä hehtaaria kohden vuosittain boreaalisissa metsissä. Jos tästä otetaan keskiarvo, hiilensidonta on 1,6 hiilitonnia vuodessa. Tämä muutettuna hiilidioksidiksi saadaan hiilensidontaparametrille  $\beta$  arvo 5872 kg CO<sub>2</sub>-ekv/ha, kun suojakaista on luonnontilainen. Hiili muutettiin hiilidioksidiksi kertoimella 3,67, joka perustuu hiilen ja hiilidioksidin molekyyli- ja atomitilavuuksiin (IPCC, 2006).

Kun suojakaista on nurmipeitteinen, hiilensidonnaksi valittiin 693 C kg/ha Mattilan & Rajalan (2023) kehittämän viljelykiertotyökalun perusteella. Hiilensidonta perustuu laskurin oletuslukuihin viherlannoituksen kohdalla, kun maan multavuudeksi asetettiin kivennäismaan multavuutta vastaava 6 %, joka kuvaa orgaanisen aineksen osuutta maaperässä. Laskurin tuottamassa hiilitaseessa huomioidaan lohkon tuottavuus, hiilisyöte kasvista sekä hiilikato paljaalla maalla. Hiilidioksidiksi muutettuna tämä on 2543 kg CO<sub>2</sub>-ekv./ha. Tämä tarkoittaa nurmen sitomaa hiiltä keskimäärin vuodessa. Ilmastohaitan funktiosta muodostuu lineaarinen teoreettisesta mallista poiketen eli ilmastohyöty kasvaa lineaarisesti suojakaistan levetessä.

Virkistys ja monimuotoisuus tuottavat hyötyjä €/ha/asukas riippuen jokivarren suojakaistan leveydestä ja kasvillisuudesta. Luonnontilaisella kasvillisuudella virkistysfunktio saa muodon:

$$B_v(v(s, k = 1)) = -11.8054s^{-0.7303} + 51.5334 \quad (3.8)$$

Hyötyfunktiossa käytetty data on peräisin Juutinen ym. (2017) tutkimuksesta, jossa tarkasteltiin valintakoemenetelmällä valtion talousmetsien virkistysyötyjä, kun tarkastelun kohteena oli suojakaistojen leveys. Tutkimuksesta poimittiin tähän tarkasteluun useiden maksuhalukkuustuloksien keskiarvo. Virkistysfunktio (3.8) tuottaa ensimmäisillä leveyksillä minimissään -53,7 (€/ha/asukas). Kun suojakaista on 5 metriä tai enemmän, funktio tuottaa suurempia arvoja virkistykselle taulukon 3 mukaisesti siten, että 40 metriä leveä luonnontilainen suojakaista tuottaa 28 € virkistysyötyä.

Taulukko 3. Nurmipeitteisen (k=0) ja luonnontilaisen (k=1) suojakaistan leveyden vaikutukset virkistysyötyyn.

k	m	s (%)	WTP €/ asukas	Lähde
1	5	0,05	-53,7022	(Juutinen ym., 2017)
1	20	0,2	13,2944	
1	40	0,4	28,483	
0	5–40	0,05–0,4	-53,7022	

Analyttisestä osiosta poiketen, funktio antaa virkistykselle rahallisen arvon suoraan riippuen suojakaistan leveydestä. Nurmella suojakaista ei tuota virkistysyötyjä vaan jopa tuottaa joen virkistyskäyttöön liittyviä haittoja, joita ovat esimerkiksi varjostavan vaikutuksen puute levähdyspaikkana, lähistön tai suojakaistalla kulkevien lenkkeilypolkujen viehättävyys, vaikutukset kalastukseen varjojen puutteen vuoksi sekä vaikutukset melontaan ja uimarantojen viehättävyyteen. Nurmipeitteisellä suojakaistalla virkistysyödyt saavat taulukon 3 mukaisesti negatiivisia arvoja, jolloin virkistysfunktio on muotoa  $B_v(v(s, k = 0)) = -53,7022$  (€/ha/asukas). Toisin sanoen laskettu korvaus asukkaille rantametsien hyötyjen menettämisestä on melkein kaksin kerroin suurempi kuin maksuhalukkuus rantametsien hyötyjen säilyttämisestä tai lisäämisestä.

Viimeisenä ulkoisvaikutuksena monimuotoisuusyötyfunktio selittävät suojakaistan lajien määrää suojakaistan levetessä (lajia/ha):

$$B_m(m(s, k = 1)) = b_m(-630,1s^2 + 1053s - 72,46) \quad (3.9)$$

$$B_m(m(s, k = 0)) = b_m(-210s^2 + 351s + 24,15) \quad (3.10)$$

Monimuotoisuusfunktioiden (3.9) ja (3.10) muodostamisessa käytettiin lajihavaintotietoja laji.fi-sivustolta (*Suomen lajien luettelo / Suomen Lajitietokeskus*) yli 50 vuoden ajalta. Rajauksessa alueeksi valittiin Eura ja Eurajoki. Jotta haku saatiin vastaamaan nurmipeitteisen suojakaistan lajimäärää, hakua rajattiin sanalla ”rantaniityt”. Luonnontilaisia suojakaistoja varten hakua rajattiin valinnalla ”järven ja joenrannat”. Siten Eurajoella löydettiin 342 silmin havaittavaa lajia luonnontilaiselle suojakaistalle ja 114 lajia nurmipeitteiselle suojakaistalle. Monimuotoisuusyötyfunktion muodon määrittämistä varten käytettiin Diasin ym. (2015) tutkimusta, jonka mukaan monimuotoisuus on 20 metrin levyisellä rantakaistalla noin 10 % siitä, mitä se olisi sata metriä leveällä rantakaistalla. Tämän perusteella lajimäärä vaihtelee myös monimuotoisuusfunktiossa ja sitä kuvaan taulukossa 4.

Taulukko 4. Nurmipeitteisen (k=0) ja luonnontilaisen (k=1) suojakaistan leveyden vaikutukset monimuotoisuuteen.

k	m (s)	s (%)	Lajimäärä	Lähde
1	50	0,5	342	Dias & Belcher (2015), laji.fi (2023)
1	20	0,2	34,2	
1	3	0,03	0	
0	50	0,5	114	
0	20	0,2	11,4	
0	3	0,03	0	

Monimuotoisin eliöstö saavutetaan jo 50 metrin levyisellä vyöhykkeellä (Dias ym., 2015) vaikka todellisuus voi olla Eurajoella hyvin erilainen suuntaan tai toiseen. Esimerkiksi (Roy ym., 2003) löysivät vahvimpia vuorovaikutussuhteita selkärangattomien välillä vielä 100 metrin levyisillä metsäisillä puskurivyöhykkeillä vesistön vieressä.

Monimuotoisuusfunktion kokonaishyödyn rahallisen arvon laskemiseen käytetään Antikaisen (2017) ja Hatakan (2020) tarkasteluja, joissa laskettiin paikallisten maksuhalukkuuksia eri lajimäärille lähikosteikoilla. Tutkimuksiin sisältyi myös maisemaan liittyvä maksuhalukkuus, jonka tuoma hyöty ilmeni lajimäärän lisääntymisen myötä. Tutkimuksissa saatiin selville karkea arvio siitä, paljonko paikalliset ovat valmiita maksamaan yhdestä lisästä eläin- tai kasvilajista. Keskiarvoksi tuloksista ja nykyarvoon muutettuna maksuhalukkuudeksi eli monimuotoisuuden rajahyödyksi saatiin  $b_m = 0,533$  €/laji.

### 3.2 Viljelijän voittoihin vaikuttavat funktiot ja parametrit

Seuraavaksi kuvataan vielä lyhyesti viljelijän voittoihin liittyvät taustatiedot. Satovastefunktio  $q(l)$  kuvataan funktion (3.11) mukaisesti ja vastaa kaurasatoa (kg/ha):

$$q(l) = \mu(1 - \sigma e^{-\eta l}) \quad (3.11)$$

Funktiossa hyödynnetään Mitscherlichin funktioita (Lehtonen, 2001), johon poimitaan arvot kauran tuotantofunktion mukaisesti, kun se viljellään maahan perinteisellä kyntömuokkauksella. Funktiossa (3.11)  $\mu$  kuvaa maksimisatoa ja  $\sigma$  sekä  $\eta$  ovat lajikohtaisesti estimoituja parametrejä. Muut viljelijän toimintaan liittyvät parametrien arvot poimittiin nykyarvoon muutettuna taulukon 5 mukaisesti.

