

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 102/2024

Peltomaiden vesieroosion arviointi RUSLE-mallilla ja vuoden 2023 kasvi- ja toimenpidetiedoilla

Timo A. Räsänen



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 102/2024

Peltomaiden vesieroosion arviointi RUSLE-mallilla ja vuoden 2023 kasvi- ja toimenpidetiedoilla

Timo A. Räsänen

Viittausohje:

Räsänen T.A. 2024. Peltomaiden vesieroosion arviointi RUSLE-mallilla ja vuoden 2023 kasvi- ja toimenpidetiedoilla. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 102/2024. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 37 s.

Timo Räsänen ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0003-0839-3155>



ISBN 978-952-380-996-3 (Verkkójulkaisu)

ISSN 2342-7639 (Verkkójulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-996-3>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Timo A. Räsänen

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2024

Julkaisuvuosi: 2024

Kannen kuva: Timo A. Räsänen ja Maanmittauslaitos (ortoilmakuva).

Tiivistelmä

Timo A. Räsänen

Luonnonvarakeskus, Tietotie 4, 31600 Jokioinen

Peltomaiden vesierosion torjunta on keskeinen tekijä pintavesien hyvän laadun ja ekologisen tilan sekä peltojen kasvukunnon ylläpitämisessä. Suomessa on toteutettu toimenpiteitä eroosion ja sen haittojen vähentämiseksi osana yhteistä eurooppalaista maatalouspolitiikkaa. Tässä raportissa arvioidaan eroosion suuruutta ja erityisesti talviaikaisen kasvipeitteen vaikutusta eroosioon koko maan tasolla hyödyntäen RUSLE-eroosiomallia sekä vuoden 2023 kasvi- ja toimenpidetietoja. Arvio perustuu kolmeen indikaattoriin: eroosio ($\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$), kokonaiseroosio (t v^{-1}) ja RUSLE:n alatekijän $C_{\text{Toimenpide}}$ (-) kuvaama talviaikaisen kasvipeitteen tehokkuus eroosion torjunnassa.

Koko maan peltomaiden keskimääräiseksi eroosioksi arvioitiin 570 kg ha^{-1} vuodessa, ja kokonaiseroosioksi yli 1,3 miljoonaa tonnia vuodessa. Kuntatasolla eroosio vaihteli välillä $120\text{--}1\,760 \text{ kg ha}^{-1}$ vuodessa. Arvioitu eroosion suuruus on hieman suurempi kuin aiemmissa arvioissa, mutta RUSLE:n uudelleen kalibroinnin vuoksi tulokset eivät ole täysin vertailukelpoisia. Eri arvioiden perusteella kuitenkin tunnistettiin samat korkean eroosion alueet.

Vuoden 2023 talviaikaisen kasvipeitteen arvioitiin vähentävän eroosiota koko maan tasolla 50 % (44–56 %) verrattuna tilanteeseen, jossa talviaikaista kasvipeitettä ei ole. Kuntatasolla arvio kasvipeitteen eroosiota vähentävästä vaikutuksesta vaihteli välillä 21 % (18–24 %) ja 61 % (54–70 %). $C_{\text{Toimenpide}}$ -alatekijän analyysin perusteella havaittiin, että toimenpiteet eivät kohdistuneet erityisesti kuntiin, joissa on korkea eroosio, suuri kokonaiseroosio tai laaja suhteellinen peltopinta-ala. Näiden kuntien keskimääräinen $C_{\text{Toimenpide}}$ -arvo vastasi koko maan keskiarvoa. Kuntatasolla $C_{\text{Toimenpide}}$ korreloi myös heikosti eroosion, kokonaiseroosion ja suhteellisen peltopinta-alan kanssa.

Eroosion torjunnan tehokkuus oli yleisesti matalinta Länsi-, Lounais- ja Etelä-Suomen rannikkokunnissa, mikä saattaa osittain johtua maatalouden tuotantosuuntien alueellisesta jakautumisesta.

Raportissa käsiteltiin myös RUSLE-arvioihin liittyviä epävarmuuksia ja tunnistettiin kuusi kehitystarvetta niiden vähentämiseksi. Kehitystarpeet sisältävät RUSLE-tekijöiden uudelleenarviointia ja kehittämistä, viljelytoimenpiteiden ja ympäristöolosuhteiden alueellisen vaihtelun tarkempaa huomioimista mallin parametrisoinnissa, sekä RUSLE:n tarkempaa ja laajempaa arviointia koepeltojen mittaustuloksia vasten.

Kokonaisuutena tulokset osoittavat, että talviaikaisella kasvipeitteellä on koko maan tasolla merkittävä eroosiota vähentävä vaikutus, ja sen kohdentamista voidaan mahdollisesti kehittää tehokkaammaksi. Raportin tulokset mahdollistavat tarkempien jatkoanalyysien toteuttamisen ja antavat suuntaa toimenpiteiden kohdentamisen tehostamiselle.

Asiasanat: Vesierosio, maatalous, RUSLE, eroosion torjunta, talviaikainen kasvipeite

Abstract

Timo A. Räsänen

Natural Resources Institute Finland, Tietotie 4, 31600 Jokioinen, Finland

Preventing soil erosion on agricultural lands is a key factor in maintaining the good quality and ecological status of surface waters, as well as the growth conditions of crops. In Finland, measures have been implemented to reduce erosion and its adverse effects as part of the Common Agricultural Policy. This report evaluates the magnitude of erosion and, in particular, the impact of winter vegetation cover on erosion at the national level using the RUSLE erosion model and 2023 data on crops and agricultural management practices. The assessment is based on three indicators: erosion ($\text{kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$), total erosion (t yr^{-1}), and the effectiveness of winter vegetation cover in preventing erosion, as described by the RUSLE subfactor $C_{\text{Management}}$ (-) ($C_{\text{Toimenpide}}$ in Finnish).

The average erosion for agricultural soils across the country was estimated at 570 kg ha^{-1} per year, with total erosion exceeding 1.3 million tons annually. At the municipal level, erosion varied between 120 and 1760 kg ha^{-1} per year. The estimated magnitude of erosion is slightly higher than in previous assessments due to the recalibration of the RUSLE model, which makes the results not entirely comparable. However, the different assessments consistently identify the same high-erosion areas.

Winter vegetation cover in 2023 was estimated to reduce erosion nationwide by 50% (44–56%) compared to a scenario without winter vegetation cover. At the municipal level, the erosion-reducing effect of vegetation cover was estimated to vary between 21% (18–24%) and 61% (54–70%). Analysis of the $C_{\text{Management}}$ subfactor revealed that measures were not specifically targeted at municipalities with high erosion, total erosion, or a large proportion of arable land. The average $C_{\text{Management}}$ value for these municipalities was similar to the national average. At the municipal level, $C_{\text{Management}}$ also showed a weak correlation with erosion, total erosion, and the relative proportion of arable land. Erosion prevention efficiency was generally lowest in municipalities along Finland's western, southwestern, and southern coastal regions, which may be partially explained by the regional distribution of agricultural production types.

The report also outlined the uncertainties related to RUSLE assessments and identified six development needs to reduce them. These include re-evaluating and improving the RUSLE factors, better accounting for regional variability in farming practices and environmental conditions in the model parameterization, and conducting more precise and extensive evaluations of RUSLE against experimental field measurements.

Overall, the results indicate that winter vegetation cover has a significant erosion-reducing effect at the national level and that its targeting could potentially be improved for greater efficiency. The findings of the report enable more detailed follow-up analyses and provide guidance for enhancing the targeting of measures.

Key words: Soil erosion, agriculture, RUSLE, erosion management, winter vegetation cover

Sisällys

1. Johdanto	6
2. Aineistot ja menetelmät.....	8
2.1. Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)	8
2.2. Sadanta (R)	9
2.3. Maaperä (K).....	9
2.4. Maanpinnan muodot (LS).....	10
2.5. Kasvit ja toimenpiteet (C)	10
2.5.1. Kasvi- ja toimenpideaineistot.....	10
2.5.2. Kasvien ja toimenpiteiden parametrisointi	12
2.6. Salaojitus (P)	13
2.7. Eroosioindikaattorit ja analyysit.....	14
3. Tulokset ja niiden tarkastelu	16
3.1. Kalibrointi ja C-tekijän parametrisointi	16
3.2. Eroosioindikaattorit	19
3.3. Epävarmuudet ja kehitystarpeet.....	29
4. Johtopäätökset.....	32
Viitteet.....	34

1. Johdanto

Vesieroosio (erosio) on sadannan ja veden pintavirtailun aiheuttamaa maa-aineksen irtoamista maaperästä ja sen kulkeutumista maan pinnalla (Kuva 1). Suomen olosuhteissa vesieroosiolla on suuri merkitys pintavesien laadulle ja vesiekosysteemeille. Maa-aineksen mukana vesistöihin kulkeutuu siihen sitoutunutta fosforia, ja maa-aines itsessään aiheuttaa vesistöjen samentumista ja liettymistä (Ulén ym. 2012). Nämä ilmiöt johtavat rehevöitymiseen ja muutoksiin vedenalaisissa elinympäristöissä (Bilotta & Brazier 2008).

Erosio aiheuttaa myös peltojen pintamaan, ravinteiden ja hiilen hävikkiä sekä muutoksia maan rakenteessa, koostumuksessa ja pinnanmuodoissa. Nämä yhdessä heikentävät peltojen tuottavuutta (Montgomery 2007). Suomessa eroosio on vähäisempää kuin monissa muissa Euroopan maissa (Panagos ym. 2015c), mutta suomalaiset pellot ovat hydrologisesti vahvasti kytkeytyneitä pintavesiin kuivatuksen vuoksi (Räsänen ym. 2024). Peltoja ympäröivät avo-ojaverkostot ja salaojitus luovat irronneelle maa-ainekselle suorat kulkeutumisreitit pintavesiin.



Kuva 1. Vesieroosiota Siuntiossa.

Peltomaiden eroosiota ja sen vaikutuksia voidaan torjua erilaisin menetelmin (Wen ym. 2023). Keskeisimpänä on eroosion synnyn torjunta, jota voidaan toteuttaa pitämällä pellot kasvipeitteisinä ympäri vuoden, vähentämällä maan muokkausta ja parantamalla maaperän ominaisuuksia, kuten rakennetta ja orgaanisen aineen määrää. Liikkeelle lähteneen maa-aineksen pysäyttäminen on haastavampaa, erityisesti salaojitetuilla pelloilla. Liikkuvaa maa-ainesta voidaan pysäyttää kasvipeitteellä ja kasvipeitevyöhykkeillä, kuten nurmiperustaisilla suojavyöhykkeillä. Salaojituksella on eroosiota vähentävä vaikutus, mutta suuri osa liikkeelle lähteneestä maa-aineksesta kulkeutuu maan oikovirtausreittien kautta salaojiin (Foster ym. 2003, Renard ym. 1997, Turtola ym. 2007, Turunen ym. 2017, Uusitalo ym. 2001), minkä jälkeen maa-aineksen päätyminen vesistöihin on vaikeampi estää. Ojaverkostoissa ja uomissa kosteikot voivat tarjota keinon vähentää vesistöihin päätyvää eroosion aiheuttamaa kiintoainekuormitusta (Koskiaho & Puustinen 2019).

Suomessa on osana eurooppalaista maatalouspolitiikkaa määritetty tuettuja toimenpiteitä, joilla eroosiota voidaan vähentää (EU 2022). Tässä työssä keskitytään talviaikaiseen

kasvipeitteeseen liittyviin toimenpiteisiin, joita ovat talviaikainen sänki, aito kasvipeite, kevennetty muokkaus ja kasvijäte. Näiden tuettuun toteuttamiseen on olemassa ohjeet ja viljelykasvikohtaiset säännöt, ja niiden toteutus raportoidaan viljelijöiden toimesta peruslohkoille merkittyinä toimenpidelohkoina (Ruokavirasto 2023a).

Eroosiota vähentävien toimenpiteiden vaikutusten ja tehokkuuden arviointi koko maan tasolla on haastavaa. Matemaattiset mallit tarjoavat kuitenkin systemaattisen menetelmän eroosion arviointiin, minkä avulla toimenpiteiden vaikutusta voidaan arvioida laskennallisesti (Batista ym., 2019; Borrelli ym., 2021). Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) -malli on maailmanlaajuisesti yleisimmin käytetty eroosiomalli, ja se soveltuu laaja-alaisiin eroosion arviointeihin (Räsänen ym., 2023; Renard ym., 1997). Sen etuna on erityisesti sovellettavuus laajoille alueille korkeassa resoluutiassa kohtalaisin parametrisointi- ja laskentatehovaatimuksin. RUSLE pystyy huomioimaan erilaisten kasvipeitteiden ja maanmuokkausmenetelmien vaikutukset eroosioon, ja sen on todettu tuottavan tarkkuudeltaan saman suuntaisia tuloksia kuin muut eroosiomallit (Batista ym. 2019). Suomessa RUSLE:a on testattu koepeltojen mittauksia vasten ja sovellettu koko maan tasolla (Lilja ym. 2017b, 2017a, Räsänen ym. 2023).

Työn tavoitteena oli: A. tuottaa indikaattorit peltomaiden eroosion suuruudesta koko maan tasolla B. arvioida talviaikaisen kasvipeitteen vaikutusta eroosion suuruuteen. Indikaattorit ja arviot laskettiin RUSLE-eroosiomallilla (Räsänen ym. 2023) vuoden 2023 kasvi- ja toimenpidetietojen perusteella. Tässä raportissa kuvataan työn aineistot ja menetelmät sekä tulokset, mutta laajempi tieteellinen keskustelu mitatun eroosion suuruudesta ja mallinnusmenetelmistä on jätetty raportin ulkopuolelle.

2. Aineistot ja menetelmät

2.1. Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

RUSLE-eroosiomalli (Renard ym. 1997) pohjautuu aikaisempaan Universal Soil Loss Equation (USLE) malliin (Wischmeier & Smith 1978, 1960). Molemmat ovat empiirisiä malleja, jotka on alun perin kehitetty laajoja mittausaineistoja vasten. RUSLE yhtälö koostuu tekijöistä

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P, \quad (1)$$

jossa A (t ha⁻¹ v⁻¹) on pitkän aikavälin keksimääräinen eroosio, R-tekijä (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ yr⁻¹) kuvaa sadannan ja pintavalunnan erodoivuutta, K-tekijä (t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹) kuvaa maaperän erodoituvuutta, L-tekijä (-) huomio rinteiden pituuden, S-tekijä (-) huomioi rinteiden kaltevuuden, C-tekijä (-) huomioi kasvien ja maanmuokkaustoimenpiteiden vaikutusta, ja P-tekijä (-) huomio muiden eroosiontorjuntatoimenpiteiden ja salaojituksen vaikutusta.

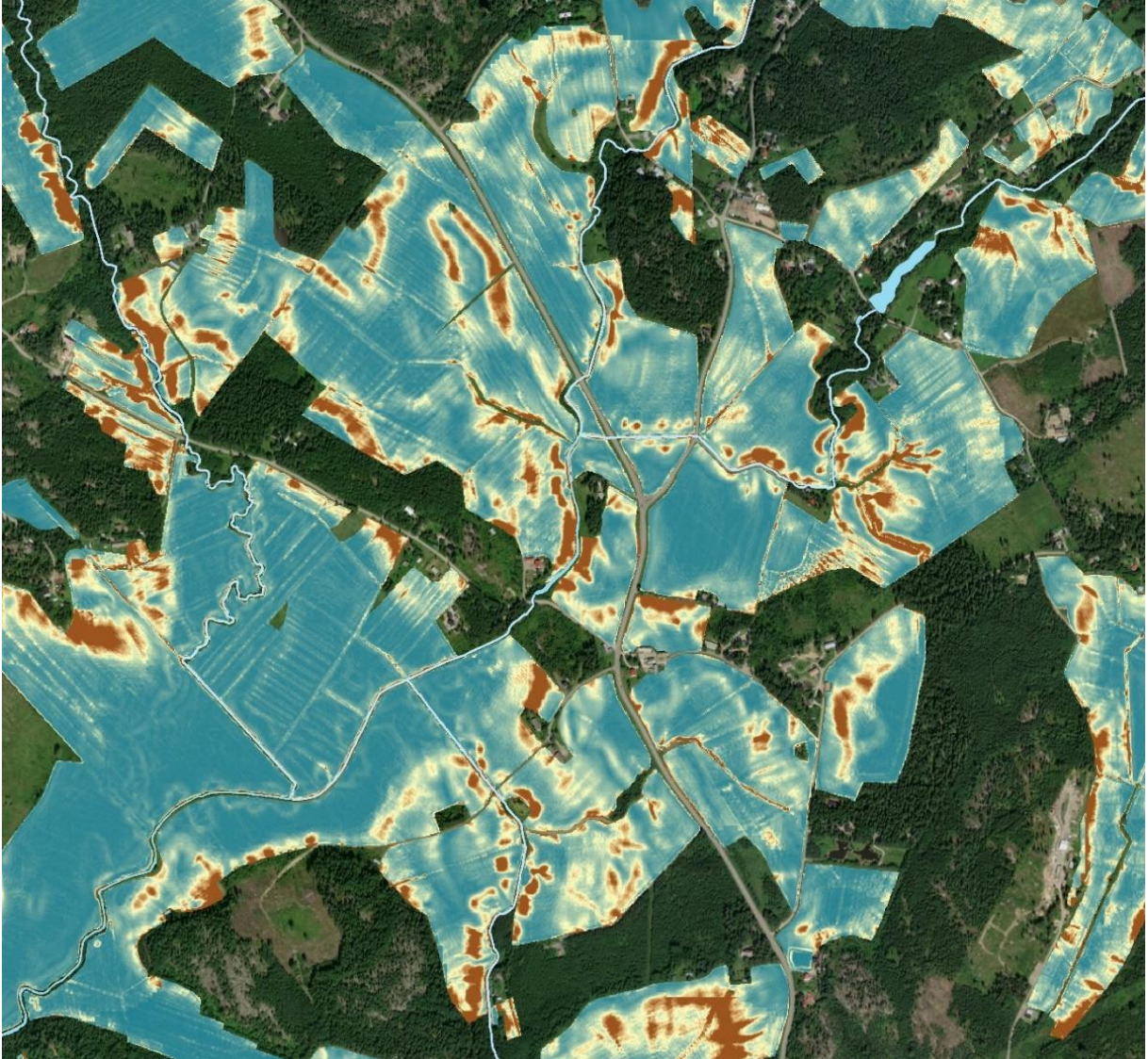
Alun perin USLE ja RUSLE kehitettiin arviomaan maan hävikkiä (soil loss) rinnetasolla, mutta sittemmin mallia on sovellettu laajasti hilamuotoisesti maastonmuodoiltaan monipuolisemmissa ympäristöissä. Rinnetasolla RUSLE:n arvio vastaa rinteiden alapäähän kertyneen maa-aineksen määrää, mutta hilamuotoisessa käytössä RUSLE:n arvio vastaa kustakin hilasta irronneen ja hilan alapäähän kertyneen maa-aineksen määrää. Hilamuodossa RUSLE ei simuloi maa-aineksen kulkeutumista hilasolujen välillä ja mallin antamaa arviota kutsutaan yleisesti bruttoeroosioksi. Rinne tasolla toteutettua RUSLE:n laskemaa maan hävikkiä kutsutaan nettoeroosioksi. Hilamuotoinen RUSLE ei siis kuvaa pellon ulkopuolelle päätyneen maa-aineksen määrää, vaikkakin peltolohkotasolla sen voidaan olettaa indikoivan sitä. Hilamuotoisessa RUSLE:ssa L ja S lasketaan usein yhdistettynä LS-tekijänä.

