



Luonnonvara- ja
biotalouden
tutkimus 42/2017

Suomen peltojen karttapohjainen eroosio- luokitus: Valtakunnallisen kattavuuden saavuttaminen ja WMS-palvelu

Harri Lilja, Markku Puustinen, Eila Turtola ja Jari Hyväluoma

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 42/2017

Suomen peltojen karttapohjainen eroosioluokitus: Valtakunnallisen kattavuuden saavuttaminen ja WMS-palvelu

Harri Lilja, Markku Puustinen, Eila Turtola ja Jari Hyväluoma

Luonnonvarakeskus, Helsinki 2017



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.

ISBN: 978-952-326-430-4 (Painettu)

ISBN: 978-952-326-431-1 (Verkkójulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkójulkaisu)

URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-431-1>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Harri Lilja, Markku Puustinen, Eila Turtola ja Jari Hyväluoma

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2017

Julkaisuvuosi: 2017

Kannen kuva: Jari Hyväluoma

Painopaikka ja julkaisumyynti: Juvenes Print, <http://luke.juvenesprint.fi>

Tiivistelmä

Harri Lilja¹, Markku Puustinen², Eila Turtola¹ ja Jari Hyväluoma¹

¹Luonnonvarakeskus (Luke), Humppilantie 14, 31600 Jokioinen

²Suomen ympäristökeskus Syke, Mechelininkatu 34a, 00260 Helsinki

Erosio on merkittävä maatalouden fosforikuormituksen aiheuttaja, ja peltojen eroosioriskin kehittyminen on yksi maatalouden kansainvälisistä ympäristöindikaattoreista. Maatalouden ympäristötoimenpiteiden suuntaamiseksi peltojen eroosioriskin arviointi on tärkeää ja peltolohkot, ja jopa niiden osat, on kyettävä luokittelemaan eroosioriskin suhteen. Tämän tutkimushankkeen tavoitteena oli tuottaa valtakunnallisesti kattava järjestelmä Mapero hankkeessa (2010-2013) kehitetylle kartta-pohjaiselle RUSLE -mallille. Jotta mallia ja siihen perustuvia palveluja voitaisiin jatkossa hyödyntää neuvonnassa ja mahdollisesti tukipolitiikassa, on tasapuolisuuden vuoksi välttämätöntä saavuttaa koko maan kattavuus.

Maanmittauslaitoksen suunnitelmien mukaan laserkeilausaineistopohjainen 2m:n erotuskyvyn korkeusmalli kattaisi koko Suomen vuonna 2019. Mapero 2 -hankkeessa kehitettiin tuotantojärjestelmä, jonka avulla tarkkaan korkeusmalliin pohjautuvat eroosioherkkyysskartat voidaan luoda koko Suomen alueelle tehokkaasti. Uusi suurteholaskentatekniikka myös mahdollistaa mallin nopean päivittämisen tarvittaessa ja mahdollisimman suuren automaation. Järjestelmän laskentaperiaatteet on kuvattu tieteellisessä julkaisussa.

Karttojen kvalitatiivinen tarkkuus (ts. suhteellisen eroosioriskin esiintyminen) on arvioitu hyväksi niin koekentiltä saatujen tulosten kuin viljelijöidenkin antaman palautteen perusteella. Kvantitatiivinen tarkkuus (t/ha/v) sen sijaan ei ole ollut yhtä hyvä. Euroopan komission yhteinen tutkimuskeskus (JRC) julkaisi vuonna 2015 Euroopan oloihin säädetyn RUSLE2015 – mallin, jonka käyttöönotto paransi kvantitatiivista tarkkuutta verrattuna RUSLE-malliin. Hankkeen aikana laaditussa julkaisussa ”Evaluation of RUSLE2015 erosion model for boreal conditions” arvioitiin RUSLE2015 mallia kuudella suomalaisella koekentällä (Geoderma Regional lehti). Tuotetut kartat ovat nyt RUSLE2015-mallin mukaisia ja näin yhteensopivia EU:n laajuisten karttojen kanssa.

Hankkeessa valmistuva kartta-aineisto annetaan vapaasti hyödynnettäväksi Luonnonvarakeskuksen tulevan WMS - katselupalvelun kautta, mutta peltolohkoon liittyvä ominaisuustieto, t/ha/v ja sen avulla laaditut luokitukset voidaan tarvittaessa antaa vain viljelijöiden ja neuvojen käyttöön esim. Vipu-palvelun kautta. Uusi malli soveltuu käytettäväksi yksittäisillä maatiloilla ja vesiensuojelun kannalta kriittisillä valuma-alueilla kohdentamaan toimenpiteitä kustannustehokkaasti.

Asiasanat: eroosio, indikaattori, peruslohko, laserkeilaus, RUSLE2015, suurteholaskenta

Abstract

Erosion is a major source of agricultural phosphorus loading, and the development of erosion risk is one of the international agri-environmental indicators. Therefore it is important to direct agri-environmental measures for fields under greatest erosion risk. Field blocks (even parts them), must be able to be classified by erosion risk. The goal of this project was to produce a nationwide system for efficient erosion map production based on RUSLE2015-model. To get the model, maps and services equally available for users the full coverage of the country must be achieved.

According to National land Survey of Finland the Lidar-based Digital Elevation Model will cover the whole country in 2019. In this project we developed production system that allows effective creation of erosion sensitivity maps for Finland by using these high resolution DEMs. The new high-performance computing technology also enables quick updating of the model and, if necessary, the maximum automation. The principle of high-performance computing is described in the scientific journal.

Farmers estimated the qualitative accuracy of maps (the relative risk of occurrence of erosion) to be good in several projects. Quantitative accuracy (t / ha / y) has not been as good. Previous attempts to apply USLE type of models in the boreal conditions has been difficult. The European Commission's Joint Research Centre (JRC) recently published RUSLE2015 model, which has been adjusted to European conditions. The model can be considered scientifically controversial because the assessments have not been based on model simulation or field survey.

We evaluated and adjusted RUSLE2015 for boreal conditions using best available data sources (Evaluation of RUSLE2015 erosion model for boreal conditions, Geoderma Regional). After some adjustments the model has potential to produce results within tolerance on most of the experimental plots. It succeeded to pass $\pm 50\%$ criteria in 74% of cases on field level having controversial and failed results on bare soils treatments (cereals with normal tillage) and continuous bare soil (e.g. fallow). It must be noticed that the original RUSLE was developed by extensive field work in the US with big amount of similar replicates (standart plots). Our fields and plots are hardly comparable to the US, because they are so various. We also have short time series compared to the original USLE-measuments.

More studies of all factors are necessary: R-factor could be evaluated using disdrometer and weather radar data. As the low R-factor does not necessary mean the low soil erosion, we should better understand other than splash dominated erosion mechanisms. Testing and developing new resolution independent flow accumulation algorithms for the LS is desired. The K-factor of differently managed soils ought to be studied as well as the C-factor with remote sensing methods (e.g. drones) concentrating on bare soil freezing-thawing. We also have limited knowledge of the P-factor values of grass strips on various slopes and subsurface drainage systems as a whole.

Alkusanat

Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksessa (MTT) ja Suomen Ympäristökeskuksessa (SYKE) käynnistettiin v.2010 hanke ” Suomen peltojen karttapohjainen eroosioluokitus”, Mapero. Hankkeen tarkoituksena oli tuottaa kahden metrin erotuskyvyn eroosiokartat mahdollisimman suurelle osalle valtakunnan peruslohkoja ja kehittää karttojen jakelujärjestelmää käyttäjille. Eroosiokarttojen laske- misessa käytettiin RUSLE-eroosiomallia ja uutena lähteenä laserkeilausaineistoa. Mapero- projektissa saavutettiin noin 80 prosentin kattavuus vuoden 2013 loppuun mennessä (2051015 ha:n osuus kaikkiaan 2455323 ha:sta). Laskennassa käytettiin vuoden 2011 peltolohkotietoja. Karttojen kvalitatiivinen tarkkuus (ts. suhteellisen eroosioriskin esiintyminen) arvioitiin hyväksi niin koekenttien tuloksiin vertaamalla kuin viljelijöidenkin antaman palautteen perusteella. Kvantitatiivinen tarkkuus (t/ha/v) sen sijaan ei ollut yhtä hyvä. Viljelijät arvioivat karttoja useissa projekteissa ja näiden pohjal- ta karttojen jakelutapaa ja ulkoasua kehitettiin WMS (suorakatselu) –palveluksi.

Projektin aikana kehitettiin Åbo Akademin tietojenkäsittelytieteiden laitoksen diplomityössä menetelmä, jossa RUSLE-malli toteutettiin OpenCL-ohjelmointikielellä. Tämä mahdollisti mallin no- pean laskemisen tehotyöasemassa, jossa on tehokas grafiikkaprosessori. Yhden UMT25-karttalehden laskemiseen kului aikaa tehotyöasemalla alle yksi sekunti. Hankkeen aikana saatiin uutta tietoa suo- malaisten savimaiden eroosioherkkyydestä maannosuokituksen kautta. Savimaamme tulee luokitella entisen Cambisol-luokan sijasta Stagnosol-luokkaan, joka nostaa niiden eroosioherkyyttä. Luokituksen muutos otettiin huomioon arvioitaessa mallia koekentillä.

Vuonna 2013 jatkaneessa Mapero2 hankkeessa keskityttiin mallin laskennan kehittämiseen suur- teholaskennan keinoin (usean grafiikkalaitteen hyödyntäminen) sekä mallin kvantitatiivisen tarkkuu- den parantamiseen. Jatkohankkeen aikana EU:n yhteistutkimuskeskuksessa JRC:ssa kehitettiin eu- rooppalainen RUSLE2015-malli, jota alettiin heti hyödyntää projektissa ja säättää tarvittavilta osin (maanpeitetekijä) Suomen boreaalisiin olosuhteisiin sopivaksi. Hankkeen aikana saatiin valmiiksi suurteholaskentaa hyödyntävä eroosiokarttojen tuotantojärjestelmä RUSLE2015-malliin perustuen, jonka avulla kartat tuotettiin vuoden 2016 laserkeilatun aineiston mukaisessa kattavuudessa 2m:n erotuskyvyllä ja koko maahan 25 m:n erotuskyvyllä. Hanke paransi oleellisesti maamme valmiuksia arvioida eroosiota maatalouspolitiikan indikaattorina. Malli pystyy hyödyntämään sekä kotimaisia että EU:n tasoisia tietoaaineistoja, perustuu Eurooppalaiseen RUSLE2015-malliin ja on nopeasti päivi- tettävissä suurteholaskentatekniikan ansiosta. Karttojen jakelu käyttäjille voidaan hoitaa WMS- katselupalvelun avulla.

MTT (Luke) koordinoi hanketta ja laati eroosiokartat ja niiden tuotantojärjestelmän. Syke osallis- tui karttojen kvantitatiivisen tarkkuuden parantamiseen mm. koekenttäaineistoja analysoimalla sekä tekemällä yleisarviota Suomen peltojen eroosioherkkyydestä. Tämän raportin kirjoittajien lisäksi työhön osallistuivat Åbo Akademiassa lopputyönsä hankkeessa tehneet opiskelijat Johan Sten ja Johan Grönroos sekä heidän ohjaajansa Professori Jan Westerholm ja lehtori Mats Aspäs. Heidän panok- sensa suurteholaskennan kehittämisessä oli keskeinen.

Hankkeen ohjausryhmässä toimivat: Sini Wallenius (MMM, PJ), Timo Tarvainen (GTK), Pasi Matti- la (LUKE), Eero Pehkonen (MMM) ja Juha Oksanen (MML).

Kirjoittajat esittävät parhaat kiitoksensa kaikille hankkeeseen osallistuneille ja sen toimintaa tukeneil- le henkilöille ja organisaatioille.

Jokioisilla ja Helsingissä 2017

Kirjoittajat

Sisällys

1. Johdanto	7
2. Tutkimusalueet	8
3. Aineisto ja menetelmät	9
3.1 Korkeusmallit	9
3.2 Koekentät.....	9
3.3 Rusle2015 eroosiomallit 25 m:n ja 2 m:n erotuskyvyllä	10
3.5.1. Sadetekijä (R)	10
3.5.2. Maaperätekijä (K).....	10
3.5.3. Pinnanmuototekijä, LS	11
3.5.4. Maanpeitetekijä, C.....	11
3.5.5. Ihmisen toimet eroosion estämiseksi, P	13
3.4 VIHMA-malli RUSLE2015:n referenssinä.....	14
3.5 RUSLE 2015 laskentajärjestelmä (kahden metrin malli)	17
3.6 Aluelaskelmista	19
3.7 WMS-palvelusta	19
4 Tulokset	20
4.1 Peltojen vesierosio ja valtakunnallinen eroosioindikaattori.....	20
4.2 Eroosioherkimmät kunnat ja kohdentamisalueet	20
4.3 Mallin tekijöiden arviointia koealueella.....	23
4.4 Tulokset kuudelta koekentältä 2m:n mallilla.....	29
4.5 Mallin rajoitteet ja kehittämismahdollisuudet	30
5 Johtopäätökset ja yhteenveto	32

1. Johdanto

Eroosion mukana kulkeutuu suuri osa maataloudesta vesistöihin päätyvästä fosforikuormasta. Eniten eroosiota tapahtuu kasvukauden ulkopuolella, sateiden ja lumen sulamisen aikoihin. Maatalouden ympäristötuen toimenpiteet ovat toistaiseksi vähentäneet fosforikuormitusta toivottua hitaammin (Ekholm ym. 2007), ja ilmastonmuutoksen myötä lämpenevät talvikaudet asettavat tulevaisuudessa entistä suurempia haasteita eroosiontorjunnalle (Puustinen ym. 2007). Eroosiontorjuntatoimet, kuten kasvipeitteisyys, suojavyöhykkeet ja kosteikot voisivat olla nykyistä tehokkaampia, jos toimenpiteet toteutettaisiin ja kohdennettaisiin optimaalisesti suhteessa peltolohkojen eroosioriskiin.

Suomesta on puuttunut paikkatietopohjainen menetelmä ennustaa eroosioriskiä erilaisilla pelloilla tai ennakoida sen muutosta esimerkiksi maatalouden ympäristötuen toimenpiteiden seurauksena. Kuitenkin Suomen on tuotettava eroosioriskin kehittymisestä tietoa EU:n tasolle yhtenä ympäristön tilaa osoittavana indikaattorina (yhteisen maatalouspolitiikan (CAP) vaikuttavuusindikaattori). [Indikaattorin](#) avulla pyritään arvioimaan vesieroosion riskiä ja seuraamaan eroosiota ehkäisevien toimenpiteiden vaikutuksia. Laskentamallista (RUSLE2015) saadaan riskiarvio eroosiolle (tonnia/hehtaari/vuosi) tietyllä alueella (kunta, peltolohko tai lohkon osa).