Taulukko 5. Muuttujat viljelijän voittofunktiossa.

Muuttuja	Symboli ja yksikkö	Arvo	Lähde
Maksimisato	$\mu$ , kg/ha	4760,3	(Lehtonen, 2001)
Lajikohtaiset parametrit	$\sigma$ ja $\eta$	0,7075 ja 0,0197	
Kauran markkinahinta	$p$ , €/kg	0,29	(VYR 2022)
Tyypilannoitteen hinta	$c$ , €/kg	3,3	(Maatalouskauppa Isokarhu 2023)
Muuttuvat kustannukset	$K$ , €/kg	451	(Mattila & Rajala, 2023)
Kiinteät kustannukset	$F$ , €/kg	261*	(Lötjönen & Ollikainen, 2017)
Suojakaistan ennallistamiskustannus	$E(s, k = 0)$ , €/ha	142,5*	(Lankoski & Ollikainen, 2006)
	$E(s, k = 1)$ , €/ha	300	(Lehtonen ym., 2020)

\* Luku muutettu nykyarvoon Tilastokeskuksen (2023) Rahanarvonmuuntimen avulla.

Pellon ennallistamiskustannusta kuvattiin Lehtosen ym., (2021) tutkimuksessa siten, että maataloustuen menettämisestä tulisi korvata 400 €/ha/vuosi 40 €/ha alenevalla maksulla, 200–300 €/ha alueen vuotuisista hoitokustannuksista sekä täysimääräinen ennallistamisen kustannus 700–2000 €/ha, jotta viljelijälle ei koituisi tulonmenetyksiä ennallistamisesta. Tässä tutkimuksessa ennallistamiskustannukseksi sovelletaan kohtaa, jossa metsä on jo ennestään paikallaan, eli ensisijaisesti tuetaan niitä kohteita, jotka ovat jo olemassa. Ennallistamiskustannukseksi asetetaan luonnontilaisen suojakaistan kohdalle 300 €/ha.

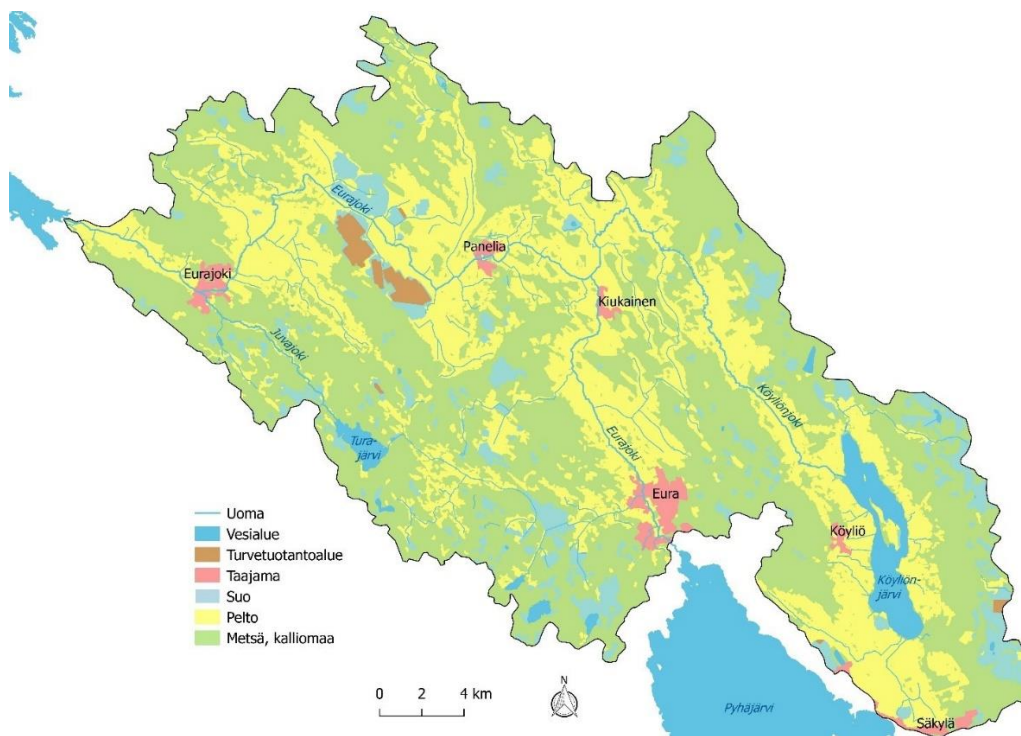
### 3.3 Eurajoki

Satakunnassa on kuusi vesistöaluetta, joista Eurajoki kuuluu suurimpiin. Kuitenkin syvyydeltään ja leveydeltään joki on valtakunnallisesti verrattuna melko pieni. Eurajoen veden laatu on ollut pitkään huonoa, koska joen käyttöaste on korkea, ja joki on ekologisen luokituksen mukaan tyydyttävässä tilassa. Myös Eurajokeen laskevan Köyliönjoen alkupää Köyliönjärvi on rehevöitynyt ja vain välttävässä ekologisessa tilassa (Jokiohjelma, 2023). Satakunnan viljelyin kasvi on kaura (Luke, 2023), joten kauraan liittyviä tietoja sovellettiin tämän tutkimuksen viljely- sekä ravinnehuuhtoumafunktioihin. Eurajoen luontotyyppi on savimaiden joki, mikä on luontotyyppinä erittäin uhanalainen (Eurajoen vesiensuojeluyhdistys 2023). Alkuperäiseltä kasvillisuudeltaan Eurajoen varren kasvillisuus on lehtometsän kaltaista kasvustoa, mutta metsää on joen välittömässä



läheisyydessä jäljellä hyvin vähän, esimerkiksi linnuille joen varressa on jäljellä lähinnä erilaisia pensaikkoja ja muutamia pieniä lehtolaikkuja (Yrjölä ym., 2011).

Eurajoki on merkittävä maisematekijä virratessaan kylien läpi, teiden vieressä sekä yksityisomisteisten tonttien edestä. Eurajokea hyödynnetään virkistyskäyttöön Euran kanoottiklubin toimesta, sekä sen varrella on useita uima-, retkeily, matonpesu- ja kulttuurikohdepaikkoja. Joki on osa vanhaa kulttuurimaisemaa, joten kylät ja asutus ovat rakentuneet sen varteen. Eurajoen vesistöalueeseen kuuluvat asumiskeskittymät Eura, Eurajoki, Kiukainen, Köyliö, Lappi ja Säkylä (Jokiohjelma, 2023). Tässä tutkimuksessa tarkastelussa on mukana ainoastaan Eurajoen pääuoma, jolloin Köyliö, Lappi ja Säkylä rajautuvat pois tarkastelusta.



Kuva 1. Kartta Eurajoesta. Joki virtaa Kiukaisten ja Eurajoen kautta Itämerelle, Selkämeren Eurajoensalmelle (Jokiohjelma, 2023).

