

ICECREAM-MALLILLA ARVIOIDUT SAVIPELLON FOSFORIKUORMAT MONINKERTAISET VERRATTUNA MITATTUIHIN

*Vesiensuojelussa tarvitaan tietoa sekä olemassa olevista kuormituslähteistä että suojelutoimenpiteiden vaikutuksista kuormitukseen. Eroosion ja ravinteiden huuhtoutumisen matemaattinen mallintaminen on keskeinen menetelmä eri maankäyttömuodoilta tulevan hajakuormituksen arvioinnissa kokeellisen tutkimuksen ohella. ICECREAM-malli on osa Suomen ympäristökeskuksessa kehitettyä VEMALA-mallijärjestelmää, joka on koko Suomen kattava ravinnekuormitusmalli vesistöille. ICECREAM-mallilla lasketaan pintavesiin ja Itämereen tulevaa kuormitusta Suomen peltolohkoilta. Työssä VEMALA-ICECREAM-mallia testattiin Siuntiossa sijaitsevan Gårdskullan kartanon peltoalueella mitatulla mittausaineistolla (2008–2019). ICECREAM-mallilla arvioidut kokonaisfosforikuormat olivat viljan osalta moninkertaiset ja nurmen osalta kaksinkertainen verrattuna mitattuihin arvoihin. Malli kuvasi tuotannon suunnan vaikutuksen fosforin esiintymis-
muotoihin.*

VEMALA-ICECREAM-MALLI

Suomen ympäristökeskuksessa (SYKE) on 1990-luvulta lähtien kehitetty ICECREAM-mallia peltolohkolta tulevan kuormituksen laskentaan pohjoisissa olosuhteissa. Malli laskee peltoalueilta tulevaa maahiukkasiini sitoutuneen fosforin ja

liukoisen fosfaattifosforin ($\text{PO}_4\text{-P}$) kuormitusta ja eroosiota pintavesiin eri valuntareittejä pitkin. Mallin tietokanta kattaa kaikki Suomen peruslohkot. Laskennassa käytetään lähtötietoina peltolohkojen ominaisuuksia, mm. maalajia ja pellon kaltevuutta. Mallilla voidaan simuloida myös eri viljelytoimenpiteiden vaikutuksia kuormitukseen.

Vesistömittakaavan VEMALA-malli ja siihen maatalousalueilta fosforikuormien laskentaa varten kytketty peltomittakaavan ICECREAM-malli ovat operatiivisessa käytössä Suomen vesistöjen ravinne- ja kiintoainekuormien arvioinnissa. VEMALA-ICECREAM:in tietokanta kattaa kaikki Suomen valuma-alueet. SYKEN nykyinen arvio maatalouden fosforikuormituksen määrästä koko Suomessa perustuu VEMALA-ICECREAM-mallilla laskettuihin kuormitusarvoihin kultakin peruslohkolta. Mallilla on arvioitu myös suojavyöhykkeiden, maanmuokkauksen ja kipsin levityksen vaikutuksia eroosioon ja fosforin huuhtoutumiseen.

ICECREAM-malli on kehitetty SYKESsä amerikkalaisesta CREAMS/GLEAMS-mallista. Malli on pääosin kehitetty Yhdysvalloissa saatujen kokeellisten tutkimusten perusteella, minkä vuoksi mallin testaus Suomen olosuhteissa on välttämätöntä, jotta sen hydrologiaa, eroosiota ja ravinteiden huuhtoutumista ku-

vaaville osamalleille ja parametreille saadaan mahdollisimman edustava ja luotettava kuvaus.

MALLIN SOVELTAMINEN GÅRDSKULLAN KARTANON PELTOALUEELLE

VEMALA-ICECREAM-mallia sovellettiin Siuntion Kirkkojoen valuma-alueella sijaitsevalle Gårdskullan kartanon peltoalueelle (5,7 ha), joka on Etelä-Suomelle tyypillinen loiva, salaojitettu savimaa (kuva 1). Peltoalueen hydrologiaa ja fosforin huuhtoutumista kuvaavien osamallien toimintaa testattiin pitkäaikaista mittausaineistoa vasten. Aineisto käsitti pinta- ja salaojavalunnan, valumavesien kiintoaineen sekä kokonaisfosforin ja liukoisen epäorgaanisen fosforin pitoisuudet sekä lumen vesiaron ajanjaksolta 2008–2019,

jonka aikana (2012) siirryttiin viljanviljelystä luonnonmukaiseen nurmiviljelyyn. Maaperän eri kerroksista on määritetty lajitekoostumus ja vedenpidätyskäyrä. Pintakerroksen kasveille käyttökelpoisen fosforin määrää (viljavuusfosfori) oli mitattu useana ajankohtana.