C-tekijän parametrisoinnissa käytettiin RUSLE2015-mallin (Panagos ym. 2015b) mukaista menetelmää, jossa C tekijä jaettiin kahteen alatekijään

$$C = C_{\text{Kasvi}} \times C_{\text{Toimenpide}} \quad (2)$$

C_{Kasvi} -alatekijä (-) kuvaa kasvin vaikutusta eroosioon ja $C_{\text{Toimenpide}}$ -alatekijä (-) kuvaa eri toimenpiteiden vaikutusta eroosioon. Toimenpiteet sisältävä eri maanmuokkausmenetelmät, talviaikaisen kasvipeitteen ja muut mahdolliset eroosion vaikuttavat pellolla tehtävät toimenpiteet. C-tekijä ja sen alatekijät ovat yksiköttömiä kertoimia.

Tässä työssä käytettiin olemassa olevaa R × K × LS-rasteria peltomaille, joka oli 2 m × 2 m resoluutiassa (Kuva 2) (Räsänen ym. 2023). C-tekijä kehitettiin tässä työssä perustuen koko maan kattaviin kasvi- ja toimenpideaineistoihin, koekenttien huuhtoumamittauksiin ja kirjallisuuteen. P-tekijä arviottiin perustuen koko maan kattavaan salaojitusaineistoon ja aikaisemmin sovellettuun parametrisointiin. Laskentoja varten R × K × LS-rasteri muunnettiin 10 m × 10 m resoluutioon ja RUSLE-laskennat tehtiin tässä resoluutiassa. Korkearesoluutiainen laskenta ei ollut työn tavoitteiden kannalta tarpeellista ja se olisi ollut laskennallisesti huomattavasti raskaampaa.



Kuva 2. R × K × LS-rasteri peltomaille 2 m × 2 m resoluutiassa (Räsänen ym. 2023). Kuvan ruskeat alueet kuvaavat korkeamman eroosion alueita (ortoilmakuva: Maanmittauslaitos).

2.2. Sadanta (R)

R perustuu koko Euroopan kattavaan aineistoon, jossa Suomen kohdalla oli käytetty 64 sadanta-aseman mittauksia vuosilta 2007–2013 (Panagos ym. 2015a). R tekijän arvojen jakautuminen Suomessa on esitetty julkaisussa Räsänen ym. (2023).

2.3. Maaperä (K)

K perustuu Suomen Maannostietokannan (1:200 000) maannoksiin (Lilja ym. 2017c), joille oli määritetty K-tekijän arvot, jotka on esitetty julkaisuissa Lilja ym. (2017b) ja Räsänen ym. (2023). Maannostietokannan pienin maalajikuvio on 6,25 ha.

2.4. Maanpinnan muodot (LS)

LS-tekijä (Räsänen ym. 2023) oli laskettu Maanmittauslaitoksen 2 m korkeusmallista (MML 2020) käyttäen Desmet ja Govers (1996) ja usean virtaus suunnan algoritmia (Quinn ym. 1991). Laskentaa varten maatalousmaat erotettiin 2 m korkeusmallista Ruokaviraston maatalousmaa-aineistolla (Ruokavirasto 2019) ja laskenta tehtiin vain näille maille. LS tekijän arvojen jakautuminen Suomessa on esitetty julkaisussa Räsänen ym. (2023).

2.5. Kasvit ja toimenpiteet (C)

C-tekijän kasvit ja toimenpiteet perustuivat Ruokaviraston lohko kohtaisiin tietoihin. Kasvitietona C_{Kasvi} -alatekijässä käytettiin paikkatietomuotoista Kasvulohkot 2023-aineistoa (Ruokavirasto 2023b), joka sisälsi vektorimuotoiset tiedot kasvulohkoilla viljellyistä ja kasvaneista kasveista kesällä 2023. Toimenpidetietona $C_{\text{Toimenpide}}$ -alatekijässä käytettiin paikkatietomuotoista Kasvipeite 2023-aineistoa, joka sisälsi tiedot toimenpidelohkoilla toteutetusta talviaikaisesta kasvipeitteestä talven 2023–2024 yli. Kasvien parametrisointi C_{Kasvi} -alatekijässä perustui RUSLE:n kalibrointiin koepelloilla tehtyjä huuhtoumamittauksia vasten, sekä kirjallisuusarvoihin. Toimenpiteiden parametrisointi $C_{\text{Toimenpide}}$ -alatekijässä perustui koepelloilla mitattuihin toimenpiteiden vaikutuksiin.

2.5.1. Kasvi- ja toimenpideaineistot

Kasvulohkot 2023-aineisto sisälsi 180 kasvia, jotka kasviryhmittäin kahdeksaan ryhmään C_{Kasvi} -alatekijässä parametrisointia varten (Taulukko 1). Ryhmittely perustui eroosioon liittyvien ominaisuuksien samankaltaisuuteen ja mahdollisuuteen ilmoittaa talviaikainen kasvipeite. C_{Kasvi} -alatekijän parametrisointi perustui työssä tehtyyn RUSLE-mallin kalibrointiin (esitetty edempänä) ja kirjallisuusselvitykseen. Tarkempi kasvikohtainen parametrisointi ei ollut mahdollista tai kannattavaa, sillä C_{Kasvi} -alatekijän kasvikohtaisia arvoja ei ole yleisesti määritetty Suomessa.

Taulukko 1. Kasvulohkot 2023-aineiston kasvien ryhmittely C_{Kasvi}-alatekijän parametrisointia varten.

Kasviryhmä	Kasvit
Ryhmä 1: Viljat, öljykasvit, valkuaiskasvit, seoskasvustot, viherlannoituskasvit, maanparannus- ja saneerauskasvit, sänkikesanto ja monimuotoisuuskasvit	Syysvehnä, Kevätvehnä, Syyspelttivehnä, Kevätspelttivehnä, Syysruisvehnä, Kevät- ruisvehnä, Kevät-ruis, Syysruis, Rehuohra, Mallasohra, Syysohra, Kaura, Syyskaura, Seoskasvusto (viljat), Seoskasvusto (vilja+öljykasvit), Vihantavilja (ohra), Vihantavilja (kaura), Vihantavilja (vehnä), Vihantavilja (ruis), Vihantavilja (viljaseos), Tattari, Hirssi, Kvinoa (kinua), Maissi, Sokerimaissi, Ruokaherne, Rehuherne, Seoskasvusto (valku- aiskasvit+öljykasvit), Seos (herne/härkäpapu/makea lupiini/linssi/öljyk.), Seos (herne/härkäpapu/makea lupiini/linssi/vilja), Seoskasvusto (valkuaiskasvit+vilja, Seos- kasvusto (valkuaiskasvit), Härkäpapu, Virna, Mesikkä, Mailanen, Vuohenherne, Linssi, Makealupiini, Muut lupiinit, Kuitunokkonen, Ruistankio (Camelina, Kitupellava), Kevät- rypsi, Syysrypsi, Kevät- trapsi, Syys- trapsi, Auringonkukka, Seoskasvusto (öljykasvit), Hu- mala, Kuituhamppu, Öljyhamppu, Öljypellava, Kuitupellava, Siemenmausteet ja lääke- kasvit (pl. kumina, sinappi), Ruokohelpi (kuivike/rehu), Ruokohelpi (energia), Kumina, Maanparannus- ja saneeraus- kasviseos, Morsinko, Ruisvirna, Muut rehukasvit, Aitohu- najakukka, Monimuotoisuuskasvit, riista, Monimuotoisuuskasvit, pölyttäjät ja maisema, Viherkesanto (riista, maisema ja pölyttäjät), Sänkikesanto.
Ryhmä 2: Nurmet, viherkesanto ja monimuotoisuuskasvit, suojavyöhyke.	Apila, Viherlannoitusnurmi, Siirtonurmi, Rehunurmi, Laidunnurmi, Siemennurmi, Siem- mennurmi (yksilajinen), Englannin raiheinän siemen, valvottu tuotanto, Italianraiheinän (westerw.) siemen, valvottu tuotanto, Ruokonadan siemen, valvottu tuotanto, Apilan siemen, valvottu tuotanto, Timotein siemen, valvottu tuotanto, Nurminadan siemen, valvottu tuotanto, Luonnonhoitonurmi, Viherkesanto (nurmi ja niitty), Monimuotoisuus- kasvit, niitty, Monimuotoisuuskasvit, Peltolintu, Suojavyöhyke.
Ryhmä 3: Perunat, juurekset, vihannekset ja kasvimaat	Ruokaperuna, Ruokateollisuusperuna, Tärkkelysperuna, Varhaisperuna (katteenalai- nen), Siemenperuna (sertifioidun siemenen tuotantoon), Tärkkelysperunan oma sie- menlisäys, Sokerijuurikas, sokerintuotantoon, Rehujuurikasvit, Rehukaali, Pensa- papu, Valko- eli keräkaali, Kiinankaali, Kukkakaali, Porkkana, Lanttu, Nauris, Mukula- selleri, Palsternakka, Sipulin pikkuistukkaat, Purjo, Avomaankurkku, Kurpitsa, Pinaatti, Raparperi, Punajuurikas ja keltajuurikas, Ruokasipuli (sis. punasipuli ja jättisipuli), Tar- haherne, tuoretuotanto, Tarhaherne, teollisuuden sopimustuotanto, Punakaali, Savoij- jinkaali (kurttukaali), Ruusukaali, Parsakaali, Kyssäkaali, Lehtiselleri, Retiisi, Salaatti (Lactuca-suku), Salaattisikurit (Cichorium-suku), Salaattifenkoli, Kesäkurpitsa, Lehti- kaali, Tilli, Persilja, Valkosipuli, Piparjuuri, Maa- artisokka, Meloni, Muut vihannekset, Parsa, Sinappi, Korianteri, Öljyretikka, Sikuri, Kasvimaa.
Ryhmä 4: Hedelmä-, koriste- ja energiapuut	Omena, Pihlaja (marjantuotanto), Päärynä, Muut hedelmät, Luumu, Viinirypäle, Koris- tepaju punontatarkoitukseen, alle 5 v., Koristepaju punontatarkoitukseen, 5–20 v., Tyrni, Kirsikka, Energiapuu, lyhytkiertoinen (haapa ja paju), Energiapuu, lyhytkiert. (hybridihaapa ja poppeli).
Ryhmä 5: Marjat	Mustaherukka, Punaherukka, Valkoherukka, Karviainen, Vadelma ja mesivadelma, Mansikka, Mesimarja, Pensasmustikka, Marja- aronia, Saskatoon (Marjatuomipihlaja), Muut marjakasvit.
Ryhmä 6: Puutarhataimistot, koristekasvit, yrttikasvit	Taimitarhat, alle 5 v. marja-, hedelmä-, koristek., Taimitarhat, väh. 5 v. marja-, he- delmä-, koristek., Koristekasvit, alle 5 v., Koristekasvit, 5 v. ja yli, jatkuva sato avo- maalta, Yrttikasvit alle 5 v. (ei tilli eikä persilja), Yrttikasvit väh. 5 v., Samettikukka.
Ryhmä 7: Luonnonlaitumet ja niityt, ympäristösopimusalat, muut viljelemättömät alat	Luonnonlaidun ja -niitty, Luonnonlaidun jolla kohd. toim.pit. (Ahvenanmaa), Luonnon- laidun sopimusala (Ahvenanmaa), Muu luomuvalvonnan ala (ei maatalousmaata), Maatalousmaan säilyttäminen (pysyvät kasvit), Viljelemätön, Ympäristösopimusala, pysyvä nurmi, Ympäristösopimusala, puustoinen tai muu ala, Ympäristösopimusala, kosteikko, Suojakaista.
Ryhmä 8: Avokesanto	Avokesanto

Kasvipeite 2023-aineisto sisälsi viisi talviaikaista kasvipeitetyyppiä: aito kasvipeite, sänki, kevennetty muokkaus, kasvijäte ja kasvipeitteetön (Ruokavirasto, 2023c). Aito kasvipeite sisältää erityyppisiä kasvipeitteitä ja tässä työssä ne jaettiin eroosiovaikutusten näkökulmasta syyskylvöisiin (syyskylvöinen vilja, syyskylvöinen öljykasvi, muu syyskylvöinen kasvi) ja ei-syyskylvöisiin (nurmikasvi) kasvipeitteisiin. Syyskylvö oli eritelty Kasvipeite 2023-aineistossa.

2.5.2. Kasvien ja toimenpiteiden parametrisointi

Ensimmäiseksi parametrisoitiin Kasvipeite 2023-aineiston toimenpiteet $C_{\text{Toimenpide}}$ alatekijässä. Koepelloilla tehtyjen mittausten mukaan talviaikainen sänki vähensi kiintoainehuuhtoumaa kevätiljan viljelyssä Aurajoella 62 % ja Kotkanjoella 49 % verrattuna normaaliin syyskylvöön (Honkanen ym. 2021, Puustinen ym. 2005, Luonnonvarakeskus). Syysvilja (Aitokasvipeite, syyskylvöinen) vähensi kiintoainehuuhtoumaa Aurajoella 26 % ja Liperissä 28 % verrattuna kevät viljaan normaalilla syyskylvöllä (Kukkonen ym. 2004, Puustinen ym. 2005). Kevennetty muokkaus syksyllä vähensi kiintoainehuuhtoumaa kevätiljan viljelyssä Aurajoella kahdella eri kevennetyllä muokkausmenetelmällä 16 % ja 32 % verrattuna normaaliin syyskylvöön (Puustinen ym. 2005). Ympärivuotinen nurmi (Aito kasvipeite, ei-syyskylvöinen) vähensi kiintoainehuuhtoumaa Aurajoella 56 % ja Liperissä 73 % verrattuna kevät viljaan normaalilla syyskylvöllä (Kukkonen ym. 2004, Puustinen ym. 2005). Näiden mittausten perusteella kullekin kasvipeitteelle käytettiin kolmea $C_{\text{Toimenpide}}$ -alatekijän arvoa: pienin ja suurin mitattu kiintoainehuuhtoumaa vähentävä vaikutus, sekä näiden keskiarvo. Kasvipeitteiden parametrisointi $C_{\text{Toimenpide}}$ -alatekijässä on esitetty Taulukko 2. Parametrisoitu vektorimuotoinen Kasvipeite 2023-aineisto muunnettiin RUSLE laskentaa varten rasterimuotoon samaan 10 m × 10 m resoluutioon kuin R × K × LS-rasteri. Räsänen ym. (2023) on myös tarkastellut toimenpiteiden vaikutuksia kiintoainehuuhtoumaan ja eroosioon.

Taulukko 2. Kasvipeite 2023-aineiston kasvipeitteille arvioitujen $C_{\text{Toimenpide}}$ -alatekijöiden keskiarvot ja niiden vaihteluvälit.

Kasvipeite	$C_{\text{Toimenpide}}$
Sänki	0.44 (0.38–0.51)
Aitokasvipeite (syyskylvöinen)	0.73 (0.72–0.74)
Aitokasvipeite (ei-syyskylvöinen)	0.36 (0.27–0.44)
Kevennetty muokkaus	0.76 (0.68–0.84)
Kasvijäte	0.44 (0.38–0.51)
Kasvipeitteetön	1.00

Seuraavaksi parametrisoitiin kevätiljan ja ympärivuotisen nurmen C_{Kasvi} arvot kalibroimalla RUSLE seitsemällä salaojitetulla koepelloilla mitattuja pinta- ja salaojakiintoainekuormien summaa vasten (Taulukko 3). Koepelloista kuusi oli savimailla ja yksi karkeammilla mailla. Viisi peltoa oli lähes tasaista ja kaksi oli viettävässä rinteessä. Mittaukset kattoivat yhteensä 20 eri kasvi- ja toimenpidetapausta, joidenka mittausjanajaksot vaihtelivat 3–14 vuoden välillä. Aurajoen koepellon mittaukset kuitenkin poikkesivat muista, sillä ne kattoivat ainoastaan muokauskerroksesta mitatun kiintoainekuorman, sillä koejärjestely ei mahdollistanut mittauksia salaojasta erikseen koeruutujen alalta. Aurajoen koepeltoa pidettiin kalibroinnin kannalta kuitenkin tärkeänä, sillä se mahdollisti kalibroinnin viittä erilaista kasvi- ja toimenpidetapausta vasten, mikä oli arvokasta työn tavoitteiden kannalta. Aurajoen koepellon salaojamittausten puute aiheutti kuitenkin aliarviointia kalibroinnissa käytetyissä kiintoainekuormaluvuissa.

Kalibroinnin tavoitteena oli tuottaa C_{Kasvi} arviot yleisille kasvipeitteille, sekä kalibroida RUSLE:n ennusteet vastaamaan suuruudeltaan koepeltojen mittauksia. Koepeltojen 20 eri kasvi- ja toimenpidetapausta 16 käytettiin kevätiljan ja neljää ympärivuotisen nurmen C_{Kasvi} arvon kalibrointiin. Ympärivuotisen nurmen ja syysviljan C-tekijä jaettiin C_{Kasvi} - ja $C_{Toimenpide}$ -alatekijään, mikä oli tarpeellista koko maan kattavien kasvi- ja toimenpideaineistojen parametrisoinnissa. C_{Kasvi} kuvasi tällöin kesän kasvipeitettä ja $C_{Toimenpide}$ talven kasvipeitettä. $C_{Toimenpide}$ parametrisoitiin Taulukko 2 esitettyjen keskimääräisten arvioiden mukaisesti. Kalibroinnissa C_{Kasvi} optimoitiin käyttäen pienimmän neliösumman menetelmää, joka minimoi virheet RUSLE:n antaman eroosioarvion ja koepeltojen mittausten välillä.