Eurajoen pääuoma on 54 kilometriä pitkä eli rantaa siinä on noin 108 kilometriä. Maanmittauslaitoksen Karttapaikka - palvelun (2023) satelliittikuvan mukaan suojakaistalle soveltuvaa rantaviivaa kertyi yhteensä noin 83 kilometriä. Rantaviiva laskettiin mukaan, vaikka pellon ja joen välissä oli autotie. Siten jos joen rannalla ajatellaan olevan hehtaarin kokoisia neliön mallisia peltoalueita peräkkäin, Eurajoessa on tarkasteltavaa rantapeltoalaa 8325 hehtaaria. Eurassa asuu noin 11 400 asukasta ja Eurajoella noin 9400 asukasta eli yhteensä 20 800 asukasta Eurajoen

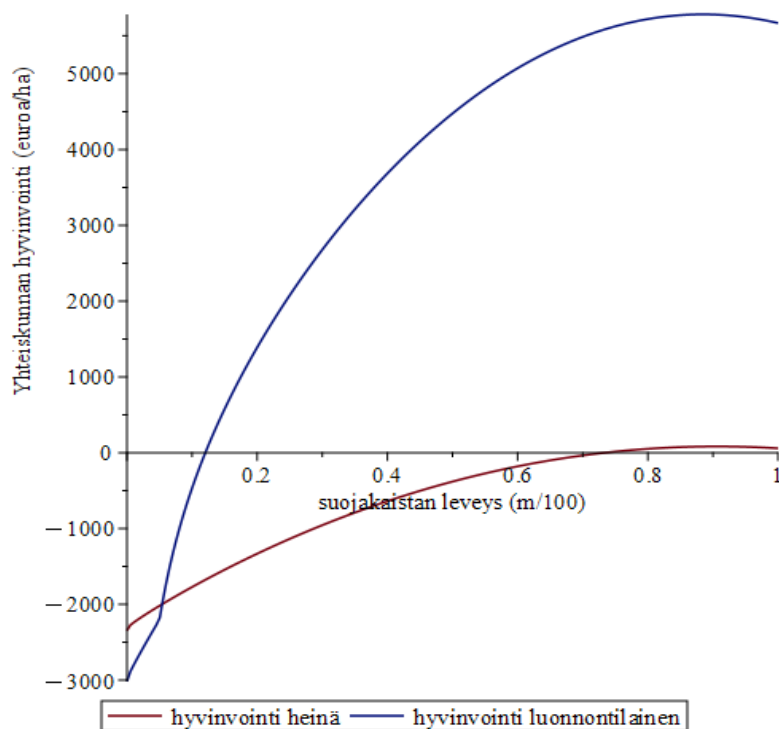
kuntainfo (2021)). Väkilukuja käytetään virkistys- ja maisemahyötyjen laskemisessa. Tutkielman laskelmissa rantaviivan määrä suhteutetaan asukaslukuun (20 800 asukasta huomioidaan), jotta saadaan määriteltyä maksuhalukkuudet virkistykselle ja monimuotoisuudelle hehtaaria kohti eli 100 metrin rantaviivaa kohti.

## 4 Tulokset ja herkkyysanalyysi

Seuraavaksi käydään läpi perustapauksen tulokset, joista selviää optimaalinen typpilannoitustaso sekä suojakaistojen leveydet nurmipeitteisen ja luonnontilaisen suojakaistan tapauksissa, kun ulkoisvaikutukset ovat mukana. Lisäksi selviää, miten optimihyvintointi muuttuu erinäisten ulkoisvaikutusten oloissa. Lopuksi tehdään herkkyysanalyysi. Tulososion laskelmat tehtiin Maple-ohjelmalla (2022).

### 4.1 Perustapauksen tulokset

Kun maksimoidaan viljelijän yksityistä voittoa eli tilannetta ilman ulkoisvaikutuksia, optimaalinen lannoitustaso on 89 kg N/ha ja optimaalinen suojakaistan leveys 0 metriä. Tällöin yksityinen voitto on 206 €/ha. Ilman ohjauskeinoja viljelijä pääsee suurimpiin hehtaarikohtaisiin voittoihin, kun suojakaistaa ei ole. Tulos kuitenkin selvästi muuttuu, jos ulkoisvaikutukset huomioidaan. Tällöin suojakaistan leveys on kaikkien ulkoisvaikutusten oloissa noin 80 metriä ja lannoitus 83 kg N/ha. Nurmipeitteisellä suojakaistalla hyvintointi on 147 €/ha ja luonnontilaisella suojakaistalla jopa 5844 €/ha. Kuvasta 2 huomataan, että luonnontilainen suojakaista tuottaa lähes aina nurmipeitteistä suojakaistaa suuremman hyvintoinnin, ja että liian kapeat suojakaistat voivat johtaa yksityisestä optimista poiketen selkeästi negatiiviseen hyvintointiin.



Kuva 2. Yhteiskunnan hyvinvointi suojakaistan leveyden funktiona, kun kaikki tarkastelun ulkoisvaikutukset ovat mukana ja lannoitustaso on 83 kg N/ha.

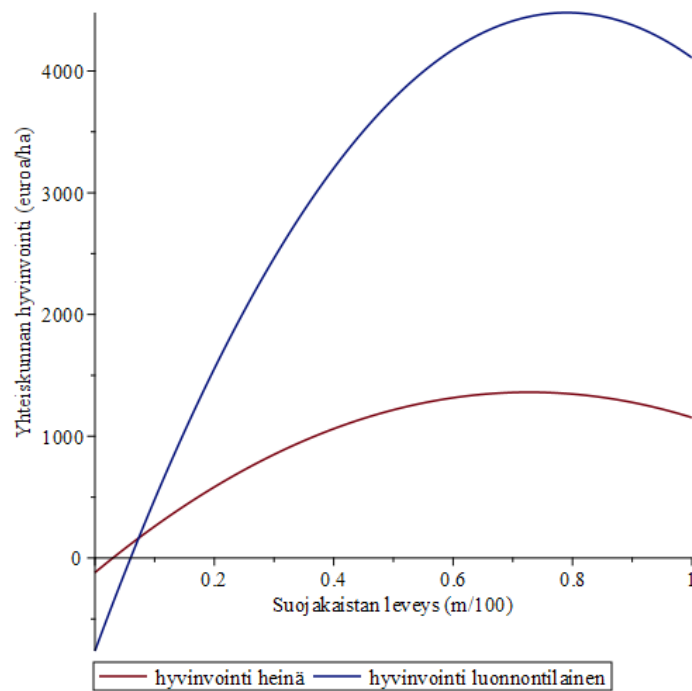
Lisäksi huomataan, että nurmipeitteisellä suojakaistalla saavutetaan selkeästi pienempi hyvinvointi kuin luonnontilaisella suojakaistalla. Lisäksi nurmipeitteinen suojakaista tuottaa usein negatiivista hyvinvointia sen leveydestä huolimatta. Toisaalta kuvan 2 tarkastelun mukaan hyvin kapealla suojakaistan leveydellä nurmipeitteinen suojakaista voisi tuottaa luonnontilaista suojakaistaa suuremman hyvinvoinnin. Optimitilanteet ja erinäiset skenaariot kuvataan taulukossa 6. Kun suojakaista on nurmipeitteinen, optimileveys on vain muutaman metrin luonnontilaista optimia kapeampi lannoitustason pysyessä ennallaan.

Taulukko 6. Optimaalinen lannoitus, hyvinvoinnin määrä, suojakaistan leveys ja viljelijän voitto eri ulkoisvaikutusten oloissa. Suojakaista on nurmipeitteinen, kun  $k=0$  ja luonnontilainen, kun  $k=1$ .

Huomioidut ulkoisvaikutukset hyvinvointiyhtälössä	Kasvillisuus, $k$	Lannoitus, $l$ (kg N/ha)	Suojakaistan leveys rannasta, $s$ (m)	Hyvinvointi, $W$ (€/ha)	Viljelijän voitto, $\pi$ (€/ha)
Kaikki	$k = 0$	83	82	147	-294
	$k = 1$	83	86	5844	-454
Ravinnehuuhtouma, virkistys ja monimuotoisuus (ilman ilmastovaikutusta)	$k = 0$	88	74	4	-245
	$k = 1$	89	81	5408	-415
Ravinnehuuhtouma	$k = 0$	82	5	37	173
	$k = 1$	83	6	30	158
Ilmasto	$k = 0$	83	0	-16	204
	$k = 1$	149	100	6	-561
Monimuotoisuus	$k = 0$	89	73	1362	-239
	$k = 1$	89	79	4479	-400
Virkistys	$k = 0$	89	0	-1136	205
	$k = 1$	89	48	621	-162
Ravinnehuuhtouma ja ilmasto	$k = 0$	149	100	-157	-404
	$k = 1$	149	100	6	-561
Ravinnehuuhtouma ja monimuotoisuus	$k = 0$	89	74	1346	-245
	$k = 1$	89	79	4467	-400
Monimuotoisuus ja virkistys	$k = 0$	89	73	21	-239
	$k = 1$	89	81	5419	-415
Ei ulkoisvaikutuksia	$k = 0$	89	0	205	205
	$k = 1$	89	0	205	205

Kaikki, mutta viljelijän yksityinen optimi	$k = 0$	89	0	-1948	205
	$k = 1$	89	0	-2619	205

Taulukon 6 mukaisesti lannoitustaso vaihtelee joen varressa 82-89 kg N/ha välillä. Kun ulkoisvaikutuksia tarkastellaan yksittäin, huomataan että ilmastohaitta ja monimuotoisuushyöty vaikuttavat suojakaistan leveyteen voimakkaimmin. Lisäksi huomataan, että monimuotoisuushyöty tuottaa yksittäisenä ulkoisvaikutuksena selkeästi eniten hyvinvointia yhteiskunnalle. Monimuotoisuutta on lisäksi tarkasteltu yksittäisenä ulkoisvaikutuksena kuvassa 3. Heikoiten suojakaistan leveyden vaikuttaa ravinnehuuhtomahaitta. Nykyisten suojakaistojen käyttöönottoa vesistöjen vieressä on yleisesti perusteltu ainoastaan ravinnehuuhtouman näkökulmasta. Jos ainoastaan ravinnehuuhtouma huomioidaan ulkoisvaikutuksena, optimileveys suojakaistalle on nykytilannetta vastaavasti 5–6 metriä.