Mallinnuksessa käytettiin peltoalueelle kahta maalajia: aitosavi ja hiesusavi. Aitosaven hydrauliset ja muut ominaisuudet otettiin suoraan VEMALAn tietokannasta ja hiesusaven ominaisuudet määritettiin osittain tutkimusalueelta tehdyistä mittauksista.

VEMALA-mallijärjestelmä haki säätiiedot Kirkkojoen kolmesta lähimmäisestä Ilmatieteennlaitoksen mittausasemasta ja laski niistä painotetut keskiarvot alueen sadannasta ja lämpötilasta. Fosforimallin ja eroosiomallin alkuarvot ja parametrit otettiin VEMALA-ICECREAM-mallin



Kuva 1. Gårdskullan peltoalue (vasemmalla) Siuntion Kirkkojoen valuma-alueella. Pelto on hiesusavea, salaojitettu ja viettää loivasti kohti uomaa kohti. Pelto oli nurmiviljelyssä 2011–2019 ja ennen sitä viljalla.

tietokannasta, joka on aiemmin määritetty suomalaisten tutkimustulosten perusteella.

Työssä oletettiin mallin maaprofiilin pohjasta purkautuvan veden ja makrohuokosvalunnan edustavan salaajavaluntaa. Koska ICECREAM-osamallin valuntalaskennassa on aiemmin ilmennyt vesitasevirhettä, ICECREAM-VE-MALA laski kuormituksen käyttämällä VEMALA-vesistömallin laskemia valunta-arvoja. Valumavesien pitoisuuksina käytettiin VEMALA-ICECREAMilla laskettuja arvoja.

VESIMALLIN "HYVYYS" VAIHTELI SÄÄOLOSUHTEIDEN MUKAAN

Malli yliarvioi vuotuista kokonaisvaluntaa, joka käsitti pintavalunnan, makrohuokosten kautta tapahtuvan valunnan ja perkolaation (veden suotautumisen maaprofiilin pohjalta). Se johtui pääasiassa liiallisesta pintavalunnasta mittauksiin verrattuna, mutta myös liiallisesta perkolaatiosta runsassateisina ajanjaksoina. Malli kuvasi suhteellisen hyvin valunnan jakautumisen pintavaluntaan sekä makrohuokosvaluntaan ja perkolaatioon, joista kahta jälkimmäistä verrattiin salaajavalunnan mittaustuloksiin. Mallinnettu pintavalunnan osuus kokonaisvalunnasta oli keskimäärin 16 % ja mitattu osuus 10 %. Maalajivaihtoehdoilla aitosavi (AS) ja hiesusavi (HsS) ei ollut systemaattista vaikutusta mallin kuvauskykyyn, vaan se vaihteli riippuen hydro-meteorologisista olosuhteista.

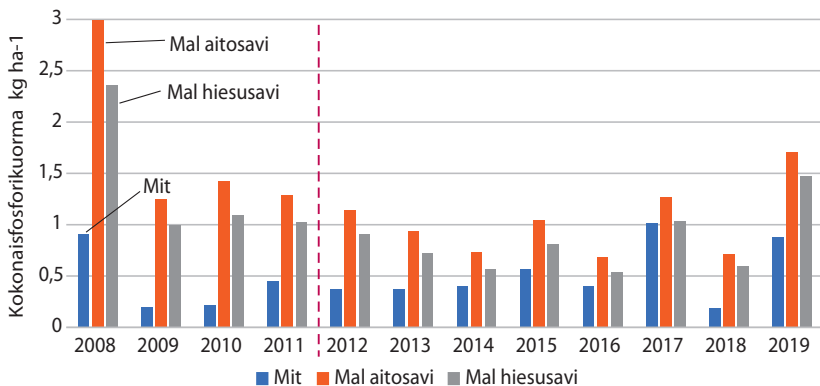
Gårdskullan peltoalueen vesitasetta on aiemmin mallinnettu Aalto-yliopistossa kehitetyllä FLUSH-mallilla. Mallinnustulokset osoittivat, että peltolohkon salaajaston valuma-alue on epätarkka johtuen mahdollisesta pohjaveden purkautumi-

sesta ympäröiviltä metsäalueilta. Tämä viittaa siihen, että todellinen mitattu salaajavalunta oli kuvaajissa esitettyä vähäisempää ja mallinnustulokset ovat todellisuudessa enemmän yliarvioituja kuin kuvaaja näyttää. FLUSH-mallinnus osoitti myös, että pohjavesivalunnan osuus vesitaseesta on merkittävä. Teoriassa, ilman pohjavesikomponenttia ICECREAM-mallissa, vesi kiertää nopeammin maaprofiilin läpi olematta vuorovaikutuksessa pohjavesivaraston kanssa.