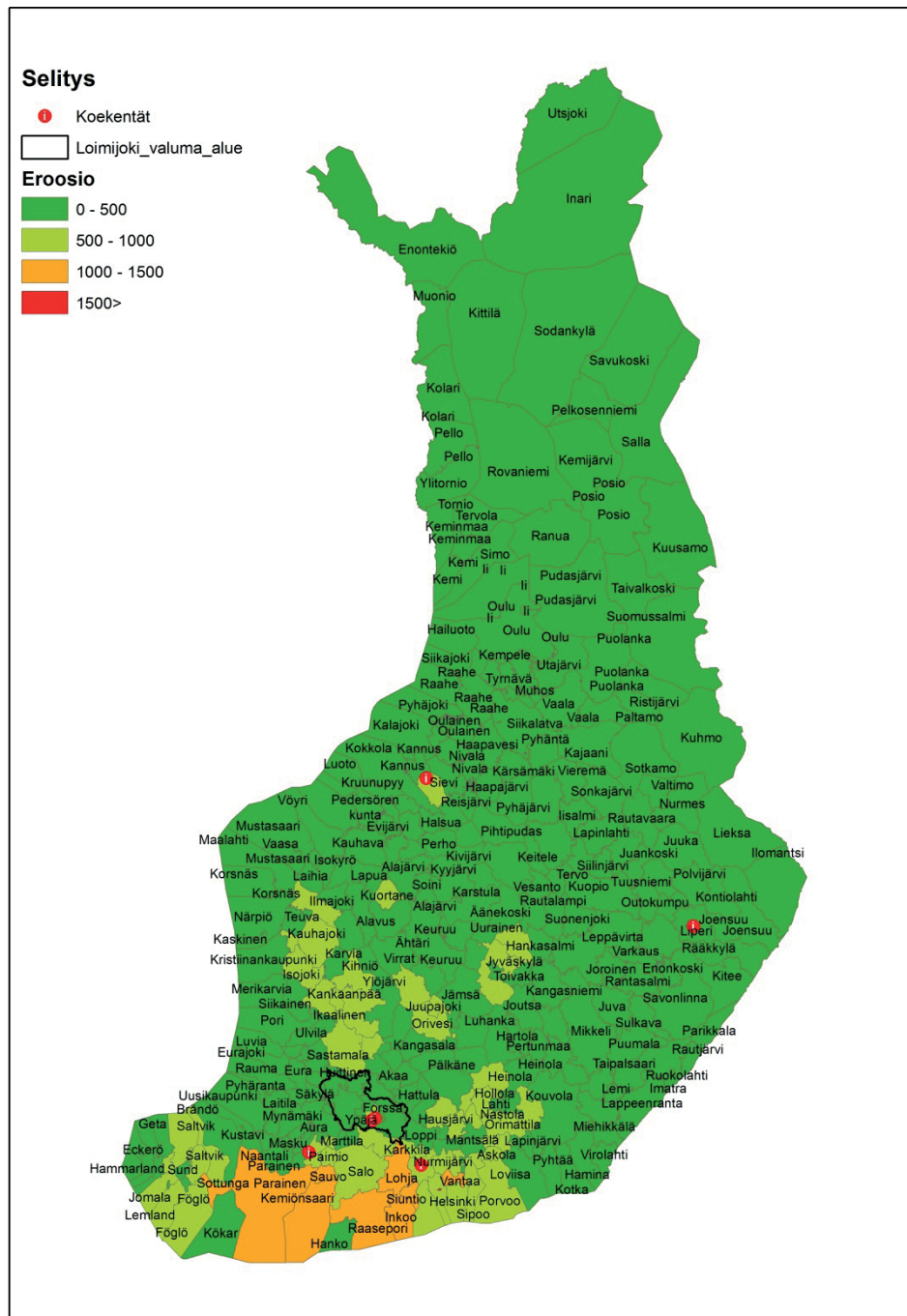
Renard ym. (1997) mukaan RUSLE malli toimii parhaiten, kun vuotuinen eroosio vaihtelee välillä 7 ja 45 t/ha/v (tarkkuus $\pm 25\%$). Tarkkuus on heikompi ($\pm 50\%$) kun eroosiota on alle 2 t/ha/v. Euroopan komission yhteisen tutkimuskeskuksen (JRC) julkaisema Euroopan oloihin säädetty RUSLE2015 – malli (Panagos ym. 2015) arvioi Suomen maatalousmaiden keskimääräiseksi eroosioksi 0,460 t/ha/v, joka on EU-maiden alhaisin. VIHMA-työkalun (Puustinen ym. 2010) mukaan keskimääräinen eroosio oli 0,485 t/ha/v, kun laskennassa otetaan huomioon vuoden 2010 pellon viljelykäyttötiedot ja ympäristötoimenpiteet (julkaisematon tieto). Mansikkaniemi (1982) arvioi eroosion olevan Suomessa enintään 7 t/ha/v peruslohkoilta mitattuna. Kansainvälisesti kriittisenä rajana maaperän tuottavuuden kannalta pidetään 1 t/ha/v, mikä vastaa noin yhtä senttimetriä hehtaarilla vuosisadassa (DIRT-Montgomery, p 172)

Pohjoiset olosuhteet olivat vaikeat RUSLE mallien edeltäjälle USLE:lle. Mallin kvantitatiivinen tarkkuus oli Luoteis-USA:ssa (Oregon, Washington) huonompi kuin muualla yhdysvalloissa (McCool ym., 1976; McCool ja George, 1983; Zuzel ym., 1982a). McCool ja George (1983) huomasivat, että harvinaiset ilmasto- ja maantieteelliset olosuhteet yhdistettynä puutteelliseen (mittaus) tietoon aiheuttivat ongelmia kaikkiin USLE-mallin tekijöihin ja täten laskentatuloksiin. Suomessa USLE-pohjainen Icecream malli yliarvioi suuresti eroosion määrää suhteellisen jyrkällä (7-8 %) savisella rinteellä (Tattari ym., 2001). RUSLE2015 malli osoitti edeltäjiään parempaa tarkkuutta hankkeen tutkimuksissa ja verrattaessa tuloksia mitattuihin arvoihin kuudella eri koekentällä saavutettiin kohtuullisia tuloksia (Lilja ym., 2017).

Tässä hankkeessa laadittiin kaksi RUSLE2015 mallin mukaista laskentahilaa 25 m:n ja 2m:n erotuskyyvällä. Karkeampaa mallia käytettiin koko maan kuntakohtaisten eroosiolukujen laskemiseen ja tarkempaa eroosioherkempien alueiden peruslohkojen analyysiin.

2. Tutkimusalueet

Tutkimusalueeseen kuului koko Suomi (25 m:n hila). Eroosiota arvioitiin tarkemmalla 2m:n hilalla Uudenmaan ja Varsinais-Suomen maakunnan seitsämän eroosioherkimmän kunnan (Sauvo, Siuntio, Parainen, Inkoo, Raasepori, Lohja ja Vantaa) alueella. Lisäksi mukaan otettiin Etelä-Pohjanmaalta Kauhajoki ja Loimijoen valuma-alue (Satakunta, Kantahäme, Varsinais-Suomi, Pirkanmaa). Kahden metrin mallin suoriutumista arvioitiin myös kuudella pitkäaikaisella koekentällä.



Kuva 1. Tutkimusalueet ja kunnittainen eroosioherkkyys laskettuna 25 m:n RUSLE 2015 mallilla sekä koekenttien sijainti

3. Aineisto ja menetelmät

Tässä osiossa kuvaillaan RUSLE2015 mallit 25 m:n ja 2 m:n erotuskvyyllä ja niiden avulla tuotetut laskelmat sekä karttojen tuotantojärjestelmä. Yksityiskohtaisempia tietoja saa laadituista julkaisuista ja opinnäytetöistä. Laskentamenetelmästä on kirjoitettu kaksi opinnäytetyötä Åbo Akademiassa (Sten 2015) ja (Grönroos 2016) sekä tieteellinen julkaisu (Sten ym. 2016). Mallin kvantitatiivisesta tarkkuudesta (Lilja ym.2017).

3.1 Korkeusmallit

Korkeusmallia (DEM) tarvitaan RUSLE2015 mallissa rinteiden pituuden ja jyrkkyyden ja sitä kautta pinnanmuototekijän (LS) laskemiseen. Suomessa on käytössä kolme korkeusmallia: 25 m:n, 10 m:n ja 2 m:n korkeusmallit. Lisäksi on saatavilla Euroopan laajuinen EU-DEM. 25 m:n ja 10 m:n kotimaiset korkeusmallit perustuvat peruskartoituksen korkeuskäyräaineistoon, kun taas 2 m:n malli on tuotettu laserkeilaamalla ja 25 m:n EU-DEM satelliittiaineistosta (SRTM ja ASTER GDEM). Kahden metrin malli kattaa maanmittauslaitoksen arvion mukaan koko Suomen v.2019, jolloin 25 m ja 10 m jäänevät pois käytöstä. Tässä tutkimuksessa on käytetty EU-DEM korkeusmallia 25 m:n RUSLE2015-mallissa ja 2 m:n RUSLE2015:ssa laserkeilauspohjaista korkeusmallia. VIHMA-malliin sovellettaessa tarkastelualueen kaltevuusjakaumat perustuvat kotimaiseen 25 m:n korkeusmalliin.

Vaikka 10 m:n korkeusmallia käytetään esim. Vipu järjestelmän tausta-aineistona kaltevuusarvioinnissa, aineiston laadulliset puutteet ovat silti huomattavat ja siksi sen käytöstä luovuttiin tutkimuksessa.

3.2 Koekentät

Kahden metrin RUSLE2015 mallia kokeiltiin kuudella eri koekentällä, joiden tarkka sijainti ja ominaisuudet on esitetty taulukossa 1. Neljä kuudesta kentästä on edelleen aktiivisia. Pintavalunta on mitattu kaikilla kentillä ja salaojavaluntaa muilla paitsi Aurajoen kentällä. Kaltevuus on mitattu 2m:n korkeusmallista koko kentän keskiarvona.

Taulukko 1. Koekenttien ominaisuudet ja tarkat sijainnit (Google-karttalinkit)

Kentän nimi	Kaltevuus	Maannos (WRB2014)/pääajite	Tekniset tiedot	Kenttä käytössä
Kotkanoja	2.60 %	Stagnosol / savi	4 ruutua, 33m x 132 m, salaojitus	1975-
Lintupaju	6.81 %	Stagnosol / savi	6 ruutua, 18 m x 70 m, pysyvät suojavyöhykkeet, salaojitus	1991-
Aurajoki	7.01 %	Stagnosol / savi	12 ruutua, 18 x 51m, pintavalunta	1989–2002
Hovi	1.65 %	Stagnosol / savi	Ei ruutuja, 12 ha, salaojitus	1962-
Toholampi	1.03 %	Regosol/hiekka	16 ruutua 16 mx 100 m, salaojitus	1992-
Liperi	1.02 %	Stagnosol/siltti	4 ruutua, 20 m x 126 m, salaojitus	1978–1999

3.3 Rusle2015 eroosiomallit 25 m:n ja 2 m:n erotuskyvillä

Empiiriset eroosiomallit perustuvat suuren tietomäärän tilastolliseen analysointiin. Kansainvälisesti tunnetuimmat mallit, kuten Usle (Wischmeier ja Smith, 1978) ja Rusle (Renard ym. 1997) on luotu USA:ssa ja niiden pohjana on yli 10000 koeruutuvuotta. [RUSLE2015](#) on Euroopan komission yhteis-tutkimuskeskuksessa (JRC) luotu paikkatietopohjainen malli Euroopan olosuhteisiin käyttäen Euroopassa kerättyä mittausaineistoa (Panagos ym.2015d). Usle tyyppisissä malleissa eroosio lasketaan viiden tekijän tulona R (sadetekijä), K (maaperätekijä), LS (pinnanmuototekijä), C (kasvipeitteisyys ja viljelytekniikat) ja P (ihmisen toimet eroosion estämiseksi).

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1).$$

R ja K tekijöillä on yksiköt (RUSLE2015 käyttää SI-yksikköjä), muilla tekijöillä ei ole yksikköä.

3.5.1. Sadetekijä (R)

Sadetekijä ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ t}^{-1} \text{ v}^{-1}$) saadaan summaamalla yksittäisen sadetapahtuman sadepisaroiden liike-energian arvot pitkälle aikavälille. Päivittäistä sadetekijää ovat arvioineet Suomessa aiemmin Posch ja Rekolainen (1993). Heidän mukaansa eroosion riippuvuus päivittäisestä sademäärästä oli hyvin samanlainen Suomessa ja USA:ssa, kun taas eroosion absoluuttiset arvot olivat USA:ssa vähintään kaksinkertaiset. Leinonen ym. (2012) tutkivat Suomen sateiden luonnetta disdrometriä avulla viiden vuoden ajan ja esittivät niiden olevan enimmäkseen keveitä ja pisarakooltaan pieniä. Pisaroiden kokojakauma oli myös kapea ja erosi etelämpänä mitatuista sateista. Vastaavaa ilmiötä on havaittu aiemmin luoteis-USA:ssa, missä sadetekijä ei voinut täysin selittää talvisia sadantailmiöitä (Zuzel ym. 1982a; McCool ja George, 1983; Istok ym. 1980). Eroosiota synnyttävän sateen vähimmäisintensiteetin tulisi olla Hudsonin (1971) mukaan 25 mm h^{-1} , mitä esim. Helsingissä on aiemmin esiintynyt vain viiden vuoden toistumisajalla (Kuusisto 1980). Ulenin ym. (2012) mukaan Pohjoismaisissa viljelyolosuhteissa sateiden pienen intensiteetin vuoksi eroosio jääkin melko vähäiseksi.

Tutkimuksessa käytettiin JRC:n laskemaa [500 m:n hila-aineistoa](#) sekä 25 m:n että 2 m:n mallissa Panagos ym. (2015a). Aineiston perusteella sadetekijä on Suomessa keskimäärin $273 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ t}^{-1} \text{ v}^{-1}$ vuosisadannan ollessa 660 mm. Samantyyppisiä arvoja on mitattu luoteis-USA:ssa McCool ym. (2002), missä 540 mm:n vuosisadanta tuotti $255 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ t}^{-1} \text{ v}^{-1}$. Auerswald ym. (2015) kritisoivat Panagoksen tutkimuksessa määriteltyjen arvojen olevan mahdollisesti liian suuria, jos merkittävä osa sadannasta on lunta. Panagoksen tutkimus tuli johtopäätökseen, että sadetekijä (R) ei riipu yksinomaan sadannasta. Sen vuoksi regressioyhtälöt, joilla kuvataan sateen kineettisen energian ja sateen intensiteetin suhdetta toisiinsa tulee valita huolella ja niiden pitäisi perustua paikallisen ilmaston tunteeseen ja tiheisiin aikasarjoihin.

3.5.2. Maaperätekijä (K)

Maaperätekijä ($\text{t ha MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) kuvaa maan omaa taipumusta eroosioon. Suure on paikallinen ja riippuu maan eloperäisen aineksen määrästä, pintarakenteesta, vedenjohtokyvystä ja profiilin rakenteesta. Arvot vaihtelevat välillä 0.09 - 0.001 $\text{t ha MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ heikoimmalle ja kestävimälle maalle (Renard ym. 1997). Mallissa K :n ei oleteta riippuvan viljelytekniikasta eikä vuodenaikavaihtelua kastumis-kuivumis- tai jäätymys-sulamis ilmiöineen oteta huomioon. [Euroopan tasolla K-arvot](#) on määritetty Euroopan maannostietokannan ja LUCAS tutkimuksen aineistosta (Panagos ym. 2014). Tässä tutkimuksessa käytettiin Panagos ym. (2014) vertailuaineistona ja varsinaisena aineistona käytettiin Suomen maannostietokantaa (Lilja ym. 2007). K -arvot määritettiin maannostietokannan kautta soveltaen Icecream mallin Usle K -arvoja (Rekolainen ym. 1993) savimaita lukuun ottamatta (taulukko 2). Icecream mallin K -arvot eivät oleellisesti poikkea Panagoksen tutkimuksen K -arvoista ja Suomen maannostietokantaa käyttämällä saadaan spatiaalisesti tarkin arvio. Savimaille (Stagnosols) käytettiin referenssinä puolalaista kenttakoetta (Świąchowicz ym.2012).

Taulukko 2. K-arvot Suomen maannostietokannasta

WRB 2014	Pintamaalaji	K, t ha MJ ⁻¹ mm ⁻¹
Nudilithic Leptosols	Kalliopaljastuma	0.008
Dystric Leptosols	Kalliomaa, maanpeite enintään 1 m (yleensä moreenia)	0.008
Hyperskeletal Leptosols	Kiviä	0.008
Histic Leptosols	Soistuma (Turvetta, < 0.3 m)	0.008
Endogleyic Podzols	Sekalajitteinen maalaji, pääajitetta ei selvitetty	0.025
Histic Podzols	Soistuma (Turvetta, < 0.3 m)	0.008
Arenic Podzols	Karkearakeinen maalaji, pääajitetta ei selvitetty	0.020
Histic Podzols (Arenic)	Soistuma (Turvetta, < 0.3 m)	0.008
Stagnic Regosols	Hienojakoinen maalaji, pääajitetta ei selvitetty	0.057
Histic Gleysols (Loamic/Siltic)	Soistuma (Turvetta, < 0.3 m)	0.008
Vertic Luvisc Stagnosols	Savi	0.040
Histic Gleysols (Clayic)	Soistuma (Turvetta, < 0.3 m)	0.008
Dystric Histosols	Paksu turvekerros, yleensä yli 0,6 m	0.008
Sapric Histosols	Ohut turvekerros (0.3- 0.6 m)	0.008
Umbric Gleysols	Liejuinen maalaji, humuspitoisuus > 2 %	0.040
Histic Gleysols (Hyperhumic)	Liejuinen maalaji, humuspitoisuus > 2 % tai Soistuma (Turvetta, < 0.3 m) pinnassa	0.008

3.5.3. Pinnanmuototekijä, LS

LS-yhdistää rinteen pituuden ja jyrkkyyden yhdeksi tekijäksi. Rinteen pituus alkaa pisteestä, missä vesi alkaa virrata rinnettä alaspäin ja loppuu kertymispisteeseen (deposition point). Veden hankinta-alueen (contributing area) määrittäminen korkeusmallista (DEM) on olennainen monille hydrologisille malleille. Pääasiallinen ero virtailgoritmiin välillä on se, miten virtaus jaetaan osiin. Algoritmit ovat yleensä yksi (D8) tai monisuuntaisia (FD8) (Erskine ym. 2006). Tässä tutkimuksessa käytettiin monisuuntaista algoritmia FD8, (Quinn ym. 1991). Algoritmin valinta näkyy eroosiokarttojen ulkoasussa, käytetty FD8 algoritmi korostaa enemmän norojen välistä aluetta kuin itse noroja.

