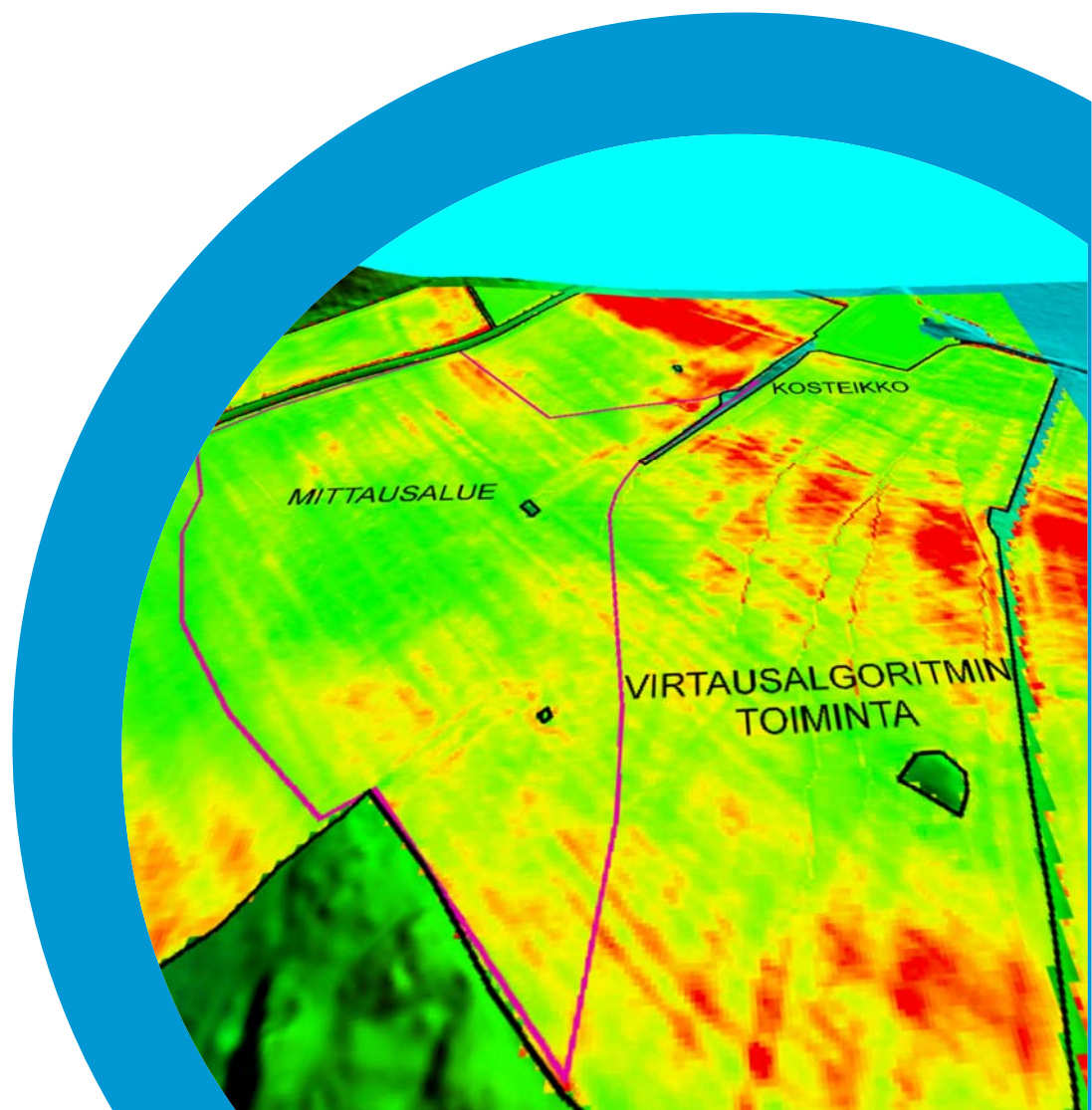


Suomen peltojen karttapohjainen eroosioluokitus

Karttojen kattavuus ja käyttömahdollisuudet

Harri Lilja, Eila Turtola, Jari Hyväluoma, Oiva Hakala,
Markku Puustinen ja Jaana Uusi-Kämppä



Suomen peltojen karttapohjainen eroosioluokitus

Karttojen kattavuus ja käyttömahdollisuudet

**Harri Lilja, Eila Turtola, Jari Hyväluoma, Oiva Hakala,
Markku Puustinen ja Jaana Uusi-Kämppä**

ISBN: 978-952-487-526-4

ISSN: 1798-6419

URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-526-4>

<http://www.mtt.fi/mtraportti/pdf/mtraportti133.pdf>

Copyright: MTT

Kirjoittajat: Harri Lilja, Eila Turtola, Jari Hyväluoma, Oiva Hakala,

Markku Puustinen ja Jaana Uusi-Kämppä

Julkaisija ja kustantaja: MTT Jokioinen

Julkaisuvuosi: 2014

Kannen kuva: Harri Lilja

Suomen peltojen karttapohjainen eroosioluokitus

Karttojen kattavuus ja käyttömahdollisuudet

**Harri Lilja¹⁾, Eila Turtola¹⁾, Jari Hyväluoma¹⁾, Oiva Hakala¹⁾, Markku Puustinen²⁾ ja
Jaana Uusi-Kämpä¹⁾**

¹⁾ Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen, harri.lilja@mtt.fi, risto.uusitalo@mtt.fi

²⁾ Suomen Ympäristökeskus, PL 140, 00251, Helsinki, markku.puustinen@ymparisto.fi

Tiivistelmä

Peltojen eroosioriskin kehittyminen on yksi maatalouden kansainvälisistä ympäristöindikaattoreista. Koska eroosio on merkittävä maatalouden fosforikuormituksen aiheuttaja, peltojen eroosioriskin arviointi on tärkeää maatalouden ympäristötoimenpiteiden suuntaamiseksi. Peltolohkot, ja jopa niiden osat, on kyettävä luokittelemaan eroosioriskin suhteen. Mapero-tutkimushankkeen tavoitteena oli tuottaa kalibroidut, kahden metrin erotuskyvyn eroosiokartat mahdollisimman suurelle osalle valtakunnan peruslohkoja ja kehittää karttojen jakelujärjestelmää käyttäjille. Eroosiokarttojen laskemisessa 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) ei ollut yhtä hyvä, mutta koekentiltä saadut tulokset mahtuivat RUSLE-mallin virhemarginaaliin. Viljelijät arvioivat karttoja seuraavissa projekteissa: Ravi-hanke Kaakkois-Suomessa, Teho ja Teho Plus -projektit Lounais-Suomessa, Huomisen Hämäläinen Maatila Hämeessä, Baltic Deal -hanke pääosin Lounais-Suomessa ja Raha-hanke Uudellamaalla. Viljelijäarvioiden pohjalta karttojen jakelutapaa ja ulkoasua on kehitetty WMS (suorakatselu) -palveluksi, jota testattiin Teho Plus -projektin alueen viljelijöiden kanssa. Jotta mallia ja siihen perustuvia palveluja voidaan hyödyntää neuvonnassa ja mahdollisesti tukipolitiikassa, olisi tasapuolisuuden vuoksi välttämätöntä saavuttaa koko maan kattavuus, 100 % peruslohkoista. [Maanmittauslaitoksen suunnitelmien mukaan](#) laserkeilausaineisto kattaisi koko Suomen vuonna 2019. Mapero-hankkeessa rakennettiin puoliautomaattinen tuotantojärjestelmä, jonka avulla tuotantonopeus on 8-10 UMT25 -karttalehteä päivässä. Yhden karttalehden koko on 28800 ha. Mapero-projektiin liittyen kehitettiin Åbo Akademin tietojenkäsittelytieteiden laitoksen diplomityössä menetelmä, jossa RUSLE-malli toteutettiin OpenCL-ohjelmointikielillä. Tämä mahdollistaa mallin nopean laskemisen edullisessa tehotyöasemassa, jossa on tehokas grafiikkaprosessori. Yhden UMT25-karttalehden laskemiseen kuluu aikaa tehotyöasemalla alle yksi sekunti. Nopeampi laskenta antaa mahdollisuuden RUSLE-mallin vuorovaikutteiseen käyttöön, jolloin neuvoja tai viljelijä voi etsiä eroosioherkille alueille tai peltolohkoille parhaan toimenpiteiden toteutuksen. RUSLE-malli voi myös toimia fosfori-indeksin laskemisen osana. Hankkeen aikana saatiin uutta tietoa suomalaisten savimaiden eroosioherkkyydestä maannosluokituksen kautta. Savimaamme tulee luokitella entisen Cambisol-luokan sijasta Stagnosol-luokkaan. Luokituksen muutos otettiin huomioon koekenttien kalibroinnissa.

Avainsanat:

GIS, eroosio, kohdentaminen, laserkeilaus, WMS

Map-based classification of soil erosion risk in Finnish agricultural fields

Harri Lilja¹⁾, Eila Turtola¹⁾, Jari Hyväluoma¹⁾, Oiva Hakala¹⁾, Markku Puustinen²⁾ ja Jaana Uusi-Kämpä¹⁾

¹⁾ Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen, harri.lilja@mtt.fi, risto.uusitalo@mtt.fi

²⁾ Suomen Ympäristökeskus, PL 140, 00251, Helsinki, markku.puustinen@ymparisto.fi

Abstract

Erosion is a major source of phosphorus to surface waters and the development of erosion risk on field parcels is one of the international agri-environmental indicators. To reduce soil erosion it is important to target the measures to those fields and parts of fields, which are under the highest risk. The objective of this research was to produce maximum coverage of calibrated erosion maps within limits of the LIDAR-survey area. The delivery methods of the maps to their users were studied, too. Mapero project reached about 80% coverage by the end of 2013 (2,051,015 ha out of total 2,455,323 ha). Qualitative accuracy of the maps (the relative risk of erosion) was evaluated as good by the farmers themselves. The quantitative accuracy (t /ha/yr) fits into the RUSLE model's limits. Farmers evaluated the maps in the following projects: Ravi in south-eastern Finland, Teho and Teho Plus in south-western Finland, Huomisen Hämmäläinen maatila in Häme, Baltic Deal mainly in south-western Finland and RaHa in Uusimaa. The distribution of maps and their appearance to farmers as WMS service was tested in the Teho Plus project. It would be necessary to reach 100 % coverage to get the model and related services equally available. The National Land Survey plans to cover the whole Finland by LIDAR-data in 2019. The maps in the Mapero project were produced by the semi-automatic production system that enables the production rate of 8-10 UMT25 mapsheets per day. One sheet covers 288 km². Along with the Mapero project a master's thesis was done at Åbo Akademi University, Department of Information Processing. In the thesis, the RUSLE model was implemented in OpenCL programming language, which allows rapid calculation of the model on workstation with a powerful graphics processor. Calculation of one UMT25 map sheet takes less than one second. Some new information about Finnish clay soil erodibility was obtained during the project. Finnish clays soils are now classified as Stagnosols instead of Cambisols. The Finnish Soil Database 1:250 000 (1.0) was updated in autumn 2013 to version 1.1. The most significant change is in the WRB classification from 1998 to 2008 and the clay soil classification as Stagnosols. The change was incorporated in the RUSLE-model calibration of the test fields.

Keywords:

GIS, soil, soil mapping, database

Alkusanat

Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MTT) ja Suomen Ympäristökeskus (SYKE) käynnistivät vuonna 2009 valtakunnallisen hankkeen peltojen eroosioherkkyysskarttojen laatimiseksi RUSLE-mallin pohjalta. Hankkeen nimeksi tuli *Suomen peltojen karttapohjainen eroosioluokitus (Mapero)*. Tässä raportissa esitellään kauden 2009–2013 tulokset.

Alkuperäisen suunnitelman mukaan mallin erotuskyky olisi ollut valtakunnan tasolla 10 m x 10 m ja 2 m x 2 m laserkeilauspohjaista mallia olisi käytetty vain mallin kalibroititarkoitukseen. Laserkeilauksen läpilyönti tekniikkana sekä keila-alueiden nopeasti laajeneva kattavuus saivat hankkeen tekijät ja ohjausryhmän suuntaamaan tavoitetta kohti tarkempaa erotuskykyä, vaikka sillä ei tämän hankkeen puitteissa täydellistä peittoa saavutettaisikaan. Hankkeessa päästiin kuitenkin noin 80 %:n kattavuuteen peruslohkoista. Malli soveltuu käytettäväksi niin valuma-alueiden kuin myös yksittäisen maatilan tasolla. Erotuskyky on niin hyvä, että voidaan tarkastella tilannetta myös yksittäisen peruslohkon sisällä. Tarkka karttapohjainen malli sai osakseen runsaasti kiinnostusta ja myönteistä palautetta muilta hankkeilta, viljelijöiltä ja kansalaisjärjestöiltä. Lisäksi hankkeen aikana toteutettiin rinnakkaislaskentaan soveltuva RUSLE-malli Åbo Akademin diplomityönä. OpenCL-kielellä ohjelmoitu malli mahdollistaa tehokkaan laskennan grafiikkaprosessorin kautta, jolloin suuriakin alueita on mahdollista mallintaa muutamassa sekunnissa. Hankkeen puitteissa osallistuttiin kansainvälisiin seminaareihin Norjassa ja Ruotsissa ja pidettiin näissä suullinen ja posteriesitys.

Hanke on saanut rahoitusta Maa- ja metsätalousministeriön Makera-rahoituksesta. MMM asetti hankkeelle ohjausryhmän, jonka puheenjohtaja oli Sini Wallenius (MMM) ja jäseninä Eero Pehkonen (MMM), Timo Tarvainen (GTK), Sirpa Thessler (LYNET) ja Juha Vuorimies (YM). Raportin kirjoittajat esittävät parhaat kiitoksensa kaikille hankkeeseen osallistuneille ja sen toimintaa tukenneille henkilöille ja organisaatioille.

Jokioisilla ja Helsingissä maaliskuussa 2014

Kirjoittajat

Sisällysluettelo

1 Johdanto	7
2 RUSLE-malli ja sen soveltaminen Suomeen	8
2.1 Lähtöaineistot	9
2.2 Sadetekijä R	10
2.3 Maaperätekijä K	12
2.4 Pituus- ja jyrkkyystekijä LS	16
2.5 Maanpeitetekijä C	17
2.6 Suojatekijä P	19
2.7 Tekijöiden tarkennusmahdollisuudet	19
3 Koekenttien tulokset	20
3.1 Kotkanoja, Jokioinen	21
3.2 Lintupaju, Jokioinen	22
3.3 Aurajoki, Lieto	25
3.4 Hovi, Vihti	28
3.4 Toholampi	29
3.5 Liperi	30
3.6 Pienen Savijoen valuma-alue	30
4 Eroosiokartat	31
4.1 Puoliautomaattinen järjestelmä	31
4.2 Karttojen kattavuus	32
4.3 WMS-palvelu	33
4.3.1 Mikä on WMS	33
4.3.2 Palvelun toteutus	33
4.3.3 Viljelijäkysely WMS-palvelusta	34
4.3.4 Viljelijäpalaute	35
5 Eroosion määrä aluettain	36
6 Johtopäätökset	38
7 Kirjallisuus	39

1 Johdanto

Eroosion mukana kulkeutuu suuri osa maataloudesta vesistöihin päätyvästä fosforikuormasta. 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 eroosiorisktiin.

Suomesta on puuttunut 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. Tietoa kysytään yleensä jollekin alueelle, kuten EEA:n tilastoruutuun tai NUTS-alueelle muodossa $t\ ha^{-1}\ v^{-1}$. Kansainvälisesti vertaillen tieto Suomen maa-alueista, joilla maaperän eroosion vaaraa voisi olla, on ollut hyvin pienimittakaavaista, ts. arviot ovat olleet karkeita. Tähänastiset eroosiomallit, joista eroosion määrää on voitu arvioida yksikössä $t\ ha^{-1}\ v^{-1}$, ovat olleet 60 leveysasteen eteläpuolella käytetty Pesera-malli ja pohjoispuolella käytetty RUSLE-malli (Suomi ja Ruotsi). Näissä malleissa solun koko on ollut varsin suuri (1 km x 1 km), eikä niitä ole kalibroitu Suomen olosuhteisiin. Eroosioherkkyyttä voidaan arvioida puhtaasti maalajin taipumuksena, tällöin puhutaan K-tekijästä, jonka yksikkö on $t\ ha\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$. Tätä varten JRC:ssa on laskettu kartta Lucas-maanäytteiden pohjalta. Aineiston erotuskyky on 10 km x 10 km (kuva 2). Vuonna 2010 alkaneessa Mapero-projektissa tuotettiin RUSLE-malliin perustuvat eroosioherkkyysskartat laserkeilausaineistolla 2 m x 2 m resoluutiolla eli 500 kertaa erotuskykyisempänä kuin aikaisemmin. RUSLE-malliin tarvittavat parametrit arvioitiin suomalaisten koekenttäaineistojen perusteella. Karttojen laskemiseen kehitettiin puoliautomaattinen laskentamenetelmä. Näiden avulla peltolohkoille laskettiin eroosioherkkyyssarvio, jonka yksikkö on tonni/hehtaari/vuosi. Mapero-hankeessa saavutettiin noin 80 %:n valtakunnallinen kattavuus vuoden 2013 loppuun mennessä. Karttojen kvalitatiivinen tarkkuus (suhteellisen eroosioriskin esiintyminen) on arvioitu hyväksi niin koekentiltä saatujen tulosten kuin viljelijöidenkin antaman palautteen perusteella. Kvantitatiivinen tarkkuus ($t/ha/v$) ei ole yhtä hyvä, mutta koekentiltä saadut tulokset mahtuvat RUSLE-mallin virhemarginaaliin. Viljelijät ovat arvioineet karttoja seuraavissa projekteissa: Ravi-hanke Kaakkois-Suomessa, Teho ja Teho Plus-projektit Lounais-Suomessa, Huomisen Hämäläinen Maatila Hämeessä, Baltic Deal -hanke pääosin Lounais-Suomessa ja Raha-hanke Uudellamaalla. Viljelijäarvioiden pohjalta karttojen jakelutapaa ja ulkoasua on kehitetty WMS (suorakatselu) - palveluksi, jota on testattu Teho Plus -alueen viljelijöiden kanssa.

2 RUSLE-malli ja sen soveltaminen Suomeen

USLE (Universal Soil Loss Equation) julkaistiin 1950-luvun lopussa maanviljelyksen tarpeisiin Wischmeier ja Smith (1958). Myöhemmin sen käyttöä laajennettiin myös muille maankäyttömuodoille (Wischmeier ja Smith (1978), Dissmeyer ja Foster (1980) RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) julkaistiin 1990-luvun alussa ja RUSLE 2 vuonna 2003. RUSLE-mallia voidaan käyttää kaikilla mineraalimaalajeilla arvioimaan pintavaluntaa. USLE on empiirinen malli, mutta RUSLEen voidaan syöttää tietoa erityyppisistä lähteistä (mittaus, arvio ja interpolaatio). RUSLE-mallit ovat täten hybridimalleja. RUSLE on poikkeuksellisen hyvin dokumentoitu ja vahvistettu kaava, minkä vuoksi sitä käytetäänkin joka puolella maailmaa.

Mallien tarkoitus on ohjata maaperän ja vesien suojelun suunnittelua paikallisesti. Kaikki kolme yhtälöä arvioivat eroosiota vuositason tasolla. Tavanomainen suojelun tavoite on estää liiallista eroosiota kontrolloimalla lähtevän sedimentin määrää. Mallin pätevyys voidaan arvioida sillä, miten hyvin se palvelee käyttötarkoitusta (Toy ym. 2002). Tarkkuus on tärkeää, mutta tärkein on suojelupäätös. Tämän vuoksi kaksi mallia, jotka johtavat samaan päätökseen, ovat yhtä hyviä. Muita näkökohtia ovat lähtöaineistojen saatavuus, helppokäyttöisyys ja kokemukset mallista käytännössä. Malli voi antaa tarkkoja lukuja, mutta jos sitä on vaikea käyttää, se jää hyödyntämättä. RUSLE-malli täytti nämä kriteerit.