Taulukko 3. RUSLE:n C_{Kasvi} -alatekijän kalibroinnissa käytetyt koepellot.

Koepelto	Kuvaus	Tarkempi kuvaus / aineistolähde
Aurajoki	Varsinais-Suomi (60.4815°P 22.3678°I), kaltevuus 7,0 %, pintamaalaji hiesavi (HeS), 12 kpl 18 m × 51 m koeruutua, salaojitettu, mittaukset: muokkauskerroksen valunta	Puustinen ym. (2005) / SYKE (2019)
Gårdskulla	Uusimaa (60.1766° P, 24.1726° I), kaltevuus 5,0 %, pintamaalaji hiesavi (HeS), 4,7 ha pelto, salaojitettu, mittaukset: pinta- ja salaojavalunta	Turunen ym. (2017) / Salaojituksen tutkimusyhdistys ry
Hovi	Uusimaa (60.4232° P, 24.3711° I), kaltevuus 1,7 %, pintamaalaji hiesavi (HeS), 12 ha pelto, salaojitettu, mittaukset: pinta- ja salaojavalunta	Bengtsson ym. (1992) / SYKE (2019)
Kotkanoja	Kanta-Häme (60.8157° P, 23.5110° I), kaltevuus 2,6 %. pintamaalaji aitosavi (AS)/hietasavi (HtS), 4 kpl 33 m × 132 m koeruutua, salaojitettu, mittaukset: pinta- ja salaojavalunta	Honkanen ym. (2021) / Luonnonvarakeskus
Liperi	Pohjois-Karjala (62.5297° P, 29.3669° I), kaltevuus 1,0 %, pintamaalaji Hiesusavi (HsS), 4 kpl 20 m × 126 m koeruutua, salaojitettu, mittaukset: pinta- ja salaojavalunta	Kukkonen ym. (2004) / Puustinen ym. (2010)
Nummela	Kanta-Häme (60.8660° P, 23.4300° I), kaltevuus 0,8 %, pintamaalaji aitosavi (AS), 9 ha pelto, salaojitettu, mittaukset: pinta- ja salaojavalunta	Äijö ym. (2018) / Salaojituksen tutkimusyhdistys ry
Toholampi	Keski-Pohjanmaa (63.8209° P, 24.1598° I), kaltevuus 1,0 %, pintamaalaji hiesu (Hs), 16 kpl 16 m × 100 m koeruutua, salaojitettu, mittaukset: pinta- ja salaojavalunta	Turtola ja Kemppainen (1998) / SYKE (2019)

Lopuksi parametrisoitiin Kasvit 2023-aineistosta luokiteltujen kasviryhmäkohtainen C_{Kasvi} (Taulukko 1). Kasviryhmälle 1 käytettiin kevätiljan kalibroituja C_{Kasvi} arvoja ja kasviryhmille 2 ja 7 nurmen kalibroituja C_{Kasvi} arvoja. Kasviryhmien 3–6 ja 8 parametrisointia varten perehdyttiin kirjallisuuteen ja verrattiin kalibroituja arvoja kirjallisuusarvoihin alueilta, joidenka ilmasto on lähellä Suomen ilmastoa. Vertailun pohjalta kasviryhmille 3–6 ja 8 valittiin sopivat arvot kirjallisuudesta. Parametrisoitu vektorimuotinen Kasvit 2023-aineisto muunnettiin RUSLE laskentaa varten rasterimuotoon samaan 10 m × 10 m resoluutioon kuin R × K × LS-rasteri.

2.6. Salaojitus (P)

Peltojen salaojitus tiedon käytettiin Salaojitussäätiön kokoamaa tietokantaa peltolohkoista, joille on tehty salaojasuunnitelma. Salaojitus parametrisoitiin P-tekijässä arvolla 0.6 Renard ym. (1997) suositusten mukaan. Tätä arvoa on myös käytetty aiemmin Suomessa (Lilja ym. 2017c, Räsänen ym. 2023). Parametrisoitu vektorimuotinen salaoja-aineisto muunnettiin RUSLE laskentaa varten rasterimuotoon samaan 10 m × 10 m resoluutioon kuin R × K × LS -rasteri.

2.7. Eroosioindikaattorit ja analyysit

Eroosion suuruutta ja toimenpiteiden vaikutusta arvioitiin kolmella indikaattorilla: *Eroosio* ($\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$), *kokonaiseroosio* (t v^{-1}) ja $C_{\text{Toimenpide}}$ (-) (Taulukko 4). Ne perustuvat pitkän aikavälin keskimääräisiin sadantaolosuhteisiin ja yhden vuoden kasvulohkokohtaisiin kasvitietoihin ja toimenpidelohkokohtaisiin kasvipeite tietoihin. Tämän raportin tapauksessa indikaattorit perustuvat tietoihin keväästä 2023 talven yli kevääseen 2024. Indikaattorit ovat laskennallisia pitkänaikavälin seurantaan tarkoitettuja laskennallisia suureita, jotka eivät huomio vuosien välistä vaihtelua sääolosuhteissa.

Taulukko 4. Eroosion suuruuden ja toimenpiteiden vaikutusten arvioinnissa käytetyt indikaattorit.

Indikaattori	Yksikkö	Kuvaus	Tulkinta
Eroosio	Kilogrammaa per hehtaari per vuosi ($\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$)	RUSLE:n arvioima eroosion suuruus keskimääräisissä sadantaolosuhteissa ja valitun vuoden kasvien ja toimenpiteiden vaikutuksilla. Huomioi sadannan, maalajin, maanpinnanmuotojen, viljellyn kasvin, talviaikaisen kasvipeitteen ja salaojien vaikutuksen eroosioon.	Eroosion suuruus pinta-alayksikköä kohden, joka mahdollistaa alueiden välisen vertailun peltomaiden eroosion suuruudessa. Indikaattori on alueen peltujen pinta-alasta riippumaton.
Kokonaiseroosio	Tonnia per vuosi (t v^{-1}).	RUSLE:n arvioima kokonaiseroosion suuruus keskimääräisissä sadantaolosuhteissa ja valitun vuoden kasvien ja toimenpiteiden vaikutuksilla. Huomioi sadannan, maalajin, maanpinnanmuotojen, viljellyn kasvin, talviaikaisen kasvipeitteen ja salaojien vaikutuksen eroosioon.	Yhteen laskettu kokonaiseroosio alueen kaikilta pelloilta.
$C_{\text{Toimenpide}}$	Ei yksikköä (-)	$C_{\text{Toimenpide}}$ -tekijän keskimääräinen arvo alueella perustuen valitun vuoden toimenpiteisiin. Huomioi Ruokaviraston kasvipeitetietojen mukaisen talviaikaisen kasvipeitteen, mutta on riippumaton muista eroosion suuruuteen vaikuttavista tekijöistä.	Alueen toimenpiteiden eroosion vähennysvaikutusta kuvaava indikaattori. Suuremmat (pienemmät) arvo kuvaavat pienempää (suurempaa) tehokkuutta. Vaihteluväli: 0.36 (0.27–0.44) (vastaa ympärivuotista nurmea) - 1.0 (vastaa syyskynnettyä peltoa). Kuvaa ainoastaan Toimenpideaineiston alueella olevien toimenpiteiden tehokkuutta.

Eroosiota, kokonaiseroosiota ja $C_{\text{Toimenpide}}$ -indikaattoria arvioitiin maa- ja kuntatasolla. Eroosion ja kokonaiseroosion laskenta toteutettiin deterministisesti eikä arvioiden yhteydessä esitetty RUSLE-arvioihin liittyvää epävarmuutta, lukuun ottamatta toimenpiteiden mitattujen vaikutusten vaihteluväliä. Tämä vaihteluväli huomioidiin $C_{\text{Toimenpide}}$ -tekijässä Taulukko 2 mukaisesti. Tosin sanoen, tuloksien esityksessä ei esitetty RUSLE-arvioiden kokonaisepävarmuutta. Sen sijaan tulosten esityksessä pyrittiin esittämään epävarmuudet toimenpiteiden eroosiota vähentävissä vaikutuksissa.

Eroosioindikaattorista laskettiin myös Kasvipeite 2023-aineiston toimenpiteiden mukainen eroosiota vähentävä suhteellinen (%) vaikutus. Vaikutusarvio oli laskennallinen, jossa verrattiin eroosiota Kasvipeite 2023-aineiston mukaisilla toimenpiteillä vertailutilanteen eroosion ilman näitä toimenpiteitä. Vertailutilanne tarkoitti tilannetta, jossa pelloilla on toteutettu syyskylvö, eikä talviaikaista kasvipeitettä ollut ($C_{\text{Toimenpide}}=1$). Vertailutilanteessa syyskylvöiset kasvit oletettiin kevätkylvöisiksi, jotta näiden toimenpiteenä ilmoitettu vaikutus tulisi myös huomioituksi. Vertailun tavoitteena oli arvioida Kasvipeite 2023-aineiston mukaisten toimenpiteiden merkitystä eroosion torjunnassa ja luoda vertailuasetelma, joka mahdollistaa toimenpiteiden vaikutusten arvioinnin ja näiden välisen vertailun eri vuosina.

$C_{\text{Toimenpide}}$ -indikaattoria analysoitiin hieman tarkemmin toteutettujen toimenpiteiden tehokkuuden ja laadun selvittämiseksi. $C_{\text{Toimenpide}}$ kuvaa paremmin toimenpiteiden tehokkuutta kuin eroosioindikaattorista laskettu eroosiota vähentävä suhteellinen vaikutus, sillä $C_{\text{Toimenpide}}$ on riippumaton muista eroosion suuruuteen vaikuttavista tekijöistä. $C_{\text{Toimenpide}}$ -indikaattoria tarkasteltiin suhteessa peltopinta-alaan, eroosion ja kokonaiseroosion toimenpiteiden kohdentumisen selvittämiseksi kuntatasolla. Tarkastelu sisälsi myös korrelaatioanalyysin kuntatasolla, jossa laskettiin korrelaatiot $C_{\text{Toimenpide}}$ ja eroosiopotentiaalin välille. Eroosiopotentiaali kuvasi tilannetta, jossa kaikille pelloille on oletettu kevätilja ja syyskylvö, eikä mahdollista salaojittusta ole huomioitu. Tämä mahdollisti systemaattisen vertailun sille, kuinka hyvin toimenpiteet kohdentuvat korkean eroosion alueille. Talviaikaisten kasvipeitteisyyden laatua tarkasteltiin myös analysoimalla erilaisten kasvipeitteiden toteutusta.

Analyseissä on hyvä huomata, että Kasvit 2023- ja Kasvipeite 2023-aineistot kattavat hieman eri alat. Kasvit 2023-aineiston ala oli 2 312 730 ha ja Kasvipeite 2023-aineiston ala 2 260 843 ha (ero 51 887 ha). Kasvipeite 2023-aineiston kattaman alan ulkopuolelle jäi Kasvit 2023-aineiston aloja kuten joitakin ympäristösopimusaloja sekä luonnonlaidun ja -niitty. Näiden eroosiota vähentävää vaikutusta ei arvioitu tässä raportissa. Raportissa arvioitiin vain Kasvipeite 2023-aineistossa ilmoitettujen toimenpiteiden vaikutus, jota kuvataan $C_{\text{Toimenpide}}$ -indikaattorilla. Eroosioindikaattorista ($\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$) lasketussa toimenpiteiden eroosiota vähentävässä suhteellisessä (%) vaikutuksessa vähennys on kuitenkin suhteutettu eroosioon Kasvit 2023-alalta.

3. Tulokset ja niiden tarkastelu

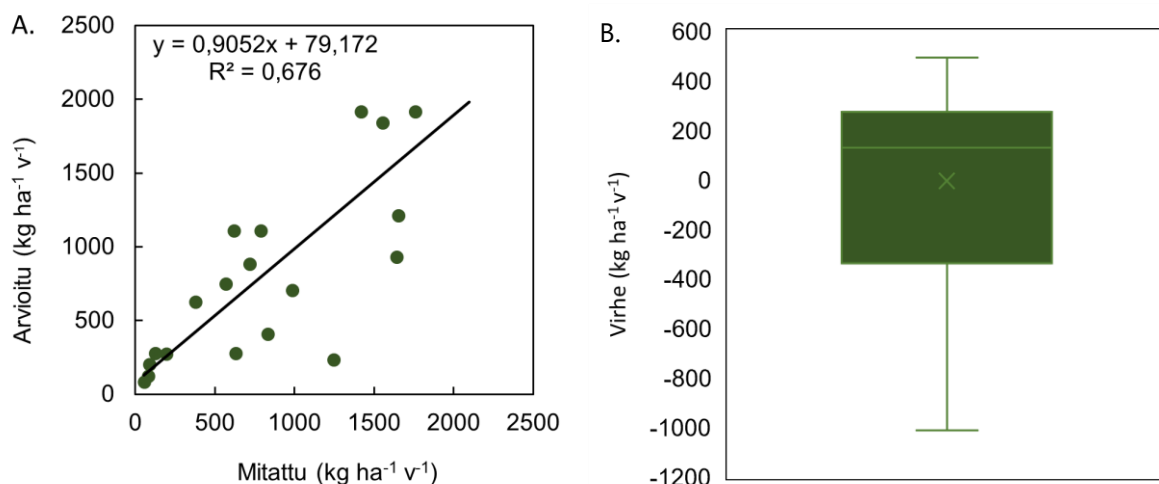
3.1. Kalibrointi ja C-tekijän parametrisointi

Kalibroidun RUSLE:n R^2 on 0.68, keskineliövirhe (RMSQ) on $397 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ja keskivirhe $-4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ (Taulukko 5 ja Kuva 3). Mittausten keskimääräinen eroosio on $873 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ja RUSLE:lla arvioitu keskimääräinen eroosio on $869 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$. Virheiden vaihteluväli on $-1\,012\text{--}495 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, mikä indikoi suurempaa taipumusta aliarvioida eroosion suuruutta kuin yliarvioida ja erityisesti savimailla. Mittausaineiston koko on kuitenkin liian pieni vahvojen johtopäätöksiä tekemiseen RUSLE:n systemaattisesta virheestä.

RUSLE:n arvioihin liittyy selvästi epätarkkuutta, mutta kalibrointitulokset vastaa kirjallisuudessa esitettyjä tuloksia (Batista ym. 2019). Sitä voidaan pitää kohtalaisena ja hyväksyttävänä tuloksena ottaen huomioon, että R-tekijän ja koepeltojen mittausten ajanjaksot eivät vastaa tosiaan, ja käytetyt K ja C ovat yleistettyjä parametriaarvioita, jotka eivät huomio tarkasti koekenttien välisiä eroja. Mittauksiin tiedetään myös yleisesti liittyvän merkittäviä epävarmuuksia (Batista ym. 2019). Yksittäisen pellon eroosiota arvioitaessa yllä esitetty virheiden vaihtelu on kuitenkin huomattavan suuri.

Taulukko 5. Mitattu ja kalibroidulla RUSLE:lla arvioitu keskimääräinen eroosio koepelloilla.

Kasvi- ja toimenpideryhmä	Koepelto	Kasvin/toimenpiteen kuvaus	Mittausjakso	Mitattu (vaihteluväli)	Arvioitu	Virhe	Virhe
			(v)	($\text{kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)	($\text{kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)	($\text{kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)	(%)
Kevätvilja ja syyskylvö	Aurajoki	Normaali kylvö	9	2 100 (980–4 640)	2520	420	20
	Liperi	Normaali kylvö	10	125 (67–163)	276	151	121
	Toholampi	Normaali kylvö	10	380 (88–661)	624	244	64
	Kotkanoja	Normaali kylvö	14	1 643 (273–6 286)	929	-714	-43
	Hovi	Normaali kylvö	11	1 652 (198–7 227)	1211	-441	-27
Kevätvilja ja kevennetty syysmuokkaus	Aurajoki	Kevyt sänkimuokkaus	4	1 420 (650–2 930)	1915	495	35
	Aurajoki	Kultivaattori	5	1 760 (1 120–3 330)	1915	155	9
	Kotkanoja	Kevyt sänkimuokkaus	5	987 (552–1 313)	706	-281	-28
	Nummela	Kultivaattori	7	1 246 (324–2 330)	234	-1012	-81
Syysvilja	Aurajoki	Syysvehnä	9	1 555 (780–3 540)	1840	285	18
	Liperi	Syysruis	3	90 (49–130)	202	112	124
Kevätvilja ja talviaikainen sänki	Aurajoki	Ei syyskylvöä	9	790 (270–1 500)	1109	319	40
	Liperi	Ei syyskylvöä	4	80 (33–98)	122	42	52
	Toholampi	Ei syyskylvöä	4	195 (76–456)	275	80	41
	Aurajoki	Suorakylvö	5	620 (430–950)	1109	489	79
	Kotkanoja	Suorakylvö	14	834 (199–1 804)	409	-425	-51
Ympärivuotinen nurmi	Aurajoki	Nurmi	4	570 (500–620)	748	178	31
	Liperi	Nurmi	8	55 (17–160)	82	27	49
	Kotkanoja	Nurmi	6	631 (383–1 239)	276	-355	-56
	Gårdskulla	Laidun	9	720 (137–1 151)	883	163	23



Kuva 3. Koepelloilla A) mitattu ja arvioitu (RUSLE) eroosio, sekä B) arvioiden virheiden jakauma (vaihteluväli, 25. ja 75. prosenttipisteet, mediaani ja keskiarvo).

Kalibroidun C_{kasvi} -alatekijän mukainen C-tekijän arvo kevät viljalle syyskynnön tapauksessa on 0.40 ja ympärivuotiselle nurmelle 0.12 (Taulukko 6). Nämä luvut ovat selvästi suurempia kuin mitä Suomessa on aiemmin käytetty. Esimerkiksi Panagos ym. (2015a, 2015b) käytti kirjallisuuden perusteella arvoa 0.2. Lilja ym. (2017a) kalibroi arvon 0.12 pintavalunnan koepeltojen mitattuja kuormia vasten, mutta käytti myöhemmin arvoa 0.2 (2017c). Räsänen ym. kalibroi arvon 0.21 pinta- ja salaojavalunnan mitattuja kuormia vasten. Vastaavasti, Räsänen ym. (2023) kalibroi aiemmin ympärivuotiselle nurmelle C-tekijän arvon 0.065. Räsänen ym. (2023) kuitenkin osoitti samoilla koepelloilla kuin tässä työssä, että arvolla 0.211 RUSLE arvioiden keskiarvo oli $-133 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$. Tämä aliennusteen korjaaminen ja hovin ja Kotkanojan mitaustietojen päivittäminen tässä työssä johti suurempaan C-tekijän arvoon ja keskimääräiseen RUSLE eroosioennusteeseen. Mittausaineistojen aikaisempi keskiarvo oli $774 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ (Räsänen ym., 2023), mikä on $99 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ pienempi kuin tässä työssä päivitetyn mittausaineiston. Tämä osoittaa myös koko maalle tehtävien absoluuttisten eroosioarvioiden herkkyyden kalibroinnille mittausaineistojen vastaan.