Virtailgoritmin lisäksi LS-tekijän laskemisessa voidaan huomioida rinteen kolmiulotteisuus (koveruus tai kuperuus). Tutkimuksessa kolmiulotteisuus huomioitiin 2m:n mallissa (Mitasova ym.1996). Kolmiulotteinen laskentatapa toiminee jonkin verran kaksiulotteista paremmin tasaisilla alueilla, joita Suomen pellot enimmäkseen ovat. 25m:n mallissa puolestaan käytettiin [JRC:n valmista hilaa](#), jossa kolmiulotteisuutta ei ole huomioitu (Desmet ja Govers. 1996). Suomen peltojen keskimääräinen LS on tällä laskentatavalla 25m:n EU-DEM:n pohjalta 0,23, keskikaltevuus 1,90 % ja mediaani 1,12%. Kuti tutkimuksen vastaavat arvot ovat hyvin samansuuruiset, peltojemme keskimääräinen jyrkkyys oli 1,71% ja mediaani 0,88% (Puustinen ym. 1994).

3.5.4. Maanpeitetekijä, C

Maanpeitetekijä on paljaan maan ja peitteisen maan eroosiota kuvaava suhdeluku. RUSLE2015 mallissa laskenta tehdään kaavalla $C_{VILJELYMAA} = C_{KASVILAJI} \times C_{TOIMENPITEET}$, missä $C_{KASVILAJI}$ on kasville ominainen suure. $C_{TOIMENPITEET}$ koostuu kolmesta alatekijästä $C_{MUOKKAUS}$, (muokkaustekniikat, kuten kyntö, suorakylvö ja kultivointi), $C_{KORJUUTÄHTEET}$ (sadonkorjuun kasvijäänteet) ja $C_{SUOJAKASVIT}$ (erityinen eroosiolta suojaava kasvusto, ei talviaikainen kasvipeite tai pysyvä nurmi). Panagos ym.2015d arvioivat $C_{MUOKKAUS}$ vaikutuksen olevan 1 kynnölle, 0,83 kultivoinnille ja 0,25 suorakylvölle. $C_{KORJUUTÄHTEET}$ vaikutuksen arvioitiin olevan EU:ssa keskimäärin 0,88 eli vähentävän eroosiota 12% ja $C_{SUOJAKASVIT}$ 0,8 eli 20%:n vähentävä vaikutus. Maatalousmaan keskimääräinen C-tekijä kasvijäänteet ja suojakasvit huomioitu-

na EU:ssa oli 0.233 ja ilman 0.287, jolloin eroosiota vähentävän peitteisyyden vaikutus EU:n alueella olisi n. 19%. Aurajoen koekentällä suhteellinen kiintoainepitoisuus kultivoinnissa oli 0,86 ja suorakylvössä 0,32 suhteessa kynnetyyn ruudun pitoisuuteen 1,0 (Puustinen ym. 2007).

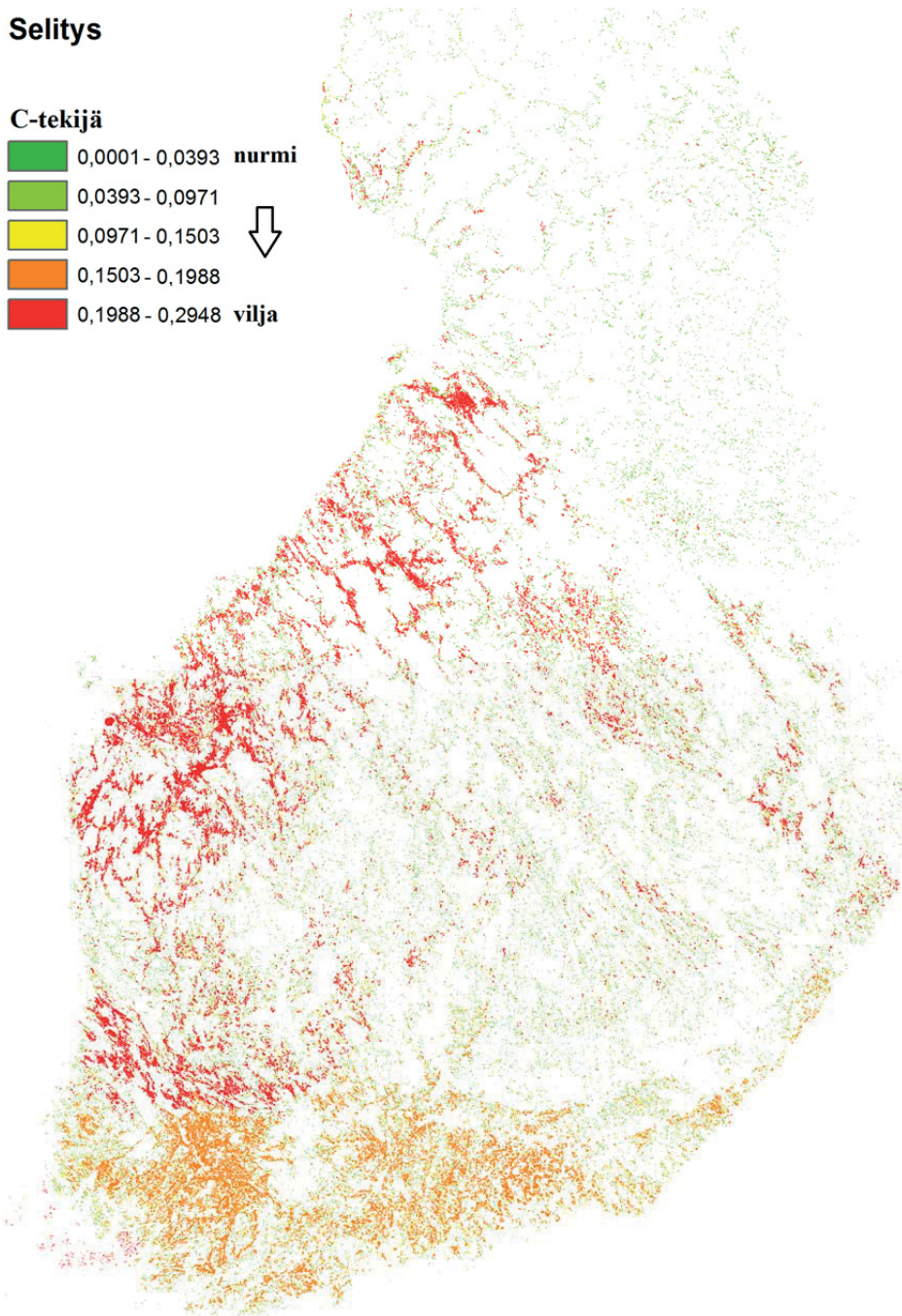
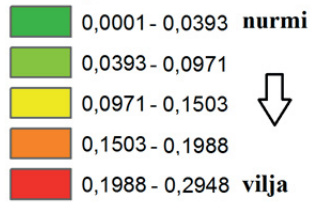
Jos maanmuokkaustekijässä halutaan ottaa muokkaustoimenpiteet huomioon, C-tekijänä voidaan käyttää JRC:n laskemaa [valmista 100 m:n hilaa](#) . Se kuvaa tilannetta v.2010 ja muokkauksen vaikutus on huomioitu eurostatin tilastoista. Hila leikattiin maanmittauslaitoksen peltokuvioihin sopiviksi (kuva 2). 2m:n ja 25 m:n mallissa voidaan käyttää Mavin rekisteriä kasvilajin osalta ja 2016 vuodesta alkaen myös muokkaustietoa.. Rekisteristä saatiin peruslohkon vallitseva kasvilaji, mutta toimenpidetekijää (muokkaus) ei ollut vielä tällöin saatavissa. Kasvilajista sen sijaan saatiin tarkempi tieto (taulukko 3). Esimerkiksi kevävehnän $C_{KASVILAJI} = 0.20$ ja kynnölle $C_{MUOKKAUS} = 1$. Näin C-tekijäksi saadaan 0.20. Jos vehnä suorakylvetään niin $C_{MUOKKAUS} = 0.25$, jolloin C-tekijäksi tulee 0.05. C-tekijän arvioinnissa on oletuksena kyntö. Vallitseva kasvilaji voitiin yhdistää 85 %:iin peltolohkoista. Tunte mattomille lohkoille (15 %) annettiin nurmen $C_{KASVILAJI} = 0.0273$.

Taulukko 3. Suomen yleisimpien kasvilajien $C_{KASVILAJI}$ - arvoja, arvot perustuvat (Panagos ym.2015d) julkaisun perusteella tehtyyn asiantuntija-arvioon.

Kasvilaji	$C_{KASVILAJI}$
Syysvehnä	0.20
Kevätvehnä	0.20
Syysruis	0.20
Kevätruis	0.20
Rehuohra	0.21
Mallasohra	0.21
Kaura	0.20
Seosvilja	0.20
Muut viljat	0.20
Rehunurmet	0.0273
Laidun	0.0971
Siemenheinä	0.0273
Peruna	0.3400
Sokerijuurikas	0.3400
Herne	0.3200
Härkäpapu	0.3200
Rypsi	0.2800
Rapsi	0.2800
Öljy- ja kuitupellava	0.0273
Kumina	0.0273
Ruokohelpi	0.0273
Vihantavilja	0.2000
Puutarhakasvit	0.3400
Muut kasvit	0.2188
Avokesanto	0.50

Selitys

C-tekijä



Kuva 2. JRC:n C-tekijä Manner-Suomesta maanmittauslaitoksen peltokuvioiden avulla esitettynä. Kartta kuvaa tilannetta v.2010 toimenpiteet huomioituna ja tekijän määrittämisessä on käytetty Eurostatin tilastoaineistoa.

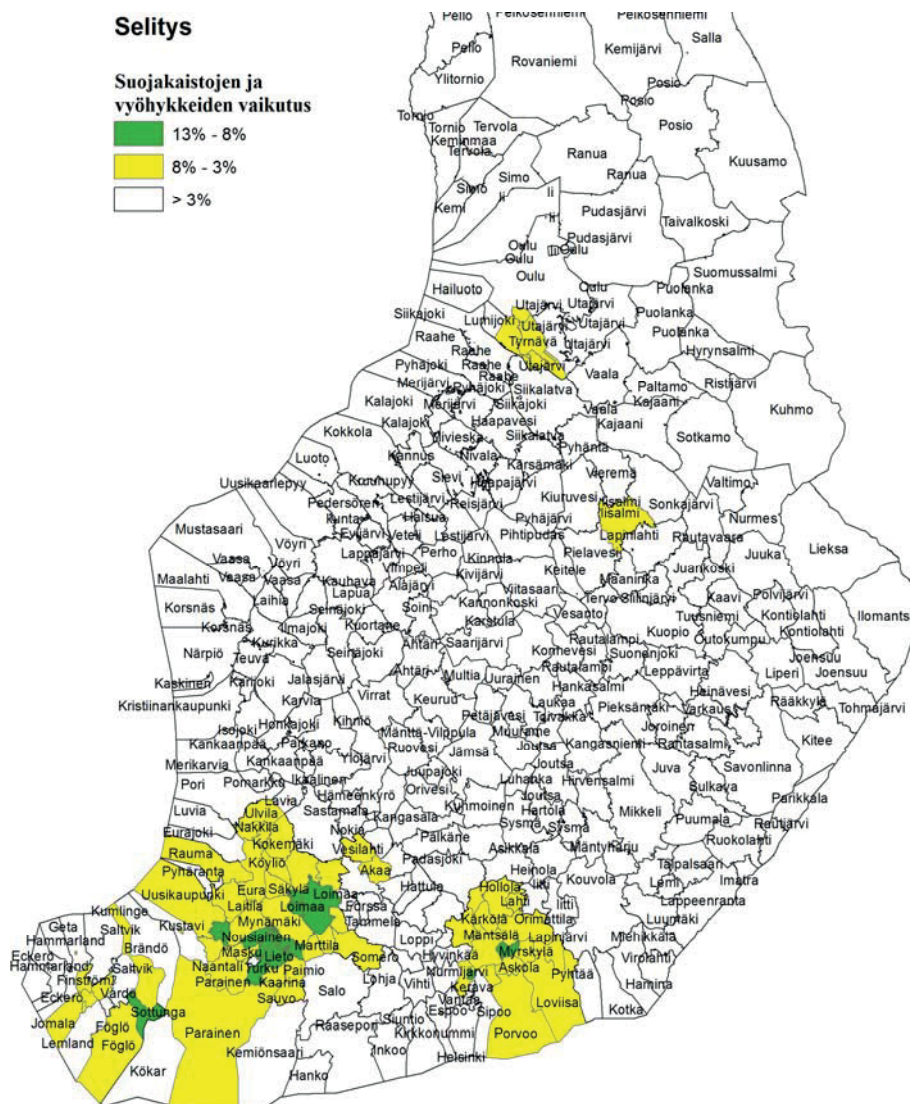
3.5.5. Ihmisen toimet eroosion estämiseksi, P

P-tekijällä tarkoitetaan ihmisen tekemiä toimenpiteitä eroosion estämiseksi, erityisesti sellaisia, joilla pyritään hidastamaan tai muuttamaan virtauksen suuntaa. Näitä ovat esim. korkeuskäyrien suuntaisen muokkaus, suojavöhykkeet ja kaistat sekä salaojitus. Jos mitään toimenpiteitä ei ole tehty tai tietoa niistä ei ole, käytetään oletusarvoa 1. Panagos ym. (2015c) mallinsivat P-tekijän vaikutuksia Euroopan tasolla. Heidän tutkimuksessaan keskimääräinen P-tekijä Suomessa oli 0.9702. Näin suoje-lutoimenpiteiden vaikutus koko maan tasolla olisi varsin vähäinen, vajaa 3%. Suurimpia vaikutusten arvioitiin olevan (13 -8 %) muutamissa Etelä-Suomen kunnissa (kuva 3). Matalimpia P-arvoja puoles-

taan saivat metsälaitumet (0.5). Suojavyöhykkeiden ja kaistojen vaikutukseksi arvioitiin EU:ssa yleensä 15- 34 % (P-tekijä 0.66–0.85).

Suomessa salaojitus voidaan käsittää P-tekijäksi, noin 70 % maamme peltoalasta on salaojitettua (TIKE, 2011). Luoteis-USA:ssa tehtyjen tutkimusten mukaan salaojituksen eroosiota vähentävä vaikutus on noin 40 % (P-tekijä 0.6) joskin vuosittaiset vaihtelut olivat suuria (Formanek ym., 1987). Suomessa suurin osa salaojista valuvasta kiintoaineesta on tn. peräisin pinnasta (Uusitalo ym., 2001).

25 m:n mallissa käytettiin [JRC:n laskemaa P-tekijä](#) hilaa (kuva 4). Kahden metrin mallissa P-tekijää ei ole toistaiseksi huomioitu. Salaojayhdistykseltä saatiin varsin kattava tieto salaojitetuista lohkoista koko maan osalta, mutta aineistosta puuttuu suurehko osa Varsinais-Suomen kuntien lohkoista.