Tässä tutkimuksessa eroosioriskikartat laadittiin RUSLE-mallin avulla ja kalibroitiin kuudella eri koekentällä (Kotkanoja, Lintupaju, *Aurajoki*, Hovi, Toholampi ja *Liperi*). *Kursiivilla* merkityt kentät eivät ole enää toiminnassa. Mallilla voidaan arvioida ainoastaan **pintavalunnan** aiheuttamaa eroosiota. USLE-tyyppisissä malleissa eroosiota käsitellään sateen monikertana. Sateen potentiaalienergia muuttuu pisaran liike-energiaksi ja liike-energia jakaantuu edelleen pisaran osuessa kasvillisuuteen (C-tekijä) tai maahan (K-tekijä). RUSLE olettaa, että eroosiota aiheuttavat sekä sade-
pisaroiden iskut että veden liike maan pinnalla.

Mallin LS- tekijä puolestaan arvioi, minne sadepisaran sisältämä vesi maan pinnalla kulkeutuu painovoiman vaikutuksesta. Pintavirtailua voidaan hidastaa esimerkiksi suojakaistojen avulla (P-tekijä). Koska kyse on monikerrasta yhden tekijän muuttuessa kohti nollaa, myös kokonaisuus eli eroosio pyrkii kohti nollaa.

RUSLE-mallin kaava $A = R \times K \times LS \times C \times P$ koostuu viidestä tekijästä seuraavasti:

A = maaperän keskimääräinen kuluminen vuositason tasolla yksikössä tonnia/hehtaari/vuosi.

R = sadetekijä: Sitä suurempi, mitä enemmän on sadetta. **Tekijällä on yksikkö MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ yr¹**

K = maaperätekijä: Riippuu useasta alatekijästä, lasketaan maaperäkartojen perusteella. Hiesulla on suurin arvo. **Tekijällä on yksikkö t ha MJ⁻¹ mm⁻¹**

LS = pinnanmuototekijä, rinteiden pituus ja jyrkkyys: Lasketaan korkeusmallista, sitä suurempi, mitä pitempi ja jyrkempi rinne on. LS vaikuttaa olevan Suomen olosuhteissa erittäin tärkeä tekijä.

C = maanpeitetekijä: Lasketaan useasta alatekijästä. Sitä suurempi, mitä vähemmän alueella on peitettä, esimerkiksi nurmea.

P = viljelytapa/suojatekijä: Suojakaistat, terassit yms. menetelmät. Sitä suurempi, mitä vähemmän suojamenetelmiä on käytössä.

RUSLE voidaan laskea paperilla, erillisillä tietokoneohjelmilla, taulukkolaskennassa ja paikkatietojärjestelmissä. Yhdistämällä malli paikkatietojärjestelmään, käyttämällä tarkkoja aineistoja ja uusia laskentamenetelmiä voidaan luoda karttoja, joiden avulla malli aukenee hyvin myös käytännön tilanteisiin maataloilla. Näin voidaan havainnollistaa eroosion suhteellisia ja absoluuttisia määriä pelto-
lohkojen välillä ja lohkojen sisällä.

RUSLE:n rajoitteet

1. Koska lähteenä on suoraan sateen energia, malli voi ennustaa vain noroeroosiota ja norojen välistä eroosiota, ei massiivista eroosiota. Massiivista eroosiota Suomessa ei juuri esiinny.
2. Maanmuodot: Malli on testattu ja vahvistettu toimivaksi puolitasangoilla ja mäkimaastossa 1-20 prosentin rinnekaltevuuksilla. Suomessa ei ole vuoristoja maanviljelysalueilla, joten tämäkään ei muodostu rajoitteeksi.
3. Sateen tyyppi: Sateen intensiteetin ja kineettisen energian suhde on peräisin mittauksista Yhdysvaltain tasangoilta, joilla sääilmiöt ovat äärevämpiä kuin Suomessa.
4. Mallia voidaan käyttää vain pitkän ajan keskiarvona (yli 20 vuotta), eikä yksittäisille myrskyille. Yksittäiset myrskyt voidaan huomioida MUSLE- mallilla, jossa ei lasketa sateen eroosiovaikutusta vaan sen sijaan valuman voimakkuus (Williams 1975).
5. Mallissa ei pystytä käsittelemään tekijöiden keskinäisiä suhteita. Selkeys ja yksinkertaisuus on toisaalta mallin vahvuus. RUSLE ei huomioi esimerkiksi maaperätekijän K tai maanpeitetekijän C vaikutusta tai niiden aiheuttamaa yhteisvaikutusta valuntataphtumaan.

2.1 Lähtöaineistot

Lähtöaineistot ja niiden jatkokäsittelytavat on koottu taulukkoon 1.

Taulukko 1. RUSLE:n tekijät ja tekijöiden yksiköt MJ (megajoule), mm (millimetri), ha (hehtaari), h (tunti), yr (vuosi) ja t (tonni) (Beskow ym. 2009) sekä lähtöaineistot muunnosyhtälöineen.

Tekijä	Yksikkö	Lähtöaineisto ja muunnosyhtälöt
R = sadetekijä	MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ yr ⁻¹	Ilmatieteenlaitoksen kokonaissadanta, 10 km x 10 km hila. Muunnosyhtälö: $R = 0.0483 * P^{1.61}$ missä P= keskisadanta. Renald ja Freimund (1994).
K = maaperätekijä	t ha MJ ⁻¹ mm ⁻¹	Suomen maannostietokanta 1:250 000, K-arvot on laskettu 5 m x 5 m:n hilaksi. K-arvojen lähtökohtana on ICECREAM-mallin K-arvot muutettuna SI-yksiköihin kertoimella 0,1317.
LS = pinnanmuototekijä (rinteen pituus, jyrkkyys)	-	Laserkeilauspohjainen korkeusmalli 2 m x 2 m , pintavirtailgoritmi MDD8. LS-tekijän kaava: $LS(\mathbf{r}) = (m+1) [A(\mathbf{r}) / a_0]^m [\sin b(\mathbf{r}) / b_0]^n$, missä $A[m]$ on ylärinteen alue jaettuna korkeusmallin solukoolla, $b [deg]$ on rinteekaltevuus asteissa, m ja n ovat parametrit ja $a_0 = 22.1$ m on standardikoeruudun pituus ja $b_0 = 5.16^\circ$ on USLE-koeruudun kaltevuus.
C = maanpeitetekijä	-	Suomessa C-tekijää voidaan arvioida valtakunnan tasolla yhdistämällä Tiken:n peruslohkoaineisto ja IACS-rekisteriin tallennetut kasvulohkojen ominaisuustiedot, kuten tiedot kasvista, kesannoinnista jne. Tärkein ero syntyy nurmen ja viljakasvien välillä. Nurmilla kerroin on 0.03 ja viljoilla 0.35 normaalilla kynnyllä. C arvot on laskettu 5m x 5 m:n hilaksi. Renard (1997)
P = viljelytapatekijä.		Suojatekijä P edustaa eroosiota vähentäviä toimenpiteitä, joita voivat olla esimerkiksi terassit, suojakaistat tai muokkaustavat. Jos mitään suojamenetelmiä ei käytetä, tekijä saa arvon 1. Esimerkiksi suojakaistanurmi 5-10 % kaltevalla rinteellä saa arvon 0,55. Tekijää ei voi arvioida spatiaalisesti valtakunnan tasolla. Renard (1997)

Mallin laskentatulokset on 2 m x 2 m -hila, josta voidaan visualisoida eroosion suhteellisia ja absoluuttisia arvoja erilaisten luokittelutapojen avulla. Yleisimmin on käytetty normaalijakaumalukittelua (ns. Gaussin kellokäyrää).

2.2 Sadetekijä R

Sade esitetään RUSLE-yhtälössä tekijällä R. Laskennassa ajatellaan sateen potentiaalinenenergia muuttuvan liike-energiaksi ja aiheuttavan eroosiota. Yksittäisen sadepisarannan eroosiovaikutus voidaan kirjoittaa muotoon $E = mv^2/2$. R-tekijän arvo vastaa liike-energiaa kerrottuna puolen tunnin sateen maksimi-intensiteetillä I_{30} .

R-tekijä lasketaan vähintään 30 minuuttia kestäneiden myrskytahtumien (sadanta yli 12,7 mm) keskiarvona. Tietoja tulee kerätä vähintään 20 vuoden ajalta. Kahden huomioitavan myrskytahtumien välinen aika tulee olla vähintään kuusi tuntia (OMM/WCP, 1983).

USA:ssa laskelmista interpoloitiin ns. isoerodent-karttoja (Wischmeier ja Smith, 1958), ja yksikkönä $\text{hundreds of foot ton inch acre}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ year}^{-1}$. Yksiköstä saadaan SI-järjestelmän mukainen ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ year}^{-1}$) kertomalla luvulla 17,02 (Renard, 1994). Alueille, joilla eroosio aiheutuu korkean intensiteetin sadannan sijaan matalan intensiteetin sateesta tai lumen sulamisesta, on kehitetty oma laskentamenetelmä: R-equivalent.

Myrskytahtumiin perustuva laskentamenetelmä on työläs ja vaatii paljon mittaustuloksia pitkältä ajalta. Tässä tutkimuksessa käytettiin toisenlaista menetelmää, joka perustuu vuosisadantaan. Aluksi laskettiin vertailuluku Suomen ilmastoa suurin piirtein vastaavassa USA:n osavaltiossa, Minnesotassa. R-arvon keskiarvo oli 1740 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$. Minnesotan arvoissa on huomioitu sulamis/jäätymis-ilmiöt (R-equivalent), jotka ovat myös Suomessa merkittäviä.

Vuosisadantaan perustuvia laskentayhtälöitä ovat esimerkiksi:

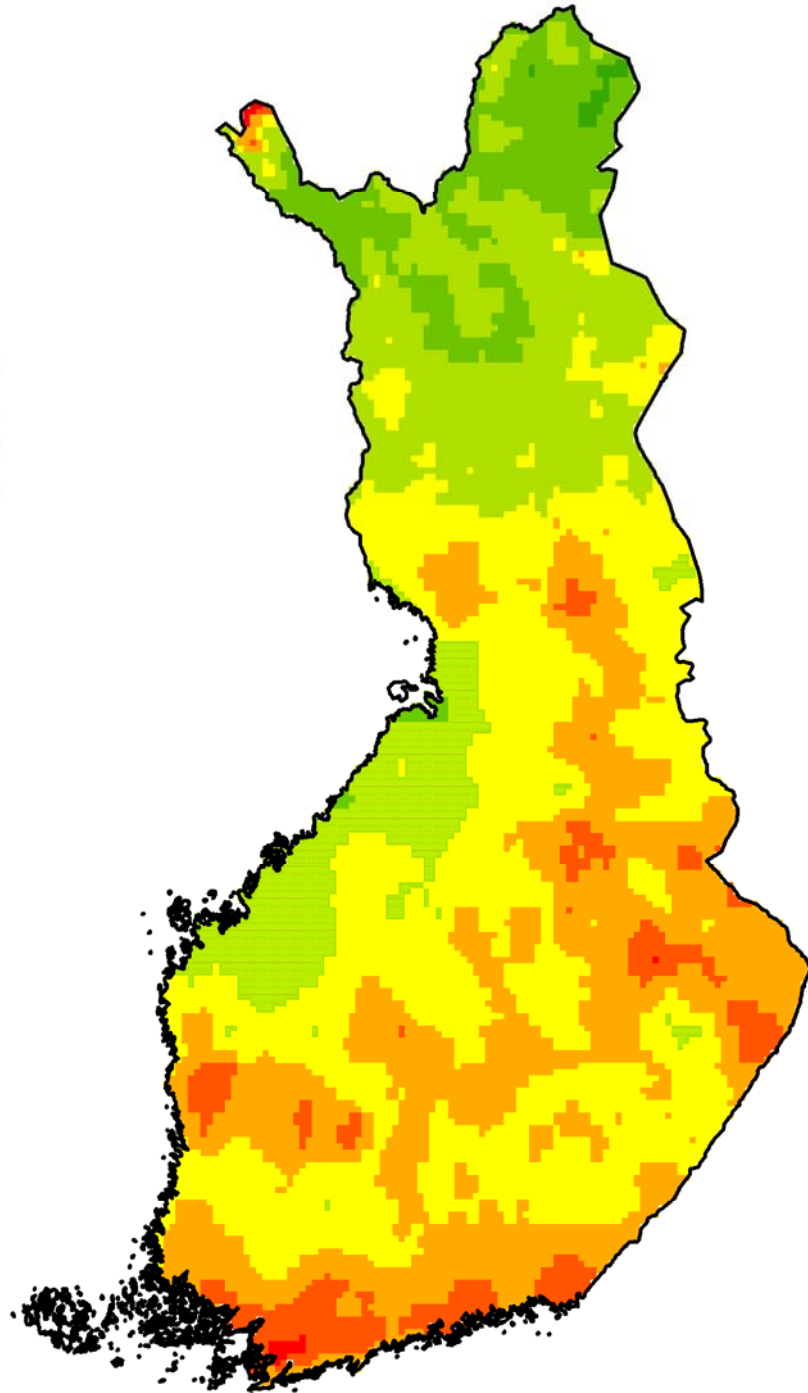
1. Lo ym. (1985): $R = 38,46 + 3,48 * P$, missä P on sadanta millimetreissä. Tätä yhtälöä on käytetty JRC:n tekemissä Alppien alueen sekä Suomen ja Ruotsin RUSLE-malleissa. Yhtälön mukaan Suomessa keskiarvoksi tulisi keskisadannalla 660 mm vuodessa arvo 2335 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$. Yhtälö yliarvioi JRC:n tutkimuksissa R-tekijää, mutta yhtälöllä oli korkein r^2 ja matalin RMSE.
2. Renald ja Freimund (1994): $R = 0,0483 * P^{1,61}$. Tällä yhtälöllä saadaan keskisadannalla 660 mm/v arvo 1673 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$, mikä on varsin lähellä Minnesotan keskiarvoa. Tämä yhtälö kehitettiin USA:n manneralueille, jossa vuosisadanta on vähemmän kuin 850 mm/v. Suomessa vuosisadanta vaihtelee etelän 700 mm:n ja pohjoisen 500 mm:n välillä.
3. Van Der Kniff ym. (1999): $R = a * P_j$, missä P_j on vuosisadanta millimetreissä. A:n arvo on vakio 1.3. Tällä yhtälöllä saadaan tulokseksi keskisadannalla 660 mm vuodessa arvo 858 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$.

Tässä tutkimuksessa Suomeen valittiin kaavaksi Renald ja Freimund (2.) parempien kalibraatiotulosten perusteella ja sääaineistona käytettiin Ilmatieteen laitoksen 10 km x 10 km keskisadantahilaa vuosilta 1961–2000. Keskimääräinen R-arvo Suomessa oli 1107 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ja Jokioisilla 1167 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ yr}^{-1}$. Tuloksena saatu R-arvo hila on esitetty kuvassa 1. Posch ja Rekolainen (1993) havaitsivat Suomessa huomattavaa vaihtelua eroosiossa kuukausittain tarkasteltuna, kun taas paikallinen vaihtelu oli pientä. He käyttivät kahdeksan sääaseman tutkimuksessaan (Jokioinen mukana) Lombardin ja Richardsonin yhtälöä: $EI = a * z^b$. Jokioisten sarja oli vuosilta 1960–1966 ja pluviographi oli toiminnassa läpi vuoden. Kun heidän tutkimuksessaan määrittelemät parametrit a ja b asetetaan Lombardin ja Richardsonin yhtälöön $EI = 0,0148 * 606^{1,85}$ saadaan tulos 2079 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ t}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$. Tulos on lähes kaksinkertainen valittuun yhtälöön nähden ja antaa hyvin samanlaisen tuloksen kuin yhtälö (1.) = 2112 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ t}^{-1} \text{ vuosi}^{-1}$. Suomesta ei ole vielä sateen kineettisen energian suoria mittauksia valtakunnan tasolla. Jokioisten Ilmalan asemalla on ollut ki-

neettisen energian mittari syksystä 2012. Tämän mittarin tuloksia voidaan verrata Kotkanojan kentän valumiin tulevaisuudessa.

Legenda

R-TEKIJÄ
MJ mm ha-1 t-1 vuosi



Kuva 1. R-tekijä Suomessa arvioituna Renald ja Freimund (1994) mukaan.

2.3 Maaperätekijä K

Maaperätekijä kuvaa maan taipumusta kuluu, erodoitua. Se riippuu maan paikallisista ominaisuuksista ja voidaan määrittää maaperänäytteistä, maaperäkartojen avulla, paikalla tehdyllä maaperätutkimuksella tai näiden kaikkien yhdistelmällä.

Wischmeier määritteli K-tekijän arvot luonnonsateiden tai sadetusten avulla koekentillä, jotka olivat 22 m pitkiä ja joiden kaltevuus oli 9 %. Kenttiä ei ollut kynnety kolmeen vuoteen eikä viljelty rinteen suuntaisesti. Wischmeier huomasi, että eroosioon vaikuttivat näissä oloissa eloperäisen aineksen määrä, tekstuuri, pintamaan rakenne ja vedenläpäisevyys.

Kun K-arvoa lasketaan näytteestä, määritetään seuraavat muuttujat (Roose ym, 1989):

1. Hiesun ja hienon hiekan prosenttiosuudet, raekoot 0,002 – 0,100 mm
2. Eloperäisen aineksen prosenttiosuus
3. Maan mururakenne, ts. murun kestävyys, 4-luokkaa käytössä
4. Maan vedenläpäisevyys, 6 luokkaa käytössä

Tämän jälkeen K-arvo katsotaan erityisestä diagrammista. Esimerkiksi näyte, joka sisältää 65 % hiesua ja hienoa hiekkaa, 5 % karkeaa hiekkaa ja 2,8 % eloperäistä ainesta, kuuluu mururakenteeltaan luokkaan 2 ja vedenläpäisevyydeltään luokkaan 4, saa arvon 0.31. SI-yksikköön muuntaminen tapahtuu kertoimella 0,1317 (Zante ym. 2001) (taulukot 2 ja 3).

Vaikka Suomen maannostietokanta (Lilja ym. 2009) sisältääkin kolme K-arvon määrittämisessä tarvittavaa muuttujaa (1, 2 ja 4), päätettiin tässä tutkimuksessa kuitenkin käyttää lähtökohtana Suomen ympäristökeskuksen kehittämään Icrecream-malliin otettuja arvoja ja kansainvälisiä tutkimuksia, joissa K-arvo oli ilmaistu WRB-maannosteluokan kautta. JRC:n tekemä kartta K-arvoista Suomessa on esitetty kuvassa 2 ja maannostietokannasta johdetut K-arvot kuvassa 3.

Pohjoismaisten savimaiden eroosioherkkyydestä ei ole yhtenevää käsitystä. Arvellaan, että ne ovat eroosioherkempiä kuin savimaat muualla maailmassa. Suuri saveksen määrä lisää hiukkasten välistä koheesiota (keskinäistä vetovoimaa) ja vastustaa näin eroosiota. Vedet järvissä ja joissa ovat kuitenkin pohjoismaiden savialueilla yleensä sameita. Suomen maannostietokannan versiossa 1.0 savimaat on luokiteltu Cambisol-pääloukkaan WRB 1998 -järjestelmän mukaisesti (Lilja ym.2009). Cambisol luokka ei kuitenkaan ilmaise maidemme märkyyttä ja suurta kuivatuksen tarvetta. Vain 14 % peltopinta-alasta, enimmäkseen karkeita maita, voidaan viljellä ilman keinotekoisia ojitusta ja 60 % pelloista on salaojitettu (Paasonen-Kivekäs 2009). Keväällä 2013 savimaiden profiileja tutkivat Professori Markku Yli-Halla (Helsingin yliopisto) ja vanhempi Insinööri Åge Nyborg (Norwegian Forest and Landscape Institute). Tutkimuksen tuloksista raportoidaan maailman 20. maaperäkokouksessa Korean Jejussa 2014. WRB 2007- järjestelmän Stagnosol luokka näyttää kuvaavan savimaidemme ominaisuuksia huomattavasti paremmin myös eroosioherkkyyden suhteen. Suomen maannostietokanta 1.0 päivitettiin syksyn 2013 aikana versioon 1.1 ja päivityksen aiheuttamat muutokset tullaan tämän jälkeen ottamaan huomioon RUSLE-laskennassa.