Kuva 3. Yhteiskunnan hyvinvointi suojakaistan leveyden funktiona, kun ulkoisvaikutuksina huomioidaan monimuotoisuus, ja kun lannoitus on yhteiskunnan optimin tasolla.

Ulkoisvaikutuksia tarkasteltiin myös eri ulkoisvaikutusten yhdistelmillä. Jos esimerkiksi ravinnehuuhtouman lisäksi huomioidaan monimuotoisuus, nurmipeitteisen ja luonnontilaisen suojakaistan optimilevydet ovat keskenään samaa luokkaa. Tällöin hyvinvointi on nurmipeitteisellä suojakaistalla 1346 €/ha eli selkeästi suurempi, kuin mitä se oli kaikkien ulkoisvaikutusten oloissa.

Analyttisen tarkastelun ensimmäisen kertaluvun ehdoista huomattiin, että lannoitusvalintaan vaikuttivat ravinnehuuhtouma ja kasvihuonekaasupäästöt. Tämä näkyy tuloksissa niin, että optimaaliset lannoitusmäärät pysyvät samana monimuotoisuuden ja virkistykseen ulkoisvaikutusten oloissa suojakaistan leveydestä riippumatta. Lannoitus vaikuttaa niiden tapauksessa ainoastaan viljelijän yksityiseen valintaan. Toisaalta myös toisten ulkoisvaikutusten oloissa optimaalinen lannoitustaso muuttuu hyvin vähän ollen 82–89 kg/ha välillä.

Lopuksi tarkastellaan mallin avulla vielä kasvipeitteisyyden vaikutuksia hyvinvointiin nykyisen levyisillä suojakaistoilla. Jos valitaan 5 metriä leveä suojakaista, ei hyvinvoinnin kannalta ole suurta merkitystä kummalla kasvillisuudella suojakaista on: nurmipeitteisellä hyvinvointi on -1600 €/ha ja luonnontilaisella -1782 €/ha. Kun valitaan 12 metriä leveä suojakaista, kasvipeitteisyydellä on merkittävästi vaikutusta hyvinvoinnin määrään. Tällöin nurmipeitteinen suojakaista tuottaa -1282 €/ha hyvinvointitappion, kun taas luonnontilainen suojakaista tuottaa 388 €/ha hyvinvoinnin.

Optimitilanteiden saavuttaminen tuottaa erinäisten ulkoisvaikutusten oloissa yhteiskunnan näkökulmasta suurempia hyvinvointeja, kuin mitä ne tuottaisivat koskaan viljelijälle (taulukko 6). Sopivaa ohjauskeinoa yhteiskunnan optimin saavuttamiseksi tarkastellaan seuraavassa kappaleessa.

## 4.2 Sopivan ohjauskeinojen tarkastelu

Seuraavaksi tarkastellaan sopivaa suojakaistatukea ja typpilannoiteveroa nurmipeitteisen ja luonnontilaisen suojakaistan skenaarioissa, kun kaikki ulkoisvaikutukset ovat mukana tarkastelussa. Hyvinvointia vähentävien haittojen sijaan yhteiskunnan suunnittelija voi optimoida vesistöjen rantojen käyttöönottoa ohjauskeinoilla, jotka tukevat luonnontilaisten ja leveiden suojakaistojen käyttöönottoa menetettyjen viljelytulosten ja ennallistamiskustannusten korvaamisen kautta sekä vähentävät lannoitusta lannoiteveron kautta. Analyttisessä osiossa tarkasteltiin typpilannoiteveron ja suojakaistan kasvillisuuteen sekä leveyteen liittyvien tukien muodostumista. Yhtälöissä (2.18), (2.21) ja (2.22) saatiin, että toimenpidekohtaisen tuen tai veron määrä vastaa toimenpiteen lisäystä tai sen vähentämistä vastaavaa rajahaittaa tai -hyötyä.

Optimaalisen suojakaistatuen rahamääräinen taso saadaan numeerisesti sijoittamalla yhteiskunnallisesti optimaaliset suojakaistan leveydet ja lannoituksen tasot verojen muodostumista

vastaaviin yhtälöihin. Siten typpilannoitus saadaan yksityisesti yhteiskunnan optimia vastaavalle 83 kg N/ha tasolle, jos lannoiteveroksi asetetaan 0,44 €/kg N. Ja jotta optimaalinen 86 metriä leveä luonnontilainen suojakaista saavutetaan, suojakaistan perustamistueksi muodostuu yhteiskunnan nettohyvinvointia vastaavasti 681 €/ha, jonka lopullinen suuruus määräytyy suojakaistan leveyden mukaisesti. Nurmipeitteisen suojakaistan kohdalla optimaalinen suojakaistan perustamistuki on puolestaan 580 €/ha.

### 4.3 Herkkyysanalyysi

Herkkyysanalyysin tavoitteena on tarkastella optimin muutoksia, kun yksittäistä parametrin arvoa muutetaan hyvinvointiyhtälössä. Herkkyysanalyysissä tarkastellaan tilannetta, jossa kaikki ulkoisvaikutukset ovat mukana. Herkkyysanalyysin perusteella selviää, että suurin vaikutus suojakaistan optimileveyteen on viljan hinnalla. Suurin vaikutus lannoitusmäärään on lannoituksen hinnalla. Hyvinvointiin (€/ha) vaikuttaa mallissa merkittävimmin monimuotoisuuteen liittyvä maksuhalukkuus. Lisäksi tässä osiossa tarkastellaan luonnontilaisen suojakaistan ennallistamiskustannuksia, eroosiofunktion vaikutuksia sekä ilmasto- ja ravinnehuuhtoumahaittojen muutosten vaikutuksia optimiin.

Viljan hinnan nousu lisää viljelijän tuloja ja viljelykustannusten nousu laskee niitä. Nämä vaikuttavat myös yhteiskunnan hyvinvoinnin määrään, joten muutokset yksityisessä voitossa muuttavat myös suojakaistan yhteiskunnallisesti optimaalista leveyttä. Viljan hinnan kaksinkertaistaminen 0,29 € kilohinnasta 0,58 € kilohintaan kaventaa optimaalista suojakaistan leveyttä luonnontilaisen suojakaistan tapauksessa 79 metriin ja hyvinvointi on tällöin 6067 €/ha. Viljan hinnan kasvu kaventaa nurmipeitteisen suojakaistan 60 metriin, jolloin hyvinvointi on 507 €/ha. Eli viljan hinnan nostaminen vaikuttaa optimilukemiin jonkin verran. Luonnontilainen suojakaista kapeni tulososioon verrattuna 7 metrillä ja nurmipeitteinen 22 metrillä. Uudessa optimissa hyvinvoinnit nousivat vastaavasti 223 €/ha sekä 360 €/ha. Kun viljan hinta tuplataan, myös optimaaliset lannoitustasot kasvavat ja ovat luonnontilaisen suojakaistan kohdalla 117 kg N/ha ja nurmipeitteisen kohdalla 118 kg N/ha.