Kuva 3. JRC:n P-tekijä kuntatasolla esitettynä

3.4 VIHMA-malli RUSLE2015:n referenssinä

RUSLE2015 perustuu vahvasti paikkatietoaineistoihin (kaukokartoitukseen) toisin kuin alkuperäinen RUSLE-malli. Kotimainen Viljelyalueiden valumavesien hallintamalli (Vihma) on kehitetty kiintoaine- ja ravinnekuormituksen ja kuormituksen hallinnan arviointiin. Malli perustuu koekenttäaineistoista koottuun kuormituksen taulukkoarvoihin ja tarkasteltavan alueen peltojen ominaisuuksiin. Vihma on täten analoginen alkuperäisen RUSLE-mallin kanssa.

Vihmassa peltolohkot ovat luokiteltu maalajin ja kaltevuuden mukaan (taulukko 4) kahteenkymmeneen luokkaan. Pellon viljelykäyttöön liittyviä muokkauskäytäntöjä ja kasvipeitteisyysvaihtoehtoja ovat syyskylvö, matala sänkimuokkaus (alle 10 cm), syvä sänkimuokkaus (yli 10 cm), syysvilja, talviaikainen sänki, suorakylvö ja pysyvä nurmi. Tämä luokittelu kuvaa peltolohkon pinnan laatua syksystä talven yli kevääseen.

Peltolohkojen viisi kaltevuusluokkaa ja neljä maalajiryhmää tehtiin KUTI-tutkimuksen (Puustinen et al. 1994) aineiston perusteella. Koko maan peltoala jakaantui tässä luokittelussa Taulukossa 4 esitetyllä tavalla. Pellon käyttömuotojen luokittelu (muokkaus ja kasvipeitteisyys) perustuivat koekenttien kenttäkokeisiin, jossa luokittelun perusteena on syksyllä sadonkorjuun jälkeen tehtävän muokkauksen voimakkuus ja jäljelle jäävään kasvipeitteisyyden määrä ts. talviaikainen maanpinnan laatu. Luokittelussa ääripäitä ovat kaltevuuden suuntainen syyskylvö ja pysyvä nurmi.

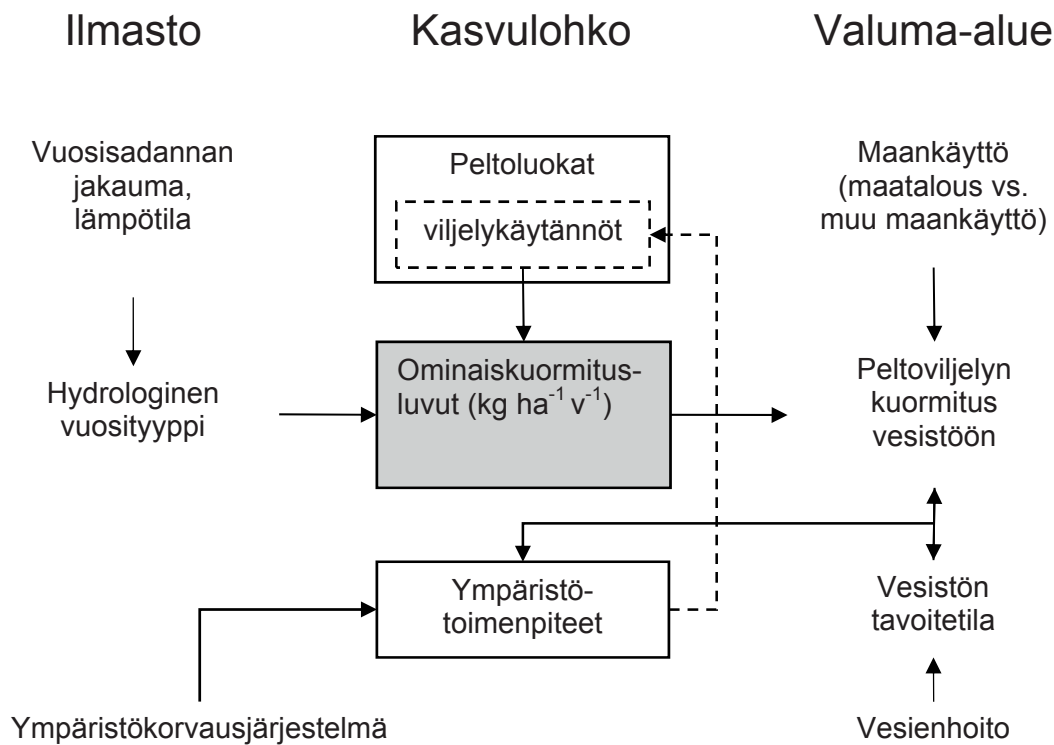
Vihmassa kullekin peltoluokalle ja viljelykäytännölle on kiinteä vuoden aikana tapahtuvaa keskimääräistä kiintoainekuormitusta kuvaava luku. Savimaiden koekentillä havaitut eroosiomäärät ovat Vihman taulukossa ominaisuuksiltaan koekenttiä vastaavissa peltoluokissa. Puuttuvat väliarvot on johdettu interpoloimalla. Hiesumailla käytetään savimaiden eroosioarvoja. Karkeiden kivennäismaiden eroosioarvot perustuvat yhden koekentän havaintoihin ja johdettu muihin peltoluokkaa savimaiden eroosioarvojen suhteellisten erojen mukaan.

VIHMALLA arvioidaan pelloilta tulevan kuormituksen kokonaismäärä valuma-alueen mittakaavassa peltoalan ja pellon ominaisuuksien mukaan. Työkalulla saadaan laskettua koko alueen sekä eri peltoluokkien keskimääräinen kiintopainekuormitus, myös typpi ja fosforikuormitus. Kuormituksen vähentämistä arvioidaan peltojen talviaikaisen pinnan mukaan muuttamalla viljelykäytäntöä, sekä lisäämällä suojavyöhykkeitä ja kosteikkoja. Työkalusta on julkaistu artikkeli vuonna 2010 (Puustinen ym. 2010).

Taulukkoarvoilla on Vihmassa myös keskimääräiset minimi ja maksimi arvot. Minimi-arvot perustuvat koekenttähavaintoihin, jotka on mitattu kylmiä ja lumisia talvia sisältävillä jaksoilla ja maksimi-arvot sateisia syysjä ja hyvin leutoja talvia sisältävillä jaksoilla. Näitä lukuarvoja käytettäessä saadaan esille keskimääräinen hydrologisten vuosien aiheuttama kuormitusvaihtelu.

Taulukko 4. Peltoalajakauma maalajiryhmien ja kaltevuusluokkien muodostamissa peltoluokissa (Puustinen ym. 2010)

Maalajiryhmä	<0,5%	0,5–1,5%	1,5–3%	3–6%	>6%	Total
Savimaat	12,8	9,2	6,8	3,7	2,2	34,7
Hiesumaat	5,3	4,1	3,3	2,0	1,3	16,0
Hietamaat	11,5	8,6	7,3	4,4	3,2	35,0
Orgaaniset maat	9,1	2,9	1,8	0,3	0,2	14,3
Yhteensä	38,7	24,8	19,2	10,4	6,9	100



Kuva 4. VIHMA-työkalun toimintaperiaate perustuu peltolohkojen ominaisuuksien (Puustinen ym.1994) ja viljely- ja muokkaukäytäntöjen luokitteluihin sekä ominaiskuormituslukuihin Puustinen ym. 2010). Työkalussa tarkasteltavilla valuma-alueilla peltoluokkien pinta-alat ao. ominaiskuormituslukujen kanssa tuottavat peltoviljelyn kuormitusarvion erilaisilla viljely- ja toimenpideyhdistelmillä. Työkalun lähtötietoina tarvitaan peltoalat maalajeittain, kaltevuusluokittain sekä maankäytön että maanmuokkauksen mukaan.

Työkalua on testattu mm. vesienhoitosuunnitelmien, ympäristötukijärjestelmän toimenpiteiden sekä vaihtoehtoisten toimenpideyhdistelmien (skenaariot) vaikutusten arvioinnissa kaksivaiheisesti. Alkutilanteen kiintoaine- ja ravinnekuormitus laskettiin ilman ympäristötoimenpiteitä ja lopputilanteen kuormitus toimenpiteiden toteuduttua ja vaihtoehtoisilla skenaarioilla.

Alkutilanteen tiedot syötettiin työkalun laskentataulukoihin peltoluokittain hehtaanimääräisinä lukuina ja alueen peltojen fosforitila kolmeen P-lukuluokkaan maalajeittain prosentuaalisena jakaumana. Laskentatulokset muodostui peltoluokkien ja pellon käyttömuotojen pinta-alojen (ha) ja näitä vastaavien keskimääräisten ominaiskuormituslukujen (kg ha⁻¹ v⁻¹) tulojen summana. Alkutilanteen tulos kuvasi ko. peltoalan pitkän ajan keskimääräistä eroosiota ja ravinnekuormitusta.

Lopputilanteessa työkaluun syötettiin muuttunutta muokaus- ja kasvipeitteisyyskäytäntöjä vastaavat pinta-alatiedot sekä suojavyöhykkeitä ja kosteikkoja koskevat tiedot. Työkalu laski vaiheittain alku- ja lopputilanteen erotuksena peltotoimenpiteiden vaikutukset ja tämän jälkeen suojavyöhykkeiden ja viimeisenä kosteikkojen vaikutukset. Viljelykasvien pinta-alajakaumat eri peltoluokissa (maalajit ja kaltevuus) vastasivat koko vesistöalueen viljelykasvien pinta-alan suhteellista jakaumaa.

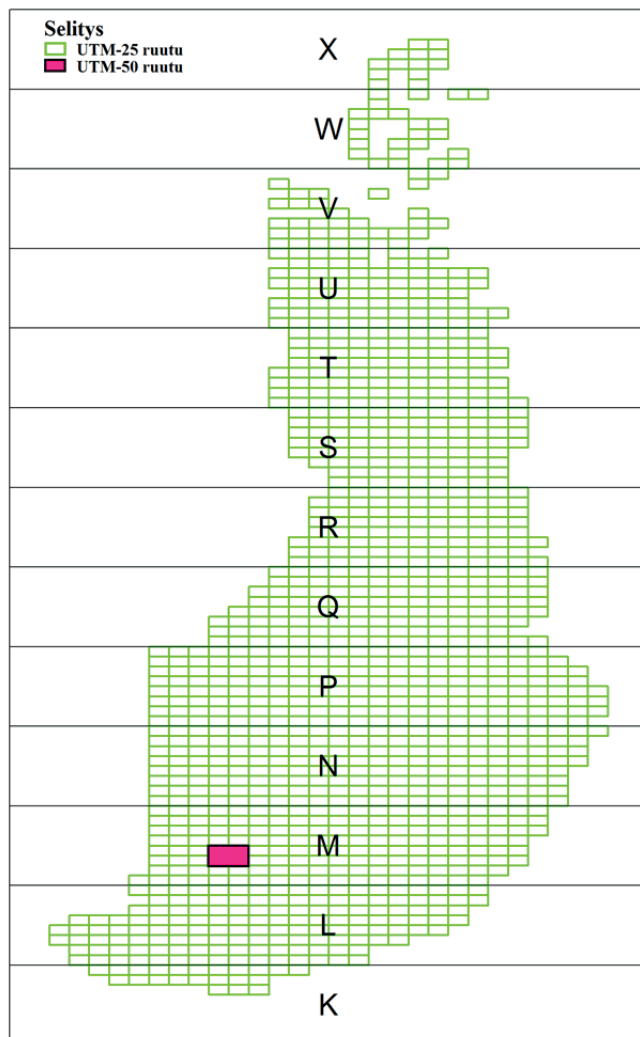
Koko maatalousmaalla vuoden 2010 viljelytilanteessa Vihma antaa samanlaiset keskimääräiset kuormitusluvut - tyyppi 15,2 (11,7-16,5) kg ja fosfori 1,2 (1,0-1,3) kg ha vuodessa - kuin pienten valuma-alueiden pitkäaikaisseurannat (typpi 15 kg ja fosfori 1,1 kg ha vuodessa). Vihman mukaan keskimääräinen eroosio pelloilla oli 485 (380-570) kg hehtaarilta vuodessa.

1990-luvun alussa silloisilla viljely- ja maankäyttötiedoilla keskimääräinen tyyppikuormitus Vihman mukaan oli 16,3 (11,9-17,9) kg ja fosforikuormitus 1,2 (1,0-1,3) kg hehtaarilta vuodessa. Keskimääräinen eroosio oli tuolloin 535 (415-630) kg hehtaarilta vuodessa.

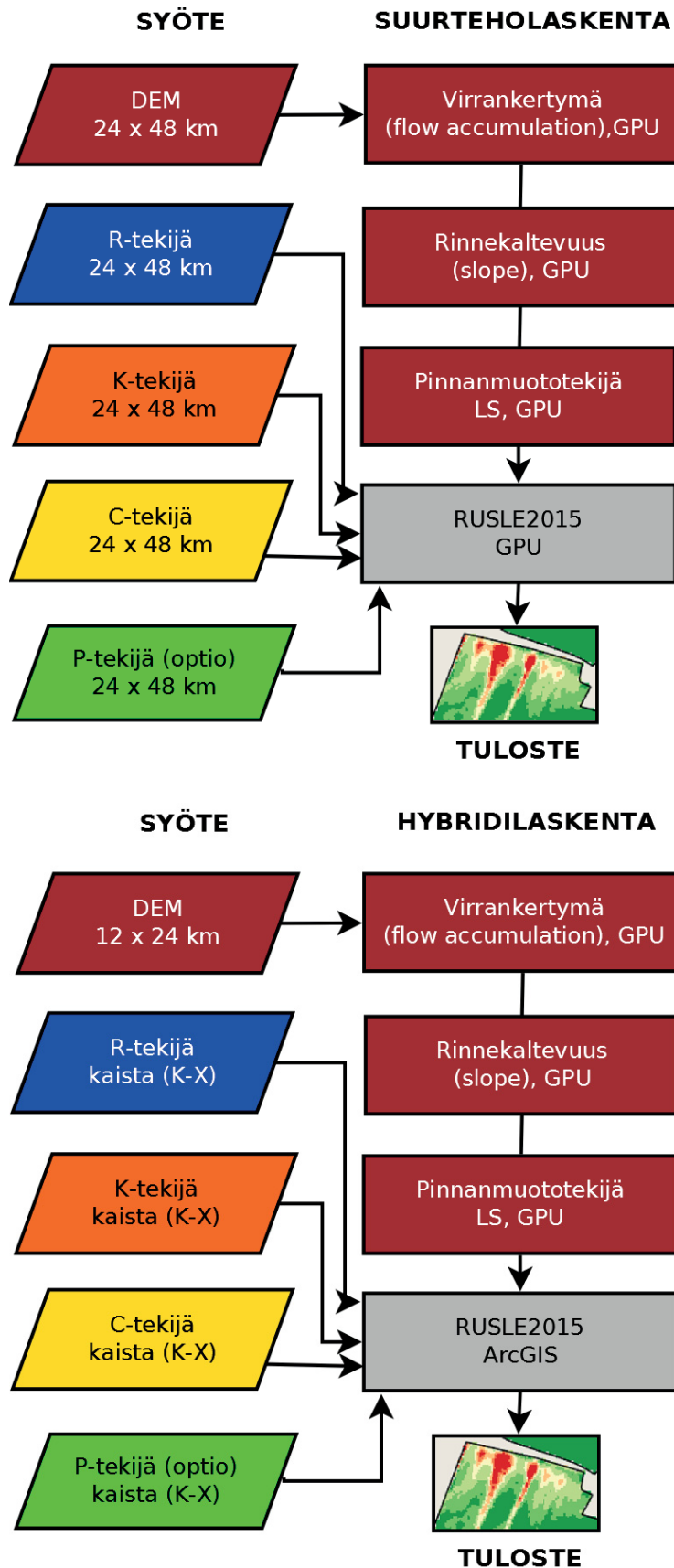
3.5 RUSLE 2015 laskentajärjestelmä (kahden metrin malli)

Eroosiokarttojen laskenta voidaan tehdä kahdella menetelmällä: 1) Täysin suurteholaskentasovelluksena neljän UTM50-lehden kokoisella alueella (24x48 km) tai 2) Hybridinä hyödyntäen perinteistä GIS-ohjelmaa (kuva 7). Hybridilaskennan avulla voidaan toistaiseksi laskea suurempia alueita kerralla ja tulosteiden säätäminen on monipuolisempaa.