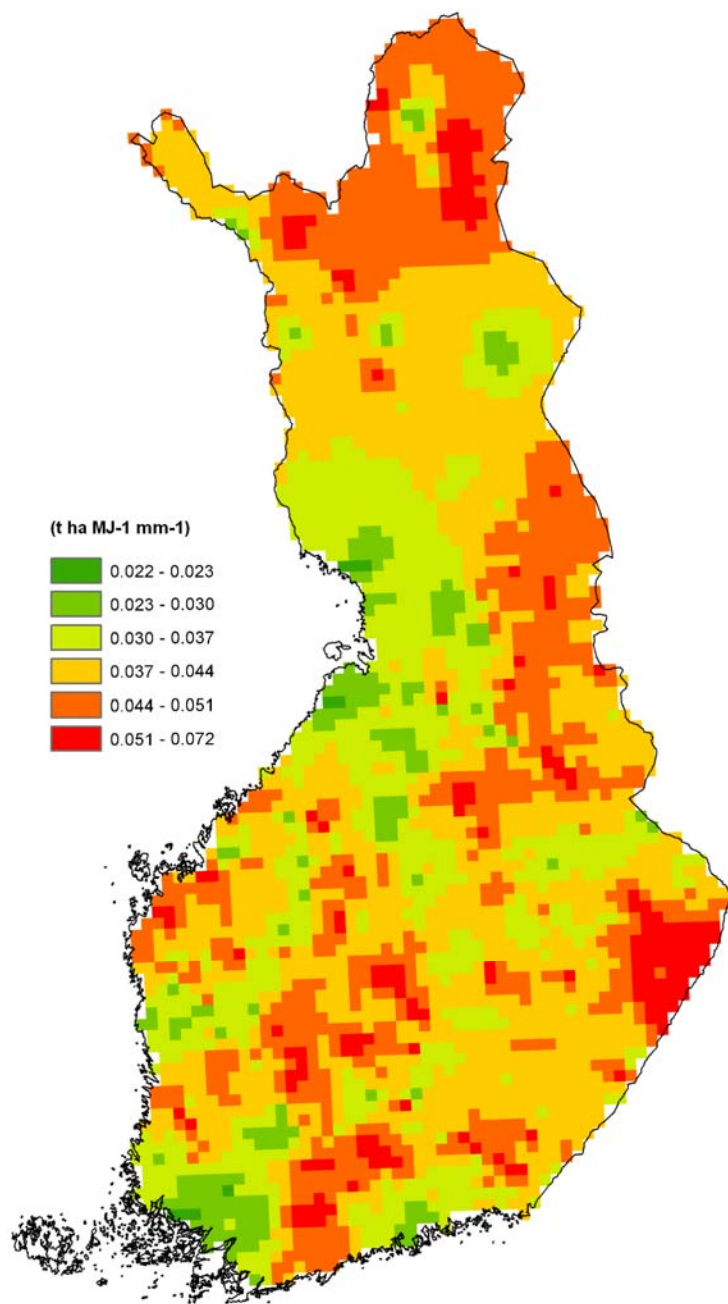
Taulukko 2. Suomalaisia maalajeja vastaavia K-arvoja US- ja SI-yksiköissä.

Maalaji	K_US	K_SI (t ha MJ ⁻¹ mm ⁻¹)
AS	0.206	0.027
Ct	0.060	0.008
HHk	0.102	0.013
HHT	0.236	0.031
HS	0.431	0.057
HsS	0.250	0.033
HtS	0.282	0.037
KHt	0.124	0.016
Lj	0.303	0.040
LjS	0.303	0.040

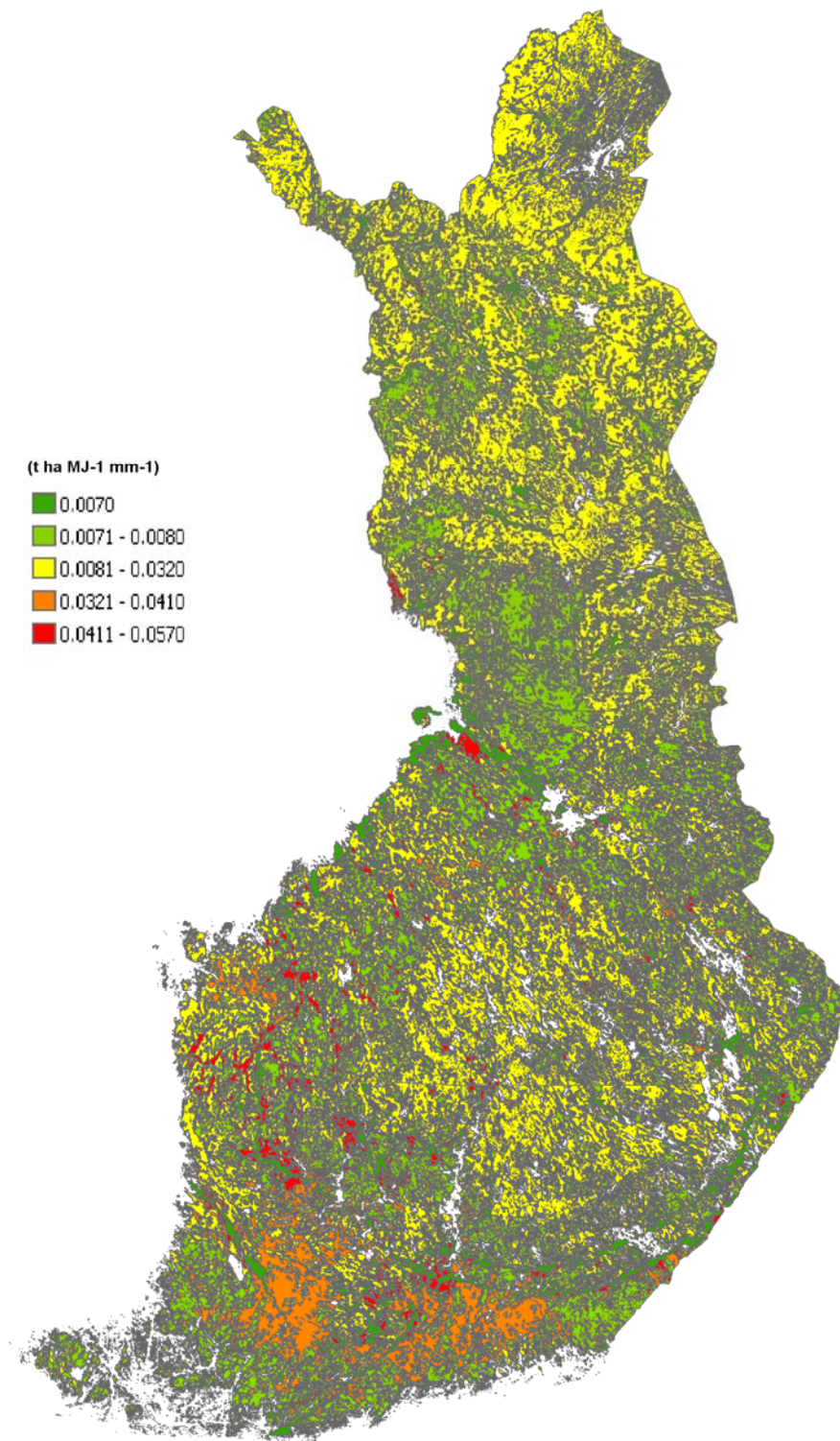
Taulukko 3. WRB (1998) -luokat ja vastaavat K-arvot SI-yksiköissä. Stagnosolin K-arvo on 1.46-kertainen Cambisoliin verrattuna.

SB_WRB	K_SI (t ha MJ ⁻¹ mm ⁻¹)
Dystric Gleysol	0.0400
Eutric Cambisol 2	0.0280
Eutric Regosol	0.0570
Fibric/Terric Histosol 1	0.0080
Fibric/Terric Histosol 2	0.0080
Fibric/Terric Histosol 3	0.0080
Gleyic Podzol 1	0.0160
Gleyic Podzol 2	0.0160
Haplic Podzol 1	0.0320
Haplic Podzol 2	0.0070
Umbric Gleysol 1	0.0400
Umbric Gleysol 2	0.0400
Vertic Cambisol	0.0280
Dystric Leptosol	0.0080
Lithic Leptosol 1	0.0080
Lithic Leptosol 2	0.0080
Vertic Luvic Stagnosol	0.041

Aleksi Räsänen Pro Gradu-työssä kokeiltiin maaperätekijän satunnaistamista Savijoen valuma-alueella. Räsänen (2010) toteaa: ” Satunnaistaminen sekoittaa kuvaa jonkin verran mutta suuret linjat pysyvät suunnilleen samoina. Voidaan kuitenkin osoittaa, että eroosioriski voisi olla alueella selvästi pienempi, jos maaperä olisi karkearakeista saven sijaan. Vastaavasti, jos maaperä olisi silttivaltaisempaa, eroosioriski lisääntyisi. Satunnaistaminen ainakin osoittaa, että maaperällä on merkitystä eroosioriskin kannalta. Tämä merkitys on kuitenkin pienehkö.” Kun otetaan käyttöön Stagnosol-luokka, maaperätekijän merkitys voi kasvaa Räsänen tekemään arvioon verrattuna. Samoin voisi käydä, jos olisi käytettävissä lohkoakohtaisia tietoja maan vedenläpäisevyydestä ja mururakenteen kestävydestä.



Kuva 2. K-tekijä Suomessa laskettuna Lucas-aineistosta, lähde JRC. Lounais-Suomen savialueiden arvo vastaa Cambisol-maannoksen arvoja. Korkeimmat arvot ovat Joensuun-Tohmajärven seuduilla, joilla pellot ovat moreenia, turvemaita ja karkeita kivennäismaita. Kartta ei suurelta osin vastaa kotimaista käsitystä maalajiemme eroosioherkkyydestä. Kuitenkin maalajin eroosioherkkyys itsessään ja hiukkasten kyky kulkeutua pitemmälle ovat eri asioita. Maalaji voi olla joillakin kartan punaisilla alueilla erodoituvaa, mutta ei kulkeudu kauas, vrt.kuva 17. JRC on tehnyt helmikuussa 2014 uuden, parannetun version K-tekijästä 500 m:n erotuskyvyllä.



Kuva 3. K-tekijä Suomessa laskettuna maannostietokannasta. Hienojakoiset Hiesu- ja Hienohieta -maat saavat korkeimman arvon. Kartassa on vähän yhtäläisyyksiä JRC:n kartan kanssa. K-arvon laskennassa on huomioitu Cambisol => Stagnosol päivitys.

2.4 Pituus- ja jyrkkyystekijä LS

Rinteen pituus ja jyrkkyys yhdistetään yleensä yhdeksi tekijäksi RUSLEssa ja tekijä vaikuttaa selvimmän eroosiokartan ulkoasuun. Tekijä voidaan laskea monella eri tavalla. LS-arvojen laskeminen on suurin haaste RUSLEn käytössä erityisesti karttapohjaisissa malleissa. Perinteisesti tarkimmat arvot on saatu mittaamalla käsin kentällä. Laserkeilausaineisto käytännössä poistaa käsin mittaamisen tarpeen ja mahdollistaa pituuden ja jyrkkyuden laskemisen myös sellaisissa tilanteissa, joissa käsin mittaaminen ei ole mahdollista. Täysin luotettavia algoritmeja LS-tekijän laskemiseksi laserkeilausaineistosta ei kuitenkaan ole vielä kehitetty. Grid-pohjaiseen laskentaan menetelmiä ovat kehittäneet Hickey ym. (1994), Hickey (1994), Mitasova ym. (1996), Moore ja Wilson (1992), Moore ja Burch (1986), Desmet ja Govers (1995,1996) ja Cowen's (1993).

Tässä tutkimuksessa käytettiin laserkeilauspohjaisia 2 m x 2 m -korkeusmalleja. Tällaisen mallin korkeussuuntainen (vertikaalinen) tarkkuus on n. 15 cm, eli katukiven reunuksen korkuiset kohteet erottuvat korkeusmallissa. Mallista tehtiin ensin hydrologisesti oikea poistamalla malliin jääneet mahdolliset laskennalliset virheet. Näitä ei yleensä laserkeilauspohjoisissa korkeusmalleissa ole juuri lainkaan pois lukien maanalaiset veden kulkureitit. Sen jälkeen laskettiin vesivirtauksen suuntamalli (flow direction) ja tästä edelleen virtauksen kertymä (flow accumulation). Virtauksen kertymä laskettiin ensin yksinkertaisella D8-algoritmilla, joka painottaa enemmän uomia kuin uomien väliin jäävää aluetta. Näin syntyvän kartan ulkoasu oli kuitenkin liian uomia korostava viljelijäpalautteen mukaan. Jyrkillä rinteillä (yli 10 %:n kaltevuus) on usein enemmän noroeroosiota kuin norojen välistä (Foster 1993). Tasaisemmillä rinteillä (kaltevuus alle 3 %) eroosio on taas enemmän norojen välistä. Suomen peltojen keskikaltevuus on 1.6 % ja mediaani 0.8 % (Puustinen 1994). Tämä selkeästi puoltaa toisentyypisen algoritmin valintaa D8:n sijaan.

MDD8-yhdistelmäalgoritmissa (kuva 4.) ensimmäiset 250 solua (2 m:n korkeusmallissa vastaa 500 m:n matkaa) lasketaan multiple flow -algoritmilla ja sen jälkeen vaihdetaan single flow -algoritmiin (D8). Näin mallissa painottuvat alussa avoimet rinteet (kulumisalueet, uomien välinen eroosio) ja lopussa yksittäiset uomat (kertymisalueet, norot, laskuojat, purot).

Koska RUSLE-malli toimii luotettavimmin rinteen pituuden ollessa alle 150 metriä, virrankertymä-rasterin maksimiarvo rajattiin tähän rinnepituuteen. Rinteen pituuden ollessa yli 150 m RUSLEn kvantitatiivinen tarkkuus muuttuu huonoksi (Moore ja Wilson 1992).

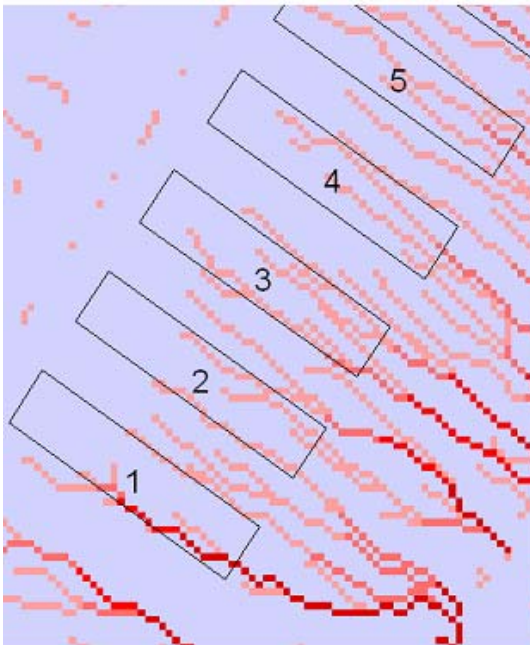
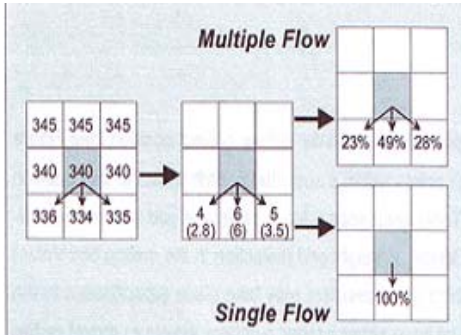
Seuraavaksi laskettiin rinteen kaltevuus asteina ja yhdistettiin kaltevuuden ja virrankertymän rasterit Mitasovan ym. (1996) kehittämällä menetelmällä ”LS-tekijä monimutkaiselle maastolle”. Tässä menetelmässä rinteen pituustekijä korvataan ylärinteen aluetta (A) painottaen (Moore ja Burch 1986, Mitasova ym. 1996, Desmet ja Govers 1996). Pisteessä $r = (x, y)$ rinteellä $LS(r) = (m+1) [A(r) / a_0]^m [\sin b(r) / b_0]^n$

missä $A[m]$ on ylärinteen alue jaettuna korkeusmallin solukoolla, $b [deg]$ on rinteen kaltevuus asteissa, m ja n ovat parametrit ja $a_0 = 22.1$ m on standardikoeruuden pituus. $b_0 = 5.16^\circ$ on USLE-koeruuden rinnekaltevuus. On osoitettu, että arvoilla $m=0.6$, $n=1.3$ saadaan luotettavia tuloksia rinteen pituuden ollessa < 100 m ja rinnekaltevuuden $< 14^\circ$ (Moore and Wilson 1992) rinteillä, joissa on pieni tangentti. Eksponentit m and n voidaan kalibroida, jos sopivaa aineistoa on saatavilla.

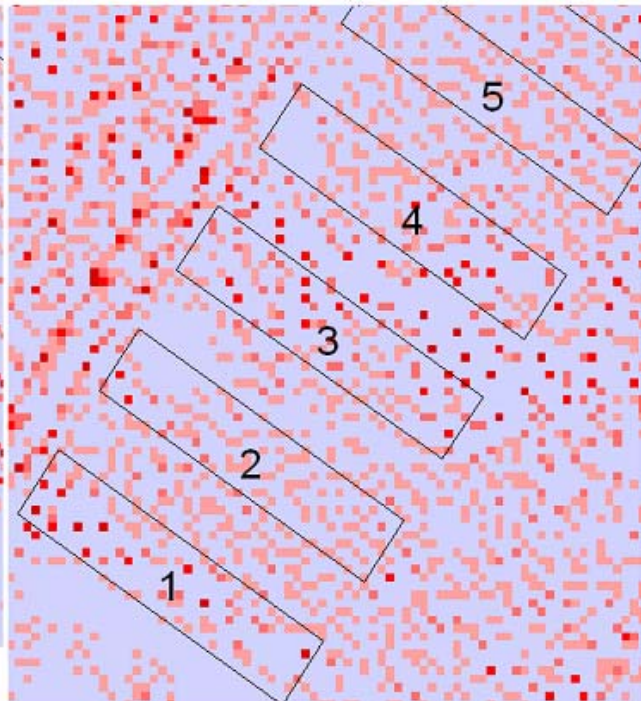
Laskentamenetelmää voidaan käyttää vain kulumisalueilla. Kertymisalueet pitäisi sulkea pois, koska malli olettaa, että kuljetuskapasiteetti ylittää kerrostumiskapasiteetin kaikkialla. Tämän takia RUSLE-malli ei kovin hyvin sovellu monimutkaiseen maastoon tai tapauksiin, joissa on tärkeää arvioida myös eroosioaineuksen laskeutumista ja sedimentaatiota.