Taulukko 6. Kalibroidun RUSLE:n C_{kasvi} , $C_{\text{toimenpide}}$ ja C arvot ($C = C_{\text{kasvi}} \times C_{\text{toimenpide}}$).

Kasvi ja toimenpide	C_{kasvi} (kalibroitu)	$C_{\text{toimenpide}}$	C
Kevätvilja ja syyskynnö	0,40	1	0,40
Kevätvilja ja kevennetty syysmuokkaus	0,40	0,76	0,30
Syysvilja	0,40	0,73	0,29
Kevätvilja ja talviaikainen sänki	0,40	0,44	0,18
Ympärivuotinen nurmi	0,33	0,36	0,12

Vertailu kirjallisuudessa esitettiin C-tekijän arvoihin Suomen ilmasto-olosuhteita vastaavilla alueilla Kanadassa osoittaa, että kalibroidut C-tekijän arvo kevät- ja syysviljalle ovat suuruusluokaltaan samansuuntaisia. RUSLE:a on sovellettu laajasti Kanadassa, jossa eri tekijöiden arvoja on arvioitu alueittain (Wall ym. 2002). Eteläinen Ontario ja Quebec ovat ilmasto-olosuhteiltaan lähellä Suomen maatalousalueiden olosuhteita, ja näille alueille määritetyt C-tekijän arvot vastaavat hyvin kalibroitua arvoa, mukaan lukien C-tekijät kevennetylle syysmuokkaukselle ja ilman syysmuokkausta, mikä on nähtävissä Taulukko 7 vertailussa. Vertailualueilla sula-aika alkaa ja päättyy samaan lähes aikaan kuin Suomessa, mutta sadanta on keskimäärin

suurempaa ja sen jakautuminen eri kuukausille on suhteellisesti hieman suurempaa kasvukauden ulkopuolella, mikä saattaa heijastua vertailualueen hieman suurempina C-tekijän arvoina (Taulukko 6).

Kalibroituja C-tekijän arvoja tulkittaessa on myös hyvä muistaa, että kalibroidun arvon suuruuteen voi vaikuttaa mahdolliset epätarkkuudet muissa tekijöissä. Esimerkiksi, jos R- tai K-tekijöiden arvot ovat liian alhaisia tai suuria, niin nämä virheet tulevat kompensoiduksi C-tekijän kalibroinnissa.

Taulukko 7. Kalibroitujen kevät- ja syysviljan C-tekijöiden vertailu Kanadalaisiin arvoihin (Wall ym. 2002) vastaavilla ilmastoalueilla.

	Alue	Normaali syyskylvö	Kevennetty syysmuokkaus	Ei-muokkausta
		C (-)	C (-)	C (-)
Kevätvilja	Etelä-Ontario	0,41–0,43	0,25–0,29	0,18
	Etelä-Quebec	0,41	0,36	0,15
	Kalibroitu (Suomi)	0,40	0,30	0,18
Syysvilja	Etelä-Ontario	0,25–0,34	0,13–0,18	0,12
	Etelä-Quebec	0,27	0,22	-
	Kalibroitu (Suomi)	0,29	-	-

Kasvulohkot 2023-aineistosta muodostetut kasviryhmät (Taulukko 1) parametrisoitiin kalibroitujen (Taulukko 7) ja Ontariossa käytettyjen C-tekijän arvojen (Wall ym., 2002) perusteella. Kasviryhmien parametrisointi on esitetty Taulukko 8.

Taulukko 8. Kasvulohkot 2023-aineistosta (Ruokavirasto, 2023b) luokiteltujen kasviryhmien (Taulukko 1) parametrisointi C_{Kasvi} -alatekijässä.

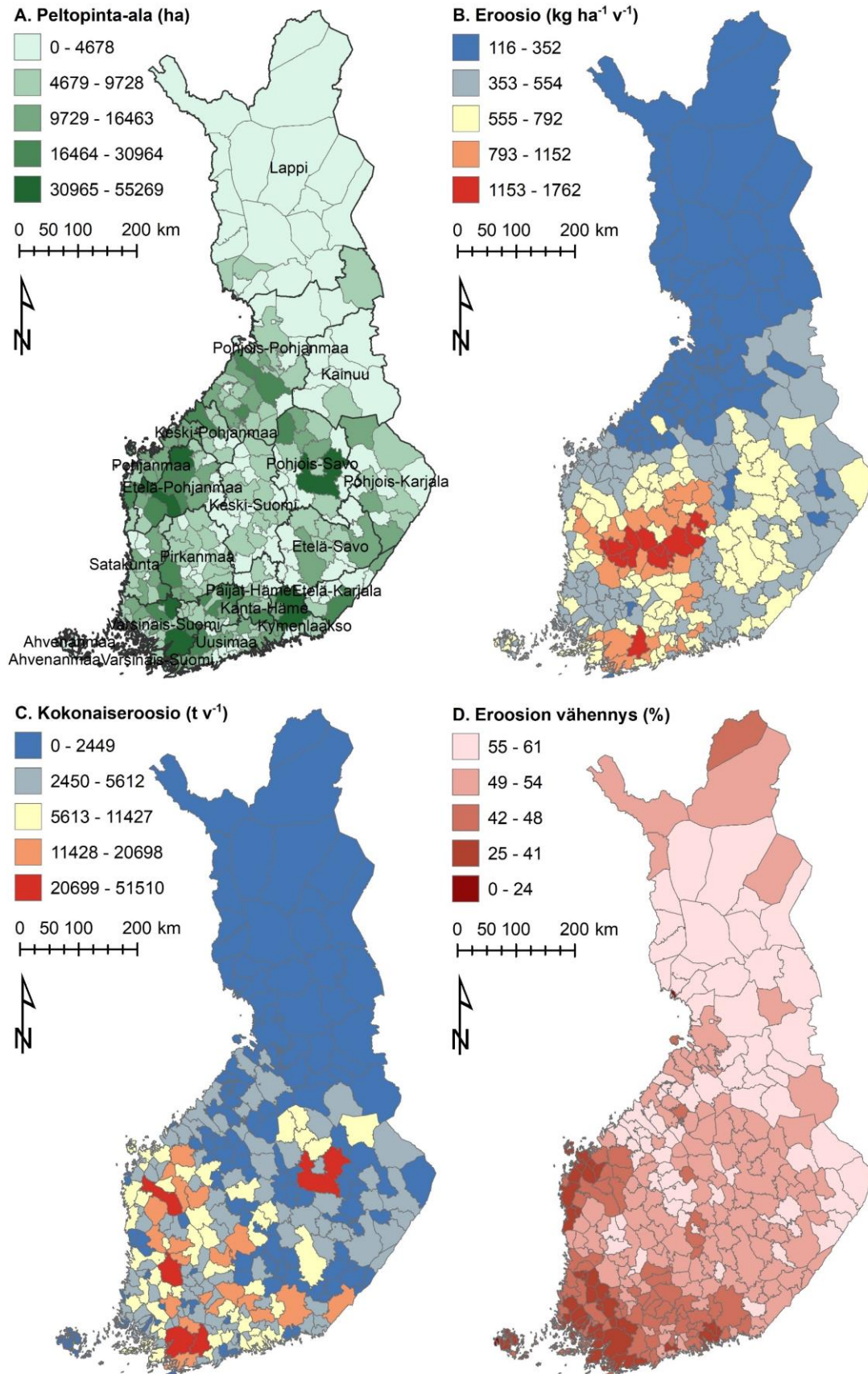
Kasvi-ryhmä	Kasvit	C_{Kasvi}	Lähde
1	Viljat, öljykasvit, valkuaiskasvit, seoskasvustot, viherlannoituskasvit, maanparannus- ja saneerauskasvit, sänkikesanto ja monimuotoisuuskasvit (riistä, pölyttäjä ja maisema)	0,40	Kalibrointi
2	Nurmet, viherkesanto (nurmi ja niitty) ja monimuotoisuuskasvit (peltolintu), suojavyöhyke.	0,33	Kalibrointi
3	Perunat, juurekset, vihannekset ja kasvimaat	0,44	Wall ym. (2002)
4	Hedelmä-, koriste- ja energiapuut	0,38	Wall ym. (2002)
5	Marjat	0,28	Wall ym. (2002)
6	Puutarhataimistot, koristekasvit, yrkkikasvit	0,20	Wall ym. (2002)
7	Luonnonlaitumet ja niityt, ympäristösopimusalat, muut viljelemättömät alat	0,12	Kalibrointi
8	Avokesanto	0,5	Wall ym. (2002)

3.2. Eroosioindikaattorit

Koko maan peltojen keskimääräiseksi eroosioksi arvioitiin vuoden 2023 kasvulohko- ja kasvipeitetietojen pohjalta $572 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ($503\text{--}640 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1}$) vuodessa. Kuntakohtaisesti eroosion suuruus vaihteli välillä $116 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ v ($94\text{--}135 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ v) ja $1\,762 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ v ($1\,482\text{--}2\,031 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ v) (Kuva 4B, Taulukko 9). Korkean eroosion peltoalueita esiintyi erityisesti Pirkanmaalla ja Keski-Suomen lounaisosissa, sekä Uudenmaan länsiosissa ja Varsinais-Suomen itäosissa. Kokonaiseroosioksi arvioitiin $1\,300\,775$ tonnia vuodessa ($1\,143\,849\text{--}1\,454\,282 \text{ t v}^{-1}$) (Kuva 4C) ja kokonaiseroosion jakautuminen kuntien välillä noudatteli peltomaiden alueellista jakautumista (Kuva 4A). Tuloksista voidaan kuitenkin huomata, että korkean eroosion kuntien ($n=30$) kokonaiseroosio oli 23 % koko maan kokonaiseroosiosta, vaikka näiden kuntien pelto-pinta-ala oli vain 12 % koko maan peltopinta-alasta.

Talviaikaisen kasvipeitteen arvioitiin vähentävän eroosiota koko maan tasolla keskimäärin 50 % (44–56 %) verrattuna tilanteeseen ilman talviaikaista kasvipeitettä ($C_{\text{Toimenpide}}=1$). Tulokset vaihtelivat kuntakohtaisesti välillä 21 % (18–24 %) ja 61 % (54–70 %) (Kuva 4D). Talviaikaisen kasvipeitteen vaikutus oli selvästi pienempää etäsuomen rannikkoalueiden kunnissa, erityisesti osassa Varsinais-Suomen, Pohjanmaan ja Uudenmaan kuntia. Pohjoista ja itää kohden kasvipeitteen eroosiota vähentävä vaikutus oli suurempaa. Tuloksista voidaan myös huomata, että Pirkanmaalla ja Keski-Suomessa tunnistetulla korkean eroosion alueella toteutettu kasvipeitteellä oli suurempi eroosiota vähentävä vaikutus kuin Uudenmaan länsiosissa Varsinais-Suomen korkean eroosion alueella.

Aikaisemmat koko maan kattavat eroosioarviot ovat jonkin verran alhaisempia kuin mitä tässä raportissa on arvioitu. Vihma-mallilla ja vuoden 2010 kasvi- ja kasvipeitetiedoilla tehty arvio oli $485 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ v, RUSLE2015-mallilla ja vuoden 2016 kasvi- ja kasvipeitetiedoilla tehty arvio oli $418 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ v, ja RUSLE-mallilla ja vuoden 2019 kasvi- ja kasvipeitetiedoilla tehty arvio oli $430 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ v (Lilja ym. 2017b; Räsänen ym. 2023; Luonnonvarakeskus). Luvut eivät ole kuitenkaan vertailukelpoisia käytettyjen aineistojen ja menetelmien välisten erojen vuoksi. Tässä työssä päivitettyjen koepeltojen mittausaineistojen ja uudelleen kalibroidun RUSLE-tuloksen näkökulmasta aikaisemmat arviot ovat todennäköisesti aliarvioita. Tässä raportissa tunnistetut korkean eroosion alueet on kuitenkin tunnistettu myös aikaisemmissa arvioissa. Pirkanmaan ja Keski-Suomen lounaisosan korkea eroosio johtuu ainakin osittain peltojen jyrkemmistä pinnanmuodoista ja herkemmin erodoituvista maalajeista. Uudenmaan länsiosan ja Varsinais-Suomen itäosan alueen korkeampi eroosio johtuu ainakin osittain peltojen jyrkemmistä pinnanmuodoista (Räsänen ym. 2023).



Kuva 4. A) Eroosioarviossa huomioitu peltomaiden pinta-ala, B) eroosio (kg ha⁻¹ v⁻¹), C) kokonaiseroosio (t yr⁻¹), ja D) talviaikaisen kasvipeitteen eroosiota vähentävä vaikutus (%) verrattuna tilanteeseen ilman talviaikaista ja kasvipeitettä ($C_{\text{Toimenpide}}=1$).

Taulukko 9. Arvioitu eroosio, kokonaiseroosio, talviaikaisen kasvipeitteen eroosiota vähentävä vaikutus, ja $C_{\text{Toimenpide}}$ kuntatasolla. Taulukon arviot perustuvat $C_{\text{Toimenpide}}$ keskiarvoon ja näiden vaihteluväliin (suluisissa) (Taulukko 2). $C_{\text{Toimenpide}}$ -indikaattorin arvo 0.36 (0.27–0.44) vastaa ympärivuotista nurmea ja arvo 1.0 vastaa syyskynnettyä peltoa. Peltoala viittaa eroosioarvioissa huomioituun alaan.

Kunta	Peltoala	Eroosio	Kokonaiseroosio	Eroosion vähennys	$C_{\text{Toimenpide}}$
	(ha)	(kg/ha/vuosi)	(tonnia/vuosi)	(%)	(-)
Akaa	8 526	533 (467–598)	4 544 (3 982–5 099)	47 (54–41)	0.52 (0.46–0.59)
Alajärvi	13 442	567 (480–650)	7 622 (6 452–8 737)	54 (61–47)	0.45 (0.37–0.52)
Alavieska	5 802	197 (166–228)	1 143 (963–1 323)	55 (62–48)	0.44 (0.37–0.51)
Alavus	16 260	747 (642–849)	12 146 (10 439–13 805)	52 (58–45)	0.47 (0.4–0.54)
Asikkala	7 932	905 (802–1012)	7 178 (6 361–8 027)	49 (55–43)	0.5 (0.44–0.56)
Askola	7 226	951 (855–1046)	6 872 (6 178–7 558)	43 (49–38)	0.57 (0.51–0.62)
Aura	4 293	488 (444–533)	2 095 (1 906–2 288)	42 (48–37)	0.58 (0.52–0.63)
Brändö	243	379 (337–416)	92 (82–101)	44 (50–39)	0.42 (0.34–0.49)
Eckerö	472	651 (629–675)	307 (297–319)	24 (27–22)	0.71 (0.67–0.74)
Enonkoski	1 417	716 (601–825)	1 015 (852–1 169)	55 (62–48)	0.43 (0.36–0.51)
Enontekiö	176	231 (195–264)	41 (34–46)	54 (62–48)	0.46 (0.39–0.52)
Espoo	1 927	733 (633–830)	1 412 (1 220–1 599)	50 (57–44)	0.51 (0.45–0.58)
Eura	14 299	444 (404–487)	6 349 (5 777–6 964)	43 (48–38)	0.57 (0.52–0.62)
Eurajoki	8 877	455 (411–501)	4 039 (3 648–4 447)	45 (50–39)	0.56 (0.51–0.62)
Evijärvi	5 476	340 (283–396)	1 862 (1 550–2 168)	57 (64–50)	0.43 (0.35–0.5)
Finström	2 432	580 (533–622)	1 411 (1 296–1 513)	38 (43–34)	0.57 (0.52–0.62)
Forssa	6 997	318 (277–358)	2 225 (1 938–2 505)	49 (56–43)	0.51 (0.45–0.58)
Föglö	1 383	509 (476–539)	704 (658–745)	32 (37–28)	0.47 (0.39–0.53)
Geta	741	540 (499–576)	400 (370–427)	36 (41–32)	0.53 (0.47–0.59)
Haapajärvi	9 037	271 (234–307)	2 449 (2 115–2 774)	52 (58–45)	0.47 (0.4–0.54)
Haapavesi	13 462	211 (175–244)	2 840 (2 356–3 285)	56 (63–49)	0.44 (0.36–0.51)
Hailuoto	2 671	122 (107–135)	326 (286–361)	47 (53–41)	0.4 (0.32–0.48)
Halsua	3 473	296 (251–339)	1 028 (872–1 177)	53 (61–47)	0.45 (0.38–0.52)
Hamina	7 267	699 (618–780)	5 080 (4 491–5 668)	47 (53–41)	0.52 (0.46–0.59)
Hammarland	1 821	498 (463–531)	907 (843–967)	35 (39–30)	0.59 (0.53–0.64)
Hankasalmi	6 393	488 (411–561)	3 120 (2 628–3 586)	54 (62–48)	0.45 (0.37–0.52)
Hanko	258	236 (212–259)	61 (55–67)	44 (49–38)	0.44 (0.36–0.51)
Harjavalta	2 565	507 (467–550)	1 300 (1 198–1 411)	39 (43–33)	0.61 (0.56–0.66)
Hartola	4 539	396 (343–447)	1 797 (1 557–2 029)	50 (57–44)	0.46 (0.39–0.53)
Hattula	6 254	485 (430–542)	3 033 (2 689–3 390)	48 (54–42)	0.5 (0.44–0.57)
Hausjärvi	12 945	572 (515–632)	7 405 (6 667–8 181)	46 (51–40)	0.55 (0.5–0.6)
Heinola	2 175	484 (416–551)	1 053 (905–1 198)	53 (60–46)	0.44 (0.37–0.51)
Heinävesi	1 305	570 (465–664)	744 (607–867)	57 (65–50)	0.41 (0.33–0.49)
Helsinki	769	477 (406–546)	367 (312–420)	50 (58–43)	0.51 (0.44–0.58)
Hirvensalmi	2 048	682 (582–778)	1 397 (1 192–1 593)	53 (60–46)	0.43 (0.36–0.5)
Hollola	15 959	1 126 (1 014–1 242)	17 970 (16 182–19 821)	45 (51–39)	0.54 (0.49–0.6)
Huittinen	19 252	457 (423–492)	8 798 (8 144–9 472)	36 (40–31)	0.65 (0.6–0.7)
Humppila	5 770	424 (374–475)	2 446 (2 158–2 741)	47 (53–40)	0.53 (0.47–0.6)
Hyrnsalmi	1 214	294 (238–344)	357 (289–418)	57 (66–50)	0.42 (0.34–0.49)
Hyvinkää	5 815	484 (424–543)	2 814 (2 466–3 158)	49 (55–43)	0.52 (0.45–0.58)
Hämeenkyrö	9 544	1 505 (1 292–1 708)	14 364 (12 331–16 301)	52 (59–46)	0.47 (0.4–0.53)
Hämeenlinna	24 768	649 (578–720)	16 074 (14 316–17 833)	47 (52–41)	0.53 (0.47–0.59)
Ii	2 651	116 (94–136)	308 (249–361)	58 (66–51)	0.39 (0.31–0.47)
Iisalmi	12 321	570 (491–644)	7 023 (6 050–7 935)	51 (58–45)	0.48 (0.41–0.54)
Iitti	12 937	509 (448–570)	6 585 (5 796–7 374)	48 (54–42)	0.52 (0.46–0.58)