Laskentaa varten lähtöaineistot muunnettiin tarvittaessa vektorista rasterimuotoon (C ja K tekijä) ja jaettiin kolmeentoista UTM-200 karttalehtijaon mukaiseen kaistaan (kuva 6). R-tekijän erotuskyky lähtöaineistossa oli 500 m, C ja K-tekijän 4 m ja LS-tekijän 2 m. Lopputulos (eroosiokartta) esitetään 2m:n erotuskyvyllä. Yhden UTM25 karttalehden (12 x24 km) laskeminen hybridinä tehotyöasemassa vie aikaa n. 2 minuuttia, josta suurin osa kuluu luku/kirjoitusoperaatioihin. Suomen 1196 peltoja sisältävää karttalehteä voidaan siten laskea vajaassa kahdessa vuorokaudessa, mikäli pintavirtausta ja pinnanmuototekijää halutaan muuttaa. Muiden tekijöiden muuttaminen ja karttojen päivittäminen niiden osalta onnistuu noin puolta lyhyemmässä ajassa.



Kuva 5. Hybridilaskentaa varten lähtöaineistot järjestetään UTM-200 lehtijaon mukaisiin kaistoihin ja tulokset (eroosiokartat) esitetään UTM-25 lehdittäin. Puhtaasti suurteholaskentana voidaan toistaiseksi käsitellä UTM-50 lehden kokoisia alueita (vaaleanpunainen alue).



Kuva 6. Laskentajärjestelmän periaatekuva (suurteholaskenta ja hybridi)

3.6 Aluelaskelmista

Aluekohtaiset laskelmat tehtiin ArcGIS 10.3 ja Saga 2.2.3 ohjelmilla. Vektoriaineistoille (peltolohkot) laskettiin pääasiassa keskiarvoja ns. zonal statistics toiminnon avulla. Keskiluvut saatiin muuntamalla aineisto tarvittaessa kokonaislukumuotoiseksi. Eroosioherkkien alueiden pinta-alat ja massat laskettiin suoraan hilasta kuten myös pinnanmuoto, maaperä, maanpeite ja sadetekijään liittyvät tilastolliset jakaumat.

3.7 WMS-palvelusta

Tulosaineistot on tallennettu Luken paikkatietovarastoon teeman 200_maaperä alle. WMS-katselupalvelun toteuttamisesta avoimella CKAN alustalla (yhteinen SYKE:n kanssa) yksinkertaisena OpenLayers-pohjaisena on keskusteltu, mutta päätöksiä ei ole tehty. Alustan kautta voi lähtökohtaisesti jakaa vain WMS-rajapintojen osoitteita, eli se ei toteuta itse rajapintaa eikä edes sen katselupalvelua.

4 Tulokset

Tässä osiossa esitetään tuloksia valtakunnallisesti, alueellisesti tarkasteltuna ja koekentiltä

4.1 Peltojen vesieroosio ja valtakunnallinen eroosioindikaattori

European Soil Data Centerin tietojen mukaan Suomen peltojen eroosioherkkyys on keskimäärin 0,460 t/ha/v ja se on EU-maiden alhaisin. Luvussa on huomioituna vuoden 2010 aikaiset toimenpiteet (muokkaustapojen alueellisuus). Vihman vastaava arvio 2010 toimenpiteet huomioituna on 0,485 t/ha/v eli käytännössä sama. Taulukossa 5 vertaillaan eroosion määrää koko valtakunnan tasolla VIHMA ja RUSLE2015 malleilla käyttäen Vihman kaltevuusjaottelua. Jaottelussa on Vihman osalta käytetty kotimaista 25 m:n korkeusmallia, joka on laadittu korkeuskäyrien perusteella (kolmiomittaus). RUSLE2015:ssa on puolestaan käytetty kaukokartoituksen avulla laadittua 25 m:n EU-DEM korkeusmallia.

Taulukosta voidaan havaita RUSLE2015:n antavan alimmalla kaltevuusluokalla <0,5 % selkeästi Vihmaa pienempiä arvoja. Kaltevuuden lisääntyessä RUSLE2015 antaa lähes samoja arvoja kuin Vihman keskiarvot ja yli 6 %:n kaltevuudella hiukan suuremman keskiarvon. Laskelmassa RUSLE 2015:n keskiarvo on hiukan pienempi kuin European Soil Data Centerin arviossa lähtöaineistoista ja niiden erotuskyvystä johtuen.

Taulukko 5. VIHMA –ja RUSLE2015 mallin vertailu valtakunnan tasolla eri kaltevuusluokissa (2010 viljelytilanne).

Eroosio (t/ha/v)	<0,5%	0,5–1,5%	1,5–3%	3–6%	>6%	Keskiarvo
VIHMA keskiarvo	0,210	0,340	0,595	0,985	1,500	0,485
VIHMA maksimi	0,235	0,385	0,675	1,185	1,850	0,565
VIHMA minimi	0,180	0,280	0,490	0,745	1,070	0,385
RUSLE2015 keskiarvo	0,073	0,352	0,581	0,910	1,635	0,418

Eroosioindikaattorin avulla pyritään arvioimaan vesieroosion riskiä ja seuraamaan eroosiota ehkäisevien toimenpiteiden vaikutuksia. [Eroosioindikaattoria](#) varten laskettiin 25m:n mallista kunta-kohtaiset keskiarvot (tonnia/hehtaari/vuosi). Tilastollisia muutoksia peltojen vesieroosiossa Suomessa ei ole havaittavissa. Suomen maaperästä 0,01 prosentilla eroosio on suurempaa kuin 10 t/ha/vuosi. 2m:n mallilla yli 10t/ha/v alueita tulee hiukan enemmän. Esimerkiksi Lohjan kunnassa ko. alueita oli 6 % peltopinta-alasta ja Loimijoen valuma-alueella 1 %. Prosenttiosuus oli Eurostatin tilastotietojen mukaan sama vuonna 2000 ja vuonna 2010.

4.2 Eroosioherkimmät kunnat ja kohdentamisalueet

Suomessa on 25 m mallin mukaan yhdeksän kuntaa (Inkoo, Kemiö, Lohja, Parainen, Raasepori, Sauvo, Siuntio, Sottunga ja Vantaa), joiden peltojen keskimääräinen eroosioherkkyys on yli 1 t/ha/v. Kaikki sijoittuvat kokonaan ympäristökorvauksen talviaikaisen kasvipeitteisyyden, suojavyöhykkeiden ja luonnonhoitopeltojen kohdentamisalueelle. Kauhajoen kunnassa on Suomen oloissa pinnanmuodoltaan poikkeuksellinen viljelyalue [Hyypänjokilaakso](#) ja alueen maalajit ovat kaikkein eroosioherkimpiä (hienojakoisia/ Stagnic Regosols). Laakson lohkoilla eroosio on keskimäärin 2,482 t/ha/v ja yli 10 t/ha/v lohkojakin on 61 kpl. Loimijoen valuma-alue puolestaan sijaitse neljän Etelä-Suomen maakunnan risteyskässä.

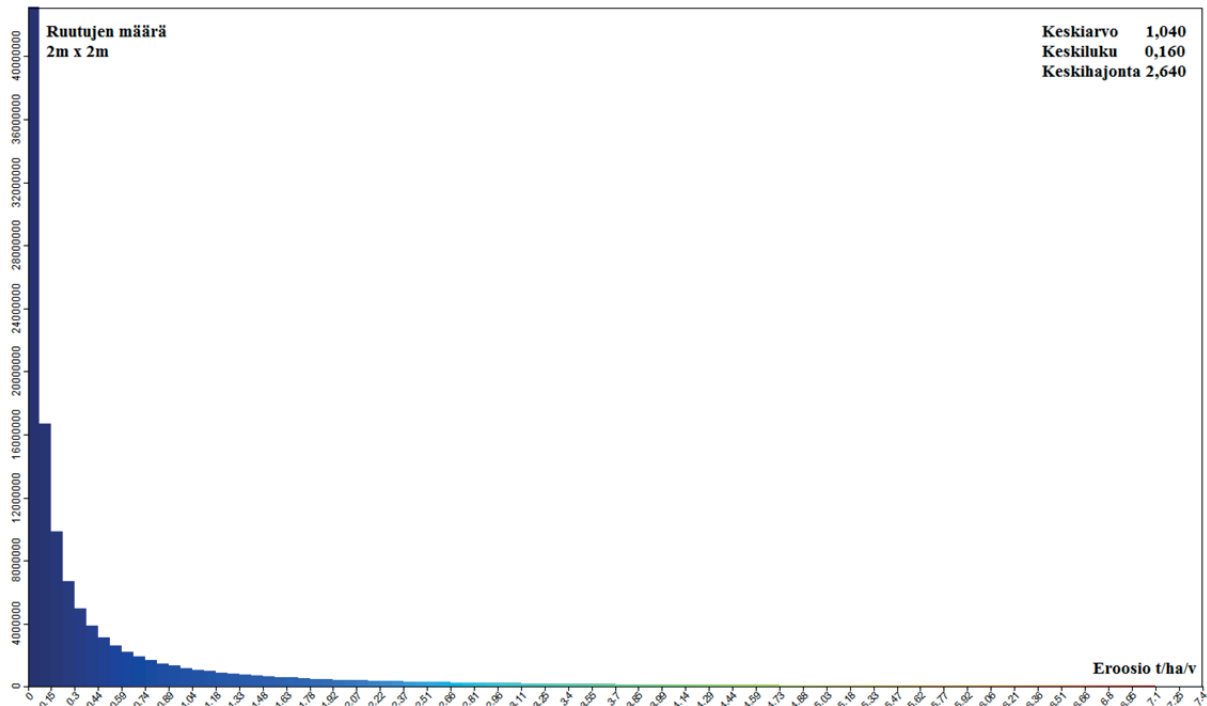
2m:n mallilla tarkastelu tuottaa samansuuntaisia tuloksia 25m:n mallin kanssa muualla paitsi Lohjalla ja Raaseporissa, joissa tarkempi malli arvioi eroosion selkeästi suuremmaksi. Eroosioherkillä lohkoilla ($1 > t/ha/v$) eroosio on 2-3 kertainen kaikkiin lohkoihin verraten (taulukko 4). Kun kaikkia alueita päästään tarkastelemaan 2 m:n mallilla, eroosion määrä nousee jonkin verran ja kuntien keskinäinen järjestys muuttuneeksi.

Tarkemmalla mallilla (2m) etsittiin seitsämän Uudenmaan ja Varsinais-Suomen kunnan alueelta (n. 30000 lohkoa) eroosioherkimmät lohkot käyttäen kriteerinä arvoa yli $1 t/ha/v$ (taulukko 6). Kemiö ja Sottunga jätettiin pois, koska laserkeilausaineisto oli näiden osalta vielä vajaa. Keskimäärin kolmannes lohkoista (33%) tutkituissa kunnissa oli eroosioherkkiä (diagrammit 1-2). Kun kuntia tarkastellaan absoluuttisin pinta-aloin ($1 > t/ha/v$ pikselit) havaitaan, että lohkojen pinta-alasta 25% on eroosioherkkää (diagrammi 3-4) ja ala vastaa 89% kokonaiseroosiosta (diagrammit 5-6). Kauhajoen ja Loimijoen valuma-alueen otoksessa 2m:n mallilla eroosioherkkiä oli 17% lohkoista (diagrammi 1-2) ja pinta-alasta 13%, joka vastasi puolestaan 76% kokonaiseroosiosta (diagrammit 5-6). Kun verrataan keskiarvoa keskilukuun eli mediaaniin havaitaan keskiarvon olevan selvästi keskilukua suurempi. Epäsymmetrinen, oikealle vino jakauma (kuva 7) indikoisi kohdentamisen olevan eroosion vähentämisen kannalta erityisen hyödyllistä. Vihma mallilla tehdyissä laskelmissa koko valtakunnan alueelta 35% peltoalasta tuotti 65% koko maan peltoalan eroosiosta (Puustinen 2014, julkaisematon tieto). Vihmassa kaikkein kaltevimpien peltöjen eroosio alenee ylimmän luokan keskiarvoon, joten ääriarvot leikkautuvat pois.

Eroosioherkimpien lohkojen pinta-alat ovat jonkin verran suurempia kaikkiin lohkoihin verraten (taulukko 13). Keskimääräinen lohkon koko alueilla oli 2,91 ha ja eroosioherkällä loholla 3,31 ha. Lohkon keskimääräinen koko oli Suomessa Kuti-tutkimuksen mukaan 2,2 ha ja lohkojen mediaani 1.6 ha (Puustinen ym.1994).

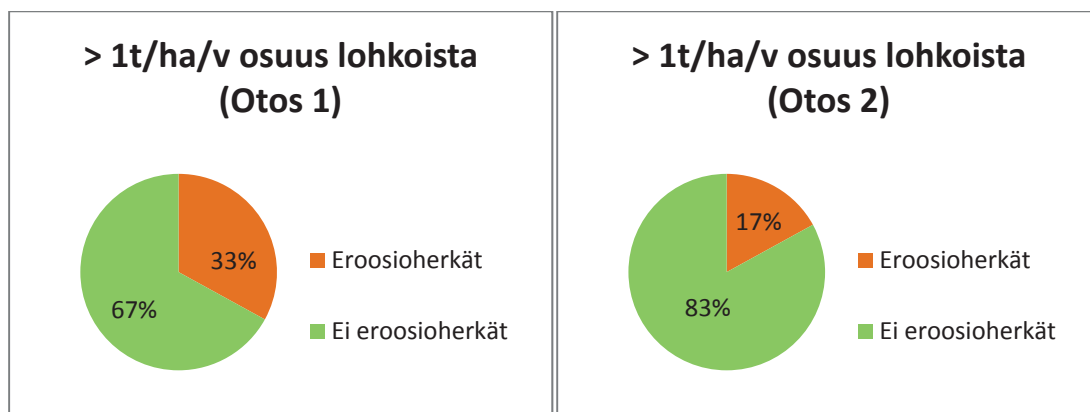
Taulukko 6. Eroosioherkkyys 25 m:n ja 2m:n malleilla alueittain tarkasteltuna.

Otos 1.	Lohkoja	Lohkoja > 1t/ha/v	Pelto%	Eroosio t/ha/v (kaikki lohkot), 25 m:n malli	Eroosio t/ha/v (kaikki lohkot), 2 m:n malli	Eroosio (> 1t/ha/v) 2 m:n malli	Erotus %
1)Sauvo	2576	819	34%	1,45	1,26	2,50	+98 %
2)Siuntio	1862	687	27%	1,36	1,72	3,17	+84 %
3)Parainen	6949	1098	14%	1,23	1,11	2,60	+134 %
4) Inkoo	2472	743	22%	1,15	1,34	2,48	+85 %
5) Raasepori	6619	2436	15%	1,13	2,10	3,72	+77 %
6) Lohja	8580	3825	19%	1,07	2,54	4,16	+64 %
7) Vantaa	1341	423	15%	1,03	1,44	3,16	+119 %
Yhteensä/ka	30399	10031	21%	1,20	1,64	3,11	+90 %
Otos 2.	Lohkoja	Lohkoja > 1t/ha/v	Pelto%	Eroosio t/ha/v, 25 m:n malli, keskiarvo	Eroosio t/ha/v, 2 m:n malli, keskiarvo	Eroosio (> 1t/ha/v) 2 m:n malli	Erotus %
1) Kauhajoki	8827	1738	17%	0,61	0,84	2,88	+243 %
2) Loimijoen valuma-alue	32769	4885	35%	0,37	0,56	2,01	+259 %
Yhteensä/ka	41596	6623	26%	0,49	0,70	2,45	+250 %

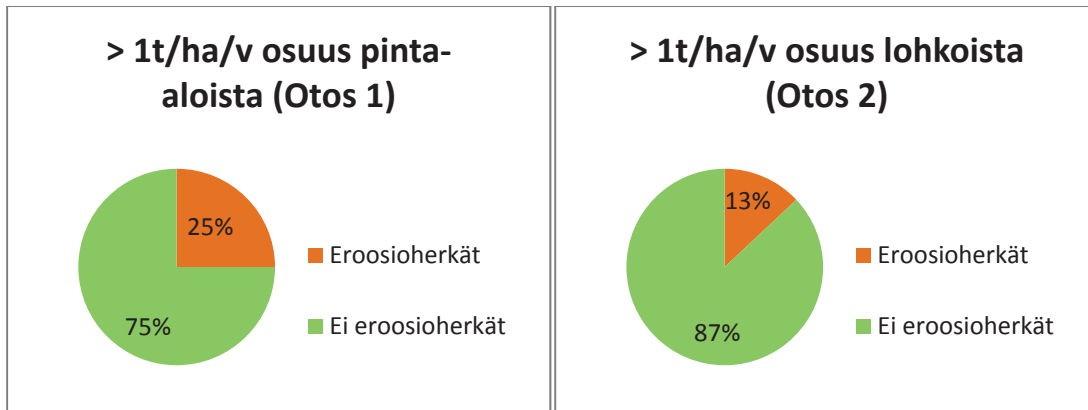


Kuva 7. Tutkimusalueen peruslohkojen eroosioherkkyyden tilastollinen jakauma 2m:n hilasta laskettuna. Jakauma on erittäin vino oikealle.