Arcview 3.3 GIS-ohjelmassa yhden metrin korkeusmallilla laskettuna LS-tekijän yhtälö on seuraava:

$$([\text{flowacc}] * 1/22.1).\text{Pow}(0.6)*(((\text{[slope]}*0.01745).\text{Sin})/0.09).\text{Pow}(1.3))*1.6$$



D8-algoritmi



MDD8-algoritmi

Kuva 4. Single flow vs. multiple flow laskennan erot. Ylhäällä on pala korkeusmallia, jossa korkeudet ovat metreinä; mustat nuolet osoittavat mahdollisia virran kulkureittejä harmaasta keskusruudusta. Keskellä on korkeuserot metreinä ja suluiissa säädetyt korkeuserot. Pisimmät matkat kulmasoluista lasketaan uudelleen kaavalla: korkeusero/ $\sqrt{2}$. Alavasemmalla on single flow ja alaoikealla multiple flow Aurajoen koekentällä esitettynä. Numeroidun koeruudun pituus on 50 m.

2.5 Maanpeitetekijä C

Maanpeitetekijä C kuvaa viljellyn maan suhteellista eroosioherkkyyttä paljaaseen maahan verrattuna. Täysin suojaton paljas maa saa arvon 1 ja kevyesti metsäinen alue arvon 0.1. Tekijällä ei ole yksikköä.

RUSLE-yhtälössä tekijää arvioidaan yleensä neljän ja joskus viiden alatekijän avulla seuraavasti: C1) *Prior Land Use – alatekijä*. Tällä pyritään arvioimaan maan muokkauksen aiheuttaman löyheneemisen sekä maahan sitoutuneen biomassan vaikutusta eroosioon. Esimerkiksi maa, joka on ollut niittynä tai laitumena ennen kyntämistä, on vain 25 % :sti erodoituvaa verrattuna maahan, joka on jatkuvassa viljelyssä. Tämä johtuu vakaammasta mururakenteesta. C2) *Canopy Cover-alatekijä*. Latvuspeitto on se kasvillisuuden osa maanpinnan yläpuolella, joka ottaa vastaan sadepisarat, mutta ei kosketa maata. RUSLEssa huomioidaan kaksi latvuston ominaisuutta: (1) latvustopeitto % ja (2) se latvuston korkeus, josta sadepisarat edelleen putoavat maahan (tehollinen pudotuskorkeus). C3) *Surface Cover* on se aines, joka on kontaktissa maan kanssa ja vastaanottaa sekä sadepisaroiden iskut että hidastaa pintavaluntaa. Se sisältää kaikenlaisen peitteen, kuten katemateriaalit ja kivet, elävän maata koskettavan kasvillisuuden sekä karikkeen. Ollakseen tehokas peitteen täytyy olla kiinnittynyt maahan siten, että se ei irtoa tuulen tai pintavalunnan mukana. Yleensä pinnanpeite toimii paremmin noroeroosion kuin norojen välisen eroosion estämisessä (Foster, 1982). Suomen pelloilla eroosio on RUSLE- mallin mukaan pääasiassa norojen välistä eroosiota, näin ollen kasvipeite ei välttämättä ole paras mahdollinen tapa sen estämiseen. C4) *Surface Roughness* maata häiritsevät toimenpiteet jättävät jälkeensä kahdentyyppistä pinnan karkeutta: suuntautunutta ja satunnaista. Kyntö on esimerkki suuntautuneesta karkeudesta. Suuntautunut karkeus ohjaa pintavaluntaa ja sen on ajateltu voivan pysäyttää valuntaa erityisesti silloin, kun se on korkeuskäyrien mukaan suuntautunutta. Ilmiötä on tutkittu uudella MTT:ssa kehitetyllä anisotrooppisella pintavirtailuualgoritilla julkaisussa Hyväluoma ym. (2013). Suuntautunut karkeus on RUSLE:ssa P-tekijää ja satunnainen puolestaan C-tekijää. C5) *Antecedent Soil Moisture* aikaisemmalla maan kosteudella on merkittävä vaikutus infiltraatioon ja valuntaan ja täten myös eroosioon.

Suomessa C-tekijää voidaan arvioida valtakunnan tasolla taulukon 4 mukaisesti yhdistämällä Tiken peruslohkoaineistotietoon IACS-rekisteriin tallennetut kasvulohkojen ominaisuustiedot, kuten tiedot kasvista, kesannoinnista jne. Kalibroinnissa ei käytetty alatekijöitä, vaan sovellettuja kokonaisarvoja kirjallisuuden perusteella Renard (1997). Kun alatekijöihin vaadittavaa tutkimustietoa kertyy Suomesta niitä voitaneen ottaa myöhemmin huomioon.

Taulukko 4. C-arvojen arvioiminen IACS-rekisterin tiedoista (viljelytapaa eli tässä tapauksessa muokausmenetelmää, ei saada tällä hetkellä mistään rekisteristä). Esimerkissä on käytetty kolmea muokausmenetelmää: normaali kyntö, kultivointi ja suorakylvö. Vilja- ja nurmimaat voidaan erottaa toisistaan luotettavimmin. Vilja yhdistettynä normaaliin kyntöön C = 0.35 ja nurmi = 0.03. C-tekijän arvoa viljalla on epäilty liian korkeaksi. Esimerkiksi Kotkanojan koekentällä eroosio on ollut kynnetetyillä viljaruuduilla 2-3 kertainen nurmeen nähden ja näin ollen viljan C-arvon pitäisi olla luokkaa 0.06-0.09, joka taas kansainvälisten tutkimusten mukaan vastaisi lähinnä suorakylvön arvoa (Williams 2009).

Kasvipeite	Viljelytapa	C-tekijä
Vilja	kyntö	0,35
Juurikasvit	kyntö	0,4
Nurmi	kyntö	0,03
Muu	kyntö	0,03
Vilja	kultivointi	0,21
Juurikasvit	kultivointi	0,24
Nurmi	kultivointi	0,02
Muu	kultivointi	0,02
Vilja	suorakylvö	0,0875
Juurikasvit	suorakylvö	0,1
Nurmi	suorakylvö	0,0075
Muu	suorakylvö	0,0075

2.6 Suojatekijä P

Suojatekijä P edustaa eroosiota vähentäviä toimenpiteitä, joita voivat olla esimerkiksi terassit, suojakaistat ja -vyöhykkeet tai korkeuskäyrien suuntainen viljelytapa. Jos mitään suojamenetelmiä ei käytetä, tekijä saa arvon 1. Esimerkiksi nurmella oleva suojakaista 5-10 % kaltevalla rinteellä saa arvon 0,55. Tuotantojärjestelmässä ei vielä käytetä P-arvoa, koska sitä ei voida määrittää valtakunnan tasolla kaikille lohkoille. Kenttien kalibroinnissa käytettiin arvoja amerikkalaisesta kirjallisuudesta (Renard 1997) ja Lintupajun koekentän tuloksia (Uusikämpä ym. 1996)

2.7 Tekijöiden tarkennusmahdollisuudet

Sadetekijästä (R) saadaan jonkin verran uutta tietoa Kotkanojan kentän viereiseltä Ilmalan sääasemalta, jossa on ollut distrometri syksystä 2012. Laitte mittaa sadepisaroiden kokoa ja jakaumaa sekä suoraan sateen kineettisen energian. Tulevaisuudessa säätutkadataa voitaisiin ehkä käyttää R-tekijän valtakunnalliseen tarkentamiseen. Tämä tosin edellyttäisi isohkoa tutkimushanketta aiheen ympärille.

Maaperätekijää K voitaneen tarkentaa entisestään savimaiden osalta. Savimaiden rakennetta on tutkittu/tutkitaan MTT:lla ja HY:lla. Maaperätekijän tarkentamisessa tärkeintä olisi kuitenkin päästä jollain tapaa kiinni muokatun maan K-arvoon, joka voi olla varsin erilainen saman maalajinkin lohkoilla. Tässä avainasemassa on salaojituksen toimivuus. Vielä ei kuitenkaan ole mitään menetelmää, jolla salaojituksen toimivuutta voitaisiin arvioida lohkoakohtaisesti koko valtakunnan tasolla.

Tekijöistä merkittävintä eli rinteiden pituuden ja jyrkkyyden (LS) laskentatapaa voitaneen tarkentaa huomattavasti uusien nopeiden laskentamenetelmien avulla. Menetelmässä maastonmuotoja analysoidaan korkeusmallin esikäsittelyssä ja virrankertymän sekä LS-tekijän laskennan algoritmeja vaihdettaisiin ”lennossa” maaston mukaan. Jyrkillä rinteillä (erilaiset penkat ja törmät) kalibrointitietoa voidaan etsiä maarakennuksen/kaivainnaisteollisuuden puolelta, koska RUSLE-mallia on maailmalla sovellettu myös näihin tarpeisiin.

Maanpeitetekijän C suhteen pitäisi saada mittaustuloksia esimerkiksi sadesimulaatioista, jotta voitaisiin päästä parempaan käsitykseen nurmen ja viljan C-tekijöiden keskinäisestä suhteesta. Tekijää voidaan myös tarkentaa kokoamalla yhteen tähänastinen tutkimustieto.

Ihmisen toiminnan osalta (P) ratkaisu olisi periaatteessa yksinkertainen. Jos esimerkiksi ympäristökorvauksen yhteydessä tulisi peltolohkolta ilmoittaa myös muokkaustapa, tekijä voitaisiin ottaa huomioon nopeasti koko valtakunnan tasolla.

3 Koekenttien tulokset

Tieteellistä julkaisua varten kalibroinnit rajattiin koekenttien sisälle, sillä kentät on erotettu muusta ympäristöstä mahdollisimman tehokkaasti rakenteellisin estein. Aineistoa ja uusia havaintoja kentiltä on paljon, eikä niitä ole järkevä käsitellä yhdessä julkaisussa, vaan julkaisuja on oltava useita. Tässä raportissa esitetään kuitenkin tulokset mahdollisimman suoraan laskentajärjestelmästä, jotta ne olisivat parhaiten vertailukelpoisia peruslohkojen tulosten kanssa. Tällainen tarkastelutapa ei ole mallin kannalta ihanteellinen, koska koekenttiä ei ole eroteta taustastaan, eikä esimerkiksi virtausalgoritmia voi valita. Tämä antaa kuitenkin käsityksen tuotantojärjestelmän kvantitatiivisesta suorituskyvystä ylipäättään ja tuo paremmin esiin mahdollisia ongelmia. Raportissa keskitytään tuloksiin nurmella ja pyritään tuomaan esiin laskentajärjestämän vahvuuksia ja heikkouksia. Kenttien vuosittaiset eroosion mittaustulokset myös vaihtelevat hyvin laajassa skaalassa Liperin kymmenistä kilogrammoista Aurajoen ja Hovin tuhansiin kiloihin hehtaarilta. Niinpä esimerkiksi Liperin kentän virhe prosentuaalisesti on noin 30%, mutta kvantitatiivisesti vain noin 20 kg.

Kalibrointi aloitettiin virtausalgoritmeja kokeilemalla yksinkertaisimmalla D8-algoritmillä. Kirjallisuuden ja osin viljelijäpalautteen perusteella virtailualgorithmiksi vaihdettiin yhdistelmäalgoritmi MDD8. K-tekijässä käytettiin alustavasti suomalaisen ICECREAM-mallin arvoja. Malli on USLE-perustainen, joten oli oletettavissa, että nämä arvot ovat jo kalibroituja. Arvot muutettiin SI-yksiköihin ja ne liitettiin maannosluokkiin kansainvälisen vertailtavuuden helpottamiseksi. Savimaiden osalta Cambisol => Stagnosol-muutoksen tultua ajankohtaiseksi keväällä 2013 Kotkanojan, Lintupajun, Aurajoen ja Hovin kenttien tulokset laskettiin uudelleen. Kotkanojan tulos parani jonkin verran (-19% => +12%).

Mallia testattiin kuudella koekentällä eri puolilla Suomea (taulukko 5): 1) Kotkanoja, 2) Lintupaju, 3) Aurajoki, 4) Hovi, 5) Toholampi ja 6) Liperi. Lisäksi vertailtiin Vihma- ja RUSLE-mallia pienen Savijoen valuma-alueella. Koekentiltä on muokkaus- ja kasvipeitteisyys tietoja tarkemmin saatavissa kuin peruslohkoilta, joiden tiedot perustuvat IACS- ja kasvulohkorekisteriin. C- ja P-tekijää säädettiin näiden tietojen mukaan. K-tekijässä on huomioitu Cambisol => Stagnosol luokituksen aiheuttama muutos savimaiden K-arvoon. Mallia ei räätälöity kullekin koekentälle erikseen LS-tekijän suhteen, vaan kokeiltiin tuotantojärjestelmän suorituskkyä tarkemmilla C- ja P-aineistoilla.

Taulukko 5. Koekenttien sijainnit ETRS89- koordinaattijärjestelmän maantieteelliset koordinaatit desimaaleina.

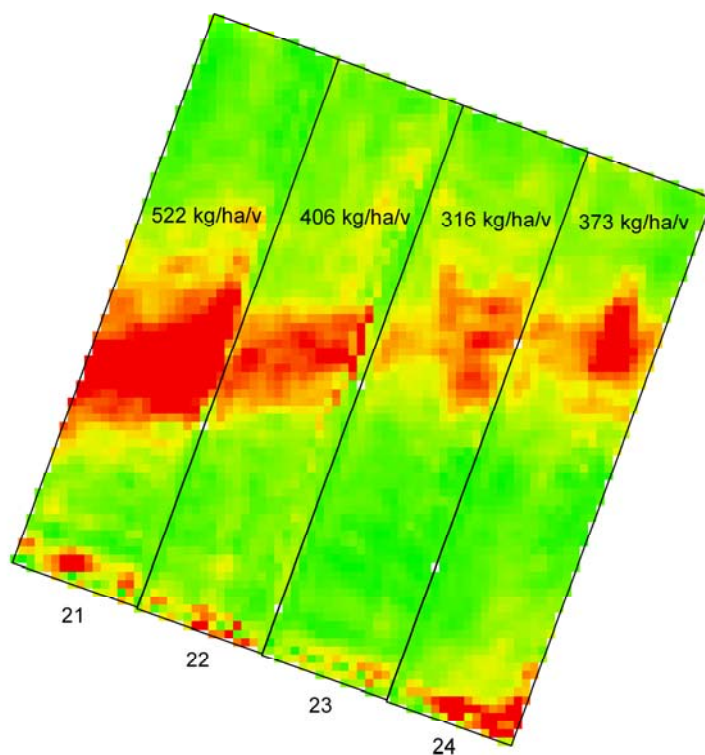
Kentän nimi ja sijainti	Leveysaste	Pituusaste	Karttalinkki
Kotkanoja, Jokioinen	60.81575252	23.51107308	http://goo.gl/maps/XsRL5
Lintupaju, Jokioinen	60.79655508	23.45718507	http://goo.gl/maps/xYNCO
Aurajoki, Lieto	60.48159832	22.36783829	http://goo.gl/maps/AJwCZ
Hovi, Vihti	60.42321106	24.37119166	http://goo.gl/maps/IQ7aa
Toholampi, Toholampi	63.82091387	24.15989771	http://goo.gl/maps/TsvSM
Liperi, Liperi	62.52972556	29.3669756	http://goo.gl/maps/JITku

3.1 Kotkanoja, Jokioinen

Kotkanojan kentällä on neljä koeruutua, jotka kaikki olivat olleet viljelemättömiä ja nurmipeitteisiä useamman vuoden (taulukko 6). Tilanne oli ideaalinen kalibrointia ajatellen, koska muuttujia oli mahdollisimman vähän. Ennen kentän peruskorjausta ja salaajituksen kunnostamista (1991) ruutu 24/D antoi eniten pintavaluntaa. Nykyään ruutu 21/A tuottaa suurimman pintavalunnan, mikä on yhdenmukainen mallin tulosten kanssa (kuva 5). Kotkanojan kenttä on kaikista kuudesta kentästä rakenteellisesti luotettavin ja sieltä on saatavissa tietoja myös muista viljelytavoista, joiden tuloksia käsitellään tulevissa julkaisuissa. Kynnettyjen ruutujen mitattu kokonaiserosio on noin 2-3 kertainen nurmeen verrattuna.

Taulukko 6. Kotkanojan kentän tulokset suoraan laskentajärjestelmästä. Tekijöitä taulukossa keskenään kertomalla päädytään hiukan eri tulokseen, koska silloin kerrotaan keskenään matriisien keskiarvoja, eikä itse matriiseja.

Ruutu	Muokkaus	Mitattu eroosio kg/ha/v	R (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ yr ⁻¹)	K (t ha MJ ⁻¹ mm ⁻¹)	LS	C	P	Laskettu eroosio kg/ha (GIS)	Virhe kg/ha/v	Virhe %
21/A	Nurmi	460	1431	0.041	0.295	0.03	1	522.0	62.0	13.5
22/B	Nurmi	384	1431	0.041	0.255	0.03	1	406.0	22.0	5.7
23/C	Nurmi	409	1431	0.041	0.199	0.03	1	316.0	-93.0	-22.7
24/D	Nurmi	398	1431	0.041	0.222	0.03	1	373.0	-25.0	-6.3
Keskiarvo		412.8	1431	0.041	0.243	0.03	1	404.3	50.5	12.1



Kuva 5. Kotkanojan kentän RUSLE-malli.

3.2 Lintupaju, Jokioinen

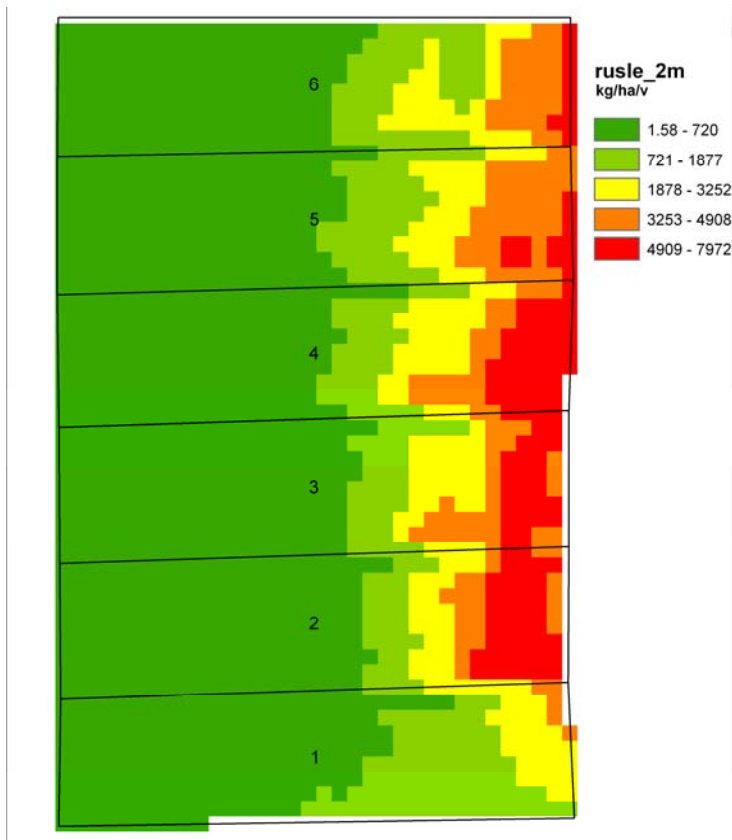
Lintupajun kentällä on kuusi koeruutua, joilla on ollut erilaista muokkausta ja viljelyä. Lisäksi kentällä on ollut käytössä suojavyöhykkeet, joten tilanne oli kalibroinnin kannalta Kotkanojaa haastavampi.