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 102/2024

Kunta	Peltoala	Erosio	Kokonaiserosio	Erosion vähennys	C _{Toimenpide}
	(ha)	(kg/ha/vuosi)	(tonnia/vuosi)	(%)	(-)
Ikaalinen	9 595	1 762 (1 482–2 031)	16 906 (14 220–19 487)	55 (62–48)	0.43 (0.36–0.51)
Ilmajoki	17 900	517 (465–571)	9 254 (8 324–10 221)	45 (50–39)	0.55 (0.5–0.61)
Ilomantsi	2 206	792 (655–918)	1 747 (1 445–2 025)	56 (64–49)	0.42 (0.34–0.49)
Imatra	1 935	725 (628–819)	1 403 (1 215–1 585)	50 (57–44)	0.5 (0.43–0.56)
Inari	417	204 (170–235)	85 (71–98)	54 (62–48)	0.4 (0.32–0.48)
Inkoo	7 480	686 (627–745)	5 131 (4 690–5 573)	41 (46–36)	0.58 (0.52–0.63)
Isojoki	5 774	820 (714–920)	4 735 (4 123–5 312)	50 (56–43)	0.49 (0.42–0.55)
Isokyrö	12 051	459 (424–497)	5 531 (5 110–5 989)	39 (43–33)	0.62 (0.57–0.67)
Janakkala	13 208	613 (544–685)	8 097 (7 185–9 047)	48 (54–42)	0.5 (0.44–0.57)
Joensuu	8 405	379 (313–439)	3 185 (2 631–3 690)	56 (63–49)	0.43 (0.35–0.5)
Jokioinen	7 766	541 (475–606)	4 201 (3 689–4 706)	48 (54–42)	0.51 (0.45–0.58)
Jomala	3 369	636 (598–672)	2 143 (2 015–2 264)	34 (38–30)	0.63 (0.59–0.67)
Joroinen	6 981	399 (345–450)	2 785 (2 408–3 141)	50 (57–44)	0.48 (0.41–0.55)
Joutsa	3 743	509 (439–575)	1 905 (1 643–2 152)	51 (58–44)	0.48 (0.41–0.54)
Juuka	4 319	473 (387–552)	2 043 (1 671–2 384)	57 (65–50)	0.42 (0.34–0.49)
Juupajoki	2 716	1 318 (1 126–1 505)	3 580 (3 058–4 088)	53 (60–47)	0.47 (0.4–0.54)
Juva	6 383	656 (555–751)	4 187 (3 543–4 794)	54 (61–47)	0.45 (0.38–0.52)
Jyväskylä	5 907	1 434 (1 257–1 606)	8 471 (7 425–9 487)	48 (54–42)	0.49 (0.43–0.56)
Jämijärvi	5 891	1 214 (1 044–1 382)	7 152 (6 150–8 141)	53 (59–46)	0.46 (0.39–0.53)
Jämsä	9 752	1 340 (1 168–1 510)	13 068 (11 390–14 726)	51 (57–44)	0.47 (0.41–0.54)
Järvenpää	389	518 (439–593)	202 (171–231)	55 (62–48)	0.47 (0.4–0.53)
Kaarina	3 776	891 (829–954)	3 364 (3 130–3 602)	39 (43–35)	0.59 (0.55–0.64)
Kaavi	2 105	691 (598–776)	1 455 (1 259–1 633)	49 (56–43)	0.43 (0.35–0.5)
Kajaani	4 493	352 (294–406)	1 582 (1 321–1 824)	55 (62–48)	0.46 (0.39–0.53)
Kalajoki	16 399	195 (172–219)	3 198 (2 821–3 591)	49 (55–43)	0.49 (0.43–0.56)
Kangasala	9 196	912 (808–1017)	8 387 (7 430–9 352)	47 (53–41)	0.52 (0.46–0.58)
Kangasniemi	4 245	619 (527–706)	2 628 (2 237–2 997)	52 (60–46)	0.45 (0.37–0.52)
Kankaanpää	15 761	814 (716–913)	12 829 (11 285–14 390)	49 (55–43)	0.5 (0.44–0.57)
Kannonkoski	1 918	563 (496–624)	1 080 (951–1 197)	48 (54–43)	0.51 (0.45–0.57)
Kannus	7 076	261 (218–302)	1 847 (1 543–2 137)	56 (63–49)	0.43 (0.36–0.5)
Karjajoki	4 010	938 (857–1019)	3 761 (3 437–4 086)	41 (46–36)	0.59 (0.54–0.64)
Karkkila	3 502	787 (690–886)	2 756 (2 416–3 103)	51 (57–45)	0.49 (0.42–0.55)
Karstula	5 578	558 (461–647)	3 113 (2 571–3 609)	56 (63–49)	0.43 (0.35–0.5)
Karvia	8 598	579 (493–663)	4 978 (4 239–5 700)	54 (61–47)	0.45 (0.38–0.52)
Kaskinen	<1	(-)	<1	0	0
Kauhajoki	22 861	633 (548–718)	14 471 (12 528–16 414)	51 (58–45)	0.48 (0.42–0.55)
Kauhava	37 603	500 (445–557)	18 802 (16 733–20 945)	48 (53–42)	0.52 (0.46–0.58)
Kauniainen	7	382 (366–397)	3 (3–3)	23 (27–20)	0.36 (0.27–0.44)
Kaustinen	5 598	308 (250–363)	1 724 (1 400–2 032)	59 (67–52)	0.41 (0.33–0.48)
Keitele	2 779	385 (317–447)	1 070 (881–1 242)	56 (64–49)	0.43 (0.35–0.5)
Kemi	108	135 (134–135)	15 (14–15)	6 (6–6)	0.71 (0.7–0.73)
Kemijärvi	1 632	214 (167–255)	349 (273–416)	61 (69–53)	0.38 (0.29–0.46)
Keminmaa	1 622	212 (171–249)	344 (277–404)	58 (66–51)	0.42 (0.34–0.49)
Kemiönsaari	10 359	667 (627–707)	6 909 (6 495–7 324)	36 (39–32)	0.63 (0.59–0.67)
Kempele	2 334	311 (256–363)	726 (598–847)	57 (65–50)	0.42 (0.34–0.49)
Kerava	255	673 (577–766)	172 (147–195)	52 (59–45)	0.51 (0.44–0.57)
Keuruu	4 524	957 (810–1 095)	4 329 (3 664–4 954)	54 (61–47)	0.44 (0.37–0.51)
Kihniö	2 923	571 (476–665)	1 669 (1 391–1 944)	57 (64–50)	0.43 (0.35–0.5)
Kinnula	2 697	560 (481–632)	1 510 (1 297–1 705)	51 (58–45)	0.48 (0.41–0.54)
Kirkkonummi	4 954	662 (588–735)	3 280 (2 913–3 641)	46 (52–40)	0.52 (0.46–0.58)
Kitee	10 173	380 (317–438)	3 866 (3 225–4 456)	55 (62–48)	0.43 (0.36–0.51)

Kunta	Peltoala (ha)	Erosio (kg/ha/vuosi)	Kokonaiserosio (tonnia/vuosi)	Erosion vähennys (%)	C _{Toimenpide} (-)
Kittilä	1 381	198 (160–232)	273 (221–320)	58 (66–51)	0.39 (0.31–0.47)
Kiuruvesi	22 193	378 (318–432)	8 389 (7 057–9 587)	53 (61–47)	0.46 (0.38–0.53)
Kivijärvi	1 186	573 (491–652)	680 (582–773)	52 (59–45)	0.47 (0.4–0.54)
Kokemäki	11 365	528 (487–570)	6 001 (5 535–6 478)	38 (42–33)	0.63 (0.58–0.68)
Kokkola	18 933	246 (204–286)	4 658 (3 862–5 415)	56 (64–49)	0.43 (0.35–0.5)
Kolari	977	193 (151–231)	189 (148–226)	61 (70–54)	0.38 (0.3–0.46)
Konnevesi	2 763	505 (420–583)	1 395 (1 160–1 611)	55 (63–48)	0.44 (0.36–0.51)
Kontiolahti	2 844	343 (292–390)	975 (830–1 109)	52 (59–46)	0.47 (0.4–0.54)
Korsnäs	1 887	501 (448–552)	945 (845–1 042)	45 (50–39)	0.53 (0.47–0.59)
Koski Tl	9 335	493 (451–535)	4 602 (4 210–4 994)	41 (46–36)	0.59 (0.54–0.64)
Kotka	2 549	440 (379–500)	1 122 (966–1 275)	52 (59–46)	0.47 (0.41–0.54)
Kouvola	46 200	448 (395–499)	20 698 (18 249–23 054)	47 (53–41)	0.53 (0.47–0.6)
Kristiinankaupunki	9 663	699 (639–756)	6 754 (6 175–7 305)	39 (44–34)	0.6 (0.55–0.65)
Kruunupyö	11 245	303 (246–357)	3 407 (2 766–4 014)	59 (66–51)	0.41 (0.34–0.49)
Kuhmo	3 929	368 (309–422)	1 446 (1 214–1 658)	54 (62–48)	0.44 (0.36–0.51)
Kuhmoinen	1 836	804 (705–899)	1 476 (1 294–1 651)	49 (55–43)	0.5 (0.43–0.56)
Kumlinge	424	607 (546–661)	257 (232–280)	42 (48–37)	0.48 (0.4–0.54)
Kuopio	32 692	720 (621–813)	23 538 (20 302–26 579)	51 (57–44)	0.47 (0.4–0.54)
Kuortane	7 823	690 (586–792)	5 398 (4 584–6 196)	54 (61–47)	0.46 (0.39–0.52)
Kurikka	36 905	628 (562–694)	23 176 (20 741–25 612)	46 (52–40)	0.53 (0.47–0.59)
Kustavi	1 401	490 (442–539)	686 (619–755)	44 (49–38)	0.55 (0.49–0.61)
Kuusamo	4 864	278 (227–325)	1 352 (1 104–1 581)	57 (65–50)	0.39 (0.3–0.47)
Kyyjärvi	2 680	473 (386–553)	1 268 (1 034–1 482)	57 (65–50)	0.42 (0.35–0.5)
Kärkölä	8 855	628 (565–692)	5 561 (5 003–6 128)	44 (50–38)	0.56 (0.51–0.62)
Kärsämäki	7 996	256 (217–292)	2 047 (1 735–2 335)	53 (60–46)	0.47 (0.4–0.53)
Kökar	478	519 (486–548)	248 (232–262)	31 (36–27)	0.4 (0.32–0.48)
Lahti	6 883	503 (441–565)	3 462 (3 035–3 889)	49 (55–43)	0.51 (0.44–0.57)
Laihia	10 242	475 (441–512)	4 865 (4 517–5 244)	36 (41–31)	0.64 (0.59–0.69)
Laitila	11 681	618 (568–671)	7 219 (6 635–7 838)	40 (45–35)	0.58 (0.53–0.63)
Lapinjärvi	10 411	487 (438–536)	5 070 (4 560–5 580)	41 (47–35)	0.61 (0.55–0.66)
Lapinlahti	14 642	563 (475–644)	8 243 (6 955–9 429)	54 (61–47)	0.46 (0.38–0.53)
Lappajärvi	6 283	456 (378–529)	2 865 (2 375–3 324)	56 (64–49)	0.43 (0.36–0.51)
Lappeenranta	19 395	633 (551–714)	12 277 (10 687–13 848)	50 (57–44)	0.49 (0.43–0.56)
Lapua	20 663	553 (503–605)	11 427 (10 393–12 501)	43 (48–37)	0.57 (0.52–0.63)
Laukaa	7 933	836 (724–940)	6 632 (5 743–7 457)	50 (57–44)	0.49 (0.42–0.55)
Lemi	2 859	559 (482–634)	1 598 (1 378–1 813)	51 (58–45)	0.47 (0.39–0.53)
Lemland	960	451 (396–501)	433 (380–481)	47 (53–41)	0.46 (0.38–0.52)
Lempäälä	4 146	699 (605–794)	2 898 (2 508–3 292)	52 (59–46)	0.47 (0.4–0.53)
Leppävirta	5 381	601 (517–679)	3 234 (2 782–3 654)	51 (58–45)	0.46 (0.39–0.53)
Lestijärvi	1 917	310 (249–366)	594 (477–702)	59 (67–52)	0.4 (0.32–0.48)
Lieksa	7 258	480 (397–557)	3 484 (2 881–4 043)	56 (64–49)	0.42 (0.34–0.49)
Lieto	12 185	760 (704–818)	9261 (8 578–9 967)	37 (42–33)	0.63 (0.58–0.68)
Liminka	8 631	257 (217–295)	2 218 (1 873–2 546)	54 (61–48)	0.45 (0.38–0.52)
Liperi	11 814	366 (319–411)	4 324 (3 769–4 856)	49 (56–43)	0.51 (0.44–0.57)
Lohja	18 366	1 233 (1 088–1 376)	22 645 (19 982–25 272)	48 (54–42)	0.51 (0.45–0.57)
Loimaa	42 122	398 (366–431)	16 765 (15 417–18 155)	38 (43–33)	0.62 (0.57–0.67)
Loppi	7 626	647 (580–715)	4 934 (4 423–5 453)	45 (51–39)	0.54 (0.48–0.6)
Loviisa	15 234	505 (460–550)	7 693 (7 008–8 379)	39 (44–33)	0.6 (0.54–0.65)
Luhanka	1 137	1 133 (1 004–1 252)	1 288 (1 142–1 424)	45 (52–40)	0.49 (0.42–0.55)
Lumijoki	6 452	193 (169–216)	1 245 (1 090–13 94)	49 (55–42)	0.48 (0.41–0.54)
Lumparland	333	422 (383–457)	141 (128–152)	41 (46–36)	0.5 (0.43–0.56)