Jos lannoituksen hinta tuplataan 3,3 eurosta 6,6 euroon, optimileveys on luonnontilaisella suojakaistalla 87 metriä ja nurmipeitteisellä 86 metriä. Tulososioon verrattuna luonnontilainen suojakaista kasvoi hinnan muutoksen myötä metrillä, ja nurmipeitteinen suojakaista neljällä metrillä. Hyvinvoinnit laskivat vain hieman ja olivat vastaavassa järjestyksessä tällöin 5815 €/ha ja 113 €/ha.

Luonnontilaisen suojakaistan kohdalla hyvinvointi laski 29 €/ha ja nurmipeitteisen kohdalla 34 €/ha. Toisin sanoen typpilannoituksen hinnan muutos ei vaikuta mallissa suojakaistan optimileveyteen tai hyvinvointiin merkittävästi. Sen sijaan lannoituksen hinnalla oli suurempi vaikutus lannoitukseen, lannoituksen ollessa molemmissa tapauksissa 51 kg N/ha.

Herkkyysanalyysin mukaan luonnontilaisen suojakaistan ennallistamiskustannukset vaikuttavat yhteiskunnan hyvinvointiin, mutta eivät erityisesti suojakaistan optimileveyteen. Esitettyssä mallissa ennallistamiskustannukset olivat luonnontilaisella suojakaistalla 300 €/ha ja nurmipeitteisellä suojakaistalla 142,5 €/ha. Luonnontilaisen suojakaistan kohdalla ennallistamiskustannusten on arvioitu olevan melko alhaiset, eivätkä ne todennäköisesti ole arvioitu riittäviksi, jos lähtökohtana on täysin puuton nurmipeitteinen suojakaista. Siten kyseinen ennallistamiskustannus sopii enemmän suojakaistalle, jolla on jo ennestään luonnontilaista kasvillisuutta. Jos luonnontilaisen suojakaistan ennallistamiskustannukset kaksinkertaistetaan 600 euroon hehtaarilta, suojakaistan optimileveys pysyy kuitenkin edelleen samalla tasolla, ollen 84 metriä. Hyvinvointi on tällöin 5590 €/ha. Tulosesion laskuihin verrattuna muutokset ovat pieniä, sillä suojakaistan leveys kasvaa vain kahdella metrillä ja hyvinvointi pienenee suhteessa vähän. Jos ennallistamiskustannukseksi asetetaan 1000 €/ha, suojakaistan optimileveys pienenee jälleen hieman ja on 82 metriä ja hyvinvointi 5258 €/ha. Lannoitus pysyi ennallistamiskustannusten muuttuessa ennallaan ollen 83 kg N/ha molemmissa edellisissä tapauksissa.

Aiemmin oletettiin, että luonnontilainen suojakaista tuottaa pienemmän eroosiohaitan verrattuna nurmipeitteiseen suojakaistaan. Jos osoitetaan, että tilanne olisikin päinvastainen eli että luonnontilainen suojakaista pidättäisikin huonommin sedimenttiä verrattuna nurmipeitteiseen suojakaistaan, tai että kasvillisuus ei vaikuta eroosion määrään yhtään, sillä ei todennäköisesti olisi suurta vaikutusta tämän tarkastelun tuloksiin. Tämä johtuu siitä, että eroosiofunktion merkitys on huuhtoumahaittafunktiossa hyvin pieni. Jos esimerkiksi oletetaan kummankin skenaarion pidättävän sedimenttiä nurmipeitteisen suojakaistan mukaisesti asettamalla luonnontilaisen suojakaistan kohdalle nurmipeitteisen suojakaistan eroosiofunktio, luonnontilaisen suojakaistan optimileveys sekä kokonaishyvinvointi pysyvät molemmat ennallaan.

Ravinnehuuhtouman merkitys on hyvinvointiyhtälössä niin heikko, että myös hinnan tuplaaminen 12 eurosta 24 euroon ei muuta luonnontilaisen suojakaistan leveyttä tulosesioon verrattuna. Nurmipeitteisen suojakaistan leveys kasvaa hinnan nousun myötä ainoastaan metrillä. Myöskään



hyvinvoinnissa ei tapahtunut suuria muutoksia kummankaan kasvipeitteisyyden kohdalla. Sekä luonnontilaisen että nurmipeitteisen suojakaistan kohdalla hyvinvointi laskee vain noin 10 eurolla.

Kun monimuotoisuuteen liittyvä maksuhalukkuus puolitetaan tulososiossa käytetystä 0,53 €/laji maksuhalukkuudesta, optimit muuttuvat hieman. Optimaalinen luonnontilainen suojakaista on tällöin 87 metriä ja nurmipeitteinen suojakaista 80 metriä. Samanaikaisesti hyvinvoinnit laskivat paljon. Luonnontilainen suojakaista tuottaa uuden maksuhalukkuuden myötä 3400 €/ha hyvinvoinnin ja nurmipeitteinen suojakaista puolestaan -668 €/ha hyvinvointitappion.

Jos lajikohtainen maksuhalukkuus tuplataan, pysyvät suojakaistojen optimileveydet edelleen ennallaan. Luonnontilainen suojakaista kapenee kahdella metrillä 85 metriin ja nurmipeitteinen suojakaista levenee tulososioon verrattuna yhdellä metrillä 83 metriin. Sen sijaan hyvinvoinnissa tapahtuu maksuhalukkuuden muutoksien myötä jälleen merkittäviä eroja. Jos maksuhalukkuus tuplaantuu yli yhteen euroon per laji, hyvinvointi on nurmipeitteisen suojakaistan skenaariossa 1780 €/ha, joka on tulososioon verrattuna 1633 €/ha enemmän. Luonnontilaisen suojakaistan skenaariossa hyvinvointi on puolestaan 10 739 €/ha, eli hyvinvointi lähes tuplaantuu tulososioon verrattuna.

Asukasluvun tai joen pituuden muutokset vaikuttavat optimointiin virkistykseen ja monimuotoisuuden kautta. Asukasluvun eli maksuhalukkaiden määrän puolittamisella 20 800 henkilöstä 10 400 henkilöön, optimaalinen luonnontilainen suojakaista pysyy mallin mukaan ennallaan (86 m). Myös nurmipeitteinen suojakaista kapenee ainoastaan metrillä. Kummankin skenaarion hyvinvoinnit kuitenkin laskisivat merkittävästi. Hyvinvoinnit olisivat optimeissa luonnontilaisen suojakaistan kohdalla 2919 €/ha ja nurmipeitteisen kohdalla vain noin 3 €/ha.

Lopuksi tarkastellaan vielä ilmastohaittaan liittyvää muutosta. Kun ilmastohaitan rajakustannus puolitetaan muiden parametrien arvojen pysyessä ennallaan, suojakaistojen optimileveys pienenee vain hieman. Luonnontilaisen suojakaistan optimileveys pienenesi kolmella metrillä ja nurmipeitteisen suojakaistan optimileveys laskisi neljällä metrillä. Vastaavasti hyvinvoinnit muuttuvat myös hieman ja olisivat luonnontilaisen suojakaistan optimissa 5622 €/ha eli 222 €/ha vähemmän tulososioon verrattuna. Nurmipeitteisen suojakaistan kohdalla hyvinvointi on tällöin 71 €/ha. Lannoitustaso nousi molemmissa tapauksissa 86 kg N/ha.

## 5 Yhteenveto ja keskustelu

Maaseutumaisema on yksipuolistunut voimakkaasti Suomessa, ja nykyisillä voimakkaasti ravinnehuuhtoumaan keskittyvillä kannustimilla maaseutu ympäristön köyhtyminen uhkaa jatkua. Valtaosa eteläisen Suomen metsistä on ennen peltojen raivauksia ollut lehtometsää, josta on jäljellä enää vain murto-osa (Hyvärinen ym. 2019). Myös Eurajoen varrella luonnontilaa muistuttavia metsälaikkuja on jäljellä hyvin vähän. Tutkimuksessa konkretisoitiin Eurajoen maaseutu ympäristöstä vastuussa oleville päättäjille hyvinvoinnin muutoksia (€/ha) maatalouden suojakaistoihin liittyen, kun taloudelliset ulkoisvaikutukset huomioitiin kasvihuonekaasupäästöjen, ravinnehuuhtouman, eroosion, monimuotoisuuden sekä virkistykseen näkökulmista.