Kentän koeruudut on aina kynnetty rinteen suuntaan, suojavyöhykkeet ovat olleet 1990-luvun alusta ja niiden keskimääräinen teho on ollut 50 %. Kentällä ei ole aiempaa historiaa esimerkiksi kesantopeltona. Topografian mukaan (LS-tekijä) Lintupajusta tulisi Kotkanojaa vastaavissa olosuhteissa mallin mukaan reilusti Kotkanojaa enemmän pintavaluntaa. LS-tekijä on Kotkanojalla keskimäärin 0.243 ja Lintupajussa 1.230 eli noin viisinkertainen. Mittaustuloksissa esim. laidunkäytössä eroosion määrä on kuitenkin ollut Kotkanojaa noin puolet pienempi. Suurin eroosion arvo on ruudulla 4 (taulukko 7 ja kuva 6). C-tekijällä virhettä ei voida selittää, koska sitä ei voi juuri pienentää arvosta 0.03, eikä ruuduilla ole sellaista aiempaa maankäyttöhistoriaa (viherkesanto tms), joka olisi muodostanut stabiilin mururakenteen. P-tekijä on jo huomioitu ja sen tehosta on olemassa mittaustulos. R- ja K-tekijöissä ei ole eroa verrattuna Kotkanojan kenttään. Virheen syytä on lähdettävä etsimään LS-tekijästä (kuvat 7-9).

Lintupajun rinteen poikkileikkaus ei luultavasti ole mitenkään poikkeuksellinen suomalaisessa puron/joenvarsimaisemassa. Vertailun vuoksi laskuojien ohjekaltevuus savimailla on 1:1,5, joka on tangentti $1 \text{ m} / 1.5 \text{ m} = 0.66 = 33^\circ$. laskuojat jäävät kuitenkin laskentajärjestelmässä pääosin ulkopuolelle, koska laskenta rajoittuu peruslohkoon, jota puolestaan rajaa reunaoja. Sarkaojen merkitystä lohkon kokonaiseroosion kannalta ei selvitetty, mutta se tuskin on huomattava pienen pinta-alan takia. Sen sijaan joen/puronvarressa oleva pinta-alaltaan lohkoon nähden suuri alue voinee vääristää yksittäisen lohkon tulosta huomattavasti.

Taulukko 7. Lintupajun kentän tulokset nurmella tuotantojärjestelmästä, MDD8 algoritmi.

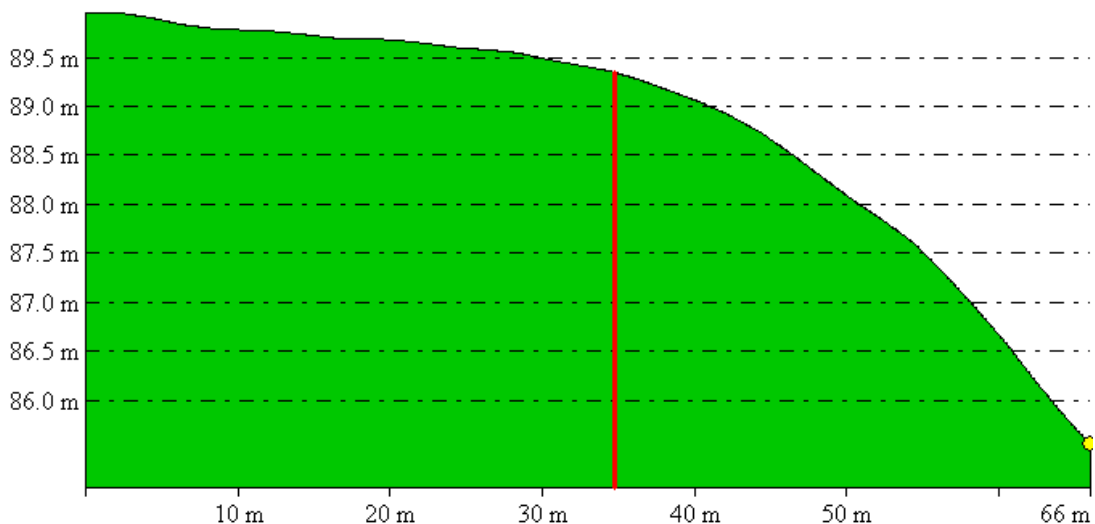
Ruutu	Viljelytapa	Mitattu eroosio kg/ha/v	R (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ yr ⁻¹)	K (t ha MJ ⁻¹ mm ⁻¹)	LS	C	P	Laskettu eroosio kg/ha/v	virhe kg/ha/v	Virhe %
1	Nurmi	266	1431	0.041	0.698	0.03	0.5	540.4	274.4	103.2
2	Nurmi	173	1431	0.041	1.425	0.03	0.5	1105.1	932.1	538.8
3	Nurmi	232	1431	0.041	1.58	0.03	0.5	1061.8	829.8	357.7
4	Nurmi	398	1431	0.041	1.398	0.03	0.5	1230.1	832.1	209.1
5	Nurmi	192	1431	0.041	1.227	0.03	0.5	978.7	786.7	409.7
6	Nurmi	205	1431	0.041	1.049	0.03	0.5	751.5	546.5	266.6
Keskiarvo		244.3	1431	0	1.230	0.03	0.5	944.6	700.3	415.3



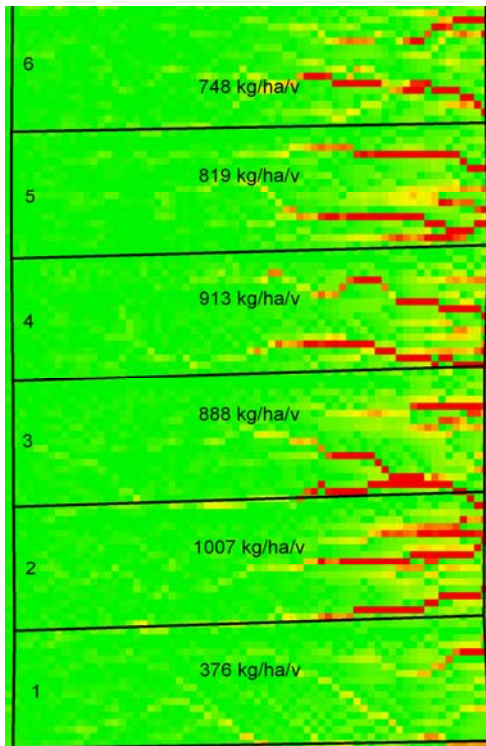
Kuva 6. Eroosion arvot Lintupajussa luokiteltuna viiteen luokkaan Jenksin luokittelun avulla. Lintupajun arvot ovat liian suuria noin kentän puolivälistä alkaen. Syynä tähän saattaa osittain olla LS-tekijän laskemiseen käytetty Mitosovan algoritmi ja osittain virrankertymän MDD8-algoritmi. Jos suojaväyhyke otetaan huomioon, arvot puolittuvat sen alueella eli oranssilla-punaisella vyöhykkeellä, mutta ovat silti liian korkeita.

From Pos: 307188.606, 6745341.230

To Pos: 307254.620, 6745343.138



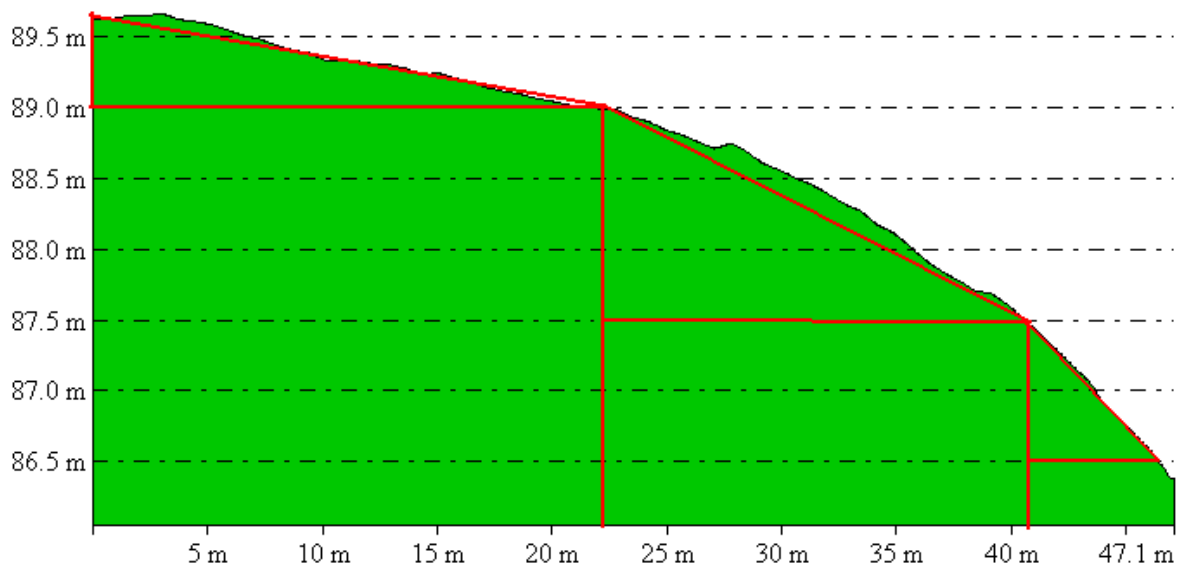
Kuva 7. On osoitettu, että Mitosovan algoritmeilla saadaan luotettavia tuloksia rinteiden pituuden ollessa < 100 m ja rinnekaltevuuden < 14 ° (Moore ja Wilson 1992) rinteillä, joissa on pieni tangentti. Lintupajun kenttä täyttää nämä edellytykset. Kuitenkin kentän profiilissa tapahtuu puolivälissä tangentin muutos, jonka takia eksponenttifunktio laskee alarinteelle liian suuret arvot. Kuvassa on rinteiden poikkileikkaus koeruudun 4 kohdalta.



Kuva 8. Lintupajun kentän tulokset D8-algoritmile. Virtailu algoritmin vaihto MDD8 => D8 ei vaikuta tulokseen ratkaisevasti tällä kentällä, vaikka pienentääkin virhettä jonkin verran.

From Pos: 3307280.876, 6748118.474

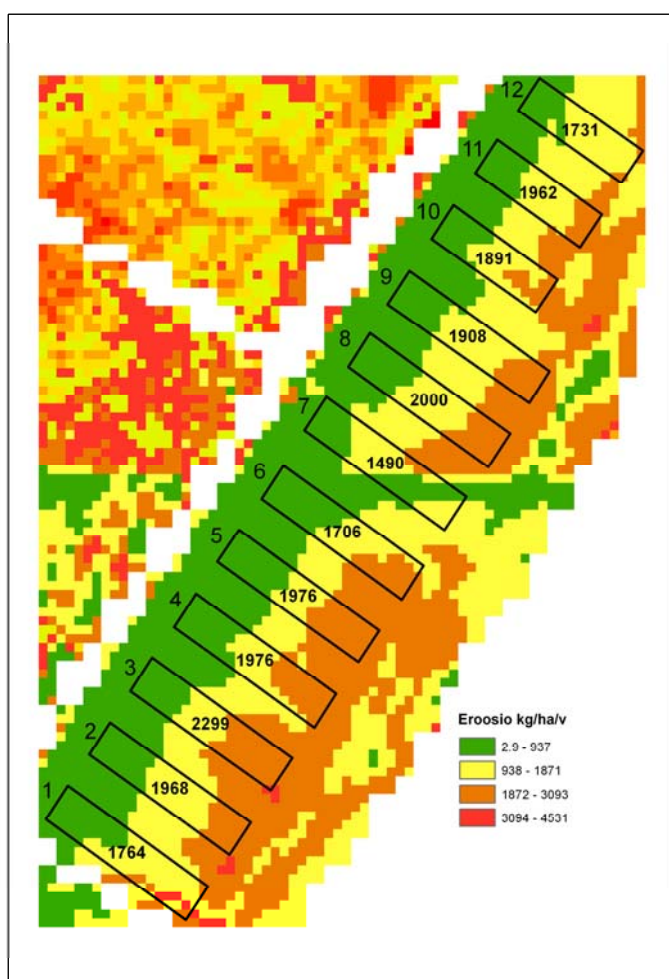
To Pos: 3307347.316, 6748120.697



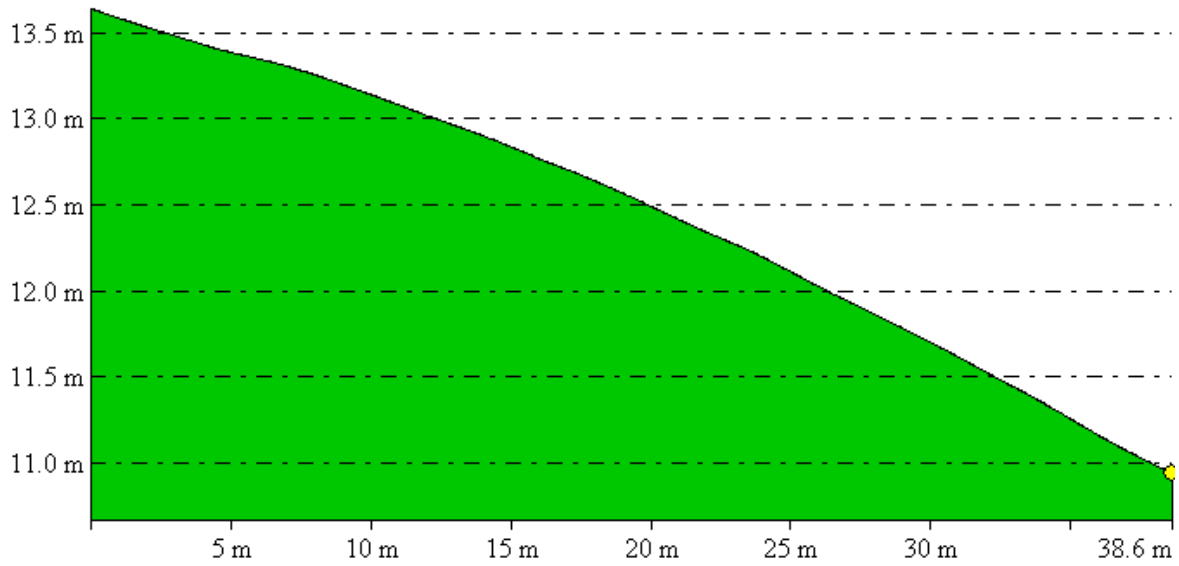
Kuva 9. Ruudun 1 poikkileikkaus, jossa virhe on pienin. Rinteen profiili ei ole yhtä säännöllinen kuin ruudussa 4. Rinteen keskivaiheilla (22 m – 40 m) on pieniä töyräitä, jotka hidastanevat virtausta. Pieni töyräs on myös heti rinteen alussa. Rinne on myös hiukan lyhyempi kuin ruudussa 4. Töyräitä tuskin maastossa erottaa, mutta laserkeilauksen tarkkuus näkyy poikkileikkauksessa oivallisesti.

3.3 Aurajoki, Lieto

Aurajoen kentällä on 12 koeruutua, joissa on ollut erilaista muokkausta ja viljelyä, suojakaistoja ja suojakaistoihin verrattavia menetelmiä eripituisia ajanjaksoja. Kalibrointi oli vaikeaa ja sisältää paljon epävarmuutta C- ja P-tekijöiden suhteen. LS-tekijän mukaan suurin valunta olisi ruudulla 3, kun taas mitattu valunta on ollut yleensä suurin ruudulla 1 (kuva 10). LS-tekijän vaihtelu on hyvin pieni (rinne on VIHMA-malliin sopiva ”yksi levy”, kuva 11). LS ei selitä eroja ruutujen välillä juuri lainkaan, vaan niitä on haettava C- ja P-tekijöiden puolelta. Tälle kentälle laskettiin pohja-arvot tuotantojärjestelmästä nurmella ja vertailun vuoksi arvot myös D8-algoritmilla (taulukko 8) ja anisotrooppisella algoritmilla (kuvan 12). Tarkoituksena oli tutkia, miten virrankertymä vaikuttaa tulokseen ja voisiko kentän tulosta selittää myös virrankertymäarasterin ja Mitosovan algoritmin yhteisvaikutuksella tai pelkästään virrankertymällä. Kenttä sijaitsee sopivasti kahden karttalehden rajalla, joten myös tätä vaikutusta voitiin tarkastella.



Kuva 10. Aurajoen kenttä suoraan laskentajärjestelmästä nurmella. Arvot ovat korkeita nurmelle ja huomattavasti korkeampia kuin D8- ja anisotrooppisella algoritmilla saadut arvot. Kentän sijainti karttalehtien rajalla näkyy ruudun 7 alueella. Häiriö ei ole kovin suuri. Tulokset viljaskenaariolla normaalikynnöllä ovat keskimäärin lähes 20 t/ha/v.

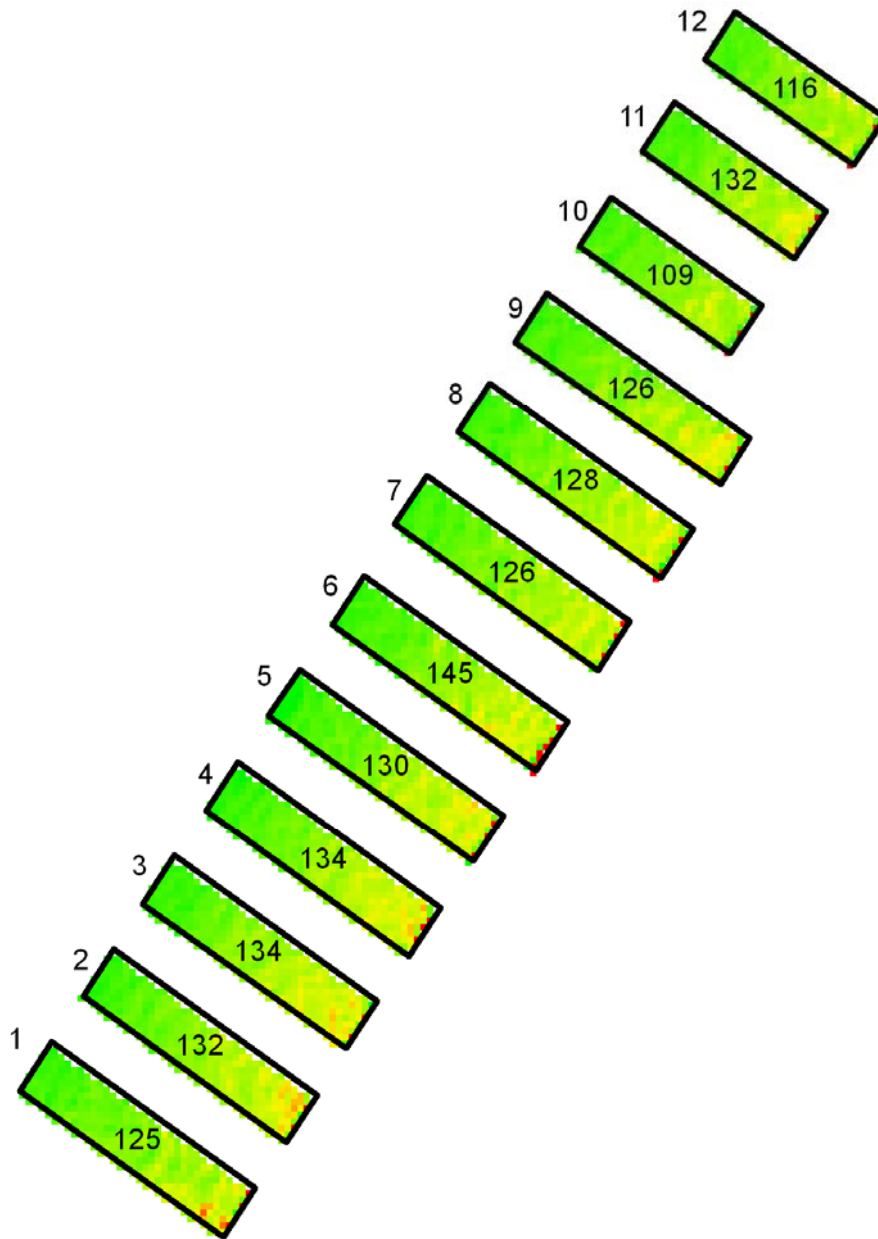


Kuva 11. Aurajoen kentän rinteän poikkileikkaus ruudussa 8. Tangentti on lähes vakio $3 \text{ m}/38.6 \text{ m} = 0.077 = 4.44^\circ$

Taulukko 8. Aurajoen kentän tulokset D8-algoritmilla nurmella. Tulokset ovat selvästi järkevämpiä kuin MDD8:lla. Näin tasaisia, levymäisiä rinteitä on kuitenkin harvassa paikassa.