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 102/2024

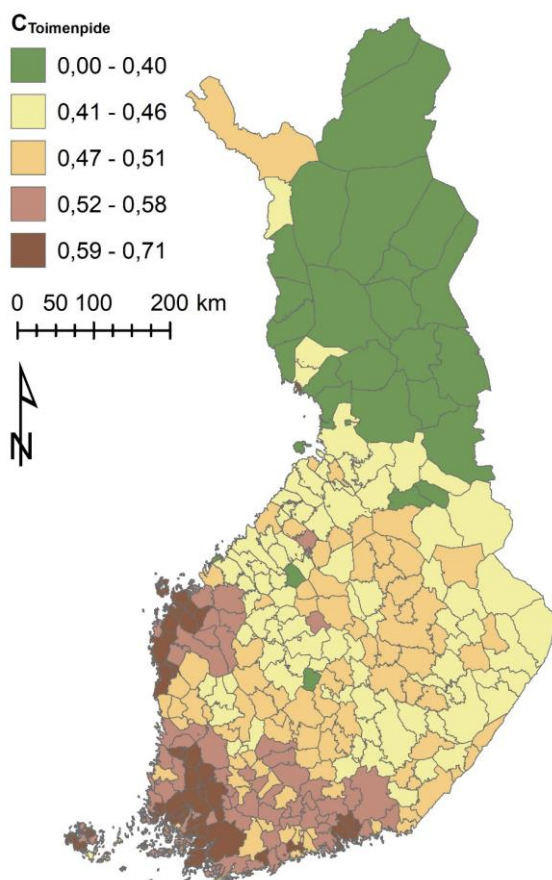
Kunta	Peltoala	Erosio	Kokonaiserosio	Erosion vähennys	C _{Toimenpide}
	(ha)	(kg/ha/vuosi)	(tonnia/vuosi)	(%)	(-)
Luoto	1 059	326 (277–370)	345 (293–392)	52 (59–46)	0.39 (0.3–0.46)
Luumäki	5 962	479 (407–551)	2 856 (2 427–3 285)	55 (61–48)	0.44 (0.38–0.51)
Maalahti	7 637	484 (443–525)	3 696 (3 383–4 009)	39 (44–34)	0.61 (0.55–0.66)
Maarianhamina	38	484 (466–500)	18 (18–19)	21 (24–18)	0.36 (0.27–0.44)
Marttila	7 859	448 (403–495)	3 521 (3 167–3 890)	45 (50–39)	0.55 (0.5–0.61)
Masku	5 873	527 (484–570)	3 095 (2 843–3 348)	38 (43–33)	0.6 (0.55–0.66)
Merijärvi	3 017	203 (171–234)	612 (516–706)	55 (62–48)	0.44 (0.37–0.51)
Merikarvia	3 418	455 (394–513)	1 555 (1 347–1 753)	50 (57–44)	0.46 (0.39–0.53)
Miehikkälä	5 044	564 (481–644)	2 845 (2 426–3 248)	53 (60–46)	0.47 (0.4–0.54)
Mikkeli	13 517	599 (510–681)	8 097 (6 894–9 205)	52 (59–46)	0.45 (0.37–0.52)
Muhos	7 408	256 (217–294)	1 896 (1 608–2 178)	54 (61–48)	0.45 (0.37–0.51)
Multia	1 588	976 (798–1139)	1 550 (1 267–1 809)	57 (65–50)	0.42 (0.34–0.49)
Muonio	353	204 (174–230)	72 (61–81)	52 (59–46)	0.41 (0.34–0.49)
Mustasaari	14 594	505 (467–543)	7 370 (6 815–7 925)	36 (41–31)	0.64 (0.59–0.69)
Muurame	874	954 (792–1102)	834 (692–963)	55 (63–48)	0.44 (0.37–0.51)
Mynämäki	11 915	471 (430–514)	5 612 (5 123–6 124)	39 (45–34)	0.6 (0.55–0.66)
Myrskylä	5 723	872 (783–962)	4 990 (4 481–5 506)	45 (51–40)	0.54 (0.48–0.6)
Mäntsälä	15 153	492 (437–548)	7 455 (6 622–8 304)	47 (53–41)	0.53 (0.47–0.59)
Mänttä-Vilppula	3 757	775 (665–885)	2 912 (2 498–3 325)	53 (60–46)	0.46 (0.39–0.53)
Mäntyharju	3 649	587 (499–670)	2 142 (1 821–2 445)	53 (60–46)	0.44 (0.37–0.51)
Naantali	4 976	529 (483–573)	2 632 (2 403–2 851)	40 (45–35)	0.56 (0.51–0.62)
Nakkila	6 288	544 (503–588)	3 421 (3 163–3 697)	38 (43–33)	0.63 (0.59–0.68)
Nivala	17 348	231 (208–255)	4 007 (3 608–4 424)	45 (50–39)	0.54 (0.48–0.6)
Nokia	4 014	1 152 (980–1318)	4 624 (3 934–5 290)	54 (60–47)	0.45 (0.38–0.52)
Nousiainen	5 924	619 (576–663)	3 667 (3 412–3 928)	36 (40–31)	0.64 (0.59–0.68)
Nurmes	11 678	755 (634–864)	8 817 (7 404–10 090)	54 (61–47)	0.46 (0.39–0.53)
Nurmijärvi	10 988	613 (533–692)	6 736 (5 857–7 604)	51 (57–44)	0.49 (0.43–0.56)
Närpiö	19 305	528 (478–577)	10 193 (9 228–11 139)	41 (47–36)	0.58 (0.53–0.64)
Orimattila	25 982	627 (560–695)	16 291 (14 550–18 057)	45 (51–39)	0.56 (0.5–0.62)
Oripää	4 860	388 (359–418)	1 886 (1 745–2 031)	35 (40–30)	0.66 (0.61–0.71)
Orivesi	8 966	1 479 (1 284–1 674)	13 261 (11 512–15 009)	51 (58–45)	0.48 (0.41–0.54)
Oulainen	6 392	282 (237–325)	1 803 (1 515–2 077)	55 (62–48)	0.44 (0.37–0.51)
Oulu	9 446	184 (155–210)	1 738 (1 464–1 984)	54 (61–47)	0.42 (0.34–0.49)
Outokumpu	3 679	366 (308–419)	1 347 (1 133–1 542)	53 (61–47)	0.44 (0.36–0.51)
Padasjoki	2 496	746 (657–835)	1 862 (1 640–2 084)	49 (55–43)	0.47 (0.4–0.53)
Paimio	8 039	1 009 (937–1 082)	8 111 (7 533–8 698)	37 (41–32)	0.61 (0.56–0.66)
Paltamo	2 025	321 (261–375)	650 (529–759)	57 (65–50)	0.4 (0.31–0.47)
Parainen	10 289	610 (557–663)	6 276 (5 731–6 822)	42 (47–37)	0.52 (0.47–0.58)
Parikkala	10 160	412 (358–463)	4 186 (3 637–4 704)	49 (56–43)	0.49 (0.43–0.56)
Parkano	5 227	976 (799–1145)	5 102 (4 176–5 985)	58 (66–51)	0.41 (0.34–0.49)
Pedersören kunta	14 309	337 (280–391)	4 822 (4 007–5 595)	56 (64–49)	0.43 (0.36–0.5)
Pelkosenniemi	517	215 (171–253)	111 (88–131)	59 (68–52)	0.38 (0.29–0.45)
Pello	1 272	278 (216–333)	354 (275–424)	61 (70–54)	0.38 (0.29–0.45)
Perho	5 693	360 (296–420)	2 049 (1 685–2 391)	57 (65–50)	0.42 (0.35–0.5)
Pertunmaa	2 138	576 (472–672)	1 231 (1 009–1 437)	56 (64–49)	0.41 (0.33–0.49)
Petäjävesi	2 684	840 (690–978)	2 255 (1 852–2 625)	57 (65–50)	0.4 (0.32–0.48)
Pieksämäki	7 199	630 (540–716)	4 535 (3 887–5 154)	52 (59–45)	0.47 (0.4–0.54)
Pielavesi	8 285	435 (367–497)	3 604 (3 041–4 118)	53 (61–47)	0.45 (0.38–0.52)
Pietarsaari	547	233 (187–275)	127 (102–150)	59 (67–51)	0.39 (0.3–0.46)
Pihtipudas	7 183	438 (375–497)	3 146 (2 694–3 570)	51 (58–44)	0.47 (0.4–0.54)
Pirkkala	871	739 (622–853)	644 (542–743)	55 (62–48)	0.43 (0.36–0.5)

Kunta	Peltoala	Erosio	Kokonaiserosio	Erosion vähennys	C _{Toimenpide}
	(ha)	(kg/ha/vuosi)	(tonnia/vuosi)	(%)	(-)
Polvijärvi	8 271	371 (312–425)	3 069 (2 581–3 515)	54 (61–47)	0.45 (0.38–0.52)
Pomarkku	2 236	571 (494–651)	1 277 (1 105–1 456)	53 (59–46)	0.47 (0.4–0.53)
Pori	16 193	585 (515–654)	9 473 (8 339–10 590)	48 (54–42)	0.52 (0.46–0.59)
Pornainen	4 264	683 (599–769)	2 912 (2 554–3 279)	50 (56–44)	0.49 (0.42–0.55)
Porvoo	12 981	686 (608–764)	8 905 (7 892–9 917)	47 (53–41)	0.53 (0.46–0.59)
Posio	3 323	247 (196–294)	821 (651–977)	60 (68–52)	0.39 (0.3–0.47)
Pudasjärvi	3 833	176 (144–205)	675 (552–786)	57 (65–50)	0.4 (0.31–0.47)
Pukkila	5 896	660 (599–722)	3 891 (3 532–4 257)	43 (48–38)	0.57 (0.52–0.62)
Punkalaidun	12 807	504 (451–560)	6 455 (5 776–7 172)	46 (52–40)	0.54 (0.49–0.6)
Puolanka	2 471	377 (307–439)	932 (759–1 085)	57 (65–50)	0.43 (0.35–0.5)
Puumala	2 053	772 (665–872)	1 585 (1 365–1 790)	51 (58–45)	0.47 (0.39–0.53)
Pyhtää	4 462	393 (353–432)	1 754 (1 575–1 928)	42 (48–36)	0.58 (0.52–0.63)
Pyhäjoki	5 049	154 (131–178)	778 (661–899)	55 (62–48)	0.44 (0.37–0.51)
Pyhäjärvi	6 784	286 (241–328)	1 940 (1 635–2 225)	54 (61–47)	0.45 (0.38–0.52)
Pyhäntä	2 684	345 (294–391)	926 (789–1 049)	53 (60–47)	0.46 (0.39–0.53)
Pyhäranta	1 829	586 (529–648)	1 072 (968–1 185)	46 (52–41)	0.53 (0.47–0.59)
Pälkäne	7 090	751 (670–834)	5 325 (4 750–5 913)	47 (52–41)	0.53 (0.47–0.59)
Pöytyä	20 060	499 (454–545)	10 010 (9 107–10 933)	42 (47–36)	0.59 (0.54–0.64)
Raahe	10 206	227 (192–261)	2 317 (1 960–2 664)	54 (61–48)	0.44 (0.37–0.51)
Raasepori	16 669	1 095 (1 004–1 183)	18 253 (16 736–19 719)	41 (46–36)	0.57 (0.52–0.62)
Raisio	725	627 (557–696)	455 (404–505)	47 (53–41)	0.51 (0.45–0.58)
Rantasalmi	6 944	558 (480–634)	3 875 (3 333–4 402)	51 (58–44)	0.49 (0.42–0.55)
Ranua	3 965	148 (115–177)	587 (456–702)	61 (70–53)	0.39 (0.31–0.47)
Rauma	7 449	499 (445–558)	3 717 (3 315–4 157)	48 (54–42)	0.51 (0.45–0.57)
Rautalampi	4 429	345 (295–391)	1 528 (1 307–1 732)	52 (59–45)	0.47 (0.4–0.54)
Rautavaara	1 743	467 (395–533)	814 (688–929)	53 (60–47)	0.45 (0.37–0.52)
Rautjärvi	2 113	792 (671–907)	1 673 (1 418–1 916)	54 (61–47)	0.46 (0.39–0.53)
Reisjärvi	7 348	375 (316–433)	2 756 (2 322–3 182)	55 (62–48)	0.45 (0.38–0.52)
Riihimäki	2 231	607 (534–681)	1 354 (1 191–1 519)	47 (54–41)	0.55 (0.49–0.61)
Ristijärvi	1 411	416 (334–492)	587 (471–694)	59 (67–52)	0.4 (0.32–0.48)
Rovaniemi	4 397	275 (222–323)	1 209 (976–1 420)	58 (66–51)	0.39 (0.31–0.47)
Ruokolahi	2 441	509 (428–585)	1 242 (1 045–1 428)	54 (61–47)	0.44 (0.36–0.51)
Ruovesi	5 864	1 353 (1 180–1 524)	7 934 (6 920–8 937)	51 (57–44)	0.49 (0.42–0.55)
Rusko	4 044	487 (453–522)	1 969 (1 832–2 111)	37 (41–32)	0.63 (0.58–0.67)
Rääkkylä	4 453	243 (203–279)	1 082 (904–1 242)	54 (62–47)	0.45 (0.37–0.52)
Saarijärvi	8 497	1 021 (838–1 190)	8 675 (7 120–10 111)	57 (64–49)	0.43 (0.35–0.5)
Salla	1 715	235 (188–277)	403 (322–475)	59 (67–52)	0.39 (0.31–0.47)
Salo	55 868	922 (841–1 003)	51 510 (46 985–56 036)	41 (46–36)	0.59 (0.54–0.64)
Saltvik	2 188	711 (671–748)	1 556 (1 468–1 637)	32 (36–29)	0.65 (0.61–0.69)
Sastamala	27 500	890 (775–1 004)	24 475 (21 313–27 610)	50 (57–44)	0.51 (0.45–0.58)
Sauvo	8 279	643 (595–691)	5 323 (4 926–5 721)	38 (43–33)	0.61 (0.56–0.66)
Savitaipale	4 203	540 (465–613)	2 270 (1 954–2 576)	51 (58–45)	0.48 (0.41–0.54)
Savonlinna	10 465	441 (374–506)	4 615 (3 914–5 295)	54 (61–47)	0.44 (0.37–0.51)
Savukoski	722	279 (233–319)	201 (168–230)	54 (62–48)	0.39 (0.31–0.47)
Seinäjoki	30 834	519 (472–568)	16 003 (14 554–17 514)	43 (48–37)	0.56 (0.51–0.62)
Sievi	9 904	221 (187–253)	2 189 (1 852–2 506)	54 (61–47)	0.45 (0.38–0.52)
Siikainen	3 427	620 (535–704)	2 125 (1 833–2 413)	52 (59–46)	0.46 (0.4–0.53)
Siikajoki	19 108	180 (153–206)	3 439 (2 924–3 936)	54 (61–47)	0.45 (0.38–0.52)
Siikalatva	18 406	301 (251–348)	5 540 (4 620–6 405)	56 (63–49)	0.44 (0.36–0.51)
Siilinjärvi	7 039	683 (586–775)	4 808 (4 125–5 455)	51 (58–45)	0.47 (0.4–0.54)
Simo	2 187	122 (101–141)	267 (221–308)	55 (63–49)	0.4 (0.31–0.47)

Kunta	Peltoala	Erosio	Kokonaiserosio	Erosion vähennys	C _{Toimenpide}
	(ha)	(kg/ha/vuosi)	(tonnia/vuosi)	(%)	(-)
Sipoo	6 941	886 (778–995)	6 150 (5 400–6 906)	49 (55–43)	0.5 (0.44–0.57)
Siuntio	6 427	937 (848–1 025)	6 022 (5 450–6 588)	42 (48–37)	0.58 (0.53–0.64)
Sodankylä	2 668	243 (198–283)	648 (528–755)	57 (65–50)	0.37 (0.29–0.45)
Soini	3 224	587 (487–681)	1 892 (1 570–2 196)	56 (64–50)	0.43 (0.35–0.5)
Somero	26 129	652 (598–707)	17 036 (15 625–18 473)	38 (44–33)	0.57 (0.51–0.63)
Sonkajärvi	8 459	538 (455–614)	4 551 (3 849–5 194)	53 (60–46)	0.47 (0.39–0.53)
Sotkamo	7 310	421 (347–488)	3 078 (2 537–3 567)	56 (64–49)	0.42 (0.33–0.49)
Sottunga	194	482 (440–519)	94 (85–101)	39 (44–34)	0.54 (0.48–0.6)
Sulkava	3 314	619 (517–714)	2 051 (1 713–2 366)	55 (62–48)	0.44 (0.36–0.51)
Sund	1 467	530 (481–574)	778 (706–842)	41 (47–36)	0.57 (0.52–0.62)
Suomussalmi	2 537	366 (291–433)	929 (738–1 099)	59 (67–51)	0.39 (0.31–0.47)
Suonenjoki	4 026	550 (477–621)	2 214 (1 920–2 500)	50 (57–44)	0.48 (0.41–0.55)
Sysmä	8 214	505 (442–569)	4 148 (3 631–4 674)	50 (57–44)	0.46 (0.4–0.53)
Säkylä	9 607	473 (441–508)	4 544 (4 237–4 880)	36 (40–31)	0.65 (0.61–0.7)
Taipalsaari	2 220	392 (332–450)	870 (737–999)	54 (61–47)	0.45 (0.38–0.52)
Taivalkoski	1 582	344 (290–394)	544 (459–623)	54 (61–47)	0.4 (0.32–0.47)
Taivassalo	3 739	482 (446–519)	1 802 (1 668–1 941)	38 (43–34)	0.59 (0.54–0.64)
Tammela	8 340	408 (364–452)	3 403 (3 036–3 770)	45 (51–39)	0.55 (0.49–0.61)
Tampere	3 963	1 103 (923–1276)	4 371 (3 658–5 057)	56 (63–49)	0.44 (0.37–0.51)
Tervo	1 854	351 (294–406)	651 (545–753)	56 (63–49)	0.44 (0.36–0.51)
Tervola	5 209	258 (211–300)	1 344 (1 099–1 563)	57 (65–50)	0.41 (0.33–0.49)
Teuva	10 703	632 (564–700)	6 764 (6 036–7 492)	46 (52–40)	0.52 (0.46–0.58)
Tohmajärvi	8 879	427 (356–494)	3 791 (3 161–4 386)	55 (62–48)	0.44 (0.37–0.51)
Toholampi	8 613	618 (519–715)	5 323 (4 470–6 158)	56 (63–49)	0.43 (0.36–0.5)
Toivakka	1 913	684 (575–786)	1 308 (1 100–1 504)	53 (61–47)	0.44 (0.37–0.51)
Tornio	7 282	260 (205–310)	1 893 (1 493–2 257)	61 (69–53)	0.39 (0.3–0.46)
Turku	4 861	549 (492–605)	2 669 (2 392–2 941)	44 (50–39)	0.54 (0.48–0.6)
Tuusniemi	3 011	678 (578–773)	2 041 (1 740–2 328)	53 (60–46)	0.46 (0.39–0.53)
Tuusula	6 030	609 (539–678)	3 672 (3 250–4 088)	46 (52–40)	0.5 (0.44–0.57)
Tyrnävä	12 169	260 (226–293)	3 164 (2 750–3 566)	50 (57–44)	0.5 (0.44–0.56)
Ulvila	6 336	554 (503–607)	3 510 (3 187–3 846)	43 (48–38)	0.57 (0.51–0.62)
Urijala	11 069	358 (310–407)	3 963 (3 431–4 505)	51 (58–44)	0.48 (0.42–0.55)
Utajärvi	4 524	172 (142–199)	778 (642–900)	56 (64–49)	0.43 (0.35–0.5)
Utsjoki	201	262 (229–293)	53 (46–59)	48 (55–42)	0.39 (0.3–0.47)
Uurainen	2 269	755 (609–887)	1 713 (1 382–2 013)	58 (66–51)	0.41 (0.33–0.48)
Uusikaarlepyy	13 554	395 (346–444)	5 354 (4 690–60 18)	49 (56–43)	0.5 (0.43–0.56)
Uusikaupunki	8 287	523 (476–573)	4 334 (3 945–4 748)	43 (48–38)	0.55 (0.5–0.61)
Vaala	7 165	161 (129–191)	1 154 (924–1 369)	59 (68–52)	0.42 (0.34–0.49)
Vaasa	8 997	540 (498–582)	4 858 (4 481–5 236)	37 (42–32)	0.64 (0.6–0.69)
Valkeakoski	5 915	566 (497–638)	3 348 (2 940–3 774)	50 (56–44)	0.49 (0.43–0.55)
Vantaa	3 207	1 046 (961–1 127)	3 355 (3 082–3 614)	34 (39–29)	0.66 (0.6–0.71)
Varkaus	1 038	468 (387–543)	486 (402–564)	56 (64–49)	0.43 (0.35–0.5)
Vehmaa	5 566	515 (476–557)	2 866 (2 649–3 100)	38 (43–33)	0.61 (0.56–0.66)
Vesanto	3 410	493 (431–552)	1 681 (1 470–1 882)	49 (55–43)	0.49 (0.42–0.55)
Vesilahti	5 400	788 (682–893)	4 255 (3 683–4 822)	51 (58–44)	0.48 (0.42–0.55)
Veteli	6 960	342 (286–394)	2 380 (1 991–2 742)	55 (62–48)	0.44 (0.36–0.51)
Vieremä	11 095	601 (511–683)	6 668 (5 670–7 578)	52 (59–46)	0.46 (0.39–0.53)
Vihti	10 682	981 (869–1 090)	10 479 (9 283–11 643)	47 (53–41)	0.52 (0.46–0.58)
Viitasaari	5 962	550 (469–24)	3 279 (2 796–3 720)	52 (59–46)	0.46 (0.39–0.53)
Vimpeli	4 322	370 (319–421)	1 599 (1 379–1 820)	52 (59–46)	0.46 (0.39–0.53)
Virolahti	5 759	523 (452–595)	3 012 (2 603–3 427)	53 (59–46)	0.47 (0.4–0.54)

Kunta	Peltoala (ha)	Erosio (kg/ha/vuosi)	Kokonaiserosio (tonnia/vuosi)	Erosion vähennys (%)	$C_{\text{Toimenpide}}$ (-)
Virrat	8 319	988 (856–1 114)	8 219 (7 121–9 267)	50 (57–44)	0.48 (0.41–0.55)
Värdö	523	649 (601–692)	339 (314–362)	37 (41–32)	0.55 (0.5–0.61)
Vöyri	15 323	499 (453–546)	7 646 (6 941–8 366)	43 (48–37)	0.57 (0.52–0.63)
Ylitornio	3 587	256 (202–306)	918 (725–1 098)	61 (69–53)	0.39 (0.31–0.47)
Ylivieska	7 650	231 (200–261)	1 767 (1 530–1 997)	52 (58–45)	0.47 (0.41–0.54)
Ylöjärvi	6 690	1 255 (1 074–1 431)	8 396 (7 185–9 573)	53 (60–46)	0.47 (0.4–0.53)
Ypäjä	8 420	397 (353–442)	3 343 (2 972–3 722)	46 (52–40)	0.53 (0.47–0.59)
Ähtäri	4 293	636 (536–730)	2 730 (2 301–3 134)	54 (61–47)	0.44 (0.37–0.51)
Äänekoski	4 813	945 (799–1 081)	4 548 (3 846–5 203)	53 (60–46)	0.45 (0.37–0.52)

Koko maan keskimääräinen $C_{\text{Toimenpide}}$ oli 51 (45–57) ja kuntatasolla se vaihteli välillä 36 (27–44) –71 (0.70–74) (Kuva 5, Taulukko 9). $C_{\text{Toimenpide}}$ oli selvästi suurempi peltovaltaisissa etäsuomen rannikkoalueiden kunnissa, erityisesti osassa Varsinais-Suomen, Pohjanmaan ja Uudenmaan kuntia (58–71), indikoiden heikompaa talviaikaisen kasvipeitteen toteutusta ja/tai laatua. Etelä-Suomen muissa osissa kuntakohtainen $C_{\text{Toimenpide}}$ vaihteli välillä 41–51 ja Pohjois-Suomessa se oli alle 0.4.