Tutkimuksessa optimoitiin suojakaistojen leveys ja suojakaistan viereisen pellon lannoitusmäärä. Optimointia varten muodostettiin kaksi hyvinvointiyhtälöä, joista toisessa oli käytössä nykyisen ohjauksen mukaisesti nurmipeitteisiä suojakaistoja ja toisessa nykytilanteesta poikkeavia luonnontilaisia suojakaistoja. Tutkimukseen sovellettiin paljon myös muuta kuin maatalouden suojakaistoihin perustuvaa tietoa vähäisen saatavuuden takia. Suojakaistojen optimaalinen käyttöönotto muuttui selvästi nykyisestä, kun useampi ulkoisvaikutus huomioitiin. Tarkastelun laskelmiin sovellettujen parametrien arvojen ja funktioiden kanssa Eurajoen pääuomassa suurimman hyvinvoinnin tuotti luonnontilainen ja yli 80 metriä leveä suojakaista. Tällöin lähipellon optimaalinen typpilannoitustaso oli 83 kg N/ha. Suurin vaikutus hyvinvoinnin määrään oli monimuotoisuuteen liittyvällä maksuhalukkuudella (€/laji). Suurin yksittäisen parametrin vaikutus suojakaistan leveyteen oli puolestaan viljan markkinahinnalla.

Yli 80 metriä leveiden suojakaistojen käyttöönotto ja tukeminen voi olla epärealistinen tavoite maatalousvaltaisessa Lounais-Suomessa, mutta tarkastelun laskelmat auttavat silti hahmottamaan, että nykyiset kannustimet suojakaistojen käyttöönottoon saattavat olla riittämättömiä. Tarkastelussa luonnontilainen suojakaista tuotti moninkertaisesti suurempia hyvinvointeja nurmipeitteiseen suojakaistaan verrattuna. Lisäksi huomattiin, että liian kapeat suojakaistat johtivat negatiiviseen hyvinvointiin kasvipeitteisyydestä riippumatta.

Luonnontilaisen suojakaistan perustaminen vaatisi nurmipeitteistä suojakaistaa suuremman perustamistuen. Tarkastelun optimaalisen luonnontilaisen suojakaistan perustamistueksi muodostui 681 €/ha. Nurmipeitteisen suojakaistan kohdalla optimaalinen suojakaistan perustamistuki oli

puolestaan 580 €/ha. Tämä on reilusti enemmän, kuin mitä nykyiset tuet ovat, sillä tällä hetkellä nurmipeitteisen suojavyöhykkeen perustamisesta maksetaan enintään 350 €/ha ympäristökorvausta (Ruokavirasto, 2023). Tarkastelussa lannoiteveroksi saatiin puolestaan 0,44 €/kg N.

Luonnontilaiset suojakaistat tuovat hyötyjä monesta eri näkökulmasta, mutta niitä on tutkittu maataloudessa hyvin vähän. Jo aiemmin on tutkittu, että yleisesti suojakaistoilla on potentiaalia tuottaa yksittäisenä toimenpiteenä monipuolisimmat hyödyt maatalouden monivaikutteisuuden ja ympäristöehtojen edistämisen näkökulmasta (Arovuori & Kola, 2005). Suojakaistojen on Suomessa katsottu olevan tehokas ympäristönsuojelutoimenpide myös siksi, koska niiden ylläpitoon ei vaikuta maataloustoiminnan erilaisuus tai tilojen kasvavat tuottavuuserot (Arovuori & Kola, 2005). Luonnontilaisten suojakaistojen käyttöönottoa on tutkittu Suomessa hyvin vähän, jos ollenkaan. Miettisen (2020) metsätalouden tutkimuksessa suojavyöhykkeiden monimuotoisuuteen liittyvien taloudellisten hyötyjen sisäistäminen taloudelliseen optimiin muutti suojavyöhykkeen muotoa ja leveyttä merkittävästi, kuten tapahtui myös tässä tarkastelussa. Miettisen (2029) tutkimuksessa vertailtiin taloudellisen optimoinnin avulla metsätalouden suojavyöhykkeitä siten, että ensin optimoinnissa pidettiin ainoastaan ravinnevalumien tuomat taloudelliset hyödyt, sen jälkeen optimointitehtävään lisättiin myös monimuotoisuuden tuomat hyödyt. Kun tarkastelussa oli mukana ainoastaan ravinnevalumien vähentämisen tuomat taloudelliset hyödyt, kannatti suojakaistojen puusto hyödyntää myymällä kasvuston säästämisen sijaan, sillä puuston arvo oli korkeampi kuin kaatamisen aiheuttamat ravinnehuuhtoumat. Kun taloudellisiin hyötyihin otettiin mukaan monimuotoisuuden taloudelliset hyödyt, sosiaalisesti optimaalisen suojakaistan käyttöönotto muuttui huomattavasti: puusto tuli säilyttää koskemattomana ja kaistan leveydeksi muodostui 20 metriä.

Suojakaistojen kannustimia olisi tärkeää tarkastella uudelleen useamman ulkoisvaikutuksen kanssa, sillä useamman ulkoisvaikutuksen huomioiminen niiden käyttöönotossa ravinnehuuhtouman ohella voisi lisätä maaseudun hyvinvointia merkittävästi. Lisäksi tulisi etsiä mahdollisuuksia suojakaistojen luonnontilaisuutena säilyttämiseen. Ensiratkaisuna nykyisten suojakaistatukien ehtojen joukkoon tulisi lisätä vaihtoehto puustoisien suojakaistan säilyttämiseen vesistöjen rannoilla ilman maataloustukien menetystä, mikä ei vielä toistaiseksi ole mahdollista.

Tähän tarkasteluun liittyy useita oletuksia ja yksinkertaistuksia. Kasvillisuus jaettiin luonnontilaiseen ja nurmipeitteiseen kasvillisuuteen eli malleissa ei tarkastella tilannetta, jossa kasvillisuus vaihtelisi näiden kahden välillä. Rantavyöhykettä pyrittiin tarkastelemaan ainoastaan savimaiden

näkökulmasta, mutta eroosiofunktion kohdalla käytettiin arvottamistutkimuksia, jotka perustuivat myös toisenlaisille maalajeille ja ilmastoille, kuin mitä on Eurajoella. Tähän liittyen tehtiin myös oletus, jonka mukaan ravinnehuuhtouma on pienenpää luonnontilaisella suojakaistalla verrattuna nurmipeitteiseen suojakaistaan. Todellisuudessa luonnontilaisen kasvipeitteisyyden vaikutuksia maatalouden ravinnevalumiin tai eroosioon on tutkittu vähän, eikä siihen liittyviä tutkimuksia löydetty tähän tutkimukseen ollenkaan Suomesta.

Tarkastelussa pyrittiin käyttämään Suomen ympäristöissä tehtyjä arvottamistutkimuksia. Metsätalouteen liittyen monimuotoisia suojakaistoja on tutkittu myös Suomessa, joten virkistyspalvelujen kohdalla käytettiin metsien suojakaistoihin liittyviä arvottamistutkimuksia. Monimuotoisuusfunktioon hyödynnettiin kosteikkojen lajien arvottamistutkimusten keskiarvoa. Monimuotoisuusfunktioon liittyy myös muita yksinkertaistuksia. Monimuotoisuusfunktion kasvillisuuden alkuperäisiä lajimääriä oli hankala arvioida, sillä Eurajoen vartta on viljelty ja hyödynnetty ihmisen toimintaan jo pitkään. Esimerkiksi aiemmin joesta poimittiin elinkeinona muun muassa erittäin uhanalaista jokihelmisimpukkaa, jota ei laji.fi-sivuston (2023) havaintohistoriasta löytynyt ollenkaan. Lisäksi esimerkiksi joenvarren kasvillisuuden korkeus, tiheys sekä niiden tuoma varjostava vaikutus sekä lämpötilojen muutokset vaikuttavat myös vedessä elävien eliöiden elinvoimaisuuteen ja monimuotoisuuteen, eikä niitä ole otettu tarkastelussa huomioon.