MALLI YLIARVIOI KOKONAISSFOSFORIN KULKEUTUMISEN PELTOALUEELTA KIRKKOJOKKEEN

ICECREAM-mallilla arvioitu vuotuinen kokonaisfosforikuorma oli viljan osalta moninkertainen ja nurmen osalta kaksinkertainen verrattuna mitattuihin arvoihin (kuva 2). Ero johtui pääasiassa maahiukkasiin kiinnittyneen fosforin kuorman yliarvioinnista. Mallilla laskettu liukoisen fosforin kuorma oli lähempänä mitattuja arvoja. Malli simuloi liukoisen fosforikuorman kasvun siirryttäessä viljasta nurmelle. Malli kuitenkin aliarvioi pintavalunnan mukana tullutta liukoisen fosforin kuormitusta ja yliarvioi maaprofiilin pohjalta purkautuneen valunnan (salaajavalunnan) kuormitusta. Fosforin (erityisesti maahiukkasiin kiinnittyneen fosforin) mallinnustulokset olivat pääosin lähempänä mitattuja arvoja maalajilla hiesusavi kuin savi.

VEMALA-ICECREAM:n ainemalli laskee ainepitoisuuksia ja käyttää VEMALA:n laskemaa valuntaa kuormien laskemiseen. Koska VEMALAlla laskettu valunta vastasi melko hyvin mitattuja arvoja, yliarvioitu kokonaisfosforikuorma johtuu todennäköisesti fosforimallissa olevista virheistä tai puutteista.



Kuva 2. Vuotuinen kokonaisfosforikuorma [kg ha⁻¹] Gårdskullan kartanon peltoalueella 2008–2019, mitattu (Mit), sekä mallinnettu maalajeilla savi (Mal aitosavi) ja hiesusavi (Mal hiesusavi). Tuotantosuunnan muutos on merkitty punaisella katkoviivalla.

MALLI KUVASI TUOTANNONSUUNNAN VAIKUTUKSEN FOSFORIN ESIINTYMIS- MUOTOIHIN

Liukoisen (DP) ja hiukkasmaisen (PP) fosforikuormien suhteelliset määrät kokonaiskuormasta eri tuotantosuuntien aikaan olivat keskimäärin hyvin kuvattu mallilla (etenkin maalajilla AS); DP:n osuus kokonaiskuormasta kasvoi selkeästi siirryttyä nurmiviljelyyn (Kuva 3).

Malli kuitenkin aliarvioi pintavalunnan kautta kulkeutunutta DP-kuormaa etenkin viljan viljelyn aikana. Pintavalunnan merkitys DP:n kuljetuksessa kasvoi nurmiviljelyn aikana todennäköisesti seurauksena siitä, että jatkuva kasvipeite tuottaa tuoretta orgaanista ainesta, josta vapautuu fosforia pintaveteen.