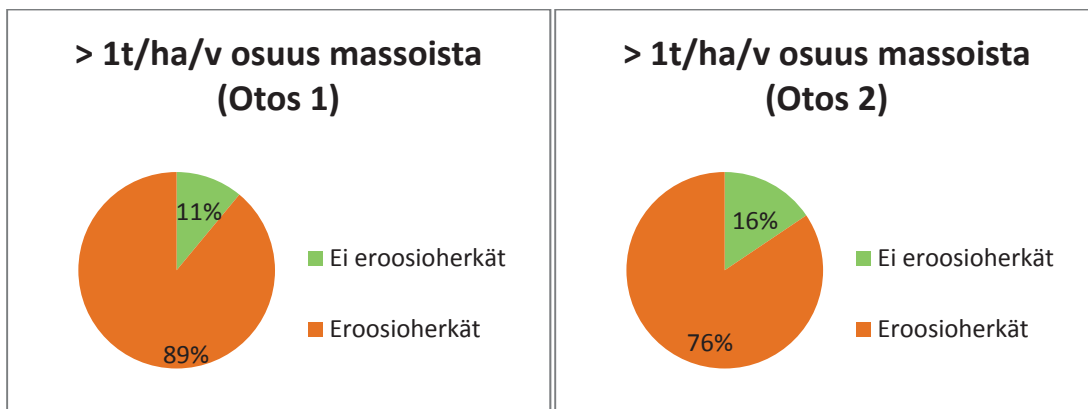
Diagrammi 1-2. Eroosioherkkien lohkojen osuus otoksessa 1 (eroosioherkät kunnat) ja otoksessa 2 (Kauhajoki ja Loimijoen valuma-alue) kaikista lohkoista 2m:n mallilla (lukumäärä).



Diagrammi 3-4. Eroosioherkkien pikseleiden pinta-alat otoksessa 1 (eroosioherkät kunnat) ja otoksessa 2 (Kauhajoki ja Loimijoen valuma-alue) 2m:n mallilla (absoluuttisesti eroosioherkät pinta-alat).



Diagrammit 4-5 Eroosioherkkien lohkojen osuus eroosiomassoista otoksessa 1 (eroosioherkät kunnat) ja otoksessa 2 (Kauhajoki ja Loimijoen valuma-alue) 2m:n mallilla.

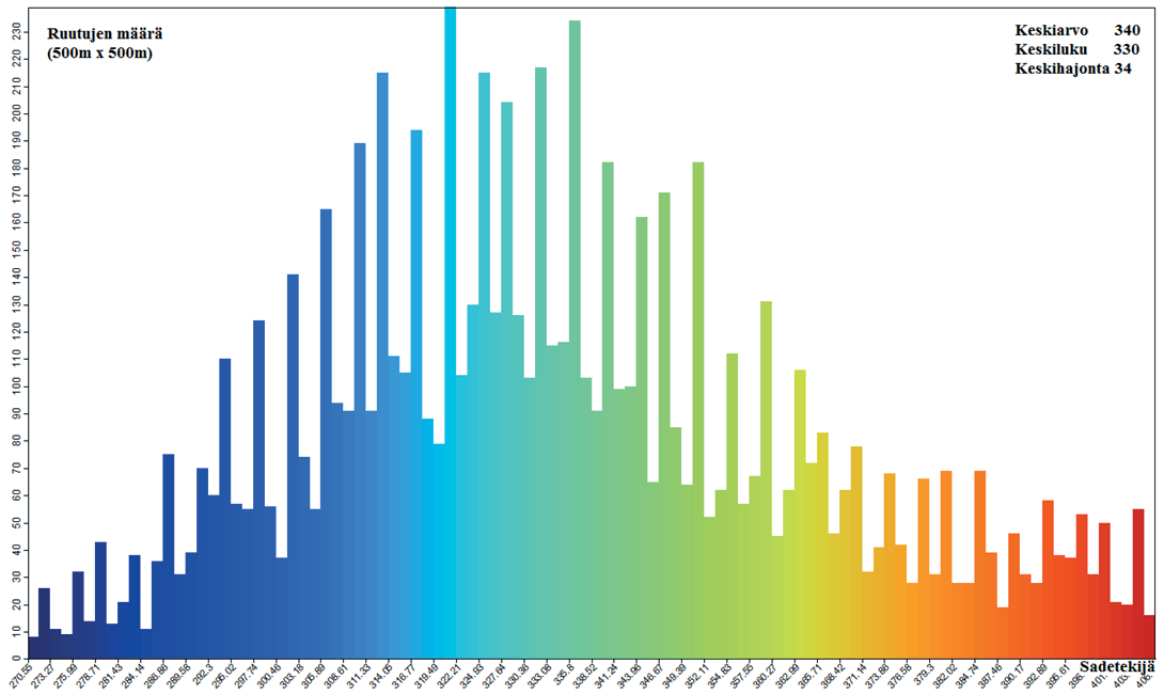


4.3 Mallin tekijöiden arviointia koealueella

Sadetekijässä R ei ollut vaihtelua eroosioherkkien ja muiden lohkojen kesken (taulukko 7), vaikkakin sadetekijä koealueilla oli valtakunnan tasoa korkeampi 347 vs 273 MJ mm ha⁻¹ t⁻¹ v⁻¹. Sadetekijä sen sijaan oli hyvin normaalijakautunut verrattuna eroosioon (kuva 8).

Taulukko 7. Eroosioherkkien lohkojen keskimääräiset sadetekijät

Kunta	Lohkoja kpl	Sadetekijä	Lohkoja > 1t/ha/v	Sadetekijä	Erotus %
1)Sauvo	2576	380	819	384	+1%
2)Siuntio	1862	320	687	317	-1%
3)Parainen	6949	407	1098	410	+1%
4) Inkoo	2472	327	743	328	0%
5) Raasepori	6619	330	2436	327	-1%
6) Lohja	8580	309	3825	308	0%
7) Vantaa	1341	334	423	340	+2%
8) Kauhajoki	8827	378	1738	382	+1%
9) Loimijoen valuma-alue	32769	330	4885	329	0%
Yhteensä/ka	71995	346	16654	347	0%



Kuva 8. Tutkimusalueen normaalijakautunut sadetekijä laskettuna 500 m:n hilasta.

Tutkituista seitsemän kuntaa ja Loimijoen valuma-alue sijaitsevat Etelä-Suomen savi-alueella. Maaperätetekijässä K ei näin ollut suurta vaihtelua ja lohkojen vallitsevana maalajina (60%) olikin savi (Vertic Luvis Stagnosols). Eroosioherkistä lohkoista savisia oli peräti 75 % (taulukko 6). Kauhajoella vallitsevana maalajina oli silttinen Stagnic Regosols (68%) ja eroosioherkillä lohkoilla 88%. Tämän otoksen perusteella voidaan todeta, että eroosioherkät lohkot ovat sekä savisempia että silttisempiä verrattuna kaikkiin lohkoihin.

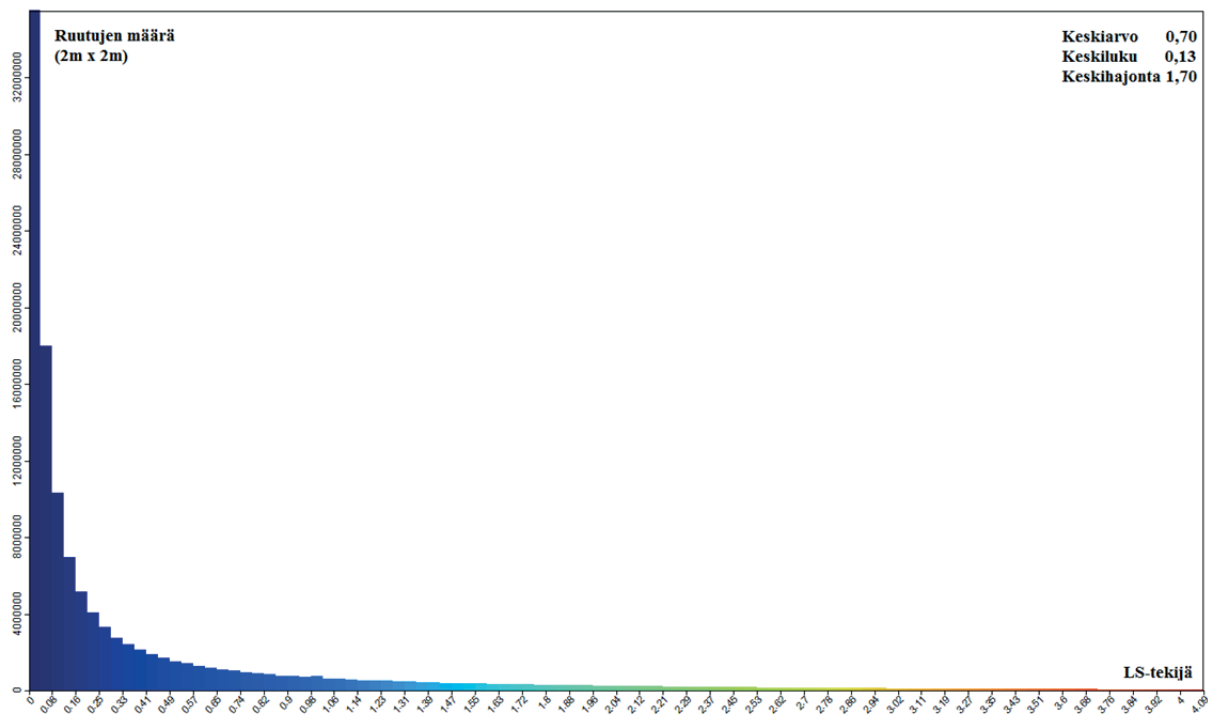
Taulukko 8. Koealueen lohkojen vallitsevat maannokset

Kunta	Lohkoja kpl	Maannos WRB	Maannos WRB, % osuus	Lohkoja > 1t/ha/v	Maannos WRB	Maannos WRB, % osuus
1)Sauvo	2576	Vertic Luvis Stagnosols	44%	819	Vertic Luvis Stagnosols	66%
2)Siuntio	1862	Vertic Luvis Stagnosols	68%	687	Vertic Luvis Stagnosols	83%
3)Parainen	6949	Vertic Luvis Stagnosols	44%	1098	Vertic Luvis Stagnosols	75%
4) Inkoo	2472	Vertic Luvis Stagnosols	50%	743	Vertic Luvis Stagnosols	73%
5) Raasepori	6619	Vertic Luvis Stagnosols	42%	2436	Vertic Luvis Stagnosols	54%
6) Lohja	8580	Vertic Luvis Stagnosols	56%	3825	Vertic Luvis Stagnosols	67%
7) Vantaa	1341	Vertic Luvis Stagnosols	88%	423	Vertic Luvis Stagnosols	94%
8) Kauhajoki	8827	Stagnic Regosols	68%	1738	Stagnic Regosols	88%
9)Loimijoen valuma-alue	32769	Vertic Luvis Stagnosols	87%	4885	Vertic Luvis Stagnosols	88%
Yhteensä/ka	71995	Vertic Luvis Stagnosols	60%	16654	Vertic Luvis Stagnosols	75%

Pinnanmuototekijä LS oli koealueilla keskimäärin 1,02 ja keskikaltevuus 4,60 %. Tutkimusalueella LS-tekijä oli vajaan kolmanneksen suurempi eroosioherkillä lohkoilla kaikkiin lohkoihin verraten (taulukko 8). LS-tekijä on voimakkaasti oikealle jakautunut eroosion tapaan (kuva 9).

Taulukko 9. LS tekijässä havaitaan vajaan kolmanneksen ero eroosioherkkien ja kaikkien lohkojen välillä.

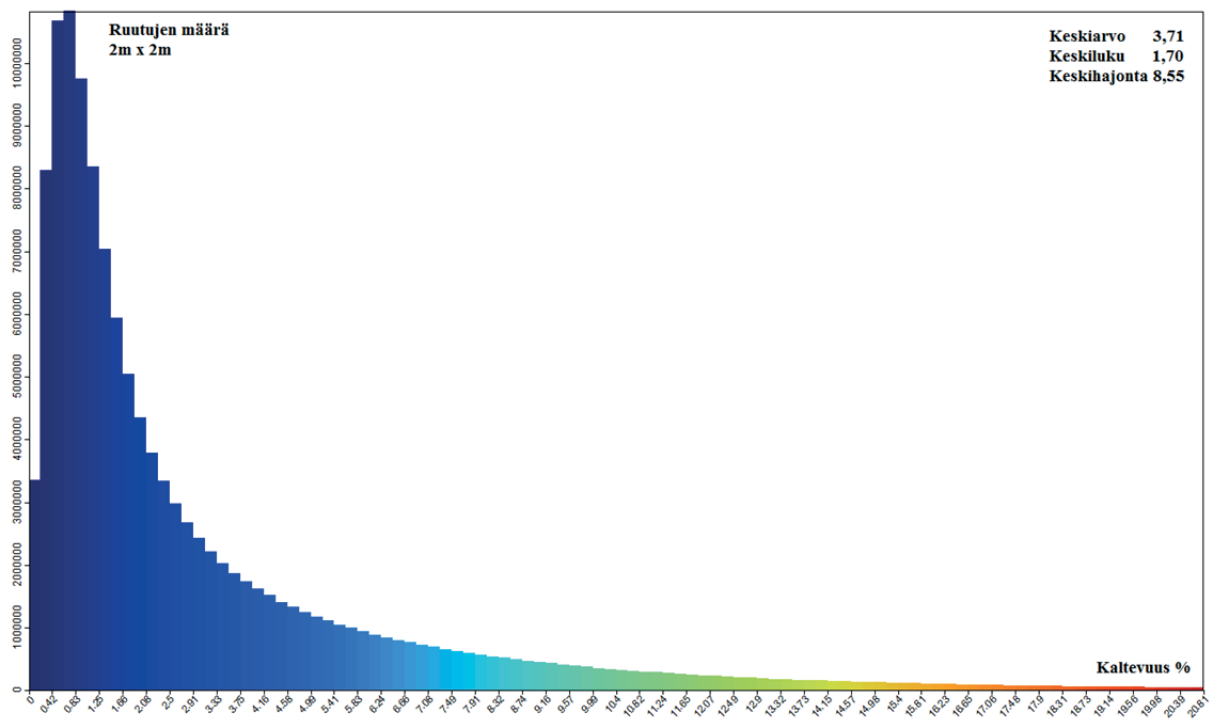
Kunta	Lohkoja kpl	LS (ka.)	Lohkoja. joiden eroosio yli 1t/ha/v	LS (ka.)	Erotus %
1)Sauvo	2576	0,83	819	1,08	+30%
2)Siuntio	1862	1,21	687	1,46	+21%
3)Parainen	6949	1,27	1098	1,16	-9%
4) Inkoo	2472	0,99	743	1,16	+17%
5) Raasepori	6619	1,60	2436	1,83	+14%
6) Lohja	8580	1,76	3825	2,03	+15%
7) Vantaa	1341	0,91	423	1,37	+51%
8) Kauhajoki	8827	0,35	1738	0,86	+146%
9) Loimijoen valuma-alue	32769	0,30	4885	0,81	+170%
Yhteensä/ka	71995	1,02	16654	1,31	+28%

**Kuva 9.** Koelueiden kaikkien peruslohkojen LS on jakautunut voimakkaasti oikealle.

Pinnanmuototekijää *LS* tutkittiin myös sen kaltevuuskomponentilla *S* (taulukko 10). Kaltevuudet olivat keskimäärin neljänneksen suurempia eroosioherkillä lohkoilla. Paraisilla eroosioherkkien lohkojen kaltevuus oli jopa pienempi kuin kaikkien lohkojen. Kaltevuuskomponentti *S* oli vähemmän oikealle jakautunut kuin *LS* (kuva 9).