Ruutu	Muokkaus	R (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ yr ¹)	K (t ha MJ ⁻¹ mm ⁻¹)	LS, D8	C	P	laskettu eroosio kg/ha/v
1	Nurmi	1465	0.041	0.242	0.03	1	566
2	Nurmi	1465	0.041	0.246	0.03	1	586
3	Nurmi	1465	0.041	0.256	0.03	1	735
4	Nurmi	1465	0.041	0.241	0.03	1	604
5	Nurmi	1465	0.041	0.224	0.03	1	586
6	Nurmi	1465	0.041	0.241	0.03	1	578
7	Nurmi	1465	0.041	0.232	0.03	1	612
8	Nurmi	1465	0.041	0.236	0.03	1	586
9	Nurmi	1465	0.041	0.242	0.03	1	516
10	Nurmi	1465	0.041	0.228	0.03	1	538
11	Nurmi	1465	0.041	0.224	0.03	1	562
12	Nurmi	1465	0.041	0.222	0.03	1	473
Keskiarvo		1465	0.041		0.03	1	579

Viljalla normaalikynnöllä tulos olisi keskimäärin $579 \text{ kg/ha/v} \times 11.66 = 6751 \text{ kg/ha/v}$, mikä on lähes kolminkertainen neljän mitatun viljaruudun tulokseen nähden (2332 kg/ha/v).



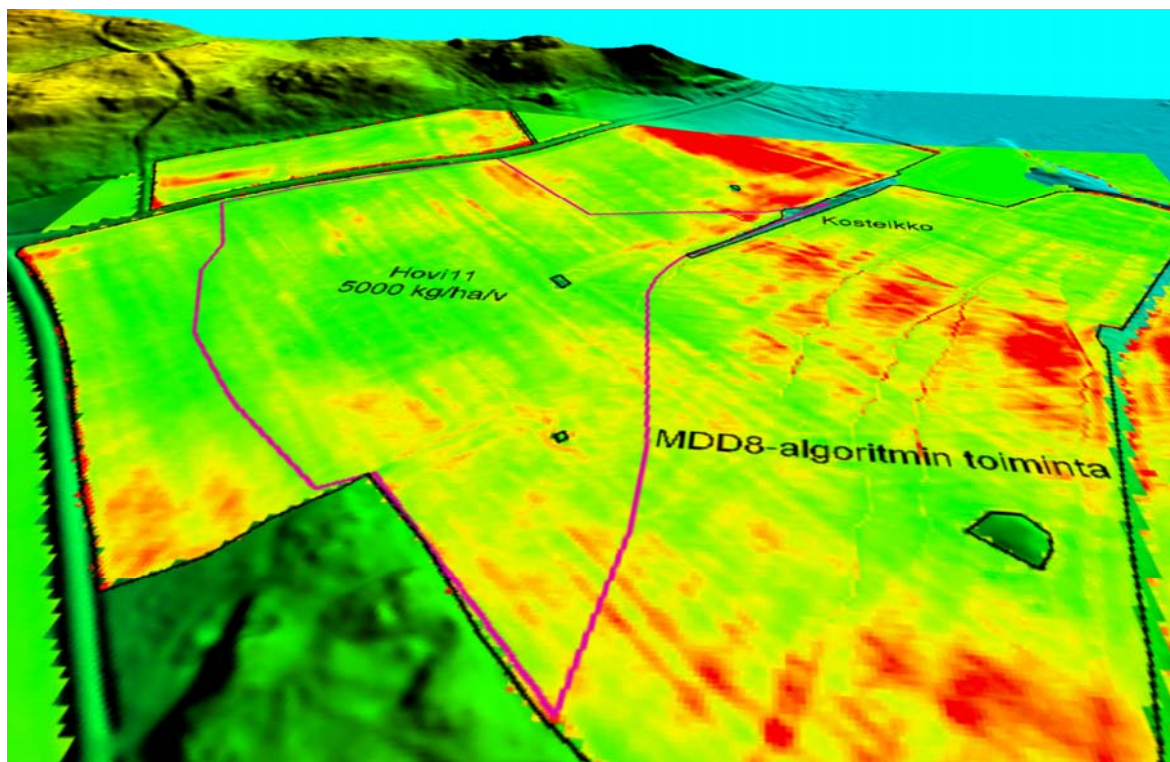
Kuva 12. Aurajoen tulokset nurmella anisotrooppisella algoritmilla, jossa kyntösuunta on rinteeseen suuntaan pitkittäin eli ns. normaalikyntö. Tulosten keskiarvo on 128 kg/ha/v. Viljaskenaarion keskiarvotulos saadaan kertomalla luvulla 11.66 (C-tekijöiden keskinäinen suhde 0.35/0.03). Viljalla ruutujen keskimääräinen eroosio on mallilla 1492 kg/ha/v. Mittaustulosten keskiarvo ruuduista, joissa on ollut viljaa normaalikyntöllä (neljä ruutua) on 2332 kg/ha/v. Tulos on ylivoimaisen tarkka verrattuna MDD8- ja D8-algoritmiin ja puoltaa C-tekijän arvon 0.35 viljalle olevan oikean suuntainen. Toisaalta anisotrooppinen algoritmi ei eroa MDD8:sta peruseriaatteeltaan. Voi olla, että MDD8-algoritmin sovellus toimii väärin nimenomaan Arcview 3.3:ssa.

3.4 Hovi, Vihti

Hovin aluetta käsiteltiin yhtenä valuma-alueena, jonka pinta-ala on n. 12 ha (kuva 13). Viljaskenaariolla alueen eroosioksi saatiin 5000 kg/ha/v. Syken mittaustulosten 11 vuoden keskiarvo (1998-2008) pintavalunnan osalta oli 1652 kg/ha/v, kun lohkolla on ollut viljaa. Hovin rakennettiin kosteikko vuosina 1999-2003 sen teho kiintoaineeseen oli keskimäärin 68% (Jari Koskiaho, suullinen tiedonanto). Taulukossa 9 näkyy merkittävä pudotus kiintoainekuormissa vuoden 2000 jälkeen. Jos RUSLEn antamaa arvoa 5000 kg/ha/v verrataan vuosien 1998-2000 keskiarvoon 4286 kg/ha/v, malli antaa 1.16-kertaisen tuloksen. Nurmella hovin kentän tulos olisi RUSLEn mukaan 429 kg/ha/v.

Taulukko 9. Hovin kentän tulokset

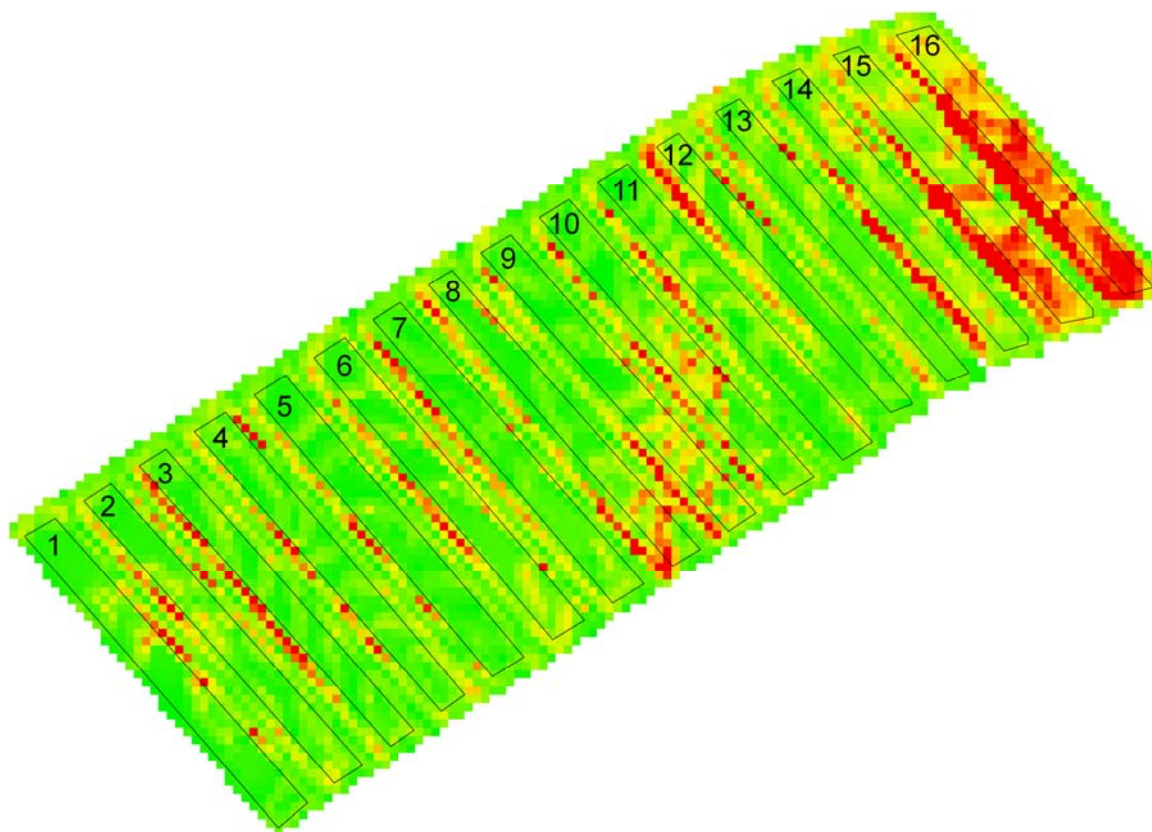
Vuosi	Erosio kg/ha/v
1998	2240
1999	3392
2000	7228
2001	1386
2002	490
2003	351
2004	395
2005	208
2006	291
2007	964
2008	1222



Kuva 13. Hovin valuma-alue on merkitty violetilla. Norojen välinen eroosio on alueella vallitseva, mutta myös noroeroosio huomioidaan mallissa (MDD8-algoritmi).

3.4 Toholampi

Toholammin kentällä (kuva 14) on 16 koeruutua ja pintamaalaji vaihtelee (hiesuisesta karkeaan hietaan) K-arvo on maksimissaan eli $0.057 \text{ (t ha MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1})$. Paikalta ei muista koepaikoista poiketen ollut saatavilla laserkeilausaineistoa. Tämän korjaamiseksi ja kenttien rajojen yms. tarkistamiseksi alue mitattiin tarkkuus-GPS:lla. Mitatusta aineistosta luotiin korkeusmalleja, mutta niistä ei saatu kunnollisia. Geodeettinen laitos laserkeilasi kentän maasta käsin, minkä jälkeen kentästä luotiin $0.2 \text{ m} \times 0.2 \text{ m}$ -korkeusmalli. Korkeusmallin erotuskyky oli kuitenkin liian tarkka vertailuun muiden kenttien kanssa, joten mallia suodatettiin keskiarvoistamalla korkeudet ja laskemalla mallin resoluutio $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$:iin. Lopuksi malli vielä keskiarvoistettiin yhteen 10 m :n korkeusmallin kanssa ja tulokset laskettiin taulukkoon 10. Kenttä on hyvin tasainen verrattuna muihin, eikä mallin oletettu toimivan kovinkaan hyvin alueella. Kalibraatio olisi vielä syytä testata tällä kentällä valtakunnallisella $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$:n korkeusmallilla, kunhan se alueelta saadaan.



Kuva 14. Toholammin kenttä, jossa on käytetty suodatettua yhdistelmäkorkeusmallia. Näennäisesti tasaisuudesta huolimatta pintavirtausta todennäköisesti tapahtuu koeruutuja erottavien suojavaalien vieressä.

Taulukko 10. Toholammin kentät tulokset kahden metrin yhdistelmäkorkeusmallilla. Kuvassa 30% virhemarginaaliin mahtuvat tulokset on merkitty vihreällä ja muut punaisella. RUSLE-mallia ei ole lainkaan suunniteltu näin pienille eroosiomäärille ja tasaisille alueille, mutta n. 40% :lla ruuduista arvio on silti varsin hyvä. Tämä osoittaa mallin potentiaalia myös näennäisesti tasaisella alueella. Kentän kohdalla epävarmuutta korkeusmallin oikeellisuuden suhteen on paljon, minkä voi havaita ruutujen 14-16 tuloksista ja kuvasta 13.

RUUTU	KASVI	MUOKKAUS	MITATTU (kg/ha/v)	RUSLE_2m (kg/ha/v)
1	Vilja	Suorakylvo	208	128
2	Vilja	Kynto	196	637
3	Vilja	Kynto	319	436
4	Vilja	Suorakylvo	246	126
5	Vilja	Suorakylvo	197	75
6	Vilja	Suorakylvo	189	191
7	Vilja	Kynto	423	493
8	Vilja	Kynto	325	993
9	Vilja	Kynto	181	1011
10	Vilja	Suorakylvo	187	261
11	Vilja	Suorakylvo	203	167
12	Vilja	Kynto	364	586
13	Vilja	Suorakylvo	241	176
14	Vilja	Kynto	229	1285
15	Vilja	Suorakylvo	193	603
16	Vilja	Kynto	331	3549

3.5 Liperi

Liperin kenttä on toinen tasaisista kentistä Toholammin lisäksi. Tuotantojärjestelmän ei oletettu selviytyvän hyvin. Tulos nurmella suoraan järjestelmästä oli 38 kg/ha/v ja viljalla 439 kg/ha/v, kun mittaustulokset ovat: pysyvä nurmi 55, talviaikainen sänki 80, syysruis 90 ja syyskyntö 125 kg hehtaarilta vuodessa. Tässäkin tuotantojärjestelmä toimii nurmen osalta hyväksyttävästi (virhe 30 %), mutta viljalla tulos on lähes viisinkertainen mitattuun nähden. Nurmen tulos kerrottuna 2-3:lla antaisi järkevän tuloksen 76-114 kg/ha/v.

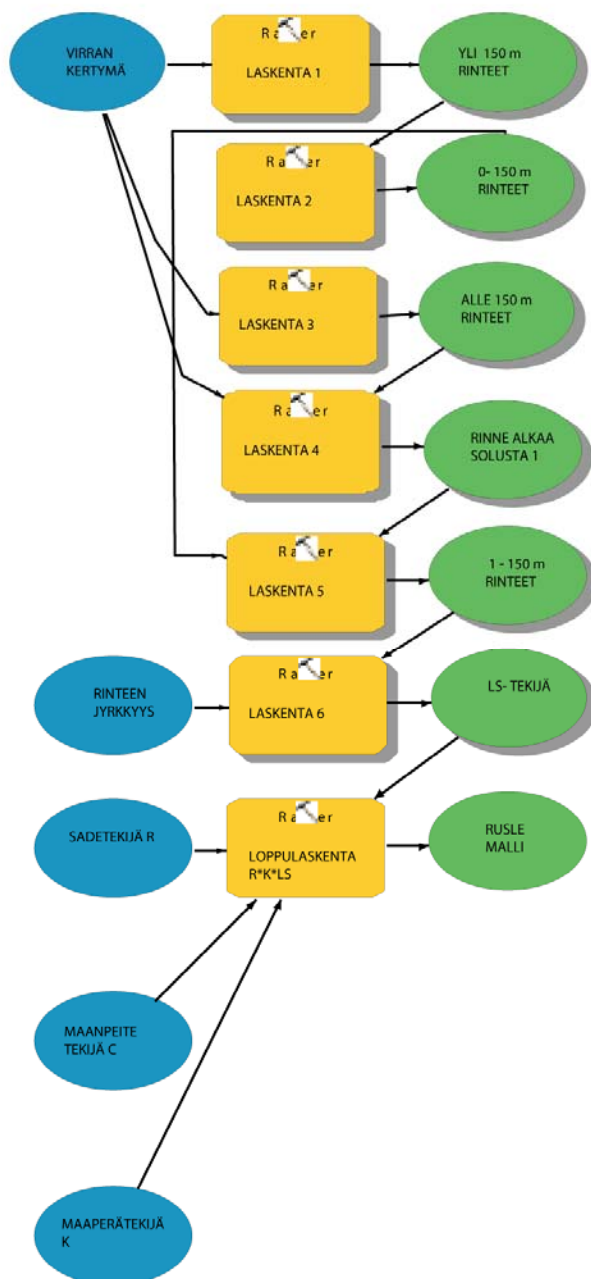
3.6 Pienen Savijoen valuma-alue

Pienen Savijoen valuma-alue laskettiin RUSLE- ja Vihma-malleilla samoilla lähtöaineistoilla, joissa oli mukana muokkaustieto. Keskimääräinen pitkällä ajalla tapahtuva eroosio RUSLE:n mukaan oli 487 kg/ha/v ja Vihman mukaan 580 kg/ha/v. Molempien mallien tulokset laserkeilausaineistoon perustavana ovat varsin lähellä toisiaan, vaikka tulosta on lähestytty eri suunnista, Vihmassa eroosioluvut on interpoloitu suoraan koekenttien tulosten perusteella ja RUSLE:n parametreja on säädetty koekenttien tulosten perusteella. Alueen pelloista yli 90 % sijaitsee savimailla ja viljalla oli 84 % , juurikasveilla 3 % ja 13 % nurmella. Tämä tulos taas puoltaisi nykyisen C-tekijän arvon oikeellisuutta suuremmalla aineistolla. Laskenta tulisi uusissa muun muassa Stagnosol-maannos huomioiden. Alueella voitaisiin käyttää myös anisotrooppista virtailgoritmiä LS-tekijän laskemiseen.