Kuva 5. Kasvipeite 2023-aineiston perusteella arvioitu kuntakohtainen $C_{\text{Toimenpide}}$ -indikaattori. Indikaattorin vaihteluväli: 0.36 (vastaa ympärivuotista nurmea) –1.0 (vastaa syyskynnettyä peltoa).

Tarkasteltaessa 30 kuntaa, joilla on joko suurin peltopinta-ala, eroosio, tai kokonaiseroosio, näiden kuntien keskimääräinen $C_{\text{Toimenpide}}$ 50–53 ja vaihteluväli 41–66 (Taulukko 10). Näiden kuntien $C_{\text{Toimenpide}}$ vastaa näin ollen koko maan keskimääräistä $C_{\text{Toimenpide}}$ arvoa 51. Koko maan kuntien välillä kuntakohtainen $C_{\text{Toimenpide}}$ korreloi myös heikosti arvioitun eroosiopotentiaalin ($r=0.10$, p -arvo <0.01), kokonaiseroosiopotentiaalin ($r=0.28$, p -arvo <0.01) tai peltopinta-alan kanssa ($r=0.32$, p -arvo <0.01). Yhdessä nämä indikoivat, että talviaikainen kasvipeite ei ole alueellisesti erityisen kohdistunut eroosion suuruuden tai peltopinta-alan suhteen.

Taulukko 10. Kuntakohtaiset $C_{\text{Toimenpide}}$ arvot 30 kunnassa, jossa suurin peltopinta-ala, arvioitu eroosio ja arvioitu kokonaiseroosio. Taulukossa $C_{\text{Toimenpide}}$ keskiarvon mukaiset arvot (Taulukko 2). $C_{\text{Toimenpide}}$ -indikaattorin vaihteluväli: 0.36 (vastaa ympärivuotista nurmea) –1.0 (vastaa syyskynnettyä peltoa).

Kunta	Peltoala (ha)	$C_{\text{Toimenpide}}$ (-)	Kunta	Eroosio ($\text{kg ha}^{-1} \text{v}^{-1}$)	$C_{\text{Toimenpide}}$ (-)	Kunta	Eroosio (t v^{-1})	$C_{\text{Toimenpide}}$ (-)
Salo	55 868	0.59	Ikaalinen	1 762	0.43	Salo	51 510	0.59
Kouvola	46 200	0.53	Hämeenkyrö	1 505	0.47	Sastamala	24 475	0.51
Loimaa	42 122	0.62	Orivesi	1 479	0.48	Kuopio	23 538	0.47
Kauhava	37 603	0.52	Jyväskylä	1 434	0.49	Kurikka	23 176	0.53
Kurikka	36 905	0.53	Ruovesi	1 353	0.49	Lohja	22 645	0.51
Kuopio	32 692	0.47	Jämsä	1 340	0.47	Kouvola	20 698	0.53
Seinäjoki	30 834	0.56	Juupajoki	1 318	0.47	Kauhava	18 802	0.52
Sastamala	27 500	0.51	Ylöjärvi	1 255	0.47	Raasepori	18 253	0.57
Somero	26 129	0.57	Lohja	1 233	0.51	Hollola	17 970	0.54
Orimattila	25 982	0.56	Jämijärvi	1 214	0.46	Somero	17 036	0.57
Hämeenlinna	24 768	0.53	Nokia	1 152	0.45	Ikaalinen	16 906	0.43
Kauhajoki	22 861	0.48	Luhanka	1 133	0.49	Loimaa	16 765	0.62
Kiuruvesi	22 193	0.46	Hollola	1 126	0.54	Orimattila	16 291	0.56
Lapua	20 663	0.57	Tampere	1 103	0.44	Hämeenlinna	16 074	0.53
Pöytyä	20 060	0.59	Raasepori	1 095	0.57	Seinäjoki	16 003	0.56
Lappeenranta	19 395	0.49	Vantaa	1 046	0.66	Kauhajoki	14 471	0.48
Närpiö	19 305	0.58	Saarijärvi	1 021	0.43	Hämeenkyrö	14 364	0.47
Huittinen	19 252	0.65	Paimio	1 009	0.61	Orivesi	13 261	0.48
Siikajoki	19 108	0.45	Virrat	988	0.48	Jämsä	13 068	0.47
Kokkola	18 933	0.43	Vihti	981	0.52	Kankaanpää	12 829	0.5
Siikalatva	18 406	0.44	Parkano	976	0.41	Lappeenranta	12 277	0.49
Lohja	18 366	0.51	Multia	976	0.42	Alavus	12 146	0.47
Ilmajoki	17 900	0.55	Keuruu	957	0.44	Lapua	11 427	0.57
Nivala	17 348	0.54	Muurame	954	0.44	Vihti	10 479	0.52
Raasepori	16 669	0.57	Askola	951	0.57	Närpiö	10 193	0.58
Kalajoki	16 399	0.49	Äänekoski	945	0.45	Pöytyä	10 010	0.59
Alavus	16 260	0.47	Karjajoki	938	0.59	Pori	9 473	0.52
Pori	16 193	0.52	Siuntio	937	0.58	Lieto	9 261	0.63
Hollola	15 959	0.54	Salo	922	0.59	Ilmajoki	9 254	0.55
Kankaanpää	15 761	0.5	Kangasala	912	0.52	Porvoo	8 905	0.53
Salo	55 868	0.59	Ikaalinen	1 762	0.43	Salo	51 510	0.59
Kouvola	46 200	0.53	Hämeenkyrö	1 505	0.47	Sastamala	24 475	0.51
Loimaa	42 122	0.62	Orivesi	1 479	0.48	Kuopio	23 538	0.47

Koko maan tasolla yleisin talviaikaisen kasvipeitteen muoto koostui ei-syyskylvöisistä kasveista (nurmikasvit), joidenka kokonaispinta-ala oli 46 % Kasvipeite 2023-aineiston kokonaisalasta. Seuraavaksi yleisin oli sänki 29 % pinta-alalla (Taulukko 11). Kasvipeitteettömänä oli 14 % peltopintalasta. Kunnissa, joissa $C_{\text{Toimenpide}}$ oli >0.59 ($n=30$) ja selvästi keskimääristä korkeampi (Kuva 5), kasvipeitteisyyden jakauma oli jonkin verran erilainen koko maahan verrattuna. Kasvipeitteetön ala oli näissä kunnissa keskimäärin seitsemän prosenttiyksikkö suurempi, ei-syyskylvöisen kasvipeitteen (nurmikasvit) ala oli 24 prosenttiyksikköä pienempi, mutta syyskylvöisten kasvipeitteiden ja kevennetyn muokkauksen ala jonkin verran suurempi kuin keskimäärin koko maassa.

Nämä erot talviaikaisessa kasvipeitteisyydessä ja sen laadussa selittävät pienempää kasvipeitteen eroosiota vähentävä vaikutusta Varsinais-Suomen, Pohjanmaan ja Uudenmaan kunnissa kuin muualla maassa (Kuva 4D, Kuva 5). Alueelliset erot talviaikaisessa kasvipeitteisyydessä itsessään selittävät mitä todennäköisimmin maatalouden tuotantosuuntien alueellisilla eroilla.

Taulukko 11. Talviaikaisten kasvipeitteiden osuudet koko maassa ja kolmessakymmenessä kunnassa, joilla korkein $C_{\text{Toimenpide}}$ arvo ($n=30$). Taulukossa myös RUSLE-mallissa eri kasvipeitteille käytetty $C_{\text{Toimenpide}}$ arvo.

Kasvipeite	$C_{\text{Toimenpide}}$ (-)	Koko maa (%)	Kunnat, $C_{\text{Toimenpide}}$ > 0.59 (%)
Aitokasvipeite (ei-syyskylvöinen)	0.36	46 %	21 %
Aitokasvipeite (syyskylvöinen)	0.73	6 %	12 %
Kasvijäte	0.44	0 %	1 %
Kasvipeitteetön	1.00	14 %	23 %
Kevennetty muokkaus	0.76	5 %	11 %
Sänki	0.76	29 %	31 %
Kokonaisala (ha)		2 260 878 ha	273 618 ha

3.3. Epävarmuudet ja kehitystarpeet

RUSLE-kalibrointi osoitti, että yksittäisen pellon eroosio arvioihin liittyy huomattavaa epävarmuutta. Tämä epävarmuus on peräisin RUSLE-tekijöiden arviointiin käytetyistä aineistoista ja menetelmistä, RUSLE-mallin yksinkertaistetuista prosessikuvauksista ja puutteista prosessikuvauksissa, sekä mittausaineistoihin ja niiden käyttöön liittyvistä epävarmuuksista. Nämä epävarmuudet ja kehitystarpeet epävarmuuksien vähentämiseksi on kuvattu seuraavaksi ja tiivistetysti Taulukko 12.

R-tekijä perustui sadantamittauksiin verrattain lyhyeltä ajanjaksolta (2007–2013, Panagos ym. 2015a), mikä voi aiheuttaa epätarkkuuksia pitkän aikavälin keskimääräisten olosuhteiden arviointiin. Esimerkiksi, paikalliset ja yksittäiset poikkeavat olosuhteet saattava vääristää pitkän aikavälin arviota. R-tekijä ei myöskään sisällä riittävää kuvausta lumipeitteen ja lumen sulannasta syntyvän valunnan eroosiovaikutuksista. Uusi R-tekijä olisi laskettava pidemmällä sadanta-aikasarjalla ja sitä olisi kehitettävä talviolosuhteiden osalta koepeltojen mittausaineistoja varten, ja erityisesti siten, että uusia aineisto ottaa huomioon erot talviolosuhteissa eri alueiden välillä (*Kehitystarve 1*).

K-tekijä perustui Maannostietokannan karttamuotoiseen maannostietoon (Lilja ym. 2017 c) ja aikaisemmin CREAMS-mallia varten kehitettyihin K-tekijän arvioihin, lukuun ottamatta

savimaita (Lilja ym. 2017b, Rekolainen & Posch, 1993). Maannostietokanta antaa hyvin korkean kuvan peltomaiden maalajeista mittakaavansa (1:200 000) ja yleistävien maannosteluokistensa vuoksi. Peltolohkotasolla maannostelun rajauksissa on epävarmuutta ja yhden maannosteluokan sisälle mahtuu useampi maatalousmailla käytetyn maalajikolmion mukainen maalaji. Karttamuotoinen maalaji tieto on Suomessa yleisesti puutteellista varsinkin peltolohkotason arvioita varten ja sitä olisi kehitettävä. K-tekijän arvoja olisikin arvioitava uudelleen koko maan kattavaa käyttöä varten ja erityisesti siten, että alueelliset erot talviolosuhteissa tulisivat huomioiduksi (*Kehitystarve 2*).

LS-tekijä perustui korkean resoluution korkeusmalliin (MML 2020) ja yleisesti hyväksi todettuun laskentamenetelmään ja se on käytetyn RUSLE-mallin yksi vahvuuksista. LS-tekijän arvioinnissa haasteena ovat kuitenkin peltoympäristöjen ojat, joita ei nykyisellään voida tunnistaa ja huomioida LS-laskennassa puuttuvan paikkatietomutoisen oja-aineiston vuoksi. Tämä aiheuttaa RUSLE-laskennassa paikallisesti ojien kohdalla korkeampia eroosioarvioita. LS-tekijässä olisikin jatkossa tarve huomioida peltomaiden ojaverkostot poistamalla oja-alueet LS-tekijän laskennasta käytetystä korkeusmallista (*Kehitystarve 3*).

C-tekijä jaettiin kahteen osaan, joista $C_{\text{Toimenpide}}$ perustui koepelloilla tehtyihin mittauksiin ja C_{Kasvi} perustui kalibrointiin koepeltojen mittauksia vasten sekä kirjallisuusarvoihin. Käytettyjen $C_{\text{Toimenpide}}$ arvojen vahvuus on se, että ne perustuvat mittaustietoon, mutta heikkous se, että mittauksia on hyvin vähän eri koepelloilta. Kalibroitiin C_{Kasvi} -arvoihin sen sijaan liittyy enemmän epävarmuutta ja erityisesti niiden arvojen absoluuttiseen tasoon ja kasvikohtaisiin arvoihin. Kalibrointi erotteli viljojen eri toimenpidetapausten ja nurmen väliset tasoerot hyvin, mutta kokonaisuudessa näiden absoluuttinen taso perustuu kalibrointiin, jossa mahdolliset epätarkkuudet muissa RUSLE-tekijöissä voivat siirtyä kalibroittavan tekijän arvoon. Näin ollen kalibroidut C_{Kasvi} arvot voivat muuttua uudessa kalibroinnissa mittaussaineistojen tai muiden RUSLE-tekijöiden päivittyessä. C-tekijässä ei myöskään huomioitu sen riippuvuutta alueellista eroista R-tekijän jakautumisessa vuoden sisällä tai alueellisista eroista kasvien kylvössä, korjuussa ja ajallisessa kehityksessä. Alustavan Soil Loss Ratio-menetelmään (Wischmeier & Smith 1978, 1960) perustuvan arvion mukaan tämä saattaa aiheuttaa epätarkkuuksia eri alueiden välisissä eroosiovertailuissa, jotka voivat olla suuruusluokaltaan muutamasta prosentista jopa yli kymmeneen prosenttiin (Räsänen, julkaisematon). Kasvikohtaisten C_{Kasvi} -arvojen määrittelyssä haasteena on myös niiden määrittämiseen tarvittavien mittaussaineistojen puute Suomessa. C-tekijää olisikin kehitettävä siten, että se huomioisi paremmin eri kasvit, sekä erot niiden ajallisessa kehityksessä eri alueiden välillä, mikä edellyttää kasvikohtaisten C-tekijöiden tarkempaa arviointia ja näiden yleistämistä koko maan tasolle kaukokartoitusaineistoja hyödyntäen (*Kehitystarve 4*).

P-tekijässä huomiointiin salaojituksen vaikutus perustuen kerättyyn tietoon lohko-kohtaisista salaojitus suunnitelmista (Salaojituksen tukiyhdistys ry.) ja P-tekijän kirjallisuusarvoon salaojitukselle (Renard ym. 1997). Tutkimustietoa salaojituksen vaikutuksesta eroosioon ei käytännössä ole, lukuun ottamatta yhtä tutkimusta, joka tutki vanhojen salaojien uudistamisen vaikutusta (Turtola & Paajanen 1995), mikä on merkittävä puute salaojien parametrisoimiseksi P-tekijässä. Salaojituksen tarkempi huomiointi P-tekijässä edellyttäisikin uutta tutkimusta niiden vaikutuksista ja kerätyn salaojitustiedon kattavuuden ja ominaisuuksien tarkempaa arviointia (*Kehitystarve 5*).

RUSLE kalibroitiin ja sen eroosioarvioita arviointiin seitsemän koepellon mittauksia vasten. Kalibrointi ja arviointi tehtiin vasten R-tekijää, joka perustui vuosien 2007-2013 sadantatietoihin

sekä vasten yleistettyjä K- ja C-tekijän arvoja, mikä väistämättä aiheuttaa epätarkkuuksia. Koepeltojen mittausvuosia vastaavan R-tekijän, ja maaperämittauksia vastaavan K-tekijän ja paikallisen C-tekijän huomioiminen todennäköisesti parantaisi RUSLE:n eroosioarvioita suhteessa koepeltojen mittauksiin. Mallin arviointia ja validointia varten käytettyjen koepeltojen ja niiden mittausvuosien määrä oli myös pieni, mikä vaikeuttaa mallin hyvyyden arviointia. Käytetyt koepellot sijoittuvat savimaille, yhtä lukuun ottamatta, mikä on myös merkittävä puute. Eroosiomittauksiin tiedetään myös liittyvä merkittäviä epävarmuuksia, mikä on haaste mallien testaamiselle (Batista ym. 2019). RUSLE-mallia olisikin testattava yksityiskohtaisemmin ja vasten mittauksia useammalta koepelloilta ja eri maalajeilta huomioiden mittausajanjakson R-arvot (*Kehitystarve 6*).