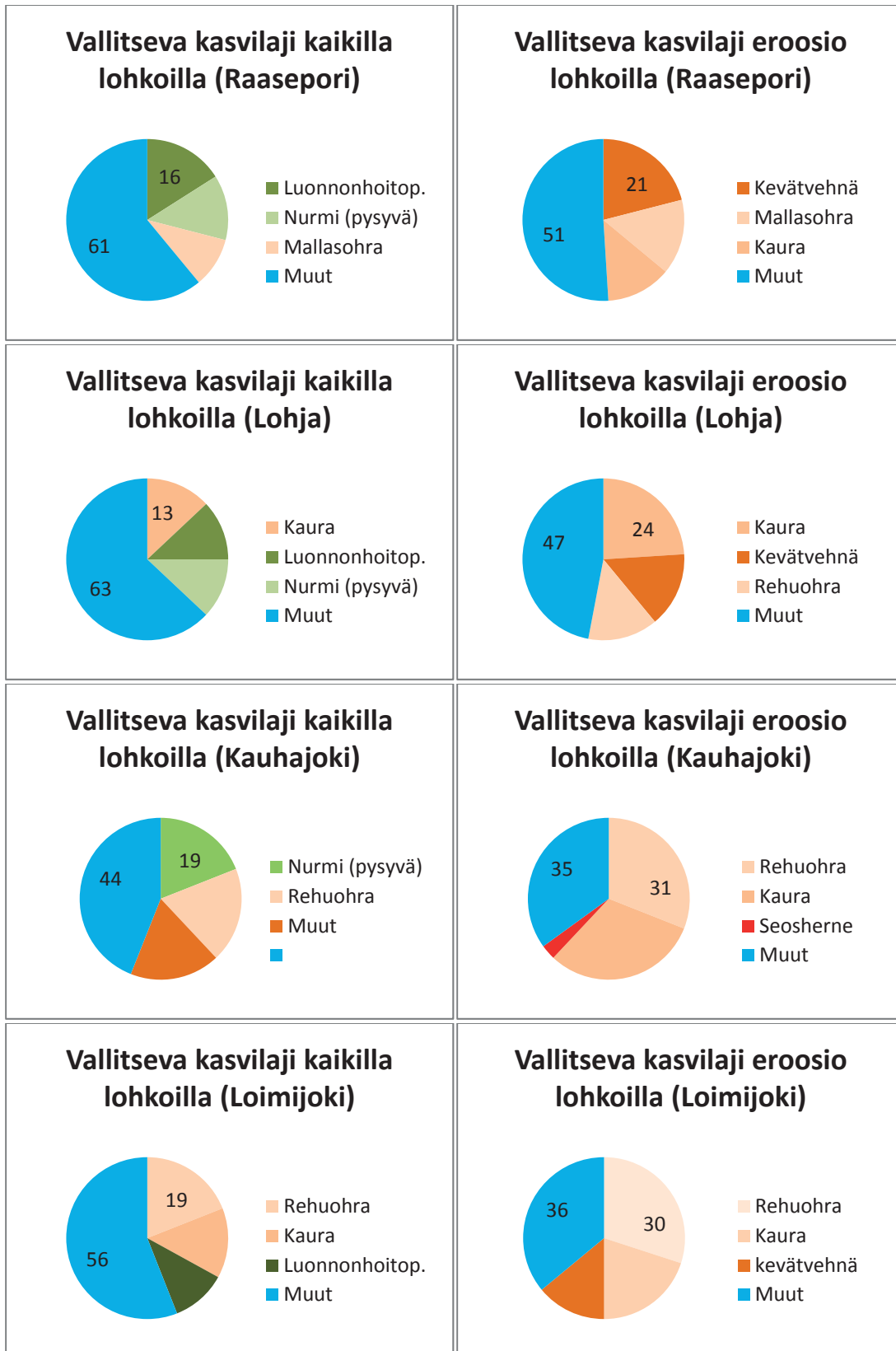
Taulukko 10. Lohkojen keskikaltevuudet ja eroosioherkkien lohkojen suhteellinen ero kaikkiin lohkoihin prosentteina.

Kunta	Lohkoja kpl	Keskikaltevuus	Lohkoja. joiden eroosio yli 1t/ha/v	Keskikaltevuus	Erotus %
1)Sauvo	2576	3,33%	819	3,82%	+15%
2)Siuntio	1862	4,26%	687	4,70%	+10%
3)Parainen	6949	5,28%	1098	4,14%	-22%
4) Inkoo	2472	3,98%	743	4,26%	+7%
5) Raasepori	6619	5,33%	2436	5,53%	+4%
6) Lohja	8580	5,81%	3825	6,25%	+8%
7) Vantaa	1341	3,74%	423	4,73%	+26%
8) Kauhajoki	8827	7,59%	1738	14,82%	+95%
9) Loimijoen valuma-alue	32769	2,07%	4885	3,46%	+67%
Yhteensä/ka	71995	4,60%	16654	5,75%	+25%

**Kuva 10.** Koealueen kaikkien peruslohkojen kaltevuus on myös jakautunut oikealle.

Maanpeitekijässä C (diagrammit 6-13) korostui kevätvehnän osuus eroosioherkillä lohkoilla. Vaikka luonnonhoitopeltoja ja pysyviä nurmia oli alueilla yleisesti, ne eivät kohdistuneet eroosioherkille lohkoille millään koealueella.

Diagrammit 6- 13. lohkojen vallitsevat kasvilajit. Luonnonhoitopellot ja nurmet on merkitty vihreillä sävyillä, viljakasvit oransseilla, palkokasvit punaisella ja muut kasvit sinisellä.



Suojelutoimenpiteillä *P* (suojakaistat ja vyöhykkeet) oli vähäinen merkitys, korkein arvo oli Sauvossa, jossa toimenpiteillä olisi 9 %:n eroosiota vähentävä vaikutus (taulukko 11). Eroosioherkillä lohkoilla oli enemmän salaojitusta salaojayhdistyksen rekisteritietojen mukaan arvioituna (taulukko 12).

Taulukko 11. Taulukko 11 eroosioherkkien lohkojen keskimääräiset P-tekijät verrattuna kaikkiin lohkoihin

Kunta	Lohkoja kpl	P-tekijä	Lohkoja > 1t/ha/v	P-tekijä	Ero %.yks
1)Sauvo	2576	0,91	819	0,90	+1
2)Siuntio	1862	1	687	1	0
3)Parainen	6949	0,94	1098	1	+6
4) Inkoo	2472	1	743	1	0
5) Raasepori	6619	0,98	2436	0,98	0
6) Lohja	8580	1	3825	1	0
7) Vantaa	1341	1	423	1	0
8) Kauhajoki	8827	0,98	1738	0,94	+4
9) Loimijoen valuma-alue	32769	0,95	4885	0,90	+5
Yhteensä/ka	71995	0,97	16654	0,97	+1,8

Taulukko 12. Lohkojen salaojitustilanne salojayhdistyksen rekisterin mukaan.

Kunta	Lohkoja kpl	Salaojitus %	Lohkoja > 1t/ha/v	Salaojitus %	Ero% .yks
1)Sauvo	2576	-	819	-	-
2)Siuntio	1862	44 %	687	56%	+12
3)Parainen	6949	-	1098	-	-
4) Inkoo	2472	49%	743	65%	+16
5) Raasepori	6619	25%	2436	33%	+8
6) Lohja	8580	33%	3825	41%	+8
7) Vantaa	1341	30%	423	36%	+6
8) Kauhajoki	8827	68%	1738	71%	+3
9) Loimijoen valuma-alue	32769	48%	4885	85%	+37
Yhteensä/ka	71995	42%	16654	55%	+13

Taulukko 13. Eroosioherkkien lohkojen pinta-ala suhteessa kaikkiin lohkoihin

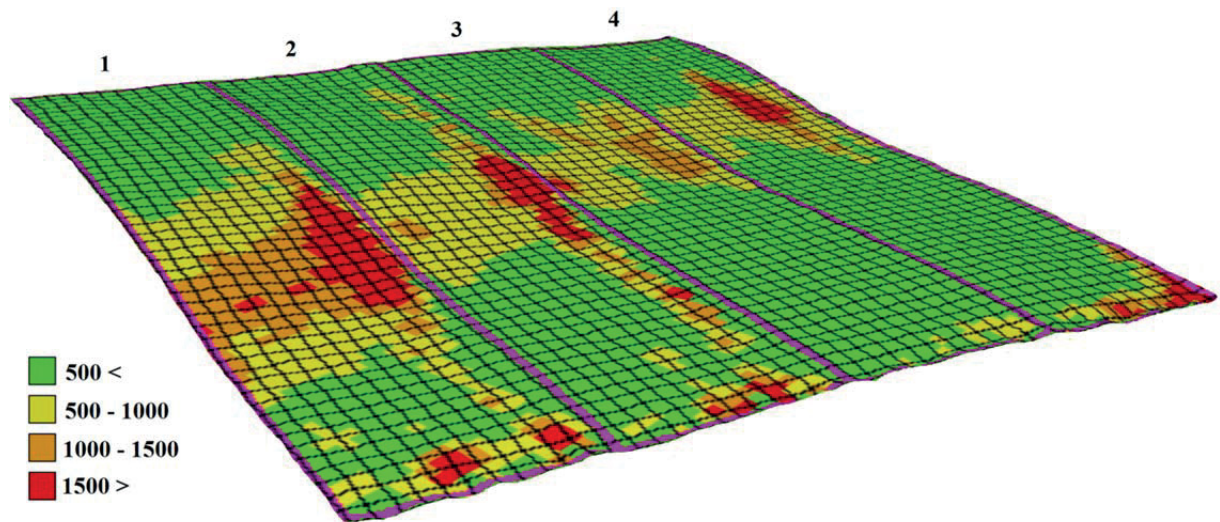
Kunta	Kaikkien lohkojen ka. pinta-ala (ha)	Eroosioherkkien lohkojen yli 1 t/ha/v, ka. pinta-ala (ha)	Erotus (ha)
1)Sauvo	3,48	4,21	+0,73
2)Siuntio	3,78	4,76	+0,98
3)Parainen	1,76	2,14	+0,38
4) Inkoo	3,25	4,57	+1,32
5) Raasepori	2,73	3,65	+0,92
6) Lohja	2,36	2,97	+0,61
7) Vantaa	2,78	3,37	+0,59
8) Kauhajoki	2,64	2,49	-0,15
9) Loimijoen valuma-alue	3,38	2,88	-0,50
Keskiarvo	2,91	3,31	+0,63

4.4 Tulokset kuudelta koekentältä 2m:n mallilla

Koekenttien tulokset on selitetty yksityiskohtaisesti julkaisussa "Evaluation of RUSLE2015 erosion model for boreal conditions" (Lilja ym., 2017). Tässä osassa annetaan yhteenveto tuloksista ja esimerkki mallin toiminnasta Kotkanojan kentällä (kuva 11). Mallinnettua eroosiota verrattiin mitattuihin määriin ja mallin onnistuminen tai epäonnistuminen arvioitiin **±50 % kriteerillä**. Malli onnistui optimoituna arvioimaan eroosion asetetulla kriteerillä 82% :ssa käsittelyistä, mitä voidaan pitää kohtuullisena.

Taulukko 14. Kenttäkohtaiset yhteenvedot

Kenttä	Käsittely	Kesto (v)	Mittaus, kg/ha/v	Virhe%, Rusle2015 Ei-optimoitu	Virhe%, Rusle2015 Optimoitu
Kotkanoja	Pysyvä nurmi	5	135	-49%	-29%
Lintupaju	Pysyvä nurmi	4	240	-37%	-29%
Aurajoki	Pysyvä nurmi	4	570	-41%	-17%
Liperi	Pysyvä nurmi	10	55	-66%	+11%
Kotkanoja	Kevätvilja, suorakylvö	3	165	-24%	-2%
Aurajoki	Syysvilja, suorakylvö	4	620	0%	+30%
Lintupaju	Kevätvilja, suorakylvö	3	458	-39%	-21%
Toholampi	Kevätvilja, suorakylvö	5	210	-63%	-50%
Kotkanoja	Kevätvilja, kevytluokka	3	462	-11%	-19%
Aurajoki	Kevätvilja, kevytluokka	4	1420	+52%	+37%
Kotkanoja	Kevätvilja, kyntö	6	224	+127%	+127%
Lintupaju	Kevätvilja, kyntö	10	825	+35%	+35%
Aurajoki	Kevätvilja, kyntö	4	1896	-21%	-21%
Toholampi	Kevätvilja, kyntö	5	301	+2%	+2%
Liperi	Kevätvilja, kyntö	3	90	+52%	+52%
Hovi	Kevätvilja, kyntö	10	1652	-62%	-62%
Kotkanoja	Paljas maa (avokesanto)	3	1743	-15%	-15%



Kuva 11. Kotkanojan koekentan pintaeroosiota (viljakasvi tavanomaisella kynöllä). Suurin eroosio tapahtuu melko pienellä alalla rinteen notkelmassa.

4.5 Mallin rajoitteet ja kehittämismahdollisuudet

Tuoreessa Estrada-Carmona ym. (2016) tutkimuksessa RUSLE-mallien tekijöiden herkkyyttä tarkasteltiin monimuuttujapohjaisella analyysillä koekenttä, valuma-alue ja Euroopan tasolla (RUSLE2015). Tutkimuksen mukaan C ja LS olivat tärkeimmät kvantitatiiviseen tulokseen vaikuttavat tekijät ja tutkijat suosittelivat suojelutoimenpiteitä kohdennettavan sinne, missä ko. tekijät leikkaavat. Käsikirjoituksessa "Evaluation and adjustment of RUSLE2015 erosion model in boreal conditions" tehtiin koekenttien aineistolle yksinkertainen herkkyyshanalyysi, jossa C-tekijän arvoa vaihdeltiin sen tunnetuissa rajoissa muiden tekijöiden ollessa vakioita.

Taulukko 15. C-tekijän optimointi yksinkertaisella herkkyyshanalyysillä

Käsittely	C_Minimi	C_Rusle2015 (oletus)	C_Maksimi	C_optimoitu	Muutos %
Nurmi	0.0	0.0273	0.0546	0.0382	+40%
Suorakylvö (vilja)	0.0	0.05	0.1	0.0650	+30%
Kevytmuokkaus (vilja)	0.0	0.166	0.332	0.1494	-10%
Kyntö (vilja)	0.0	0.20	0.40	0.1200	-40%
Paljas maa	0.0	0.50	1	0.1500	-70%

Analyysin mukaan nurmen C-tekijän arvoa tulisi nostaa Suomessa RUSLE2015:n oletusarvosta 0.0273 arvoon 0.0382 (+40 %) ja suorakylvön 0.05 => 0.065 (+30%). Kevytmuokkauksella arvoa voitaisiin hieman laskea. Tämä tarkoittaisi sitä, että pohjoisen olosuhteissa nurmen ja suorakylvön eroosiolta suojaava vaikutus olisi jonkin verran oletettua vähäisempi. Normaalikynöllä ja paljaalla maalla optimoidut arvot eivät ole realistisia. Panagos ym. (2015e) maanpeitekijää koskevassa julkaisussa Suomen lähialueiden C-arvot nurmella olivat: Viro (0.0342), Ruotsi (0.0317), Latvia (0.0331) ja EU-28 keskiarvo (0.0435). Luke:n Maaningan tutkimusasemalla on tutkittu nurmien sulamis-jäätymissyklejä

pintavaluntasimulaattorissa. Jos lämpötilat talven aikana sahaavat ja samaan aikaan lumipeite on ohut, P kuormitus lisääntyy. Nurmimassan määrä syksyllä ei vaikuttanut kovin voimakkaasti vaikka se oli tutkimushypoteesi (Ruokojärvi toim. 2015).