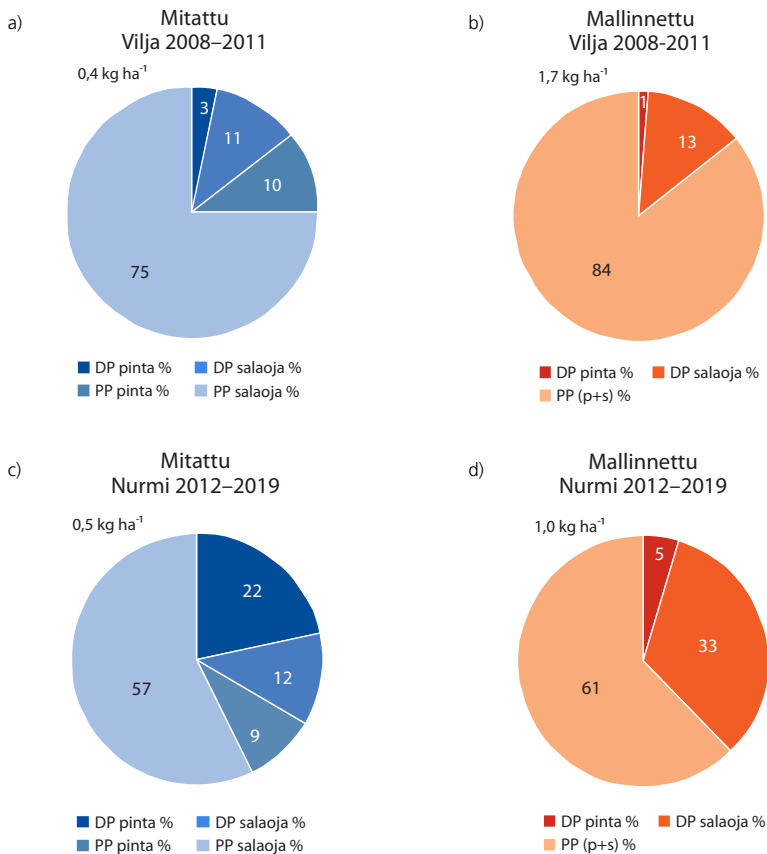
JOHTOPÄÄTÖKSET

Mallisuovellus Gårdskullan kartanon peltoalueelle antoi tietoa SYKEssä operatiivisessa käytössä olevan ravinnekuormitusmallin toiminnasta salaojitetun peltolohkon mittakaavassa erilaisissa sää-

olosuhteissa ja tuotantosuunnilla. Mallinustulosten arvioinnissa tulee ottaa huomioon myös mittaustuloksiin liittyvät epävarmuudet, joita esiintyi varsinkin sulamiskauden pintavalunnan mittauksissa.

Tulosten perusteella hydrologista osamallia tulisi kehittää edelleen erityisesti eri valuntareittien kuvausten osalta. Salaojitetuillakin peltoalueilla syvän pohjavesivalunnan osuus vesitaseessa voi olla merkittävä. Pohjavesikonseptin sisällyttäminen malliin mahdollistaisi myös salaojavalunnan fysikaalispohjaisemman kuvauksen. Mallissa tulisi korjata maaveden virtausta kuvaavan Richardsin yhtälön ratkaisu. Nykyisen pintavaluntamallin voisi korvata mallilla, joka laskee sateen intensiteetin ja imeytymiskapasiteetin välisen erotuksen. Peltolohkojen eroosion ja fosforikuormituksen laskentaa voisi tarkentaa muun muassa siten, että VEMALAn tietokannassa kuvattaisiin monipuolisemmin erityyppisten savimaiden ominaisuuksia.

Artikkeli perustuu Saga Sundholmin diplomityöhön *Simulating runoff, erosion, and phosphorus transport from a field with*



Kuva 3. Pintavalunnan ja salaojavalunnan kautta kulkeutuneen liukoisen (DP) ja partikkelifosforin (PP) vuosikuormien keskimääräinen osuus [%] kokonaisfosforin kuormasta eri tuotantosuunnilla: viljanviljely (2008–2011) ja nurmi (2012–2019). Tuotantosuuntien keskimääräinen kokonaisfosforin vuosikuorma (kg ha⁻¹) on kunkin kuvan vasemmassa yläkulmassa. Partikkelifosforin kuljetusreitit ei voitu mallissa erottaa, minkä takia kuvassa on esitetty eri valuntareittien summa. Mallinnettu tietokannan maalajilla aitosavi.

the ICECREAM model, joka hyväksyttiin Aalto-yliopistossa joulukuussa 2021. Työn rahoittivat Sven Hallinin tutkimussäätiö sr ja SYKE. Työssä käytetyn mittausaineiston keräyksestä ja esikäsittelystä mallintamista varten on vastannut Salaojituksen tutkimusyhdistys ry. Gårdskullan kartanon koalueen mittausaineisto on kerätty yhteistutkimushankkeissa Sa-

laojituksen tutkimusyhdistys ry:n toimesta. Hankkeita vuosien 2007–2019 aikana ovat rahoittaneet Salaojituksen Tukisäätiö sr, maa- ja metsätalousministeriö, Maa- ja vesitekniikan tuki ry ja Sven Hallinin tutkimussäätiö sr. Diplomityö on saatavissa Aalto-yliopiston verkkosivuilta.

Teksti ja kuvat: *Saga Sundholm*