Viljelijän voitot eivät ota huomioon viljelytilojen erilaisia valmiuksia perustaa suojakaistoja. Lisäksi esimerkiksi maatalousmaan hintojen vaikutuksia ei huomioitu. Suojakaistojen tai -vyöhykkeiden käyttöönotto voisi olla edullisempaa ilman ohjaustakin, jos viljelijän olisi mahdollista myydä puita vesistön vierestä ja saada niistä esimerkiksi siten tuloja. Tässä mallissa talouspuun kasvattaminen vesistöjen äärelle ei kuitenkaan ollut mahdollista.

Jatkotutkimuksessa suojakaistojen ulkoisvaikutuksia tulisi tutkia erityisesti luonnontilaisen kasvipeitteisyyden tuomien ulkoisvaikutusten näkökulmasta. Lisäksi tutkimustuloksia tulisi tarkentaa paikkakohtaisesti. Tämän tutkimuksen ulkoisvaikutusten lisäksi suojakaistoilla on myös muita tarkempaa tarkastelua vaativia ulkoisvaikutuksia, kuten tulvasuoja, varjostava vaikutus sekä vieraslajien torjunta.

## Lähteet

- Antikainen, J., & Laitos, M. (2017). Ekosysteemipalveluiden taloudellinen arvottaminen rakennetuilla kosteikoilla: Tapaustarkasteluna Nummelan kosteikko- puistot.
- Arovuori, K., & Kola, J. (2005). Policies and Measures for Multifunctional Agriculture: Experts' Insight. 8(3).
- Castelle, A. J., Johnson, A. W., & Conolly, C. (1994). Wetland and Stream Buffer Size Requirements—A Review. *Journal of Environmental Quality*, 23(5), 878–882. <https://doi.org/10.2134/jeq1994.00472425002300050004x>
- Cole, L. J., Stockan, J., & Helliwell, R. (2020). Managing riparian buffer strips to optimise ecosystem services: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 296, 106891. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106891>
- Daniels, R. B., & Gilliam, J. W. (1996). Sediment and Chemical Load Reduction by Grass and Riparian Filters. *Soil Science Society of America Journal*, 60(1), 246–251. <https://doi.org/10.2136/sssaj1996.03615995006000010037x>
- Dias, T., Dukes, A., & Antunes, P. M. (2015). Accounting for soil biotic effects on soil health and crop productivity in the design of crop rotations. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(3), 447–454. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6565>
- Dosskey, M. G., Helmers, M. J., & Eisenhauer, D. E. (2008). A design aid for determining width of filter strips. *Journal of Soil and Water Conservation*, 63(4).
- Eurajoen vesiensuojeluyhdistys. (2023). Savimaiden joki. Eurajoen vesiensuojeluyhdistys ry. <https://www.evsy.fi/vapautetaan-eurajoen-virrat/savimaiden-joki/>
- Eurajoki. (2023). Kuntainfo. Eurajoki. <https://www.eurajoki.fi/hallinto/kuntainfo/>
- FAO. (2001). STATE OF THE WORLD'S FORESTS 2001. <https://www.fao.org/3/y0900e/y0900e00.htm#TopOfPage>

- Gren, I.-M. (2001). International Versus National Actions Against Nitrogen Pollution of the Baltic Sea. *Environmental and Resource Economics*, 20(1), 41–59.  
<https://doi.org/10.1023/A:1017512113454>
- Hatakka, T. (2020). Taajamakeitaita hulevesimaksulla: Viikin taajamakosteikoiden tuottamien ekosysteemipalveluiden taloudellinen arvottaminen.  
<https://helda.helsinki.fi/items/URN:NBN:fi:hulib-202006173130>
- Hawes, E. (2005). *Riparian Buffer Zones: Functions and Recommended Widths*.
- Hyvärinen, E., Juslén, A. K., Kemppainen, E., Uddström, A., & Liukko, U.-M. (2019). Suomen lajien uhanalaisuus 2019 - Punainen kirja: The 2019 Red List of Finnish Species. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus.
- IPCC. (2006). Publications—IPCC-TFI. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- Jokiohjelma. (2023, marraskuuta 22). JOKIOhjelma – Puhtaiden vesien puolesta.  
<https://www.jokiohjelma.fi/>
- Juutinen, A., Kosenius, A.-K., Ovaskainen, V., Tolvanen, A., & Tyrväinen, L. (2017). Heterogeneous preferences for recreation-oriented management in commercial forests: The role of citizens' socioeconomic characteristics and recreational profiles.  
<https://jukuri.luke.fi/handle/10024/534143>
- Kiirikki, M., Rantanen, P., Varjopuro, R., Leppänen, A., Hiltunen, M., Pitkänen, H., Ekholm, P., Moukhametshina, E., Inkala, A., Kuosa, H., & Sarkkula, J. (2003). Cost effective water protection in the Gulf of Finland.
- Korhonen, K. T., Ihalainen, A., Ahola, A., Heikkinen, J., Henttonen, H. M., Hotanen, J.-P., Nevalainen, S., Pitkänen, J., Strandström, M., & Viiri, H. (2017). Suomen metsät 2009–2013 ja niiden kehitys 1921–2013. Luonnonvarakeskus (Luke).  
<https://jukuri.luke.fi/handle/10024/540537>

- Kuussaari, M., Helenius, J., Heliölä, J., & Tiainen, J. (2008). Maatalouden ympäristötuen merkitys luonnon monimuotoisuudelle ja maisemalle. Suomen ympäristökeskus. [https://mmm.fi/documents/1410837/1801160/Maatalouden\\_ymparistotuen\\_merkitys\\_luonnon\\_monimuotoisuudelle\\_ja\\_maisemalle\\_\\_MYTVAS\\_2000-2006\\_loppuraportti.pdf/9c56d11c-0818-45aa-8ba7-af6207435288/Maatalouden\\_ymparistotuen\\_merkitys\\_luonnon\\_monimuotoisuudelle\\_ja\\_maisemalle\\_\\_MYTVAS\\_2000-2006\\_loppuraportti.pdf?t=1452260629000](https://mmm.fi/documents/1410837/1801160/Maatalouden_ymparistotuen_merkitys_luonnon_monimuotoisuudelle_ja_maisemalle__MYTVAS_2000-2006_loppuraportti.pdf/9c56d11c-0818-45aa-8ba7-af6207435288/Maatalouden_ymparistotuen_merkitys_luonnon_monimuotoisuudelle_ja_maisemalle__MYTVAS_2000-2006_loppuraportti.pdf?t=1452260629000)
- Lankia, T., Venesjärvi, R., & Pouta, E. (2022). Importance-performance analysis of the fishing tourism service structure: Recreational anglers' preferences on the remote salmon river of Teno in Finland. *Fisheries Research*, 254, 106425. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2022.106425>
- Lankoski, J., & Ollikainen, M. (2011). Counterfactual approach for assessing agri-environmental policy: The case of the Finnish water protection policy. *Revue d'Études en Agriculture et Environnement*, 94. <https://doi.org/10.4074/S1966960713012022>
- Lehtonen, H. (2001). Principles, structure and application of dynamic regional sector model of Finnish agriculture. *Vammalan Kirjapaino*. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/440293>
- Lehtonen, H., Saarnio, S., Rantala, J., Luostarinen, S., Maanavilja, L., Heikkinen, J., Soini, K., Aakkula, J., Jallinoja, M., Rasi, S., & Niemi, J. (2020). Maatalouden ilmastotiekartta – Tiekartta kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen Suomen maataloudessa. MTK ry. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/546180>
- Luke. (2023a). Käytössä oleva maatalousmaa muuttujina Vuosi, ELY-keskus, Muuttuja ja Laji. PxWeb. [https://statdb.luke.fi:443/PxWebPxWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE\\_\\_02Maatalous\\_\\_04Tuotanto\\_\\_22Kaytossaoleva\\_maatalousmaa/01\\_Kaytossa\\_oleva\\_maatalousmaa\\_ELY.px/](https://statdb.luke.fi:443/PxWebPxWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__02Maatalous__04Tuotanto__22Kaytossaoleva_maatalousmaa/01_Kaytossa_oleva_maatalousmaa_ELY.px/)

- Luke. (2023b). Viljelykasvien sato muuttujina Vuosi, ELY-keskus, Tieto, Tuotantotapa ja Kasvilaji. PxWeb. [https://statdb.luke.fi:443/PxWebPxWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE\\_\\_02Maatalous\\_\\_04Tuotanto\\_\\_14Satotilasto/01\\_Viljelykasvien\\_sato.px/](https://statdb.luke.fi:443/PxWebPxWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__02Maatalous__04Tuotanto__14Satotilasto/01_Viljelykasvien_sato.px/)
- Lötjönen, S., & Ollikainen, M. (2017). Does crop rotation with legumes provide an efficient means to reduce nutrient loads and GHG emissions? *Review of Agricultural, Food and Environmental Studies*, 98(4), 283–312. <https://doi.org/10.1007/s41130-018-0063-z>
- Maanmittauslaitos. (2023). Karttapaikka—Maanmittauslaitos. <https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/>
- Maatalouskauppa Iso-Karhu. (2023). Typpirikkaat NPK\_lannoitteet. <https://www.maatalousisokarhu.fi/verkkokauppa/index.php?route=product/category&path=106>
- Maplesoft. (2023). Download Maple 2022 Network Tools—Maplesoft. <https://www.maplesoft.com/downloads/SelectPlatform.aspx?hash=9CB2B3E34895A912065DEC0F43F5E480>
- Mathworks. (2023). Curve Fitting Toolbox. <https://se.mathworks.com/products/curvefitting.html>
- Mattila & Rajala. (2023). Viljelykiertojen vertailutyökalu. Helsingin yliopisto, Ruralia-instituutti.
- Metcalf, G. E. (2003). Environmental levies and distortionary taxation: Pigou, taxation and pollution. *Journal of Public Economics*, 87(2), 313–322. [https://doi.org/10.1016/S0047-2727\(01\)00116-5](https://doi.org/10.1016/S0047-2727(01)00116-5)
- Miettinen, J. (2020). Essays on optimal forest management and water protection. *Dissertationes Forestales*, 2020(296). <https://www.dissertationesforestales.fi/article/10388>
- Newbold, J. D., Herbert, S., Sweeney, B. W., Kiry, P., & Alberts, S. J. (2010). Water Quality Functions of a 15-Year-Old Riparian Forest Buffer System<sup>1</sup>. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 46(2), 299–310. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2010.00421.x>



- Oldén, A., Peura, M., Saine, S., Kotiaho, J. S., & Halme, P. (2019). The effect of buffer strip width and selective logging on riparian forest microclimate. *Forest Ecology and Management*, 453, 117623. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117623>
- Peterjohn, W. T., & Correll, D. L. (1984). Nutrient Dynamics in an Agricultural Watershed: Observations on the Role of A Riparian Forest. *Ecology*, 65(5), 1466–1475. <https://doi.org/10.2307/1939127>
- Pokki, H., Artell, J., Mikkola, J., Orell, P., & Ovaskainen, V. (2018). Valuing recreational salmon fishing at a remote site in Finland: A travel cost analysis. *Fisheries Research*, 208, 145–156. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2018.07.013>
- Puustinen, M., Turtola, E., Kukkonen, M., Koskiaho, J., Linjama, J., Niinioja, R., & Tattari, S. (2010). VIHMA—A tool for allocation of measures to control erosion and nutrient loading from Finnish agricultural catchments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 138, 306–317. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.06.003>
- Roy, A. H., Rosemond, A. D., Leigh, D. S., Paul, M. J., & Wallace, J. B. (2003). Habitat-specific responses of stream insects to land cover disturbance: Biological consequences and monitoring implications. *Journal of the North American Benthological Society*, 22(2), 292–307. <https://doi.org/10.2307/1467999>
- Ruokavirasto. (2023). Ympäristökorvauksen sitoumusehdot 2023. Ruokavirasto. <https://www.ruokavirasto.fi/tuet/maatalous/peltotuet/ymparistokorvaus/ymparistokorvauksen-sitoumusehdot/ymparistokorvauksen-sitoumusehdot-2023/>
- Räsänen, T. A., Tähtikarhu, M., Uusi-Kämpä, J., Piirainen, S., & Turtola, E. (2021). Improving the agricultural erosion management in Finland through high-resolution data. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 1–30. <https://doi.org/10.5194/hess-2021-457>

- Saarela, I., Järvi, A., Hakkola, H., & Rinne, K. (1995). Fosforilannoituksen porraskokeet 1977-1994: Vuosittain annetun fosforimäärän vaikutus maan viljavuuteen ja peltokasvien satoon monivuotisissa kenttäkokeissa. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/443202>
- Simmelsgaard, S., & Djurhuus, J. (1998). An empirical model for estimating nitrate leaching affected by crop type and long-term N fertilizer rate. *Soil Use and Management*, 14, 37–43. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1998.tb00608.x>
- Statista. (2023). EU-ETS price 2022-2023. Statista. <https://www.statista.com/statistics/1322214/carbon-prices-european-union-emission-trading-scheme/>
- Suomen lajitietokeskus. (2023). Suomen lajien luettelo | Suomen Lajitietokeskus. <https://laji.fi/theme/checklist>
- Tilastokeskus. (2023). Rahanarvonmuunnin. Tilastokeskus. <https://www.stat.fi/tup/laskurit/rahanarvonmuunnin.html>
- Tolkkinen, M., Vaarala, S., & Aroviita, J. (2021). The Importance of Riparian Forest Cover to the Ecological Status of Agricultural Streams in a Nationwide Assessment. *Water Resources Management*, 35(12), 4009–4020. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02923-2>
- Tuloslaari. (2013). Eurofins Viljavuuspalvelu Oy. <http://www.tuloslaari.fi/>.
- Tuomenvirta, H., Haavisto, R., Hildén, M., Lanki, T., Luhtala, S., Meriläinen, P., Mäkinen, K., Parjanne, A., Peltonen-Sainio, P., Pilli-Sihvola, K., Pöyry, J., Sorvali, J., & Veijalainen, N. (2018, syyskuuta 10). Sää- ja ilmatoriskit Suomessa—Kansallinen arvio [Raportti]. Valtioneuvoston kanslia. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161015>
- Uusitalo, R., & Jansson, H. (2002). Dissolved reactive phosphorus in runoff assessed by soil extraction with an acetate buffer. *Agricultural and Food Science*, 11(4), Article 4. <https://doi.org/10.23986/afsci.5734>

Varsianis-Suomen ELY-Keskus. (2023). Luonnon monimuotoisuus—Varsinais-Suomi ja Satakunta.

<https://www.ymparisto.fi/fi/luonto-vesistot-ja-meri/luonnon-monimuotoisuus/luonnon-monimuotoisuus-varsinais-suomi-ja-satakunta>

Vilmi, A., Järvinen, M., Karjalainen, S. M., Kulo, K., Kuoppala, M., Mitikka, S., Ruuhijärvi, J.,

Sutela, T., & Aroviita, J. (2021). Maa- ja metsätalouden kuormittamien pintavesien tila –

MaaMet-seuranta 2008–2020. Suomen ympäristökeskus. <http://hdl.handle.net/10138/338001>

VYR. (2023). Kotimaan hinnat. Vilja-alan yhteistyöryhmä.

<https://www.vyr.fi/fin/markkinatietoa/kotimaan-hinnat/>

Wenger, S. (1999). A Review of the Scientific Literature on Riparian Buffer Width, Extent and

Vegetation.

Yara Suomi. (2018, helmikuuta 13). YaraMila Y 3. Yara Suomi.

<https://www.yara.fi/lannoitus/lannoitteet/yaramila/yaramila-y-3/>

Yrjölä, R., Kekkonen, O., Tanskanen, A., & Uppstu, P. (2011). Pyhäjärven linnusto 2010. Pyhäjärvi-

Instituutti.

[https://pyhajarvi-instituutti.fi/wp-](https://pyhajarvi-instituutti.fi/wp-content/uploads/2021/04/Pyhajarven_linnusto_2010.pdf)

[content/uploads/2021/04/Pyhajarven\\_linnusto\\_2010.pdf](https://pyhajarvi-instituutti.fi/wp-content/uploads/2021/04/Pyhajarven_linnusto_2010.pdf)