Mavin uudistuneet rekisterit (2015) vastaavat nyt paremmin C-tekijän määrittämistarpeisiin. Kasvulohkoilla on nykyisin kuviotieto, jolloin peruslohkon vallitsevan kasvilajin määrittäminen jää pois. Lisäksi saadaan muokkaustieto peruslohkoille talviaikaisen kasvipeitetiedon kautta (ns. aitokasvipeite tai kevytmuokattu). Tämä mahdollistaa eroosiotilanteen tarkastelun vuosittain aikasarjoina (ohjauspolitiikan vaikutus) vuodesta 2015 alkaen.

Nykyiset kartat on laskettu UMT-25 ruuduttain (kuva 5) eikä veden virtaus karttalehtien rajalla ole saumaton. Uudemmassa laskentajärjestelmän versiossa (Grönroos, 2016) virtailu voidaan laskea saumattomasti käyttäen suuria korkeusmalliaineistoja. Pintavirtailu ja edelleen LS-tekijän laskeminen voitaisiin toteuttaa valuma-alueittain, jolloin laskenta tapahtuisi luonnollisissa rajoissa. Mallia päästäneen testaamaan CSC:N supertietokoneessa OGIIIR-hankkeen puitteissa 2017-2019. Mikäli OGIIIR-hanke onnistuu tavoitteissaan esim.eroosioindikaattorin päivittäminen ja lohko kohtaisten eroosioaikasarjojen luominen helpottunee merkittävästi.

5 Johtopäätökset ja yhteenveto

Eurooppalainen RUSLE2015 eroosio malli käyttää RUSLE:n periaatteita, mutta sen kehitys on perustunut vahvasti kaukokartoitusaineistoon kenttämittausten sijaan. Alkuperäinen USLE ja sen seuraaja RUSLE taas kehitettiin laajojen kenttäkokeiden perusteella Yhdysvalloissa. Suomessa VIHMA-malli on laadittu kenttäkokeiden perusteella. Valtakunnan tasolla Vihma ja RUSLE2015 antavat varsin samansuuruisia tuloksia. Suomalaiset koekentät ovat huonosti verrattavissa USA:han, koska ne ovat hyvin vaihtelevia ja mitatut aikasarjatkin ovat lyhyehköjä. Kuitenkin hankkeessa saavutetut tulokset osoittavat, että RUSLE2015-malli yhdistettynä parhaaseen saatavilla olevaan kansalliseen tietoon voi tuottaa realistisia arvioita eroosiosta haastavissa boreaalisisissa olosuhteissa koeruututasolta kuntatasolle. Suurteholaskentatekniikan avulla mallin päivittäminen ja uusien laskelmien teko esim. eroosioindikaattoria varten käy nopeasti.

Tuloksissa jakaumat ovat selvästi oikealle vinoja. Tämä johtuu ennen kaikkea pinnanmuototekijästä LS. Pistemäisenä ilmiönä (sadepisaran isku) eroosio noudattaa normaalijakaumaa. Eroosioaineksen lähtinessä kulkeutumaan alas rinnettä (eroosion spatiaalinen mallintaminen) jakauma vinoutuu positiivisesti kaikilla skaaloilla (koekentän ruudusta valtakunnan tasolle). Saman ilmiön havaitsivat Euroopan tasolla (Bosco ym.2015). Tanskalaisessa tutkimuksessa (Højsgaard ym, 2003) mitattiin eroosiota seitsemän vuoden ajan 189:lla rinteellä yhdenmukaisilla käsittelyillä. Rinteet sijaitsivat ympäri Tanskaa. Mittauksia tehtiin myöhään syksyllä ja myöhään keväällä. Havaintoja oli yhteensä 1041, joista 213:ssa havaittiin mitattavaa eroosiota. Näiden mittauspisteiden tulokset olivat myös jakautuneet selvästi oikealle. Tällainen jakauma merkitsee sitä, että jakauman ”hännän” leikkaaminen (keskittymällä eroosioherkimpiin lohkoihin ja jopa niiden osiin) kohdennetuilla toimenpiteillä olisi vesiensuojelun kannalta erityisen hyödyllistä.

RUSLE2015-mallin realistisia tuloksia voidaan ensin selittää R- sadetekijällä. Kun se on kunnossa, suuria yli ja aliarviointia ei yleensä tule. Suomessa sadepisaroiden aiheuttama maahiukkasten irtoaminen on melko vähäistä ja R-tekijä ei näin täysin voi selittää hiukkasten irtoamista erityisesti savimaalla. RUSLE2015:n R-arvot vaikuttavat kuitenkin olevan oikeansuuntaisia. Oletamme, että maaperätekijä K voi vaihdella suuresti pellon kunnosta ja viljelyhistoriasta riippuen. Kuitenkin maaperätekijällä on vähemmän vaikutusta tuloksiin kuin C, LS ja R-tekijöillä.

Laserkeilauspohjaiset korkeusmallit voivat esittää ihmisen tekemiä maanmuotoja (esim. ojia), joiden kaltevuudet ovat $1:3 - 1:2$ (36% - 100%) ja siten ylittävät mallin LS-tekijälle määritellyn maksimin. Suomessa koekentät on rakennettu siten, että valunta ei pääse koeruudulta toiselle. Käytännössä valunta pysäytetään rakentamalla kapeita matalia harjantenteita ruutujen väliin ja nämä pidetään koskemattomana. Itse ruutuja viljellään ja muokataan koneilla. Emme voineet arvioida tätä vaikutusta eroosioon koekenttätutkimuksessa. Kaikki korkeusmallista laskettavat johdannaiset ja ovat korkeusmallin erotuskyvystä riippuvaisia ja ongelma korostuu toisen asteen johdannaisessa (LS).

C-tekijällä on herkkyysanalyysien mukaan suurin vaikutus lopputulokseen ja muokkaus/kasvipeitteisyys on käytännössä tärkein eroosion hallintaa koskeva tekijä. Malli onnistui systemaattisesti paremmin, kun tekijää säädettiin nurmella, suorakylvöllä (laskettiin) ja kevytmuokkauksella (nostettiin). Tämä tarkoittaa sitä, että pohjoisissa olosuhteissa nurmella ja suorakylvöllä olisi jonkin verran vähemmän eroosiolta suojaavaa vaikutusta kuin RUSLE2015:ssa oletetaan. Viljelykäytännöissä, joissa maata paljastuu enemmän, saatiin ristiriitaisia tuloksia. Mielestämme tämä saattaa selittyä jäätymis-sulamis ilmiöillä, jotka vaikuttavat enemmän paljaalla maalla. RUSLE2015:n C-arvot näyttävät oikeansuuntaisilta, mutta lisätutkimuksia tarvitaan paljaammilla mailla. C-tekijän arvon optimoiminen vienee RUSLE2015-arvot lähemmäs Vihma mallin keskiarvoja tasaisemmillä mailla.

P-tekijä on kaikkein epävarmin RUSLE tyyppisissä malleissa ja salaojituksen huomioimisesta mallissa ei ole vakiintunutta käytäntöä. Yhdessä suojakaistojen ja vyöhykkeiden kanssa salaojitusta voidaan pitää levinneimpänä toimenpiteenä Suomessa ja tietämys niiden vaikutuksesta eroosioon on rajallinen.

Mallin yksinkertaisuus mahdollistaa helpon ja tehokkaan eroosiokarttojen tuotannon. Vaikka sen antamat laadulliset arviot voivat usein olla vain suuntaa antavia, ilman määrällisiä arvioita esim. ohjauspolitiikan vaikutuksia ei voida arvioida.

Viitteet

- Auerswald K., Fiener P., Gomez JA., Govers G., Quinton JN., Strauss P (2015) Comment on "Rainfall erosivity in Europe" by Panagos et al. (Sci. Total Environ., 511, 801-814, 2015).
- Bosco, C., de Rigo, D., Dewitte, O., Poesen, J., Panagos, P., (2015). Modelling soil erosion at European scale: towards harmonization and reproducibility. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 15, 225–245
- Erskine, R. H., T. R. Green, J. A. Ramirez, and L. H. MacDonald (2006). Comparison of grid-based algorithms for computing upslope contributing area, Water Resour. Res., 42, W09416, doi:10.1029/2005WR004648.
- Formanek, G.E., Ross, E. & Istok, J. (1987). Subsurface drainage for erosion reduction on croplands in northwestern Oregon. In Irrigation Systems for the 21st Century. Proceedings of the Irrigation and Drainage Division Special Conference, American Society of Civil Engineers, New York: 25–31.
- Grönroos, Johan, A Multi-GPU Approach to Soil Erosion Modeling Using Digital Elevation Models. Supervisor Jan Westerholm. Master of Science Thesis. Faculty of Science and Engineering. High Performance Computing Laboratory. Åbo Akademi University 2016.
- Højsgaard, S., Rasmussen, H. H., & Djurhuus, J. (2003). ErosPredict - A Program for Predicting Soil Erosion. In Proceeding of 4th EFITA (pp. 1-8)
- Hudson, N.W. (1971). Crop management for cover. *Soil Conservation*. Ithaca, New York: Cornell University Press
- Kuusisto, E., 1980: On the Intensity of Rainfall in Finland. Aqua Fennica 10, s. 3-11
- Leinonen, J., Moiseev, D., Leskinen, M., and Petersen, W.A (2012). A Climatology of Disdrometer Measurements of Rainfall in Finland over Five Years with Implications for Global Radar Observations. J. Appl. Meteor. Climatol., 51, 392–404. <http://dx.doi.org/10.1175/JAMC-D-11-056.1>
- Lilja, H., Nevalainen, R. (2007). Developing a digital soil map for Finland in Developments in soil science Elsevier 31, 67-74
- Lilja, H., Hyväluoma, J., Puustinen, M., Uusi-Kämpä, J., Turtola, E (2017) Evaluation of RUSLE2015 erosion model for boreal conditions, Geoderma Regional, Vol. 10, September 2017, pp 77-84, <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.05.003>.
- Mansikkaniemi, H (1982). Soil Erosion in areas of intensive cultivation in southwestern Finland, Fennia, 160, No 2
- McCool, D. K., R. I. Papendick, and F. L. Brooks. (1976). The universal soil loss equation as adapted to the Pacific Northwest. In Proceedings of the Third Federal Inter-agency Sedimentation Conference, March 22-25, 1976, Denver, Colorado. Prepared by the Sedimentation Committee, Water Resources Council. PB-245 100. 2:135-147.
- McCool, D.K. and G.O. George. (1983). A Second Generation Adaptation of the Universal Soil Loss Equation for Pacific Northwest Drylands. American Society of Agronomy Paper No. 83-2066, St. Joseph, Michigan.
- McCool et al., 1987 D.K. McCool, L.C. Brown, G.R. Foster, C.K. Mutchler, L.D. Meyer, Revised slope steepness factor for the universal soil loss equation, Trans. ASAE, 30 (1987), pp. 1387–1396
- McCool, D.K; Foster, G. R., Ingersoll, A. H. McClella R. C. and R. W. Rickman . (2002). Cover-Management Enhancements for Rusle2 in the Pacific Northwest USA, 12th ISCO Conference Beijing 2002
- Mitasova H., Hofierka J., Zlocha M., Iverson L.R. (1996). Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS. International Journal of Geographical Information Systems 10 (5), 629-641
- Montgomery, D. R. (2007). Dirt: the erosion of civilizations. Berkeley, University of California Press
- Panagos, P., Meusburger, K., Ballabio, C., Borrelli, P., Alewell, C. Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS, Sci Total Environ. 479–480 (2014) pp. 189–200. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.02.010
- Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rousseva, S., Tadic, M.P., Michaelides, S., Hrabalíková, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M., Rymaszewicz, A., Dumitrescu, A., Beguería, S., Alewell, C. Rainfall erosivity in Europe. Sci Total Environ. 511 (2015a), pp. 801-814. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.01.008
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K. (2015b). A New European Slope Length and Steepness Factor (LS-Factor) for Modeling Soil Erosion by Water. Geosciences, 5: 117-126. doi: 10.3390/geosciences5020117

- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., van der Zanden, E.H., Poesen, J., Alewell, C. (2015c). Modelling the effect of support practices (P-factor) on the reduction of soil erosion by water at European Scale. *Environ.Sci.Pol.*, 51: 23-34. doi:10.1016/j.envsci.2015.03.012
- Panagos,P., Borrelli,P., Poesen,J., Ballabio,C., Lugato,E., Meusburger,K., Montanarella,L., Alewell,C. (2015d) The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environ. Sci. Pol.*, 54 (2015), pp. 438–447, doi:10.1016/j.envsci.2015.08.012
- Panagos P, Borrelli P, Meusburger K, Alewell C, Lugato E, Montanarella L. 2015e. Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land Use Policy*. 48:38–50
- Posch, M., Rekolainen, S. (1993). Erosivity factor in the Universal Soil Loss Equation estimated from Finnish rainfall data. *J Agr Sci Finland*, 2, 271-279.
- Puustinen, M., Merilä, E., Palko, J., Seuna, P. (1994) Kuivatustila, viljelykäytäntö ja vesistökuormitukseen vaikuttavat ominaisuudet Suomen pelloilla [Drainage level, cultivation practices and factors affecting load on waterways in Finnish farmland]
- Puustinen, M., Tattari, S., Koskiaho, J. & Linjama, J. 2007. Influence of seasonal and annual hydrological variations on erosion and phosphorus transport from arable areas in Finland. *Soil & Tillage Research* 93 (2007) 44-55.
- Puustinen, M., Turtola, E., Kukkonen, M., Koskiaho, J., Linjama, J., Niinioja, R., Tattari, S., VIHMA, 2010 - A tool for allocation of measures to control erosion and nutrient loading from Finnish agricultural catchments, *Agr. Ecosyst. Environ*, vol 138 No 3-4: 306-317. doi:10.1016/j.agee.2010.06.003
- Quinn, P.F., K.J. Beven, P. Chevallier, and O. Planchon. (1991). The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modeling using digital terrain models. *Hydrological Processes* 5(1):59-79.
- Świąchowicz J., (2012). Water erosion on agricultural foothill slopes (Carpathian Foothills, Poland), *Zeitschrift für Geomorphologie* 56 (Suppl.) 3: 21-35. doi: 10.1127/0372-8854/2012/S-00102
- Rekolainen, S. and Posch, M. (1993). Adapting the CREAMS model for Finnish conditions. *Nordic Hydrology*, 24, 309–322
- Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., McCool D.K., Yoder D.C. (toim.) (1997). Predicting Soil Erosion by Water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook, pp.703.
- Ruokojärvi, A (toim.) (2015) RAVINNEHÄVIKIT EUROIKSI. RAE-hankkeen (2011-2015) loppuraportti. Savonia-ammattikorkeakoulu Julkaisutoiminta
- Sten, J., Erosion prediction using graphical processing units. Supervisor(s): Westerholm, Jan and Aspnäs, Mats. 2014, MSc thesis, High Performance Computing Laboratory, Department of Information Technologies, Åbo Akademi University 11702/2014
- Sten, J., Lilja, H., Hyväluoma, J., Westerholm, J., Aspnäs M., (2016). Parallel flow accumulation algorithms for graphical processing units with application to RUSLE model *Computers & Geosciences*,
- Tattari S., Bärlund, S., Rekolainen S., Posch M., Siimes K., Tuhkanen H-R., Yli-Halla M., (2001). Modeling sediment yield and phosphorus transport in Finnish clayey soils. *Transactions of ASAE*. DOI: 10.13031/2013.4691
- TIKE, 2011. Yearbook of Farm Statistics. Agriculture, Forestry and Fishery. Information Centre of the Ministry of Agriculture and Forestry, Helsinki, Finland, 269 pp.
- Ulen, 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 DOI: 10.1080/09064710.2012.712862
- Uusitalo, R., Turtola, E., Kauppila, T., and Lilja, T. (2001). Particulate Phosphorus and Sediment in Surface Runoff and Drain flow from Clayey Soils, *J. Environ. Qual.* 30:589–595
- Wischmeier, W.H. Smith, D.D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. Agriculture Handbook No. 537. USDA/Science and Education Administration, US. Govt. Printing Office, Washington, DC. 58 pp.
- Zuzel, J.F., R.R. Allmaras, and R. Greenwalt. (1982a). Runoff and Soil Erosion on Frozen Soils of Northeastern Oregon. *Journal of Soil and Water Conservation* 37(6):351.



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000