4 Eroosiokartat

4.1 Puoliautomaattinen järjestelmä

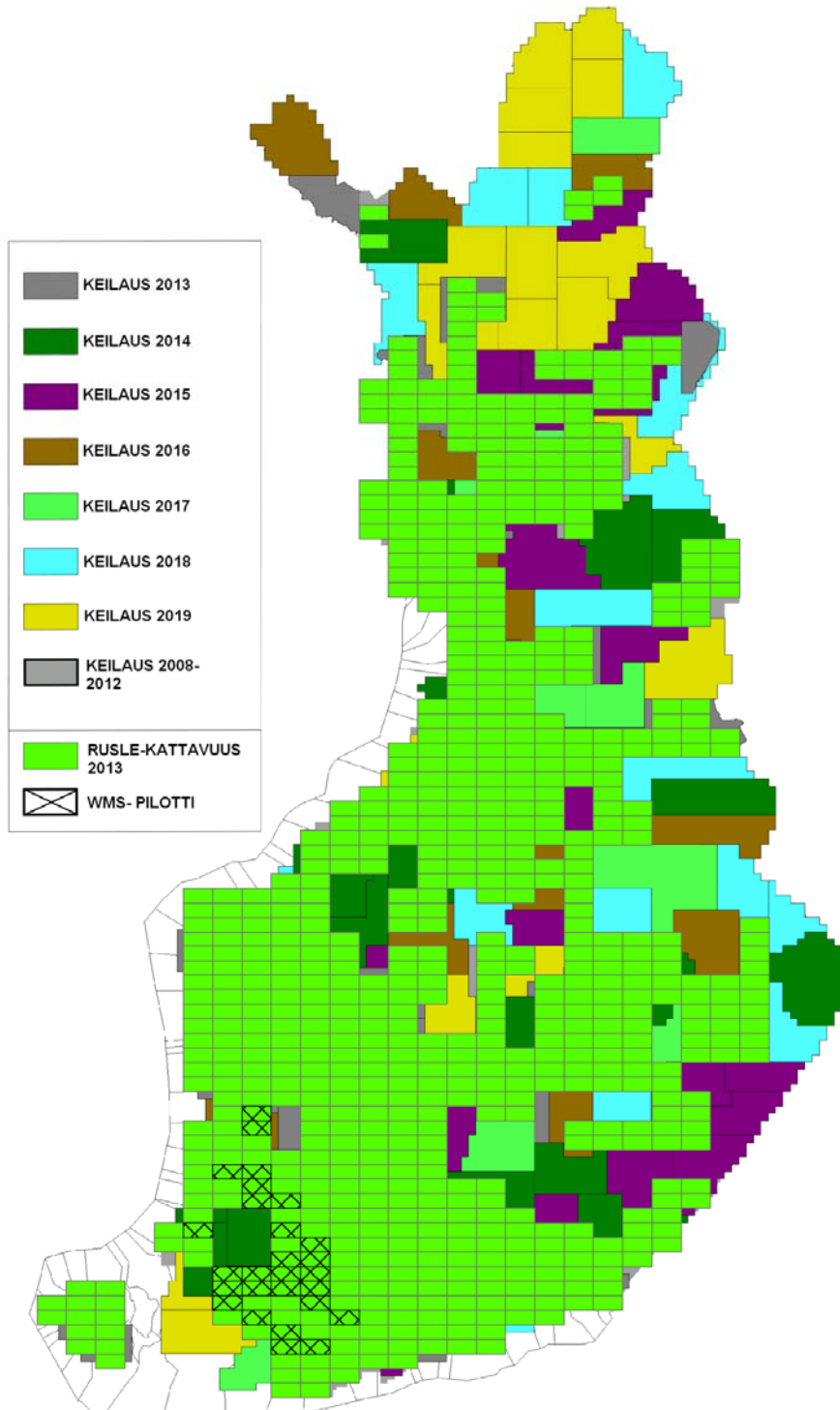
Hankkeessa rakennettiin puoliautomaattinen laskentajärjestelmä, jonka avulla karttojen tuotantonopeus on 8-10 UMT25-karttalehteä päivässä. Yhden karttalehden koko on 28800 ha. Tuotannon käsityötä vaativa vaihe on virrankertymärasterin laskeminen korkeusmallista MDD8-algoritmilla. MDD8-algoritmia ei ole saatavissa Arcmap-ohjelmaan, jolle muu automaatio on rakennettu, vaan laskenta on tehtävä vanhalla Arcview 3.3 -ohjelmalla. Automaattisesta mallista on tehty neljä alueversiota, jotta mallia ei tarvitse muokata, kun siirrytään alueelta toiselle. Koko Suomea ei vielä voida käsitellä yhtenä mallina tavallisessa tietokoneessa. Mallin toiminta luokkakaaviona on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. Arcmap-malli. Sinisellä syötteet, keltaisella laskutoimitukset ja vihreällä tulokset

4.2 Karttojen kattavuus

Mapero-projektissa tuotetuilla kartoilla voidaan kattaa suurin osa Suomen peltoalasta, mutta aukkoja jättää, esimerkiksi Pyhäjärven seutu Satakunnassa ja osia Saaristomerän valuma-alueesta (kuva 16). Molemmat ovat merkittäviä alueita maatalouden vesistökuorimitusta arvioitaessa (Säkylän Pyhäjärvi ja Saaristomeri).



Kuva 16. Projektissa voidaan saavuttaa noin 80 %:n kattavuus peruslohkoista vuoden 2013 loppuun mennessä. Kartan selitteen yläosan värit kuvaavat Maanmittauslaitoksen ennustettua keilausaikataulua puuttuvien alueiden suhteen. WMS-palvelun pilottiversiossa (merkitty mustilla vinoviivoilla) on 22 karttalehteä Lounais-Suomesta.

4.3 WMS-palvelu

4.3.1 Mikä on WMS

WMS (Web Map Service) on yksi Open Geospatial Consortiumin eli OGC:n määrittelemiä paikkatietoaineistojen välittämiseen tarvittavia standardeja. WMS-rajapintatekniikan avulla tuotetaan vektori- ja rasteripaikkatietoaineistoista dynaamisesti paikkatiedollista kuva-aineistoa.

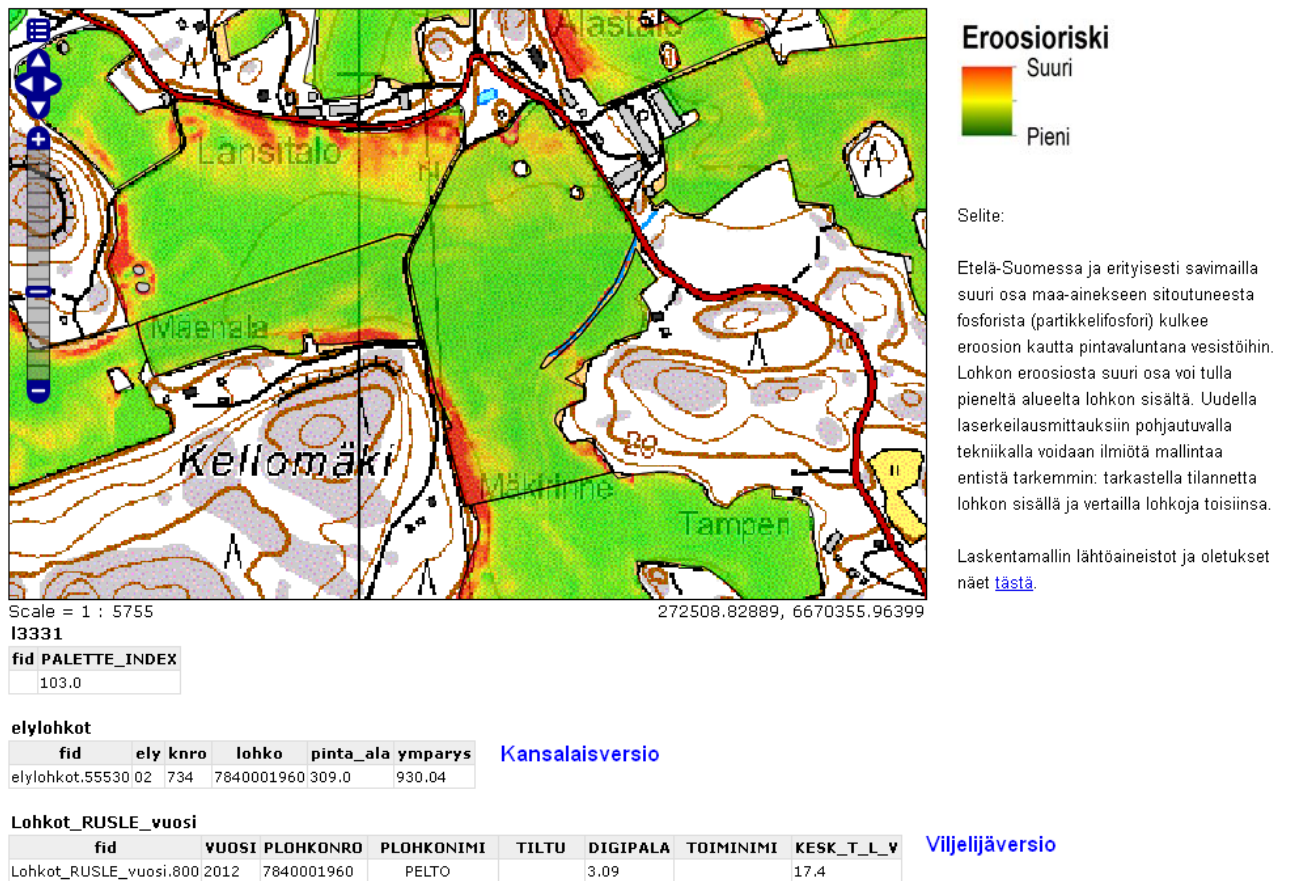
Paikkatietoaineistosta muodostetaan kuva halutussa muodossa (esim. png/jpg/gif). Tähän kuvaan liittyy tieto sen spatiaalisista ulottuvuuksista, sisällöstä ja metatiedoista, mutta se ei ole alkuperäinen paikkatietoaineisto. WMS onkin tapa välittää aineiston sisältämää tietoa ja se soveltuu siksi hyvin taustakartta-aineistoksi ja karttapalveluiden käyttöön.

Jotta WMS-rajapinta voidaan toteuttaa, tarvitaan palvelin, jonka kautta aineistoa välitetään Internetiin. Palvelimelle pitää asentaa jokin WMS-rajapintaa välittävä palvelu, joita tällä hetkellä on olemassa useita niin kaupallisia kuin ilmaisia (ArcIMS, ArcGIS Server, MapServer, GeoServer jne.). Teho Plus -alueen RUSLE-karttojen WMS-palvelu on toteutettu MTT:n palvelimella ilmaisella ja avoimella GeoServer-ohjelmistolla. WMS-aineistoja voidaan kysellä käyttämällä joko asiakasohjelmaa (client) tai tekemällä kyselyt Internet-selaimen osoitekentässä (URL:n avulla). Asiakasohjelma ottaa vastaan WMS-tasot tekemällä palvelimelle kyselyn ja hakemalla tulokset näytettäväksi työtilaan.

4.3.2 Palvelun toteutus

Palveluun valittiin 22 karttalehteä (Kuva 16). RUSLE-mallit visualisoitiin ja luokiteltiin normaali-jakauman mukaisesti Teho Plus -projektissa. Maanmittauslaitoksen taustakartta asetettiin mallin taustalle kiinteäksi osaksi kuvaa. Periaatteessa taustakartta olisi voitu hakea toisesta sitä tarjoavasta WMS-palvelusta, kuten TIKE:sta, mutta WMS-palvelujen ketjuttamisesta ei kuitenkaan ollut MTT:ssa riittävästi kokemusta ja palvelu haluttiin tehdä mahdollisimman nopeaksi. Kullekin viljelijälle lähetettiin linkki siihen karttalehteen/karttalehdille, minkä alueella tilan lohkot sijaitsevat. Sijaintitiedon salaamiseksi karttalehdellä näkyvät viljelijän omien lohkojen lisäksi kaikki alueen peruslohkot. Palveluun olisi ollut mahdollista liittää yksi yleinen käyttäjätunnus ja salasana tai jokaiselle viljelijälle omansa. Salasanajärjestely kuitenkin hidastaa kartan käyttöönottoa jonkin verran ja anonymiteetin katsottiin olevan riittävästi turvattu myös ilman salasanaa. RUSLE-mallin ja pohjakartan yhdistelmä mahdollistaa tilansa tuntevalle viljelijälle peltolohkojen nopean silmämääräisen paikannuksen ja laadullisen arvion lohkojen ja niiden osien eroosioherkkyydestä.

Eroosion määrällistä arviota varten kuvamuotoisen kartta-aineiston päällä on peruslohkoaineisto koko karttalehden alueelta. Teho Plus -viljelijän lohkoaineiston ominaisuustietoihin on laskettu eroosion määrä suhteutettuna pinta-alaan. Klikkaamalla lohkoa viljelijä saa ominaisuustiedot (Kuva 17).



Kuva 17. WMS-palvelun toteuttaminen. Kansalaisversio ja viljelijäversio eroavat vain ominaisuustietojen määrässä. Peruslohkoa klikkaamalla käyttäjä saa lohkon ominaisuustiedot näkyviin.

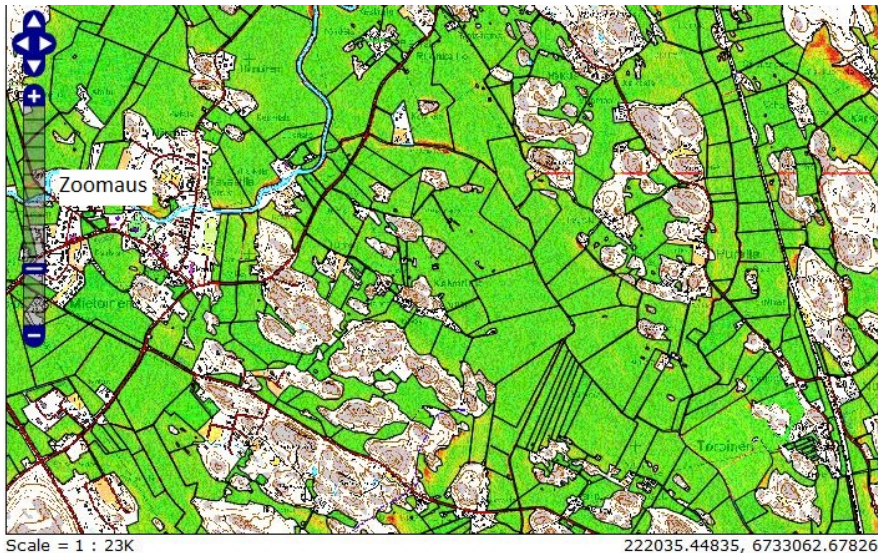
4.3.3 Viljelijäkysely WMS-palvelusta

RUSLE-mallin ja VMS-palvelun testaamiseksi Teho Plus -viljelijöitä lähestyttiin saatekirjeellä ja kyselylomakkeella (Liite 1) sekä tilakäynneillä.

”Arvoisa TEHO Plus viljelijä

Olemme valmistelleet yhdessä MTT:n kanssa maan kulumista kuvaavan RUSLE-mallin karttapalvelun, joka on nyt teidän käytössä. RUSLE-malli on maailmalla käytetty malli, jota MTT nyt soveltaa kotimaan käyttöön. Mallin avulla voidaan arvioida peltomaan kulumisherkkyyttä määrällisesti vuotuisesti. Arvokkaan ja viljavain pintamaan eroosiota tulisi ehkäistä taloudellisista ja ympäristöllisistä syistä. Mallin avulla eroosioriskipaikat voidaan havaita tarkasti ja näin toimenpiteet voidaan tarkemmin kohdentaa alueille, joissa niistä on eniten hyötyä. Käytössä oleva karttasovellus on Suomessa ensimmäinen laatuaan.

Pääsette nyt testaamaan uutta RUSLE-mallia verkon kautta ja kommentoimaan mallin toimivuutta. Värimaailma on asetettu siten, että kaikkein eroosioherkimmät kohdat on esitetty punaisella ja pienemmän eroosion alueet vihreällä. Klikkaamalla omaa lohkoanne, ilmestyy alle laatikko, jossa näkyy lohkon tiedot. Viimeisessä sarakkeessa on mallin esittämä lohkolta lähtevä maan eroosiomäärä vuodessa. Tämä on luonnollisesti sitä suurempi mitä suurempi on lohko, mutta auttaa myös vertailemaan lohkojen eroosioherkkyyttä. Alla on kuva palvelusta (Kuva 18).



Scale = 1 : 23K
 I3412
 fid PALETTE_INDEX
 61.0

elylohkot				
fid	ely knro	lohko	pinta_ala	ymparys
elylohkot.18895 02	503	4900146471	838.25	1216.99



Voit nähdä nämä tiedot jokaisesta lohkoista klikkaamalla

Pääset tarkastelemaan alueesi eroosioriskikarttaa näistä linkeistä:

Palautteesi on meille erittäin tärkeä. Toivomme että voit vastata liitteen kysymyksiin. Aikaa ei kulu paljoa. ”

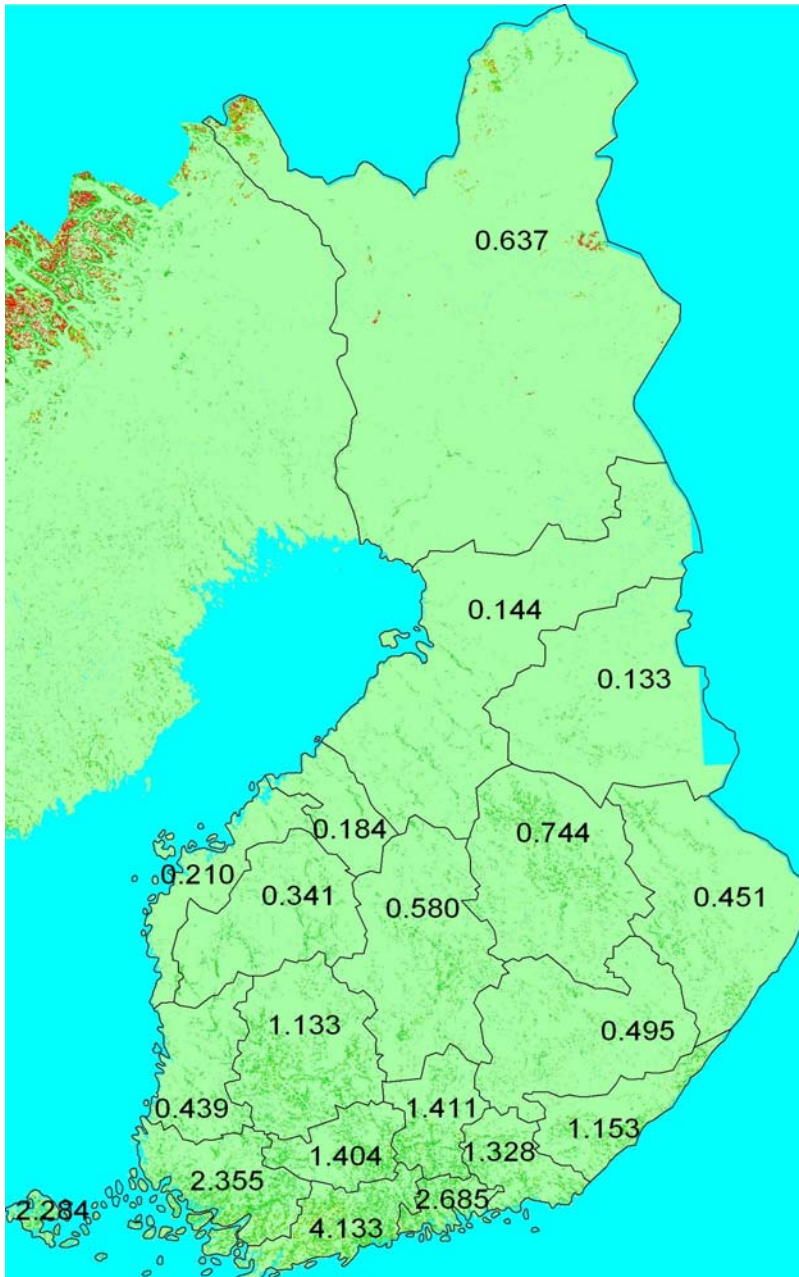
Kuva 18. WMS-palvelun kuvaus viljelijöille.

4.3.4 Viljelijäpalautte

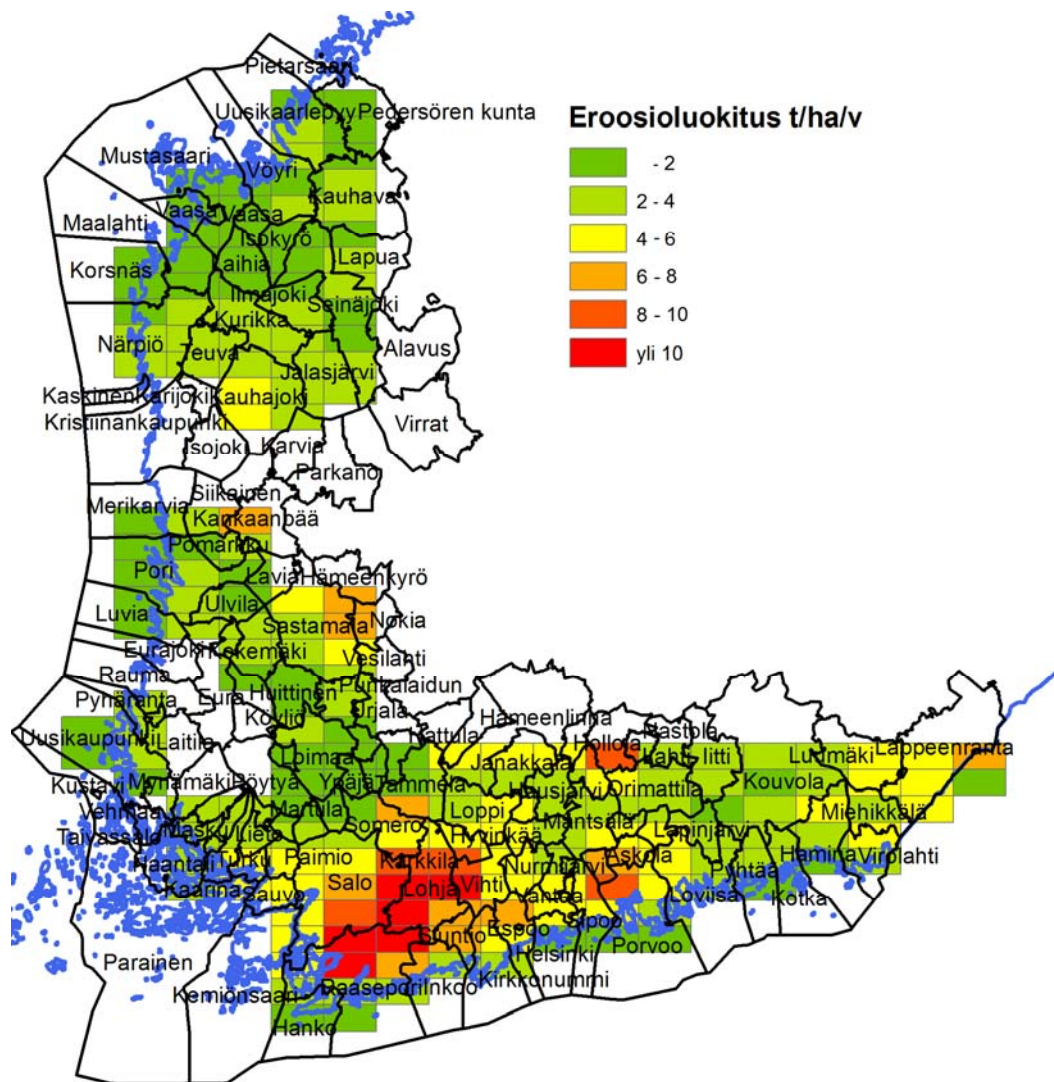
Palveluun saatiin palautetta kymmeneltä viljelijältä. Lähes kaikkien mielestä omien lohkojen löytäminen oli haasteellista, koska palvelusta puuttui hakutoiminto, jolla oman peruslohkon saisi nopeasti haettua esimerkiksi osoitteen avulla. Tässä oletuksemme, että viljelijät löytävät ja tunnistavat lohkonsa ilman hakutoimintoakin, oli väärä. Lisäksi tyytymättömyyttä palvelua kohtaan aiheutti eroosioriskin visualisoinnin puuttuminen joidenkin peltolohkojen osalta (osa lohkoista saattoi sijottua palvelussa olevien karttalehtien ulkopuolelle). Muilta osin palvelua pidettiin melko toimivana sekä hyödyllisenä ja todellisuutta hyvin kuvastavana sovelluksena. Vastaajat uskoivat käyttävänsä palvelua myös jatkossa, jos se olisi saatavilla. Erään vastaajan mukaan palvelua voisi käyttää uusiin peltolohkoihin tutustumisessa. Palvelun uskottiin vaikuttavan jopa viljelykäytäntöihin, varsinkin jos se olisi sijoitettu viljelysuunnitteluohjelmaan. Toisena yhtä hyvänä sijoituspaikkana palvelulle pidettiin VIPU-karttoja. Toisaalta palvelun suuntaaminen ensijaisesti viljelijöille osoittautui kyseenalaiseksi, vaikkakin saatuun palautteeseen saattoi vaikuttaa kyselyn osuminen sadonkorjuukauteen. Testi kuitenkin vahvisti ajatusta karttojen ja WMS-palvelun käytöstä neuvonnan ja neuvonjien työkaluina.

5 Eroosion määrä aluettain

Eroosioon määrää aluettain tarkastellaan kuvissa 19 ja 20. Vaikka kuvien pohjana olleiden RUSLE-mallien erotuskyky on hyvin erilainen; 1 km x 1 km vs 2 m x 2 m, yhtenevyyksiäkin löytyy. Kumpikin kartta osoittaisi esimerkiksi Uudenmaan olevan eroosioherkempää aluetta kuin Varsinais-Suomi.



Kuva 19. Maakuntien keskimääräinen eroosio laskettuna JRC:n 1 km x 1 km:n solukoon RUSLE-mallista. Mallissa on mukana kaikki maankäyttöluokat ml. metsäalueet. Arvot ovat varsin korkeita ottaen huomioon että Suomen peltojen keskimääräisen eroosioherkkyyden arvellaan olevan n. 0.5 t/ha/v Vihma-mallin tulosten perusteella. JRC on uudistamassa eroosiomallejaan, RUSLE on valittu koko EU:n kattavaksi malliksi ja sitä tullaan tarkentamaan (Panagos, sähköpostiviesti).



Kuva 20. Suomen rannikkoalueen/viljanviljelyalueen pelto-alueiden eroosion määrä laskettuna 2 m x 2 m:n RUSLE-mallilla mutta esitettyä UTM-25 karttalehdittäin (12 km x 24 km). Ruudut on valittu siten, että karttaan saataisiin tarkasteluun mahdollisimman yhtenäinen alue. Yhteistä kuvan 19 kanssa on se, että Uusimaa näyttäisi olevan eroosioherkempää aluetta kuin Varsinais-Suomi. Keskiarvoa nostavat ylöspäin lyhyet ja jyrkät rinteet (esimerkiksi virtavesien penkat), joilla malli toimii määrällisesti epäluotettavimmin. Kaikkein eroosioherkimmät ruudut ovat Karjaanjoen vesistöalueella Raasepori-Karkkila välillä. Alue on suhteellisen pieni, $6 \times 288 \text{ km}^2 = 1728 \text{ km}^2$. Merialueen ravinnekormituksen kannalta asia ei ole kuitenkaan näin suoraviivainen, vaan esim. Karjaanjoella useat järvet esim. Lohjanjärvi ja Hiidenvesi tasaavat kuormitusta merkittävästi ennen Suomenlahtea. Varsinais-Suomessa taas kuormitusta tasaavia järviä on vähemmän.

6 Johtopäätökset

Mapero-hankkeessa rakennettiin laskentajärjestelmä valtakunnallisen laserkeilauspohjaisen eroosioherkkyysmallin laatimiseksi. Järjestelmä kalibroitiin suomalaisten koekenttien ja kansainvälisten kirjallisuustietojen avulla. Järjestelmän tuottamia karttoja ja niiden jakelutapaa testattiin useissa muissa hankkeissa. Abo Akademin diplomityönä laadittiin rinnakkaislaskentaan soveltuva RUSLE-malli OpenCL-ohjelmointikielellä. Hankkeessa verrattiin järjestelmän avulla saatuja arvoja JRC:n tuottamiin arvoihin tilastoruutu/maakuntakohtaisesti.

Hankkeen laskentajärjestelmien teknistä laatimista voidaan pitää varsin onnistuneena. ArcMap-pohjaisella puoliautomaattisella järjestelmällä voitiin kattaa suurin osa Suomen peltolohkoista. Kuitenkin järjestelmässä on yksi selkeä heikkous, Arcview-ohjelmassa tehtävä virtailun laskenta, joka pakottaa järjestelmän puoliautomaattiseksi. Sen lisäksi tämä osa järjestelmää on suljettua koodia (musta laatikko), eikä sen laskema MDD8-pohjainen virrankertymä näytä toimivan kaikissa tilanteissa oikein. Vika ei ole välttämättä itse MDD8 algoritmissa. OpenCL-pohjainen avoimen lähdekoodin laskentajärjestelmä taas mahdollistaisi tulevaisuudessa nopeat päivitykset lähtöaineistojen muuttuessa (dynaaminen järjestelmä) ja erilaisten virtailualgoritmien käytön. Ajankäytöllisesti harppaus olisi mittava: viikkojen sijaan yksittäinen peltolohko voidaan laskea millisekunneissa, karttalehti sekunnissa ja koko valtakunnan alue tunneissa.

Järjestelmän kalibroiminen oli hankkeen haastavin osa. Kvalitatiivisesti järjestelmä toimii hyvin, sillä kartat ovat tarkkoja, visuaalisesti helposti lähestyttäviä ja niitä on helppo jakaa käyttäjille WMS-tekniikan avulla. Kvantitatiivinen osa sen sijaan toimii vain kohtalaisesti, mikä osaltaan johtuu mallin luonteesta ja toisaalta siitä, että kalibrointitietoja on niukasti saatavissa. LS-tekijän osalta tilanne on hankalin, sillä vaikka lähtöaineisto on ylivoimaisen tarkkaa, saatavilla olevat menetelmät tekijän laskemiseksi ovat olleet mustia laatikoita, joiden laskentamenetelmiä ei yksityiskohtaisesti tunneta. LS-tekijän laskemisalgoritmiä ei voi nykyisessä laskentajärjestelmässä muuttaa ”lennossa” maaston mukaan. C-maanpeitetekijän osalta tutkittua tietoa Suomen olosuhteista on niukasti. Muokkaustietoja ei ole saatavissa lohkoakohtaisesti ja viljalohkoilla järjestelmän nykyinen arvo vaikuttaisi suurelta. P-tekijästäkään ei ole varsinaista tutkimustietoa Suomesta.

Karttojen jakelutavaksi muodostui WMS-suorakatselupalvelu, joka toimii pilottina Lounais-Suomen alueella. Palvelu oli teknisesti varsin onnistunut nopeuden suhteen. Hakutoiminnon (osoitteutus) puuttuminen kuitenkin haittasi viljelijäkäyttäjiä. Tekijöiden oletus siitä, että viljelijät osaat nopeasti paikantaa ensin tilansa ja sitten lohkonsa peruskarttataustalta oli väärä. Jos karttoja halutaan jakaa suoraan viljelijöille, niiden pitäisi olla osa joko VIPU-palvelua tai sitten katseltavissa suoraan viljelysuunnitteluohjelmiston kautta. Paikkatietokannan kautta voidaan saavuttaa kansallisia ja kansalaisjärjestöjä, mutta tuskin viljelijöitä. Mahdollinen dynaaminen karttapalvelu vuorovaikutteisine karttoineen voisi olla ensijaisesti neuvojille suunnattu.

Nykyisellään laskentajärjestelmän tuottamat kartat soveltuvat isompien alueiden tarkasteluun, kuten EU:n tilastoruudut, valuma-alueet yms. Yksittäisen lohkon tasolla ne antavat selkeitä suuntaviivoja siitä, mihin toimenpiteitä tulisi suunnata, mutta toimien vaikutusta ei voi järjestelmällä vielä luotettavasti todentaa. Kvantitatiivista tarkkuutta on parannettava, jotta tukipoliitiikka voitaisiin ohjata lohkoitasolla karttojen avulla. Tähän vaikuttaa myös se, mitä kvantitatiivista arvoa käytettäisiin ns. eroosion kynnyksarvona. Jos tämä arvo olisi esimerkiksi 1 tonnia/hehtaari/vuosi, eli alle jäävät lohkot olisivat turvallisia ja ylimeneville harkittaisiin toimenpiteitä, massiivisen virheen mahdollisuus olisi pieni.

Tulevaisuudessa tukipoliikan ohjaaminen myös lohkoitasolla voi olla mahdollista järjestelmän avulla. Mallin tekijöitä voidaan tarkentaa ja näistä erityisesti LS-tekijää uusien algoritmien ja nopean laskennan avulla, jolloin kvantitatiivinen tarkkuus paranisi varsinkin jyrkillä penkoilla, joilla eroosiota myös eniten ilmenee. Uusi avoimen lähdekoodin OpenCL-pohjainen laskentajärjestelmä myös mahdollistaisi uuden tutkimustiedon (esim muokkaus- ja kasvipeitteisyystieto) nopean testaamisen ja tarvittaessa lisäämisen järjestelmään koko valtakunnan tasolla.

7 Kirjallisuus

- Cowen, J. (1993) A proposed method for calculating the LS factor for use with the USLE in a grid-based environment: Proceedings of the Thirteenth Annual ESRI User Conference, pp. 65-74.
- 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. no. 5 427-433
- Dissmeyer, G.E., and G. R. Foster. 1980. A guide for predicting sheet and rill erosion on forest land. Tech.. Publ. SA-TP-11, USDA - Forest Service - State and Private Forestry -Southeastern Area, 40 pp.
- Ekholm, P., Granlund, K., Kauppila, P., Mitikka, S., Niemi, J., Rankinen, K., Räike, A., Räsänen, J. (2007). Influence of EU policy on agricultural nutrient losses and the state of receiving surface waters in Finland. *Agricultural and Food Science* 16: 282-300.
- Foster, G.R., Renard, K.G., Yolder, D.C., McCool, D.K., Weesies, G.A. (1993). RUSLE Users' Guide Revised Universal Soil Loss Equation. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa.
- Hickey, R. (1994), Design and Simulation of Smelter Reclamation Strategies using an Environmental Decision Support System. Ph.D. dissertation. Department of Geography, University of Idaho, Moscow, ID.
- Hickey, R, Smith, A, Jankowski, P. (1994), Slope length calculations from a DEM within ARC/INFO GRID: *Computers, Environment and Urban Systems* 18(5): 365 - 380.
- Kniff van der, J.M., Jones R.J.A., Montanarella L. (1999). Soil Erosion Risk Assessment in Italy, JRC, Ispra, Italy 1999.
- Kassam A.H., Velthuizen H.T., Mitchell A.J.B., Fischer G.W., Shah M.M. (1992). Agro-Ecological Land Resources Assessment for Agricultural Development Planning. A Case Study of Kenya Resources Data Base And Land Rome : FAO, 1992. 46 p. (World Soil Resources Reports, 71/2).
- Lilja H., Uusitalo R., Yli-Halla M., Nevalainen R., Väänönen T., Tamminen P. (2009). Suomen maannostietokanta. Käyttöopas versio 1.0. MTT Tiede 6: 69 p. [Url] Verkojulkaisu päivitetty 23.11.2009 [Tiivistelmä]
- Lo A., El-Swaify S.A., Dangler E.W., Shinshiro L. (1985). Effectiveness of EI30 as an erosivity index in Hawaii. -*Studi Trent. Sci. Nat.*, 85 (2009): In: El-Swaify S.A., Moldenhauer W.C., Lo A. (eds), Soil erosion and conservation. Soil Conservation Society of America, Ankeny: 384-392
- Mikoš M., Jošt D., Petkovšek G. (2006). Rainfall and Runoff Erosivity in the Alpine Climate of North Slovenia: a Comparison of Different Estimation Methods. *Hydrological Sciences Journal* 51(1) , 115-126.
- 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
- Moore I.D., Burch G.J. (1986). Modeling erosion and deposition: Topographic effects. *Transactions of the ASABE*. 29 (6): 1624-1630.
- Moore I.D., Wilson J.P. (1992). Length slope factor for the revised universal soil loss equation: simplified method of solution. *Journal of Soil and Water Conservation* September/October 1992 47(5): 423-428
- Morgan R.P.C., Davidson D.A. (1991). Soil Erosion and Conservation, Longman Group, U.K.
- Paasonen-Kivekäs, M., Peltomaa, R., Vakkilainen, P., Äijö, H. (toim.) (2009). Maan vesi- ja ravinnetalous– ojitus, kastelu ja ympäristö. Salaojajhdistys ry.
- Posch, M., Rekolainen, S. (1993). Erosivity factor in the Universal Soil Loss Equation estimated from Finnish rainfall data. *Journal of Agricultural Science in Finland*, 2, 271-279.

- 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 and Tillage Research* 93: 44-55.
- Renard K.G., Freimund J.R. (1994). Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journ.of Hydr.* 157: : 287–306.
- Renard K.G., Foster G.R., Weessies 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.
- Roose E.J., Sarrailh J.M. (1989). Erodibility of some tropical soils—twenty years of records in some erosion plots under natural rainfall. *Soils Fert.* 25: pp. 7-30.
- Räsänen A. (2010), Kiintoaineen ja kasviravinteiden vesistökuormituksen riskialuekartoitus Aurajoen valuma-alueella. Pro gradu työ. Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos, Ympäristötiede ja -teknologia, 2010
- Toy, T.E., Foster, G.R., Renard, K.G. (2002). *Soil Erosion*. John Wiley & Sons, New York.
- Uusi-Kämppeä, J., Ylärinta, T. (1996). Effect of buffer strip on controlling erosion and nutrient losses in Southern Finland. In: *Wetlands: environmental gradients, boundaries and buffers / Mulamoottil, G., Warner, B.G. & McBean, E.A. (Eds.)*. CRC Press/Lewis Publishers. p. 221-235.
- Williams, J. R. (1975). Sediment – yield prediction with universal equation using runoff energy factor. *Proceedings of the sediment- Yield Workshop, USDA Sedimentation Laboratory, Oxford, Mississippi*.
- Williams, J. D., Gollany, H. T., Siemens, M. C., Wuest, S. B., Long, D. S. (2009). Comparison of runoff, soil erosion, and winter wheat yields from no-till and inversion tillage production systems in northeastern Oregon. *J. Soil Water Conserv.* 64:43-52.
- Wischmeier W.H., Smith D.D. (1958). Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans Am. Geophys. Union* 39: 285-291.
- 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.
- Yoder, D.C., Foster, G.R., Weesies, G.A., Renard, K.G., McCool D.K., Lown, J.B.,(2004). Evaluation of the RUSLE Soil Erosion Model.
- [<http://www.bae.ncsu.edu/www3/acad/Regional-Bulletins/Modeling-Bulletin/RUSLE-yoder-001016.html>]
- Zante, P., Collinet, J., Leclerc, G. (2001). Cartographie des risques érosifs sur le bassin versant de la retenue collinaire d'Abdessadok (nord dorsale tunisienne), Institut de Recherche pour développement, Tunisia, 2001.
- Zhao, Z., Benoy, G., Chow, T.L., Rees, H.W., Daigle, J.L., Meng, F.R. (2010). Impacts of Accuracy and Resolution of Conventional and LiDAR Based DEMs on Parameters Used in Hydrologic Modelling. *Water Resources Management* 24(7): 1363-1380, DOI: 10.1007/s11269-009-9503-5

Liite 1. Viljelijöiden kyselylomake

- 1) Löysittekö palvelun avulla omien lohkojen eroositiedon?
- 2) Oliko palvelu hidas?
- 3) Oliko palvelu ymmärrettävä?
- 4) Olitteko kiinnostuneita jostakin tietystä lohkokosta vai kokonaistilanteesta
- 5) Oletteko havainneet silminnähtävää eroosiota jollain tietyllä lohkolla? Oliko eroosiokohta mallin osoittamassa paikassa? Vai kenties muualla?
- 6) Oliko palvelu hyödyllinen?
- 7) Käyttäisitkö palvelua jatkossa, jos se olisi helposti saatavissa?
- 8) Mikä olisi paras paikka palvelulle?

1) VIPU-kartat

2) viljelysuunnitteluohjelma,

3) nettipalvelu

4) ei mikään

- 9) Muuttaisitko viljelykäytäntöjä tämän tyyppisen tiedon perusteella?
- 10) Vapaa sana: Voit kertoa vapaasti mitä mieltä olet mallien kehityksestä ja käytännön hyödyistä/ongelmista omassa viljelysuunnittelussasi.

MTT TEKEE TIETEESTÄ ELINVOIMAA

MTT RAPORTTI 133

www.mtt.fi/julkaisut

MTT Raportti -verkkojulkaisusarjassa julkaistaan maatalous- ja elintarviketutkimusta sekä maatalouden ympäristötutkimusta käsitteleviä tutkimusraportteja. Lukijoille tarjotaan tietoa MTT:n kaikilta tutkimusaloilta eli biologiasta, teknologiasta ja taloudesta.

MTT, 31600 Jokioinen.