RUSLE-malliin itsessään liittyvät epävarmuudet ovat lähtöisin mallin prosessikuvauksista ja niiden puutteista. Malli on empiirinen malli, joka kuvaa yksinkertaista eroosioon liittyviä prosesseja. Se ei myöskään huomio kaikkia prosesseja riittävän hyvin, kuten maaperän rakenne ja kosteus. RUSLE:n on todettu kuitenkin tuottavan tarkkuudeltaan samansuuntaisia tuloksia kuin muute eroosiomallit (Batista ym. 2019) ja sen vahvuutena on se, että se voidaan toteuttaa suurille alueille korkeassa resoluutiassa kohtuullisilla laskentavaatimuksilla (Räsänen ym. 2023). Koko maan kattaviin eroosioarvioihin soveltuvien mallien valikoima on suppea.

RUSLE:n eroosioarvioita tulkittaessa on tärkeä muistaa raportissa esitetyt epävarmuudet. Eroosiomallien epävarmuudet ovat yleisesti suuria ja siksi näitä malleja suositellaan käytettäväksi vertaileviin analyysihin, kuten esimerkiksi korkean eroosion alueiden tunnistamiseen tai systeemireaktio- ja skenaarioanalyysihin (Batista ym. 2019, Räsänen ym. 2024), kuten tässä raportissa on tehty. Yleisesti ottaen voidaankin sanoa, että peltomaiden absoluuttisen eroosion tasoa ei Suomessa tunneta tarkasti, mutta suuntaa antavia arvioita on. Tämän raportin maa- ja kuntakohtaisiin absoluuttisiin eroosioarvoihin, onkin suhtauduttava sopivalla varauksella ja keskityttävä näiden vertailevaan tulkintaan.

Taulukko 12. RUSLE-mallin kehitystarpeet Suomessa.

Kehitystarve	Kuvaus
Kehitystarve 1	R-tekijä olisi laskettava uudelleen pidemmällä sadanta-aikasarjalla ja sitä olisi kehitettävä talviolosuhteiden osalta koepeltojen mittausaineistoja vasten, ja erityisesti siten, että uusi aineisto ottaa huomioon erot talviolosuhteissa eri alueiden välillä
Kehitystarve 2	K-tekijän maalajikohtaisia arvoja olisi arvioitava uudelleen koko maan kattavaa käyttöä varten ja erityisesti siten, että alueelliset erot talviolosuhteissa tulisivat huomioituksi
Kehitystarve 3	LS-tekijässä on tarve huomioida peltomaiden ojaverkostot poistamalla oja-alueet LS-tekijän laskennasta käytetystä korkeusmallista.
Kehitystarve 4	C-tekijää olisi kehitettävä siten, että se huomioi paremmin eri kasvit, sekä erot niiden ajallisessa kehityksessä eri alueiden välillä, mikä edellyttää kasvikohtaisten C-tekijöiden tarkempaa arviointia ja näiden yleistämistä koko maan tasolle kaukokartoitusaineistoja hyödyntäen.
Kehitystarve 5	Salaojituksen tarkempi huomiointi P-tekijässä edellyttää uutta tutkimusta niiden vaikutuksista ja kerätyn lohkoکوhtaisten salaojitus-tiedon kattavuuden ja ominaisuuksien tarkempaa arviointia.
Kehitystarve 6	RUSLE-mallia olisi testattava nykyistä useamman koepellon mittauksia vasten eri maalajeilla huomioiden mittausajanjaksojen R-arvot.

4. Johtopäätökset

Tämä raportti tarjoaa kattavan arvioinnin peltomaiden vesieroosiosta Suomessa hyödyntäen RUSLE-eroosiomallia sekä vuoden 2023 kasvi- ja toimenpidetietoja. Työn tulokset vahvistavat talviaikaisen kasvipeitteen keskeisen roolin eroosion vähentämisessä ja avaavat uusia näkökulmia maatalouden toimenpiteiden kohdentamisen sekä vesistökuormituksen hallinnan kehittämiseksi.

Työssä tuotettu kuntakohtainen arvio eroosiosta ($120\text{--}1\,760\text{ kg ha}^{-1}$ vuodessa) korostaa peltomaiden vesieroosion merkitystä erityisesti alueilla, joissa maaston pinnanmuodot ja maalajit altistavat eroosiolle. Vaikka eroosio on Suomessa vähäisempää kuin monissa muissa Euroopan maissa, raportti tuo esiin maan erityisolosuhteet, kuten ojitusjärjestelmien merkityksen kiintoaineen kulkeutumisessa vesistöihin. Tämän ymmärryksen syventäminen on tärkeää paitsi maatalouden kestävyuden myös vesiekosysteemien tilan parantamiseksi.

Talviaikaisen kasvipeitteen merkittävä eroosiota vähentävä vaikutus (50 % maanlaajuisesti) osoittaa sen potentiaalisen osana maatalouden ympäristötukijärjestelmää. Kuitenkin kuntatason vaihtelu (18–70 %) osoittaa, että kasvipeitteisyyden toteutuksessa on epätasaisuutta. Tämä viittaa siihen, että toimenpiteiden tehokkuutta voitaisiin parantaa huomioimalla paremmin alueelliset erityispiirteet, kuten korkean eroosion alueet ja eroosiolle alttiit maalajit. Raportti osoittaa myös, että nykyiset talviaikaiset kasvipeitteet eivät ole kohdistuneet erityisesti korkean eroosion alueille. Tämä heikentää toimenpiteiden vaikuttavuutta ja korostaa kohdentamisen kehittämisen tarvetta.

RUSLE-malli osoittautui toimivaksi työkaluksi koko maan kattavan eroosioarvion tuottamisessa. Raportti tuo kuitenkin esiin mallin parametrisoinnissa esiintyviä epävarmuuksia, jotka rajoittavat sen tarkkuutta. Raportin absoluuttisiin eroosioarvioihin liittyy epävarmuutta, ja tuloksia tulisikin tulkita ensisijaisesti suhteellisesti, esimerkiksi alueiden tai kasvipeitteiden välillä. Tämä korostaa pitkäjänteisen kehitystyön tarvetta, kuten alueellisesti ja ajallisesti vaihtelevien sadannan, talviolosuhteiden ja viljelytoimenpiteiden tarkempaa huomioimista. Lisäksi tarvitaan tarkempaa ja laajempaa mallin kalibrointia mittausaineistoihin perustuen.

Raportti korostaa, että vesistökuormituksen hallintaa tulee tarkastella kokonaisvaltaisesti yhdistämällä talviaikainen kasvipeite muihin toimenpiteisiin, kuten kosteikoihin ja maaperän parannukseen, jotka yhdessä vähentävät tehokkaasti sekä eroosiota että ravinnekuormitusta. Jatkotutkimuksissa tulisi selvittää erilaisten kasvipeitteiden lisäämisen mahdolliset haittavaikutukset, kuten liukoisen fosforin huuhtoutuminen, ja kehittää ratkaisuja, jotka vähentävät samanaikaisesti kiintoaine- ja ravinnekuormaa. Toimenpiteitä olisi myös pyrittävä kohdentamaan erityisesti alueille, joilla vesistökuormitus heikentää merkittävästi vesien laatua ja ekologista tilaa.

Yhteenvetona voidaan todeta, että tulokset vahvistavat talviaikaisen kasvipeitteen merkityksen osana maatalouden ympäristötukipolitiikkaa, mutta osoittavat samalla, että nykyisiä toimenpiteitä voidaan kehittää niiden vaikuttavuuden ja kustannustehokkuuden parantamiseksi. Tulokset tarjoavat uusia suuntaviivoja toimenpiteiden kohdentamisen ja kehittämisen tueksi. Työ osoittaa matemaattisten mallien arvon käytännön päätöksenteossa ja ympäristövaikutusten arvioinnissa. Näiden pohjalta voidaan edistää maatalouden ympäristövaikutusten hallintaa, joka huomioi alueelliset erityispiirteet ja tukee kestävästä kehitystä.

Kiitokset

Raportti ja sen työ tehtiin osana maatalouden ympäristöseurantaan, ja sen rahoitti Maa- ja metsätalousministeriö. RUSLE-mallinnuksessa käytetty koko maan kattava salaoja-aineisto saatiin Salaojayhdistys ry:ltä.

Viitteet

- Äijö, H., Numminen, J., Myllys, M., Sikkilä, M., Salo, H., Paasonen-Kivekäs, M., Turunen, M., Koivusalo, H., Alakukku, L. & Puustinen, M. 2018. Toimivat salaojitusmenetelmät kasvin-tuotannossa (Feasible subsurface drainage methods in crop production) (TOSKA). The Field Drainage Research Association, Helsinki.
- Batista, P.V.G., Davies, J., Silva, M.L.N. & Quinton, J.N. 2019. On the evaluation of soil erosion models: Are we doing enough? *Earth-Science Reviews* 197: 102898. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102898>
- Bengtsson, L., Seuna, P., Lepistö, A. & Saxena, R.K. 1992. Particle movement of melt water in a subdrained agricultural basin. *Journal of Hydrology* 135: 383–398. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(92\)90097-F](https://doi.org/10.1016/0022-1694(92)90097-F)
- Bilotta, G.S. & Brazier, R.E. 2008. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research* 42: 2849–2861. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.03.018>
- Borrelli, P., Alewell, C., Alvarez, P., Anache, J.A.A., Baartman, J., Ballabio, C., Bezak, N., Biddoccu, M., Cerdà, A., Chalise, D., Chen, S., Chen, W., De Girolamo, A.M., Gessesse, G.D., Demlich, D., Diodato, N., Efthimiou, N., Erpul, G., Fiener, P., Freppaz, M., Gentile, F., Gericke, A., Haregeweyn, N., Hu, B., Jeanneau, A., Kaffas, K., Kiani-Harchegani, M., Villuendas, I.L., Li, C., Lombardo, L., López-Vicente, M., Lucas-Borja, M.E., Märker, M., Matthews, F., Miao, C., Mikoš, M., Modugno, S., Möller, M., Naipal, V., Nearing, M., Owusu, S., Panday, D., Patault, E., Patriche, C.V., Poggio, L., Portes, R., Quijano, L., Rahdari, M.R., Renima, M., Ricci, G.F., Rodrigo-Comino, J., Saia, S., Samani, A.N., Schil-laci, C., Syrris, V., Kim, H.S., Spinola, D.N., Oliveira, P.T., Teng, H., Thapa, R., Vantas, K., Vieira, D., Yang, J.E., Yin, S., Zema, D.A., Zhao, G. & Panagos, P. 2021. Soil erosion modelling: A global review and statistical analysis. *Science of the Total Environment* 780: 146494. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146494>
- Desmet, P.J.J., Govers, G., 1996. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation* 51: 427–433.
- EU 2022. FI - Suomen CAP-suunnitelma 2023-2027. <https://maaseutu.fi/wp-content/uploads/2023/01/Suomen-viimeistely-CAP-suunnitelma-2023-2027-1.pdf>
- Finnish Environment Institute 2019. Sediment and nutrient loading to surface waters in 3 different scales [WWW Document]. Finn. Environ. Inst. SYKE. <https://metasiirto.ymparisto.fi:8443/geoportal/catalog/search/resource/details.page?uuid=%-7B15893DD0-0193-40AD-9E21-452D271DB791%7D>. (accessed 1.25.21)
- Foster, I.D.L., Chapman, A.S., Hodgkinson, R.M., Jones, A.R., Lees, J.A., Turner, S.E. & Scott, M. 2003. Changing suspended sediment and particulate phosphorus loads and pathways in underdrained lowland agricultural catchments; Herefordshire and Worcestershire, U.K. *Interact. Sediments Water* 119–126. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3366-3_17

- Honkanen, H., Turtola, E., Lemola, R., Heikkinen, J., Nuutinen, V., Uusitalo, R., Kaseva, J. & Regina, K. 2021. Response of boreal clay soil properties and erosion to ten years of no-till management. *Soil and Tillage Research* 212: 105043. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105043>
- Koskiahho, J. & Puustinen, M. 2019. Suspended solids and nutrient retention in two constructed wetlands as determined from continuous data recorded with sensors. *Ecological engineering* 137: 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.04.006>
- Kukkonen, M., Niinioja, R. & Puustinen, M. 2004. Viljelykäytäntöjen vaikutus ravinnehuuhtoutumisiin Liperin koekentällä Pohjois-Karjalassa. Abstract: Leaching of nutrients under different cultivation in the Liperi test field in North Karelia, Finland., *Alueelliset ympäristöjulkaisut* 367. Pohjois-Karjalan ympäristökeskus, Joensuu, Finland.
- Lilja, H., Hyväluoma, J., Puustinen, M., Uusi-Kämppe, J. & Turtola, E. 2017a. Evaluation of RUSLE2015 erosion model for boreal conditions. *Geoderma Regional* 10: 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.05.003>
- Lilja, H., Puustinen, M., Turtola, E., ja Hyväluoma, J. 2017. Suomen peltojen karttapohjainen eroosioluokitus: Valtakunnallisen kattavuuden saavuttaminen ja WMS-palvelu. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 42/2017. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 34 s.
- Lilja, H., Uusitalo, R., Yli-Halla, M., Nevalainen, R., Väänänen, R., Tamminen, P., Tuhtar, J., 2017c. Suomen maannostietokanta: Käyttöopas versio 1.1 (Finnish Soil Database: Manual, version 1.1) (No. 6), *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus*. Luonnonvarakeskus (LUKE) (Natural Resources Institute Finland).
- MML 2020. Elevation model 2 m | Maanmittauslaitos [WWW Document]. URL <https://www.maanmittauslaitos.fi/en/maps-and-spatial-data/expert-users/product-descriptions/elevation-model-2-m> (accessed 6.9.20).
- Montgomery, D.R. 2007. Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104: 13268–13272. <https://doi.org/10.1073/pnas.0611508104>
- Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rouseva, S., Tadić, M.P., Michaelides, S., Hrabalíková, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M., Rymaszewicz, A., Dumitrescu, A., Beguería, S. & Alewell, C. 2015a. Rainfall erosivity in Europe *Science of the Total Environment* 511: 801–814. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.008>
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E. & Montanarella, L. 2015b. Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land Use Policy* 48: 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.021>
- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L. & Alewell, C. 2015c. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy* 54: 438–447. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.012>

- Puustinen, M., Koskiaho, J. & Peltonen, K. 2005. Influence of cultivation methods on suspended solids and phosphorus concentrations in surface runoff on clayey sloped fields in boreal climate. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 105: 565–579. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.08.005>
- 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>
- Quinn, P., Beven, K., Chevallier, P. & Planchon, O. 1991. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models. *Hydrological Processes* 5: 59–79. <https://doi.org/10.1002/hyp.3360050106>
- Räsänen, T.A., Tähtikarhu, M. & Hyväluoma, J. 2024. Exploring the RUSLE-based structural sediment connectivity approach for agricultural erosion management. *CATENA* 246: 108420. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108420>
- Räsänen, T.A., Tähtikarhu, M., Uusi-Kämppe, J., Piirainen, S. & Turtola, E. 2023. Evaluation of RUSLE and spatial assessment of agricultural soil erosion in Finland. *Geoderma Regional* 32: e00610. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00610>
- Rekolainen, S. & Posch, M. 1993. Adapting the CREAMS Model for Finnish Conditions. *Hydrology Research* 24: 309–322. <https://doi.org/10.2166/nh.1993.10>
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K. & Yoder, D.C. 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Agriculture Handbook* 703. United States Department of Agriculture. Washington DC. Pp 404.
- Ruokavirasto 2023a. Syysilmoitus 2023. <https://www.ruokavirasto.fi/tuet/maatalous/op-paat/hakuoppaat/hakuoppaat/syysilmoitus/syysilmoitus-2023/>
- Ruokavirasto 2023b. Paikkatietoa sisältävä kasvulohko 2023. <https://www.ruokavirasto.fi/tieto-meista/julkaistut-tietoaineistot/paikkatietoaineistot/>
- Ruokavirasto 2023c. Kasvipeite 2023. <https://www.ruokavirasto.fi/tuet/maatalous/op-paat/hakuoppaat/hakuoppaat/syysilmoitus/syysilmoitus-2023/>
- Ruokavirasto 2019. Maatalousmaa 2019. <https://www.ruokavirasto.fi/tieto-meista/julkaistut-tietoaineistot/paikkatietoaineistot/>
- Turtola, E., Alakukku, L. & Uusitalo, R. 2007. Surface runoff, subsurface drainflow and soil erosion as affected by tillage in a clayey Finnish soil. *Agricultural and Food Science* 16: 332–351. <https://doi.org/10.2137/145960607784125429>
- Turtola, E. & Kempainen, E. 1998. Nitrogen and phosphorous losses in surface runoff and drainage water after application of slurry and mineral fertilizer to perennial grass ley. *Agricultural and Food Science* 7(5-6) 569–581. <https://doi.org/10.23986/afsci.5614>

- Turtola, E. & Paajanen, A. 1995. Influence of improved subsurface drainage on phosphorus losses and nitrogen leaching from a heavy clay soil. *Agricultural Water Management* 28: 295–310. [https://doi.org/10.1016/0378-3774\(95\)01180-3](https://doi.org/10.1016/0378-3774(95)01180-3)
- Turunen, M., Warsta, L., Paasonen-Kivekäs, M. & Koivusalo, H. 2017. Computational assessment of sediment balance and suspended sediment transport pathways in subsurface drained clayey soils. *Soil and Tillage Research* 174: 58–69. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.06.002>
- Ulén, B., Bechmann, M., Øygarden, L. & Kyllmar, K. 2012. Soil erosion in Nordic countries – future challenges and research needs. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B — Soil & Plant Science* 62(2): 176–184. <https://doi.org/10.1080/09064710.2012.712862>
- Uusitalo, R., Turtola, E., Kauppila, T. & Lilja, T. 2001. Particulate Phosphorus and Sediment in Surface Runoff and Drainflow from Clayey Soils. *Journal of Environmental Quality* 30: 589–595. <https://doi.org/10.2134/jeq2001.302589x>
- Wall, G.J., Coote, D.R., Pringle, E.A. & Shelton, I.J. 2002. RUSLEFAC — Revised Universal Soil Loss Equation for Application in Canada: A Handbook for Estimating Soil Loss from Water Erosion in Canada (No. Contribution No. AAFC/AAC2244E). Research Branch, Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa.
- Wen, X., Zhen, L., Jiang, Q. & Xiao, Y. 2023. A global review of the development and application of soil erosion control techniques. *Environmental Research Letters* 18: 033003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acbaac>
- Wischmeier, W. & Smith, D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. *Agriculture Handbook No 537*. United States Department of Agriculture. Washington DC
- Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. 1960. A universal soil-loss equation to guide conservation farm planning. *Transactions 7th International Congress of Soil Science*: 418–425.



**Löydät meidät
verkosta**

luke.fi



Luonnonvarakeskus (Luke) Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki