



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

Malliperheen sovellus Puruveden vesistöalueella

Raportin koonti: Sirkka Tattari & Antti Leinonen

Sisältö:

1. Johdanto, *Sirkka Tattari ja Antti Leinonen*
2. Valuma-alueen kuvaus, *Juha Riihimäki*
3. Metsänkäsittely Puruveden valuma-alueella, *Riikka Salomaa*
4. RUSLE2015- Eroosiomalli, *Harri Lilja*
5. KUHA-taulukosto ja sen käyttö Puruvedellä, *Timo Hiltunen ja Antti Leinonen*
6. VEMALA – valuma-aluemallinnus, *Markus Huttunen*
7. Ravinnekuormitusten laskenta metsäalueilta NutSpathy mallilla, *Ari Laurén, Samuli Launiainen & Aura Salmivaara*
8. LLR- Vesistövaikutukset, *Niina Kotamäki*
9. Yhteenveto, *Sirkka Tattari ja Antti Leinonen*

Abstract

One of the key goals in the Freshabit project is to build up new coordination structures, models and networks for integrated planning, implementation and monitoring schemes for directives related to freshwater management, with emphasis on HBD and WFD. In subproject A1 the overall aim is to find an economically sound set of actions, taking into account also the effect of climate change, to keep the nutrient loading of a watershed within the limits allowing good ecological status in water bodies. For this purpose the National Integrated Model (NIM) is developed. NIM is a description of data flow from information sources to models, between models and finally to support decision-making. It is a 'family of different modeling tools' to be deployed in the forested areas. It combines the loading of nutrients and sediment from the terrestrial part of the catchment with the ecological status of the receiving water body. It provides information for planning forest operations and presents the means and measures to enable the good status of the water body.

In order for the objective of reducing the load to be realistic, the development of the load should be able to predict sufficiently reliably and for each land use e.g. agriculture, forestry, scattered settlements separately. As regards forestry loads, this means the identification of the forest management history and its load, as well as anticipation of future, probable forest management and the resulting load. If the foreseeable load is considered to be at an excessive level or if the load is anticipated to develop in an unfavorable direction, the necessary additional water protection measures need to be implemented. For example, concrete



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

measures might include extensive water protection structures, such as wetlands and overland flow areas/fields, which cannot be carried out in the context of normal forestry operations.

The promotion of the introduction of spatial data sets produced by modeling tools, e.g. by training landowners and operators in the area so that the information contained in the data and models can be utilized to make decisions on the use of forests and also to implement appropriate water protection methods. It is clear that model sharing brings significant added value to the design of water management compared to the results of a single model:

- The uncertainty of the models can be concretized by comparing the results
- Models provide information on both the load and the state of water status
- Models produce information on different scales

This work presents preliminary results of five different models in the Puruvesi river basin.

Johdanto

Malliperhe on kuvaus siitä, miten tieto liikkuu tietolähteistä malleihin, malleista toiseen ja lopulta päätöksenteon tueksi. NIM on koko valtakunnassa käyttöön otettavissa oleva metsäalueille soveltuva malliperhe. Se yhdistää valuma-alueelta tulevan kuormituksen vesistöjen tilaan vaikuttaviin prosesseihin. Se tuottaa tietoa valuma-alueuunnittelua varten ja esittää keinot ja toimenpiteet, joiden avulla vesistöjen tavoitteen mukainen tila voidaan säilyttää tai saavuttaa. Rajaus: Malliperhe soveltuu parhaiten metsäisille alueille, ja sillä lasketaan veden liikkeitä ja tilaa sekä kokonaistyyppi-, fosfori- ja kiintoainekuormitusta.

Osahankkeen (A1) yhtenä keskeisenä tavoitteena on tarkastella mallinnuksen avulla eri mittakaavoissa tapahtuvan vesiensuojelun suunnittelun ohjeistuksen kehittämistä, huomioiden eri mittakaavoissa vesiensuojelulle asetettavat tulokselliset tavoitteet. Vesiensuojelun tavoitteet perustuvat kohdevesistön tilaa ja sen ennakoituun kehitykseen perustuvien laskelmien pohjalta laadittuun, kaikkien maankäyttömuotojen aiheuttaman kokonaiskuormituksen vähentämistavoitteeseen. Hanke A1 tuottaa tietoa ja työkaluja myös osahankkeelle A10, jossa valmistellaan toimintamallia Natura 2000 verkoston kohteiden valuma-alueiden metsien käytön ja kunnostustoimien suunnitteluun. Osallistavan suunnittelun periaatteita noudattavan mallin soveltaminen käytäntöön tulee olemaan tärkeä osa kansallista Priority Action Framework for Natura 2000 -ohjelman toimeenpanoa.

Jotta kuormituksen vähentämistavoite olisi realistinen, tulisi kuormituksen kehitys pystyä ennakoimaan tarpeeksi luotettavasti ja vielä jokaiselle maankäyttömuodolle erikseen. Metsätalouden aiheuttaman kuormituksen osalta tämä tarkoittaa metsänkäsittelyhistorian ja sen aiheuttaman kuormituksen selvittämistä sekä tulevan, todennäköisesti toteutuvan metsänkäsittelyn ja siitä aiheutuvan kuormituksen ennakkointia. Mikäli ennakkoidun kuormituksen katsotaan olevan vastaanottavan vesistön kannalta esimerkiksi metsätalouden



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

osalta liian korkealla tasolla tai kuormituksen ennakoimaan kehittyvän epäsuotuisaan suuntaan, tulee valuma-alueen vesiensuojelun suunnittelun tavoitteeksi tunnistaa nykykäytännön mukaisten ja joka tapauksessa toteutuvien vesiensuojelutoimien lisäksi muut tarpeelliset vesiensuojelun lisätoimenpiteet.

Lisätoimenpiteiksi lasketaan esimerkiksi konkreettiset laajat vesiensuojelurakenteet kuten kosteikot ja pintavalutuskentät, joita ei voida toteuttaa tavallisten metsänkäsitteilytoimien kuten kunnostusojitusten yhteydessä. Toisaalta lisätoimenpiteiksi voidaan laskea myös erityiset lisäpanokset normaalien metsänkäsitteilytoimenpiteiden suunnitteluun, joiden ansiosta metsätaloustoimenpiteet toteutuvat vesiensuojelun kannalta laadukkaammin. Tämän kaltaisia lisätoimenpiteitä ovat mm. hanke-alueille mallinnustyökaluilla tuotettavien paikkatietoaineistojen käyttöönoton edistäminen esim. kouluttamalla maanomistajat ja alueen toimijat siten, että aineistojen ja mallien sisältämää tietoa voidaan hyödyntää metsien käyttöä koskevien päätösten tekemisessä sekä käyttöä koskevien päätösten toimeenpanossa. Konkreettisesti lisätoimenpiteiden tulokset tulisivat ilmetä esimerkiksi pienvesien ja vesistöjen läheisyydessä sijaitsevien uudistamiskuvioiden olosuhdetekijät huomioiden riittävän leveinä, vaihtelevan levyisinä suojakaistoina.

Usean mallin yhteiskäyttö tuo merkittävän lisäarvon vesienhoidon suunnitteluun verrattuna yksittäisen mallin antamiin tuloksiin:

- Mallien epävarmuutta voidaan konkretisoida vertailemalla tuloksia
- Mallit tuottavat tietoa sekä kuormituksen että vesien tilan muutoksesta
- Mallit tuottavat tietoa eri mittakaavoissa

Tässä raportissa esitetään viiden eri mallisovelluksen (RUSLE, KUHA, VEMALA, NutSpathy ja LLR) alustavia tuloksia Puruveden valuma-alueelle.

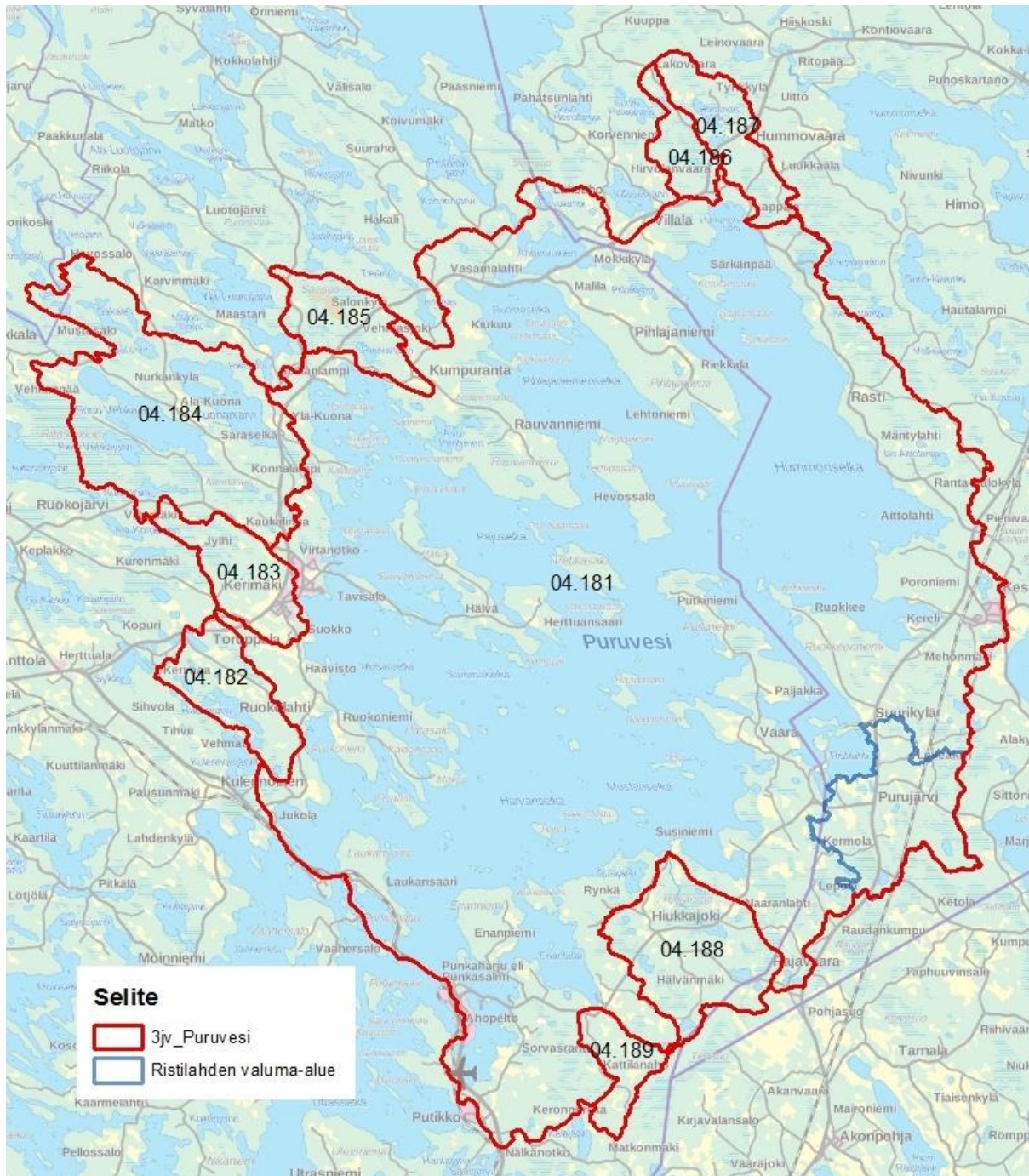
Valuma-alueen kuvaus

Puruveden valuma-alue (04.18) sijaitsee Vuoksen vesistöalueella pääosin Savonlinnan ja Kiteen kuntien alueella. Valuma-alueen pinta-ala on 1016,8 km², josta vesistöjen osuus on noin 43 %. Valuma-alue koostuu yhdeksästä kolmannen jakovaiheen alueesta (kuva 1), joista pinta-alaltaan suurin on Puruveden lähialue (4.181).

Corine 2012 maanpeiteluokituksen mukaan valuma-alueen maa-alasta 85,5 % on metsää, 7 % maatalousalueita, 4,8 % rakennettuja alueita ja 2,8 % avosoita ja kosteikkoja (kuva 2).



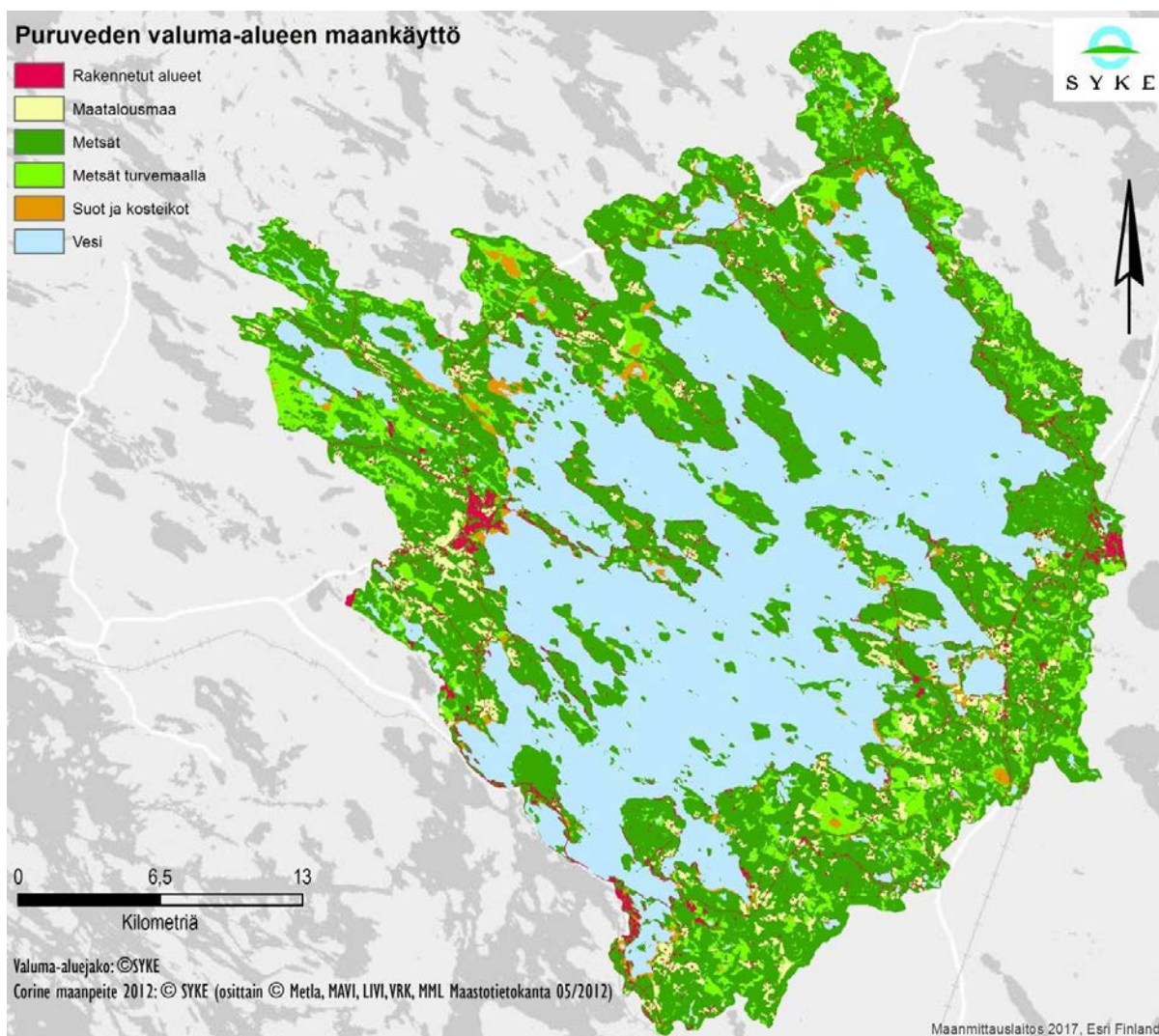
Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.



Kuva 1. Puruvesen vesistöalueen (4.18) kolmannen jakovaiheen osa-valuma-aluekartta. Kuvassa on esitetty myös Ristilahden yläpuolinen valuma-alue.



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.



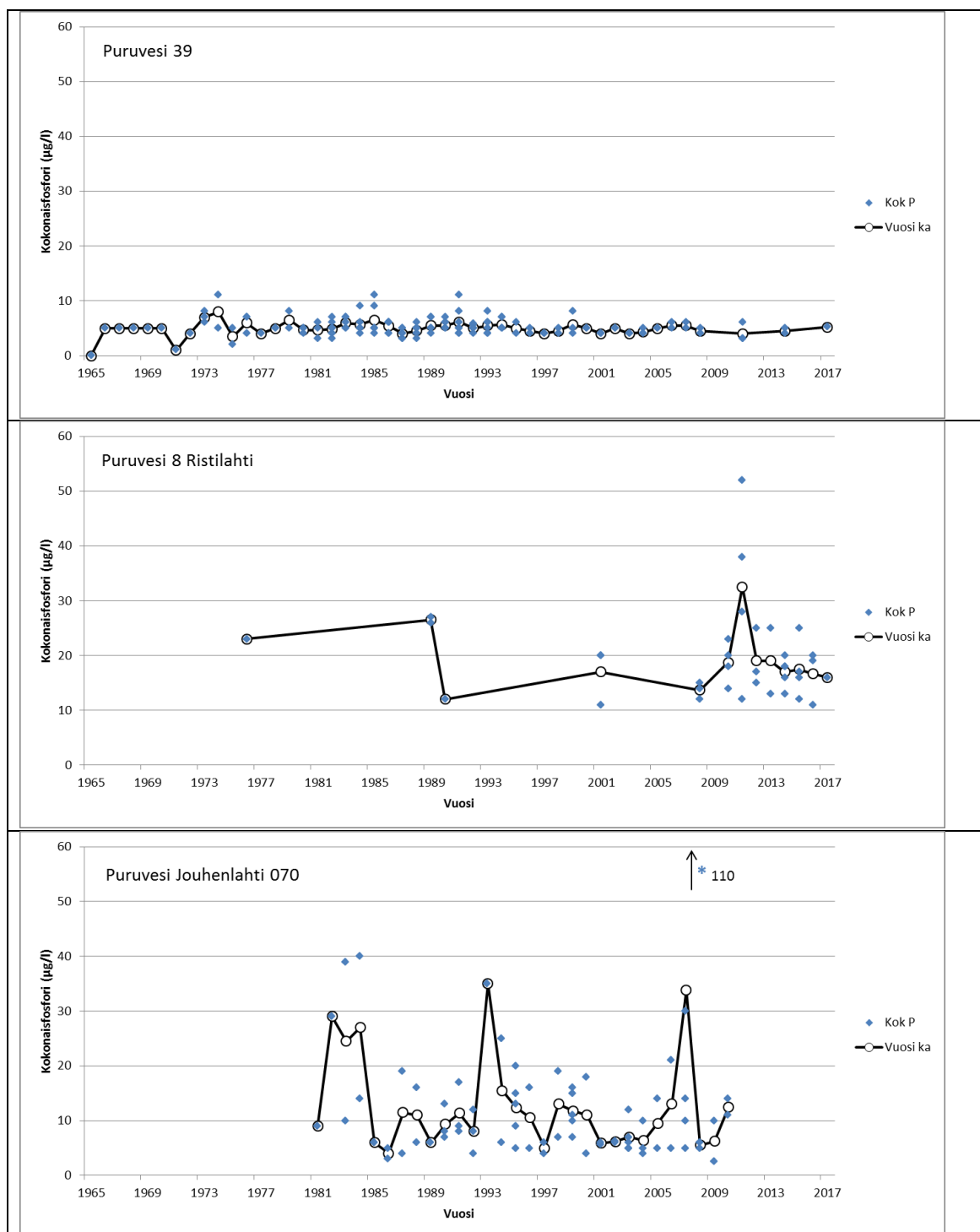
Kuva 2. Puruvesen valuma-alueen maanpeiteluokitus. Alkuperäisiä Corine 2012 luokkia on kuvassa uudelleen ryhmitelty.

Valuma-alueella on 7 Natura 2000 verkostoon kuuluvaa aluetta, joista suurin on Puruvesi (SACFI0500035), pääasiallisena valintaperusteena olivat edustavat luontotyypit, karut kirkasvetiset järvet.

Vedenlaadun havaintopaikkoja, joilta on havaintoja kokonaisfosforin pitoisuuksista, on Puruvesen valuma-alueella ympäristöhallinnon vedenlaaturekisterissä 234 paikkaa. Ensimmäinen havainnoista on 24.3.1964 ja viimeisin 7.6.2017. Eniten havaintopaikkoja (167 kpl) on Puruvesen lähialueella (4.181). Veden laatu vaihtelee selvästi Puruvesen eri osissa. Selkäalueiden kokonaisfosforipitoisuudet ovat hyvin pieniä, mutta lahtialueilla pitoisuudet voivat olla selkävesiin verrattuna moninkertaisia (kuva 3).



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.



Kuva 3. Puruveden pääaltaan havaintopaikan (Puruvesi 39) ja eräiden lahtien pintaveden (1 m) kokonaisfosforin pitoisuus.

Valuma-alueen kallioperä on pääosin graniittia ja kiillegneissii. Maapinta-alan maaperästä lähes 87 % on kivennäismaalajeja, pääasiassa moreenia (taulukko 1.)



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

Taulukko 1. Puruveden valuma-alueen maaperä.

maaperä	osuus maa-alasta %
orgaaniset maat (turve, soistuma, lieju)	13,2
kallioma ja avokallio	12,2
savi	0,1
moreeni	49,0
karkearakeiset maat (Sr, Hk, KHt)	25,0
hienojakoiset maat (HHt, Hs)	0,5

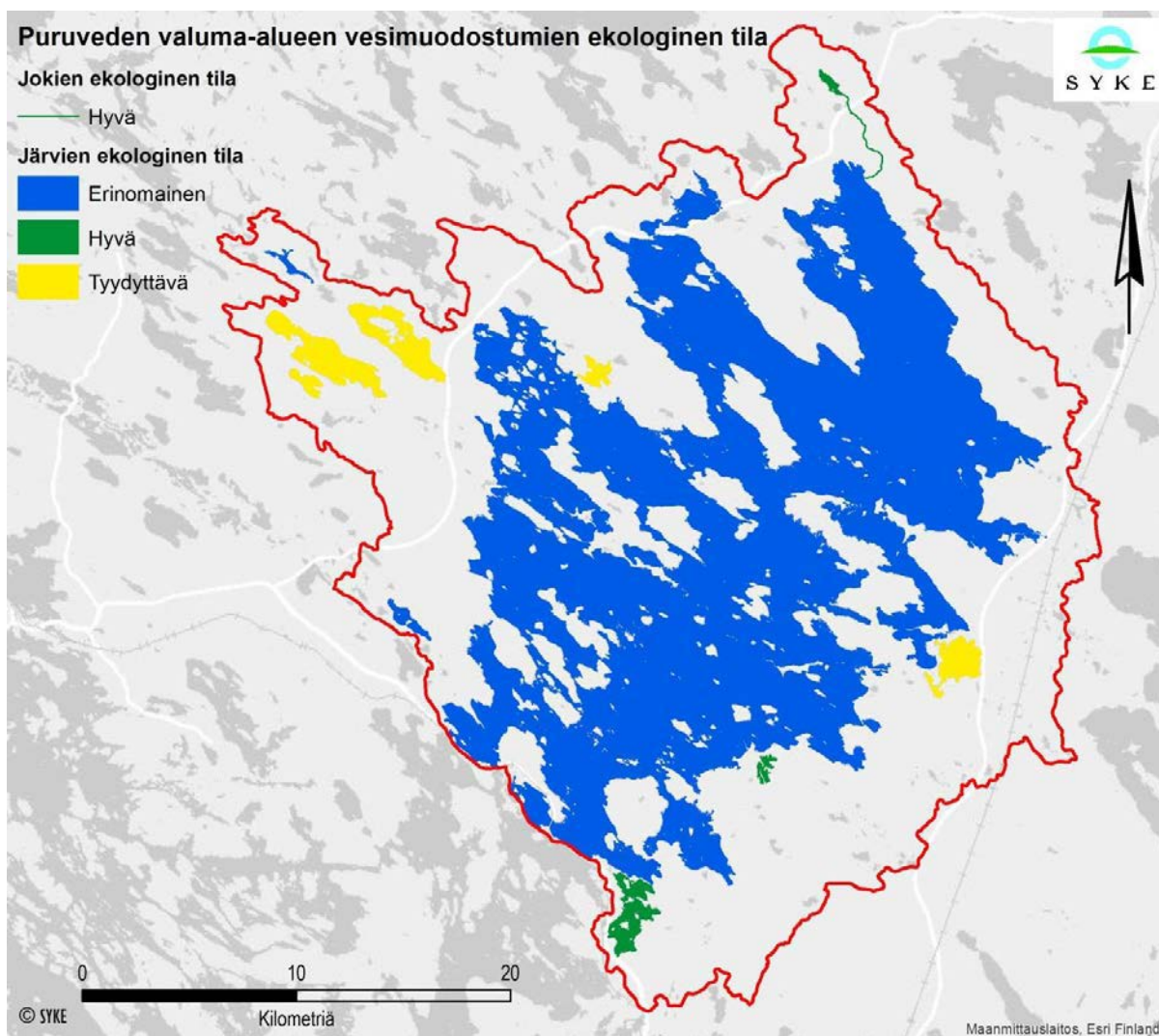
Puruveden valuma-alueella on 12 VPD:n mukaan muodostettua järvesimuodostumaa ja 1 jokivesimuodostuma (taulukko 2). Suuri osa valuma-alueen vesimuodostumista on ekologiselta tilaltaan erinomaisessa tai hyvässä tilassa (kuva 4). Viiden järven tila on tyydyttävä. Hyvää huonommassa tilassa olevissa vesimuodostumissa tyydyttävän tilan syynä oli mitattu a-klorofyllipitoisuus (Avo-Puntunen, Ristilahti, Kuonanjärvi ja Iso Vehkajärvi), kokonaisfosfori (Iso Vehkajärvi ja Pieni Vehkajärvi) sekä kokonaistyyppi (Pieni Vehkajärvi).

Taulukko 2. Puruveden valuma-alueen vesimuodostumat.

VPDTunnus	nimi	tyyppi	ekologinen tila
04.181.1.001_001	Puruvesi (Saimaa), keskusallas	Suuret vähähumuksiset järvet (SVh)	Erinomainen
04.181.1.001_002	Puruvesi (Saimaa), Sorvaslahti	Matalat humusjärvet (Mh)	Hyvä
04.181.1.001_003	Puruvesi (Saimaa), Ängervöinen	Pienet humusjärvet (Ph)	Erinomainen
04.181.1.001_004	Puruvesi (Saimaa), Avo-Puntunen	Runsashumuksiset järvet (Rh)	Tyydyttävä
04.181.1.001_005	Puruvesi (Saimaa), Ristilahti	Pienet humusjärvet (Ph)	Tyydyttävä
04.181.1.014_001	Susijärvi	Matalat vähähumuksiset järvet (MVh)	Hyvä
04.182.1.001_001	Ruokojärvi	Matalat humusjärvet (Mh)	Erinomainen
04.184.1.001_001	Kuonanjärvi	Matalat humusjärvet (Mh)	Tyydyttävä
04.184.1.004_001	Sakale	Matalat runsashumuksiset järvet (MRh)	Erinomainen
04.184.1.008_001	Iso Vehkajärvi	Matalat humusjärvet (Mh)	Tyydyttävä
04.184.1.014_001	Pieni Vehkajärvi	Matalat runsashumuksiset järvet (MRh)	Tyydyttävä
04.187.1.003_a01	Hummonjärvi	Matalat humusjärvet (Mh)	Hyvä
04.181_a01	Mörköjoki	Pienet turvemaiden joet (Pt)	Hyvä



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.



Kuva 4. Puruvesen valuma-alueen vesimuodostumien ekologinen tila.

Puruveden valuma-alue on rajattu maatalouden ja metsätalouden toimenpiteiden painopistealueeksi Etelä-Savon vesiensuojelun toimenpideohjelmassa vuosille 2016-2021. Toimenpideohjelman mukaan erityisesti painopistealueilla tulisi vesiensuojelun näkökulmasta panostaa maatalouden ja metsätalouden vesiensuojeluun.

Maatalouden vesiensuojelun täydentävinä toimenpiteinä esitetään maatalouden suojavyöhykkeet, maatalouden kosteikot ja laskeutusaltaat, peltojen talviaikainen eroosion torjunta, ravinteiden käytön hallinta, lannan ja orgaanisen aineksen ympäristöystävällinen käyttö, kasvisuojeluaineiden käytön vähentäminen ja luonnonmukaisesti viljelty pelto sekä maatalouden tilakohtainen neuvonta

Metsätalouden vesiensuojelun toimenpiteiksi esitetään muuna perustoimenpiteenä kunnostusojituksen vesiensuojelun perusrakenteet ja täydentävinä toimenpiteinä lannoitusten suojakaistat, uudishakkuiden suojakaistat, metsätalouden eroosiohaittojen



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

torjunta, kunnostusojituksen tehostettu vesiensuojelu, tehostettu vesiensuojelusuunnittelu sekä koulutus ja neuvonta.

Metsän käsittely Puruveden valuma-alueella

Puruveden valuma-alueen (04.18) metsämaan pinta-alat osavaluma-alueittain on esitetty kuvassa 5. Metsämaata on yhteensä 48 780 ha. Puruveden valuma-alueella soiden pinta-ala on noin 9000 ha, mikä on 18 % metsämaan kokonaisalasta. Soista on ojitettu 80 %, joten ojitusala on 7200 ha ja 15 % metsämaan pinta-alasta. Uudisojitukset on tehty pääosin 60-, 70-, ja 80-luvuilla ja kunnostusojitukset käynnistyivät 1990-luvulla. Kun ojitus kunnostetaan keskimäärin 30 - 40 vuoden välein, on kunnostusojituspinta-ala koko valuma-alueella laskennallisesti 200 ha/v (ojituspotentiaali). Ojitusmäärä koko valuma-alueella viimeisen 20 vuoden aikana on kuitenkin ollut n. 2000 ha eli keskimäärin 100 ha/v (tuetut ojitukset).

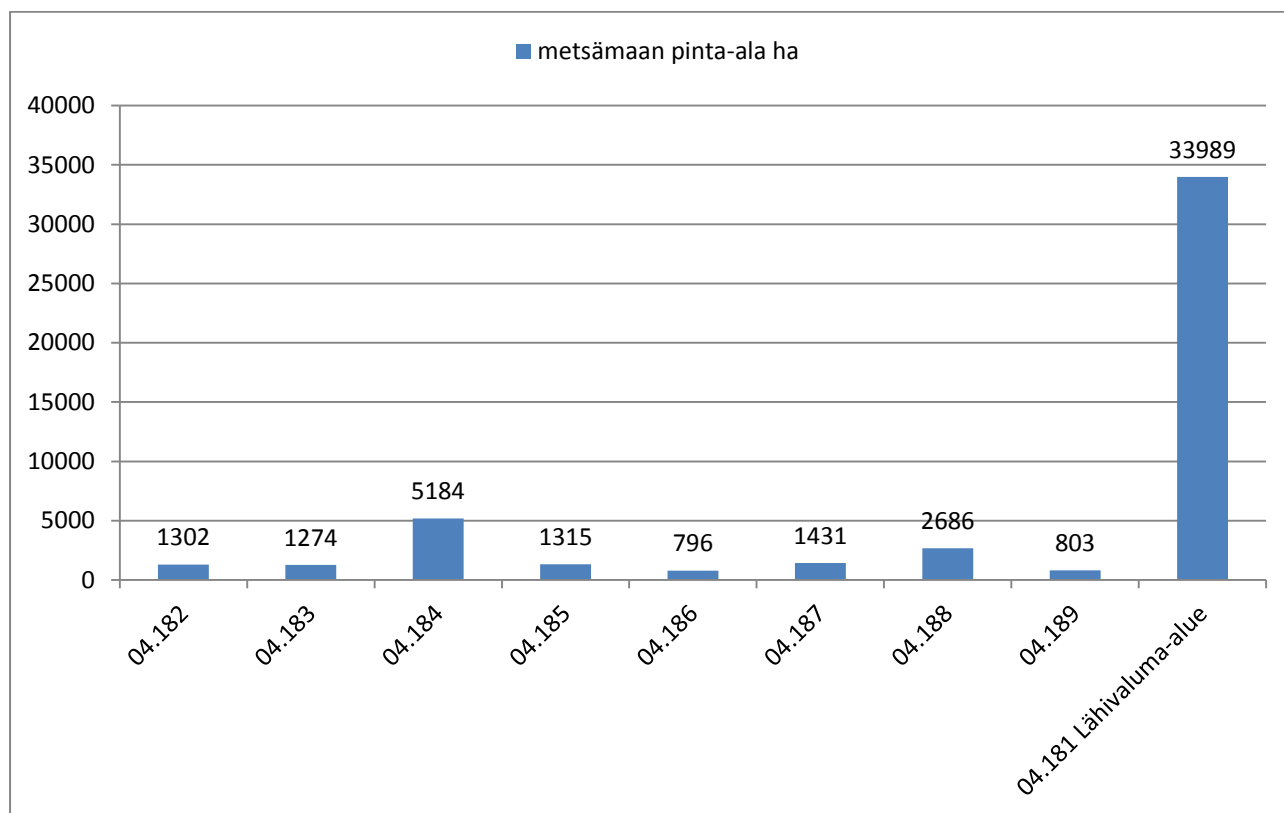
Tuettuja metsänterveyslannoituksia koko valuma-alueella on viimeisen 20 vuoden aikana tehty 698 ha ja tästä viimeisen 10 vuoden aikana 286 ha. Näin katsottuna lannoitusten määrä on hieman vähentynyt. Metsäkeskuksen metsävaratietojärjestelmän simuloimia lannoitusehdotuksia seuraavan 10 vuoden ajalle ei Puruveden valuma-alueella juurikaan ole, joten tulevien lannoitusmäärien ennustaminen on vaikeaa. Tuetut lannoitusmäärät pysyivät nykyisen KEMERA-lain ehdoilla ennallaan.

Menneiden uudistushakkuiden määrät perustuvat metsänkäyttöilmoituksiin, jotka ovat metsänomistajien hakkuuaikomuksia. Yleensä suurin osa hakkuuaikomuksista toteutetaan. Uudistushakkuiden pinta-ala koko Puruveden valuma-alueella on viimeisen viiden vuoden aikana ollut keskimäärin 809 ha/v, mikä on 1,7 % koko metsämaan pinta-alasta. Koko Etelä-Savon alueella luku oli n. 1,1 % metsämaan (1 181 000 ha) pinta-alasta. Uudistushakkuualoista valtaosa muokataan metsänuudistamisen yhteydessä. Luvut kertovat siitä, että alueen metsänkäsittely on Etelä-Savon mittakaavassa keskimääräistä hieman intensiivisempää.

Tulevien uudistushakkuiden määrät perustuvat Metsäkeskuksen metsävaratietojärjestelmän tuottamiin simulointeihin metsien uudistushakkuuesityksistä, jotka perustuvat puuston kokoon ja ikään. Näiden simulointien perusteella on laskettu uudistushakkuupotentiaali. Nämä eivät ole metsänomistajien hakkuuaikomuksia, joten uudistushakkuupotentiaalın uudistamismäärät lähivuosina ovat todennäköisesti todellisuutta suurempia. Uudistushakkuupotentiaali koko Puruveden valuma-alueella on seuraavan 5 vuoden aikana 1379 ha/v, 2,8 % metsämaasta ja seuraavan 10 vuoden aikana n. 823 ha/v, mikä on 1,7 % metsämaan pinta-alasta.



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.



Kuva 2. Metsämaan pinta-alat osavaluma-alueittain.

Myllyjoen – Ruokojärven valuma-alue 04.182

Valuma-alueen pinta-ala on 1767 ha, josta vesialaa on 232 ha. Keskimääräistä suuremman vesipinta-alan muodostavat kymmenkunta pientä järveä ja lampea, joiden kautta vedet purkautuvat Puruveteen. Näillä on vesiensuojelullista merkitystä Puruveden kannalta. Mm. pellot, joita on yhteensä 180 ha ja 8 % maapinta-alasta, sijaitsevat pääosin alueen pohjoisosassa, ja sieltä tulevat valumavedet päätyvät useiden järviäitaiden kautta Puruveteen.

Soiden osuus metsämaan (1302 ha) pinta-alasta on 20 %. Pääosa ojitetuista suoalueista sijaitsee peltojen lailla alueen pohjoisosassa. Nämä alueet on myös kunnostusojitettu n. 10 vuotta sitten, joten lähivuosien metsäojitukset valuma-alueella ovat vähäisiä. Uudistushakkuita alueella on tehty viimeisen viiden vuoden (vuodet 2012–2016) aikana keskimäärin 17 ha/v, noin 1,3 prosentilla metsämaan pinta-alasta.

Jouhenjoen valuma-alue 04.183

Valuma-alueen pinta-ala on 1718 ha, josta vesialaa on 292 ha ja metsämaata 1274 ha. Turvemaiden osuus on 296 ha, eli 23 % metsämaan koko pinta-alasta. Peltojen osuus on suurehko 261 ha, joka on 18 % maapinta-alasta. Metsäojituspinta-ala kokonaisuudessaan on noin 360 ha.



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

Uudistushakkuita alueella on tehty viimeisen viiden vuoden aikana keskimäärin 17 ha/v, noin 1,3 prosentilla metsämaan pinta-alasta.

Kuonanjoen valuma-alue 04.184

Valuma-alue on suurin Puruveden 3. jakovaiheen alueista, pinta-alaltaan 7328 ha. Vesialuetta on neljäsosa valuma-alueen pinta-alasta. Alueen suuret järvet, Kuonanjärvi ja Suuri Vehkajärvi on luokiteltu tyypiltään reheviksi ja vesien ekologinen tila tyydyttäväksi. Alueelta Puruveteen kohdistuva kokonaiskuormitus on luonnollisesti korkein, koska valuma-alue on suurin. Keskimääräinen kuormitus pinta-alayksikköä kohti on myös korkeimpia, mikä kertoo valuma-alueen ominaisuuksista. Purkupisteenä oleva Savonlahti on pahasti rehevöitynyt ja pohjalietettä on kertynyt runsaasti.

Peltojen osuus maapinta-alasta on keskimääräistä pienempi, 6,2 %. Peltoalueet painottuvat Kuonanjärven alueelle. Ominaista valuma-alueelle on turvemaiden suuri osuus. Niitä on 29 % metsämaan pinta-alasta. Valtaosa turvemaista on ojitettu, ja ojitusalaa on kaikkiaan noin 1200 ha, neljännes metsämaan alasta. Näistä ojitusalueista on viimeisen 20 vuoden aikana ojitettu vain reilu kolmannes, n. 474 ha. Ojitusalueet sijaitsevat valuma-alueen etelä- ja itäosissa niin, että alueilta tulevat vedet valuvat molempien isojen järviäldaiden kautta Puruveteen.

Valuma-alueen vuotuinen metsänuudistusala on ollut viimeisen viiden vuoden aikana keskimäärin 83 ha/v, eli 1,6 % metsäalasta (5184 ha).

Kuonanjärven valuma-alueesta on tehty myös tarkempi metsätalouden kuormitustarkastelu KUHA-tilukko laskentaohjelmalla. KUHA-laskelmassa kunnostusojitus "rästit" näkyvät ojituspilkinä vuonna 2017. Taulukkoa selitetään tarkemmin KUHA-osuudessa.

Hepojoen – Rauvanjärven valuma-alue 04.185

Valuma-alueen pinta-ala on 1583 ha, josta vesialaa on 85 ha. Alueella on lähes umpeen kasvaneen Rauvanjärven lisäksi yksi pienikokoinen lampi. Käytännössä koko valuma-alue purkaa vetensä rehevöityneen Rauvanjärven kautta Puruveteen. Järvi on toiminut yläpuolisen kiintoainekuorman laskeutusaltana ja Puruveden kannalta on merkitystä sillä, kuinka Rauvanjärvi syöttää kuormitusta jatkossa Puruveteen. Kiintoaine- ja fosforikuormitus on pinta-alayksikköä kohti Puruveden valuma-alueista korkein.

Alueen merkittävin kuormitus on tullut Savisuon turvetuotantoalueelta (n. 65 ha) lähes 30 vuoden ajan. Tuotanto on nyt päättynyt ja jälkitöitä ajatellen on tärkeää saada alueen pintaerosio ja ravinteet hallintaan sitovan kasvillisuuden avulla.



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

Valuma-alueella on peltoja hieman keskimääräistä vähemmän, mutta turvemaiden osuus on korkein, 30 % metsäalasta (1315 ha). Ojitusalueet on pääosin kunnostusojitettu viimeisen 15 vuoden aikana, joten metsäojitukset lähivuosina ovat vähäisiä. Uudistushakkuuta on tehty viimeisen viiden vuoden aikana keskimäärin 28 ha/v eli noin 2,2 % metsäalasta.

Mylypuron – Särkänöjan valuma-alue 04.186

Valuma-alue on kooltaan 881 hehtaaria, ja se on pienin Puruveden valuma-alueista. Peltojen osuus maapinta-alasta on vain parisen prosenttia, ja peltoalueet sijaitsevat valuma-alueen pohjoispäässä. Valuma-alueella on puolenkymmentä pientä lampea ja järveä, joiden kautta pääosa vesistä purkautuu Puruveteen. Keskimääräiset kuormitusarvot ovat pienimpiä tältä alueelta.

Turvemaita on keskimääräistä enemmän, 220 ha ja 28 % metsämaan (796 ha) pinta-alasta. Ojitusalueita on 180 ha. Uudistushakkuuala on ollut viimeisen viiden vuoden aikana keskimäärin 11 ha/v, 1,4 % metsämaan alasta.

Mörköjoen valuma-alue 04.187

Valuma-alueen pinta-ala on 1600 ha, josta vesialaa on reilut 100 ha. Hummonjärvi ja muutama pieni lampi sijaitsevat valuma-alueen pohjoisosassa kuten myös pääosa peltoalueista. Peltopinta-ala on pieni, 4 % maa-alasta, ja peltojen valumavedet tulevat pääosin em. järviältäiden kautta.

Turvemaita on keskimääräistä enemmän, 28 % metsämaasta (1431 ha). Noin puolet ojitusalueista purkaa vetensä pienempien järviältäiden kautta. Valuma-alueen eteläosan ojitusalueet laskevat suoraan pääuoman Mörköjoen kautta Puruveteen. Valuma-alueen metsänuudistamisala on ollut viimeisen viiden vuoden aikana keskimäärin 20 ha/v, 1,4 % metsämaan alasta.

Hälvänjoen valuma-alue 04.188

Valuma-alue on toiseksi suurin Puruveden 3. jakovaiheen alueista, kokonaisala on noin 3200 ha. Alueella on yli 20 vaihtelevan kokoista järveä ja pikkulampea yhteispinta-alaltaan yli 200 ha. Ne sijoittuvat eri puolille valuma-alueetta, ja niillä on merkitystä alueelta tulevan kuormituksen tasaajana.

Turvemaita on neljäsosa metsämaasta (2686 ha) ja ojituspinta-ala on yli 500 ha. Alueet on kertaalleen kunnostusojitettu 20 vuotta sitten, ja metsäojituksia on merkittävämmiin odotettavissa 10 – 20 vuoden kuluttua. Ojitusalueet painottuvat Hälvänsuon alueelle, jossa on yli 200 hehtaarin yhtenäinen alue. Vuotuinen uudistushakkuupinta-ala koko valuma-alueella on viimeisen viiden vuoden aikana ollut 54 ha/v, eli 2 % metsämaan alasta.

Siimesjoen valuma-alue 04.189



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

Valuma-alue on kooltaan pieni, 960 ha, josta metsämaata 803 ha. Alueella ei ole järvi-altaita, vaan pienvaluma-alueet purkavat vetensä pääuoman, Siimesjoen kautta Puruveteen. Peltojen osuus on suuri noin, 13 % maapinta-alasta ja ne rajoittuvat alueen halki kulkevaan pääuomaan. Turvemaiden osuus on vähäinen, vain n. 7 % koko valuma-alueen maa-alasta. Metsäojituksia on täten hyvin vähän.

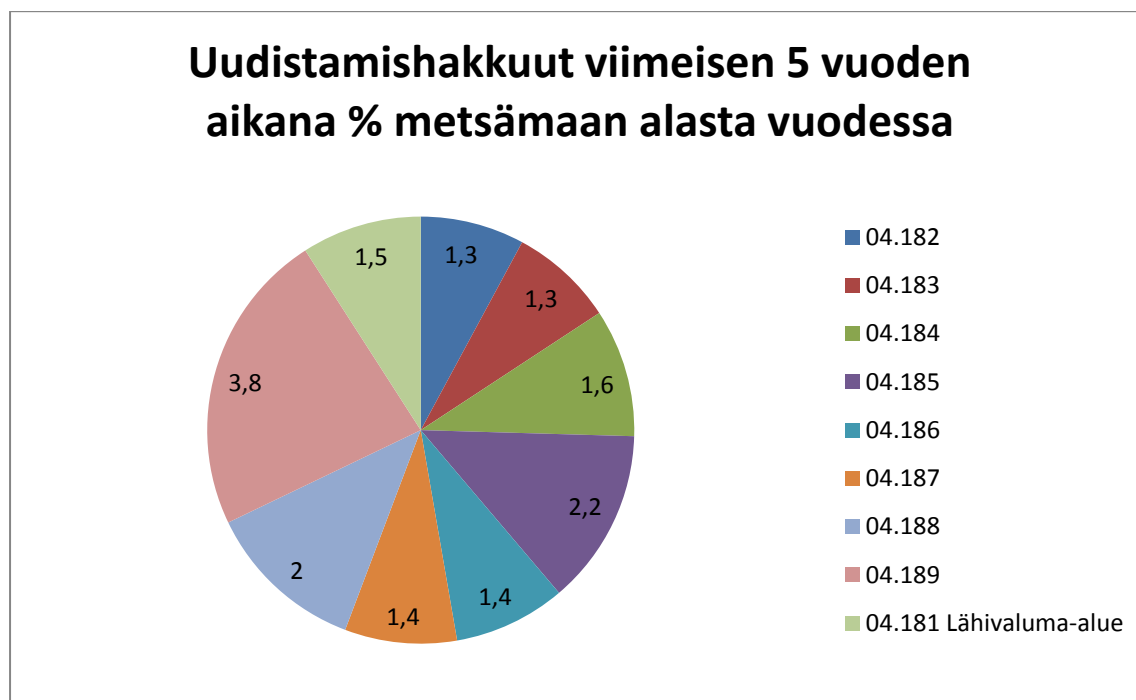
Uudistushakkuita on viimeisen viiden vuoden aikana tehty keskimäärin 31 ha/v, n. 3,8 % metsämaan alasta.

Lähivaluma-alue 04.181

Koko lähivaluma-alueen maapinta-ala on 38 600 ha. Turvemaita on 5100 ha eli 15 % metsämaasta (33 989 ha) ja ojitusalueita reilut 4000 ha. Uudistushakkuita on viimeisen viiden vuoden aikana tehty keskimäärin 515 ha/v, mikä on 1,5 % metsämaan pinta-alasta. Turvemaiden laskennallinen ojituspinta-ala on 117 ha koko lähivaluma-alueella.

Puruveden lähivaluma-alueeseen kuuluvista, Ristilahteen laskevista pienvaluma-alueista on tehty tarkempi kuormitustarkastelu KUHA-taulukolla.

Yhteenveto valuma-alueista

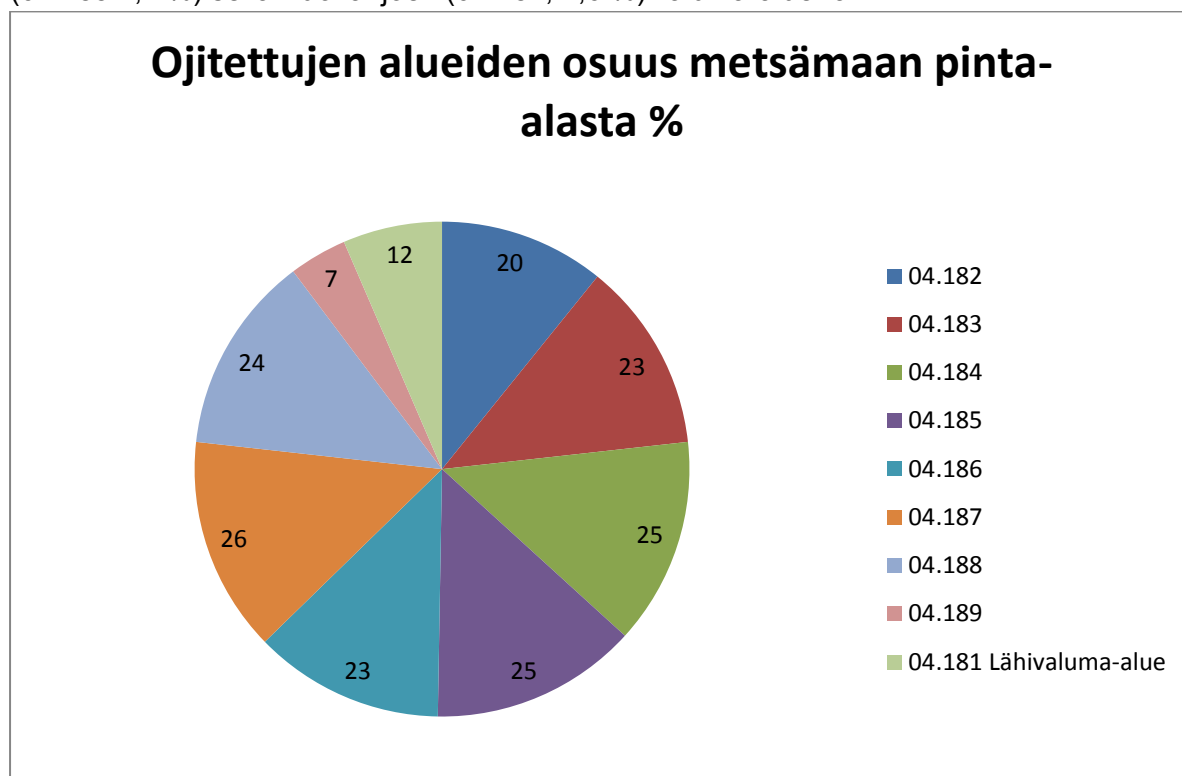


Kuva 6. Viimeisen 5 vuoden aikana tehdyt uudistamishakkuut (% metsämaa-alasta) osa-valuma-alueittain.



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

Uudistamishakkuiden intensiteetti eri valuma-alueiden välillä vaihtelee kohtuullisesti (kuva 6). Kun koko Puruveden valuma-alueella uudistamishakkuiden pinta-ala on viimeisen viiden vuoden aikana ollut keskimäärin 1,7 % metsämaan pinta-alasta vuodessa, vaihtelee se Puruveden valuma-alueen eri osissa 1,3 – 3,8 %:n välillä. Suurin uudistamishakkuiden intensiteetti on pienen Siimesjoen (04.189, 3,8 %) ja suurehkojen Hepojoen-Rauvanjärven (04.185 2,2 %) sekä Kuonanjoen (04.184, 1,6 %) valuma-alueilla.

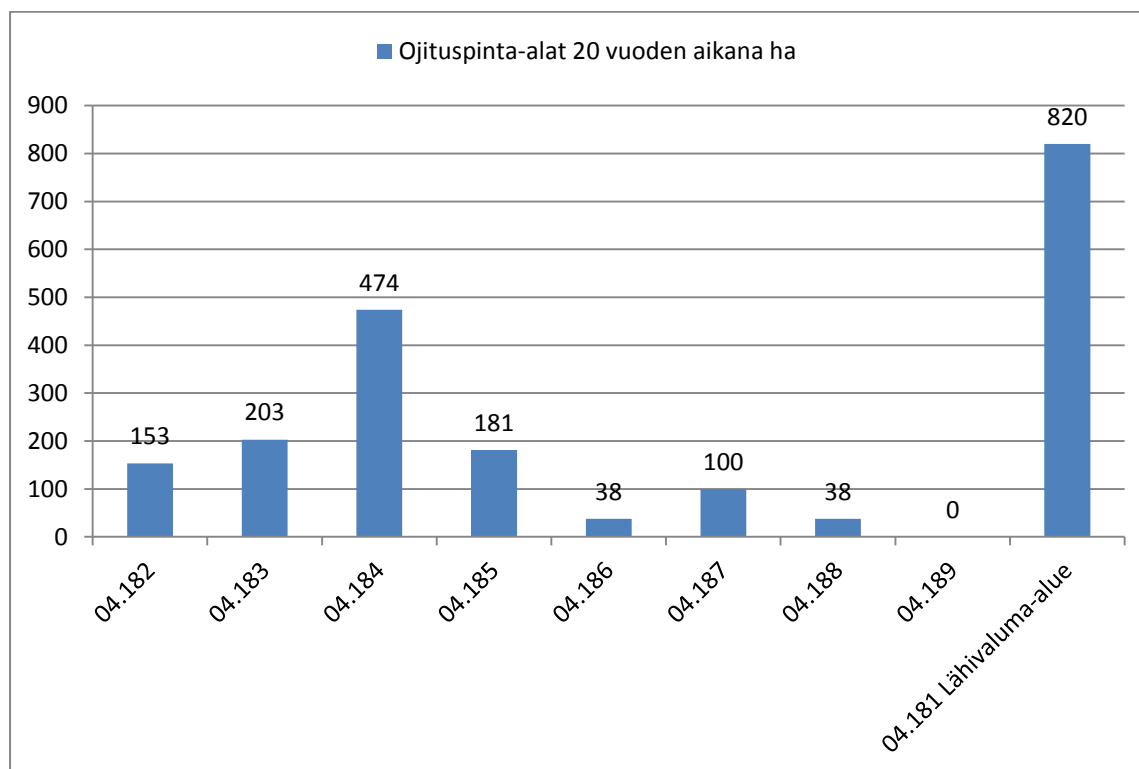


Kuva 7. Ojitettujen alueiden osuus koko metsämaa-alasta osavaluma-alueittain.

Ojitettujen alueiden osuus metsämaan pinta-alasta mukailee turvemaiden pinta-aloja, koska suurin osa turvemaista on ojitettuja. Pienimmät suhteelliset ojituspinta-alat ovat pienellä Siimesjoen (04.189) valuma-alueella sekä suurella lähivaluma-alueella (04.181). Muilla valuma-alueilla ojituspinta-alat vaihtelevat 20–26 %:lla metsämaan alasta (kuva 7).



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.



Kuva 8. Kunnostusojitusalueiden pinta-alat vuosina 1997-2016 osavaluma-alueittain.

Kuvassa 8 on esitetty kunnostusojitusalueiden pinta-alat vuosien 1997-2016 aikana eri osavaluma-alueilla. Koko Puruvesen valuma-alueella on yhteensä ojitettu n. 2000 hehtaaria 20 vuoden aikana, mikä on vajaa kolmannes kaikista ojitusalueista. Jos kaikki ojitusalueet kunnostusojitetaan, lisääntyy ojitusmäärä seuraavan 10-20 vuoden aikana reilusti.

RUSLE2015- eroosiomalli

Mallikuvaus

Empiiriset eroosiomallit perustuvat yleensä suuren tietomäärän tilastolliseen analysointiin. Kansainvälisesti tunnetuimmat mallit, kuten USLE (Wischmeier ja Smith, 1978) ja RUSLE (Renard ym. 1997) on luotu USA:ssa ja niiden pohjana on yli 10 000 koeruutuvuotta. [RUSLE2015](#) on Euroopan komission yhteistutkimuskeskuksessa (JRC) luotu paikkatietopohjainen malli Euroopan olosuhteisiin käyttäen Euroopassa kerättyä mittausaineistoa (Panagos ym. 2015d). Mallin mukaan eroosio Suomen maatalousmailla v. 2010 toimenpiteet huomioiden oli 460 kg/ha/v ja metsämailla noin 6 kg/ha/v. Mallia on testattu metsämailla Italiassa arvioimaan avohakkuiden vaikutuksia eroosioon (Borrelli ym. 2016). Suomessa RUSLE2015-mallia on evaluoitu ja sovitettu boreaalisiin olosuhteisiin maatalousmailla (Lilja ym. 2017).



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

USLE-tyyppisissä malleissa eroosio lasketaan viiden tekijän tulona R (sadetekijä), K (maaperätekijä), LS (pinnanmuototekijä), C (kasvipeitteisyys ja viljelytekniikat) ja P (ihmisen toimet eroosion estämiseksi).

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

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

R , sadetekijä ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ t}^{-1} \text{ v}^{-1}$) saadaan summaamalla yksittäisen sadetapahtuman sadepisaroiden liike-energian arvot pitkälle aikavälille. Eroosiota synnyttävän sateen vähimmäisintensiteetin tulisi olla Hudsonin (1971) mukaan 25 mm h^{-1} , mitä esim. Helsingissä on aiemmin esiintynyt vain viiden vuoden toistumisajalla (Kuusisto 1980). Ulénin ym. (2012) mukaan Pohjoismaisissa olosuhteissa sateiden pienen intensiteetin vuoksi eroosio jääkin melko vähäiseksi. Tutkimuksessa käytettiin JRC:n laskemaa [500 m:n hila-aineistoa](#) Panagos ym. (2015a). Aineiston perusteella sadetekijä on Suomessa keskimäärin $273 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ t}^{-1} \text{ v}^{-1}$ vuosisadannan ollessa 660 mm .

K , maaperätekijä ($\text{t ha MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) kuvaa maan omaa taipumusta eroosioon. Suure on paikallinen ja riippuu maan eloperäisen aineksen määrästä, pintarakenteesta, vedenjohtokyvystä ja profiilin rakenteesta. Arvot vaihtelevat välillä $0.09 - 0.001 \text{ t ha MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ heikoimmalle ja kestävimälle maalle (Renard ym. 1997). Mallissa K :n ei oleteta riippuvan viljelytekniikasta eikä vuodenaikaisvaihtelua kastumis-kuivumis- tai jäätymys-sulamisilmiöineen oteta huomioon. Tässä tutkimuksessa aineistona käytettiin Suomen maannostietokantaa (Lilja ym. 2007). K -arvot määritettiin maannostietokannan kautta soveltaen Icecream mallin USLE K -arvoja (Rekolainen ym. 1993) savimaita lukuun ottamatta. Savimailla (Stagnosols) käytettiin referenssinä puolalaista kenttäkoetta (Święchowicz ym. 2012).

LS -yhdistää rinteiden pituuden ja jyrkkyyden yhdeksi pinnanmuototekijäksi. Rinteiden pituus alkaa pisteestä, missä vesi alkaa virrata rinnettä alaspäin ja loppuu kertymispisteeseen. Veden hankinta-alueen määrittäminen korkeusmallista (DEM) on olennainen monille hydrologisille malleille. Tässä tutkimuksessa käytettiin 2 m:n korkeusmallia ja monisuuntaista virtailualgoritmia FD8, (Quinn ym. 1991). Algoritmin valinta näkyy eroosiokarttojen ulkoasussa, käytetty FD8 algoritmi korostaa enemmän norojen välistä aluetta kuin itse noroja. Virtailualgoritmin lisäksi LS -tekijän laskemisessa voidaan huomioida rinteiden kolmiulotteisuus (koveruus tai kuperuus), joka tässä huomioitiin (Mitasova ym. 1996). Muokkaussuunnan vaikutus virtailuun voidaan laskea anisotrooppisen virtailualgoritmin avulla (Hyväluoma ym. 2013). LS on Suomessa *toiseksi merkittävin* tekijä malleissa. LS -tekijän laskemisessa hyödynnettiin suurteholaskentaa.

C Maanpeitetekijä on suhde paljaan maan ja peitteisen maan eroosion välillä ja mallin *merkittävin* tekijä. RUSLE2015:ssä laskenta tehdään maatalousmaalla kaavalla $C_{\text{VILJELYMAA}} =$



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

$C_{KASVILAJI} \times C_{TOIMENPITEET}$, missä $C_{KASVILAJI}$ on kasville ominainen suure. $C_{TOIMENPITEET}$ koostuu kolmesta alatekijästä $C_{MUOKKAUS}$, (muokkaustekniikat, kuten kyntö, suorakylvö ja kultivointi), $C_{KORJUUTAHTTEET}$ (sadonkorjuun kasvijäänteet) ja $C_{SUOJAKASVIT}$ (erityinen eroosiolta suojaava kasvusto, ei talviaikainen kasvipeite tai pysyvä nurmi). Esimerkiksi kevätvehnän $C_{KASVILAJI} = 0.20$ ja kynnölle $C_{MUOKKAUS} = 1$. Näin $C_{VILJELYMAA}$ tekijäksi saadaan 0.20. Maatalousmaan keskimääräinen C-tekijä kasvijäänteet ja suojakasvit huomioituna EU:ssa oli 0.233 ja ilman 0.287, jolloin eroosiota vähentävän peitteisyyden vaikutus EU:n alueella olisi n. 19%. Metsämaiden C-tekijä oli EU:ssa keskimäärin 0.0012 ja Suomen metsämailla 0.0009.

P-tekijällä tarkoitetaan ihmisen tekemiä toimenpiteitä eroosion estämiseksi, erityisesti sellaisia, joilla pyritään hidastamaan tai muuttamaan virtauksen suuntaa. Näitä ovat esim. korkeuskäyrien suuntainen muokkaus, suojavyöhykkeet ja kaistat sekä salaojitus. Jos mitään toimenpiteitä ei ole tehty tai tietoa niistä ei ole, käytetään oletusarvoa 1. Panagos ym. (2015c) mallinsivat P-tekijän vaikutuksia Euroopan tasolla. Heidän tutkimuksessaan keskimääräinen P-tekijä Suomessa maatalousmailla oli 0.9702. Näin suojelutoimenpiteiden vaikutus koko maan tasolla olisi varsin vähäinen, vajaa 3 %. Matalimpia P-arvoja puolestaan saivat metsälaitumet (0.5).

Puruveden sovellus

Puruvedellä RUSLE2015-mallia testattiin Suomen metsäkeskuksen metsätietojärjestelmään tallennettutuilla metsikkökuvioilla, joille oli tallennettu simulointiin perustuva uudistamishakkuuesitys (3629 kpl) vuosille 2016-2026. Avohakkuun vaikutusta C-tekijään lähdettiin arvioimaan "reverse engineering" menetelmällä etsimällä koko maasta Metsähallituksen yli 1 ha:n toteutuneille avohakkuille (371 kpl) C-tekijä JRC:n laatimasta hilasta (100m x 100m). Tämän arvion perusteella avohakkuu nostaisi C-tekijää metsässä Suomessa 0,0009 => 0,010446 eli n. 12-kertaiseksi. Taulukossa 3 on esitetty Puruveden mallisovelluksessa C-tekijälle käytettyjä arvoja eri maalajeille.

Taulukko 3. C-arvoja metsähallituksen avohakkuille JRC:n hilasta laskettuna.

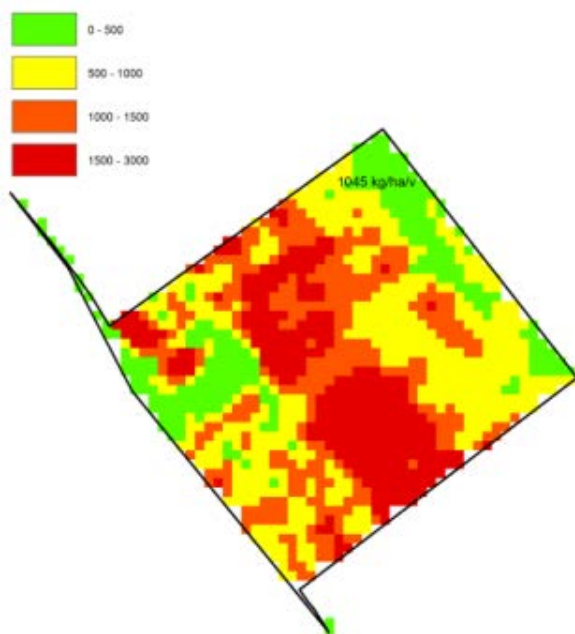
toimenpide	C maksimi	C_ ka/kpl	turvemaa	karkea moreeni	hienoaines-moreeni
31, Laikutus	0,0197	0,01185 /17 kpl	-	0,013692/12 kpl	
32, Äestys	0,0500	0,01174 / 92 kpl	-	0,012079/52 kpl	0,014 / 7 kpl
34, Mätästys	0,0194	0,00980 / 173 kpl	0,0064 / 31 kpl	0,010339/85 kpl	0,011115/27kpl
35, Kulotus	0,0189	0,01122 / 10 kpl	-	0,012/4 kpl	
37, Laikutusmätästys	0,0216	0,00762 / 79 kpl	0,0008 / 2 kpl	0,008863/41 kpl	0,007083/6 kpl
Keskiarvo, C	0,0259	0,0105	0,0008	0,0089	0,0071



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

Tulokset

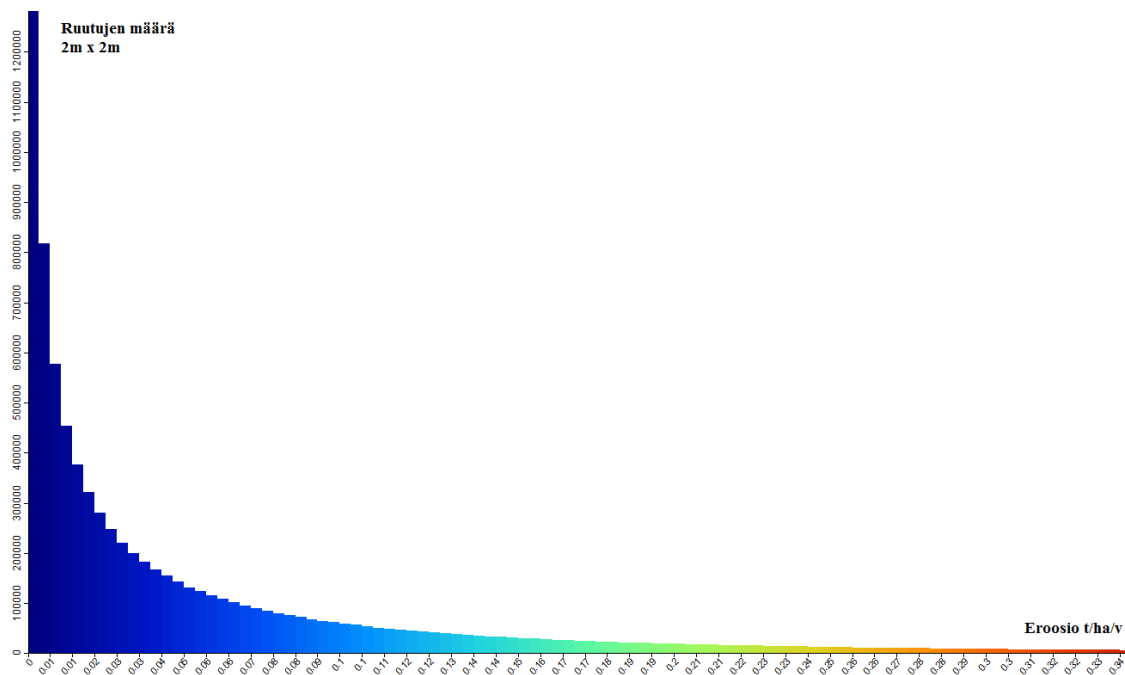
Puruveden valuma-alueelle suunnitelluille avohakkuukuvioille (3629 kpl) laskettu eroosio avohakkuun jälkeen oli keskimäärin 76 kg/ha/v. Yli 1000 kg/ha/v (kriittinen raja maatalousmailla) toteutui yhdellä kuviolla (kuva 9) ja yli 500 kg/ha/v 20:llä kuviolla. Tulokset olivat voimakkaasti oikealle jakautuneet (kuva 10).



Kuva 9. Puruveden alueella oleva kuvio, jossa eroosio on yli 1000 kg/ha/v.



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.



Kuva 10. Tulosten tilastollinen jakauma on voimakkaasti oikealle jakautunut ns. Pareto jakauma.

Johtopäätökset

Eurooppalainen RUSLE2015 eroosio malli käyttää RUSLE:n periaatteita, mutta sen kehitys on perustunut vahvasti kaukokartoitusaineistoon kenttämittausten sijaan. Alkuperäinen USLE ja sen seuraaja RUSLE taas kehitettiin laajojen kenttäkokeiden perusteella. Suomalaiset koekentät ovat huonosti verrattavissa USA:han, koska ne ovat hyvin vaihtelevia ja mitatut aikasarjatkin ovat lyhyehköjä.

RUSLE2015-malli yhdistettynä parhaaseen saatavilla olevaan kansalliseen tietoon voi tuottaa realistisia arvioita eroosiosta haastavissa boreaalisissa olosuhteissa koeruuutasolta kuntatasolle maatalousmailla sekä mahdollisesti myös metsätalousmailla. JRC:n aineiston perusteella Suomessa eroosio koko metsätalouden pinta-alalla on keskimäärin n. 6 kg/ha/v, joka on suuruusluokaltaan lähellä pieniltä metsäisiltä luonnontilaisilta valuma-alueilta mitattua keskimääräistä kiintoainekuormitusta, joka on 5.1 kg/ha/v, vaihteluvälin ollessa 0,92-47,5 kg/ha/v (Finér ym. 2010) ja metsämaidenkin tulokset näyttävät järkevilä. Suurteholaskentatekniikan avulla mallin tulosten päivittäminen käy nopeasti.

Tuloksissa jakaumat ovat selvästi oikealle vinoja. Tämä johtuu ennen kaikkea pinnanmuotokijästä LS. Pistemäisenä ilmiönä (sadevisaran isku) eroosio noudattaa normaalijakaumaa. Eroosioaineksen lähtiessä kulkeutumaan alas rinnettä (erosion spatiaalinen mallintaminen) jakauma vinoutuu positiivisesti kaikilla skaaloilla (koekentän ruudusta valtakunnan tasolle). Saman ilmiön havaitsivat Euroopan tasolla (Bosco ym. 2015). Tällainen jakauma merkitsee sitä, että jakauman ”hännän” leikkaaminen (keskittymällä



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

erosioherkimpiin lohkoihin/kuvioihin ja jopa niiden osiin) kohdennetuilla toimenpiteillä olisi vesiensuojelun kannalta erityisen hyödyllistä.

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

Laserkeilauspohjaiset korkeusmallit voivat esittää ihmisen tekemiä maanmuotoja (esim. oja), joiden kaltevuudet ovat 1:3 - 1:2 (36% - 100%) ja siten ylittävät mallin LS-tekijälle määritellyn maksimin. Kaikki korkeusmallista laskettavat johdannaiset ja ovat sen erotuskyvystä riippuvaisia ja ongelma korostuu toisen asteen johdannaisessa (LS).

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

P-tekijä on kaikkein epävarmin RUSLE tyyppisissä malleissa ja tietämys esim. suojakaistojen ja vyöhykkeiden vaikutuksesta eroosioon on rajallinen.

Mallin yksinkertaisuus mahdollistaa helpon ja tehokkaan eroosiokarttojen tuotannon ja käytön. Tulokset voidaan esittää havainnollisessa muodossa ja yhdistää toimenpidekuviolle, jolloin niitä voidaan hyödyntää myös tulevien uudistamishakkuiden ja maanmuokkauksen suunnittelussa.

RUSLE2015-mallinnusta tulee kehittää siten, että eroosiota voidaan laskea maanmuokkausmenetelmittäin. Tämä edellyttää kuitenkin C-tekijän tarkempaa määrittelyä. Erityisen tärkeätä olisi tarkastella turvemaiden uudistamisaloja erikseen, sillä RUSLE2015 malli ei sisällä uomaerosion kuvausta, joka voi olla turvemaiden ojitusmätästysalueilla merkittävä kiintoainekuormituksen suuruutta selittävä tekijä.

Tällä hetkellä C-tekijän arvo kuvaa vuotuista kuormaa ensimmäisenä vuonna maanmuokkauksesta, ennen kuin eroosiolta suojaavaa pinta-kasvillisuutta on ehtinyt kehittymään uudistamisalalla siinä mitassa, että sillä on vaikutusta eroosion vähentymiseen. Eroosion vähentyminen tulevina vuosina voitaisiin huomioida määrittämällä vuotuinen C-



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

tekijän muutos vastaamaan pintakasvillisuuden ennakoitua peittävyyttä kyseisenä vuotena. Pintakasvillisuuden muutoksen vaikutusta C-tekijän arvoon voitaisiin tutkia em. ”reverse engineering” menetelmällä satelliittikuvia sekä tarkan uudistamisajankohdan sisältävää uudistamisalatieta yhdessä tarkastelemalla.

Viitteet

Borrelli, P., Panagos, P., Märker, M., Modugno, S., Schütt, B. 2017. Assessment of the impacts of clear-cutting on soil loss by water erosion in Italian forests: First comprehensive monitoring and modelling approach, CATENA, Volume 149, Part 3, 770-781, ISSN 0341-8162, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.02.017>.

Finér, L., Mattsson, T., Joensuu, S., Koivusalo, H., Laurén, A., Makkonen, T., Nieminen, M., Tattari, S., Ahti, E., Kortelainen, P., Koskiaho, J., Leinonen, A., Nevalainen, R., Piirainen, S., Saarelainen, J., Sarkkola, S., Vuollekoski, M. 2010. Metsäisten valuma-alueiden vesistökuormituksen laskenta. Suomen ympäristö 10, 33s.

Hudson, N.W. 1971. Crop management for cover. Soil Conservation. Ithaca, New York: Cornell University Press.

Hyväluoma, J., Lilja, H., Turtola, E. 2013. An anisotropic flow-routing algorithm for digital elevation models, Computers & Geosciences, Volume 60:81-87, ISSN 0098-3004, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2013.07.012>.

Lilja, H., Nevalainen, R. 2007. Developing a digital soil map for Finland in Developments in Soil Science Elsevier 31:67-74

Lilja, H., Hyväluoma, J., Puustinen, M., Uusi-Kämpä, J., Turtola, E. 2017. Evaluation of RUSLE2015 erosion model for boreal conditions. Geoderma Regional, Vol. 10:77-84. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.05.003>.

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.

Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rousseva, S., Tadic, M.P., Michaelides, S., Hrabalíková, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M., Rymaszewicz, A., Dumitrescu, A., Beguería, S., Alewell, C. 2015. Rainfall erosivity in Europe. Sci Total Environ. 511, pp. 801-814. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.01.008

Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., van der Zanden, E.H., Poesen, J., Alewell, C. 2015. Modelling the effect of support practices (P-factor) on the reduction of soil erosion by water at European Scale. Environ.Sci.Pol., 51: 23-34. doi:10.1016/j.envsci.2015.03.012

Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., Alewell, C. 2015. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. Environ. Sci. Pol., 54, pp. 438–447, doi:10.1016/j.envsci.2015.08.012

Quinn, P.F., K.J. Beven, P. Chevallier, Planchon, O. 1991. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modeling using digital terrain models. Hydrological Processes 5(1):59-79.



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

Ulén, B., Bechmann, M., Øygarden, L., Kyllmar, K. 2012. Soil erosion in Nordic countries – future challenges and research needs. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science* DOI: 10.1080/09064710.2012.712862

Renard, K.G., Foster G.R., Weesses G.A., McCool D.K., Yoder D.C. (eds.) 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.

Świąchowicz J. 2012. Water erosion on agricultural foothill slopes (Carpathian Foothills, Poland), *Zeitschrift für Geomorphologie* 56 (Suppl.) 3: 21-35. doi: 10.1127/0372-8854/2012/S-00102

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.

KUHA-taulukosto ja sen käyttö Puruvedellä

KUHA-työkalulla voidaan arvioida metsätalouden kuormituksen suuruutta menneisyydestä nykyhetkeen ja edelleen tulevaisuuteen valuma-aluemittakaavassa sekä yksittäisen toimenpiteen osalta että suhteessa muiden työlajien kuormittavuuteen samalla valuma-alueella. Laskennan tarkoitus on tukea vesienhoitosuunnitelmien toimenpideohjelmien toteutusta tarkentamalla paikallisesti metsätalouden kuormitusarvioita, sekä tukemalla kustannustehokkaiden ja vaikutuksiltaan riittävien toteutuskeinojen soveltamista metsätalouden vesiensuojeluun. Vesiensuojelun kustannustehokkuutta ja vaikuttavuutta voidaan parantaa, kun voimavarat osataan kohdistaa palvelemaan kuormituksen kannalta merkittävimpien työkohteiden vesiensuojelua.

Vesienhoidon toteutukseen kuuluu suunnittelu, joka kohdistuu yhteen vesimuodostumaan kerrallaan. Valuma-alue on kuitenkin usein määritelty toimenpideohjelmissa 3. jakovaiheen tarkkuudella. KUHA-taulukkolaskentatyökalu on tarkoitettu tukemaan vesiensuojelun suunnittelua ja myös kuormittavan toiminnan mitoittamista juuri 3. jakovaiheen tasolla. Tarkastelu voi kyllä kohdistua vain yhteen työmaahankin, tai jopa yksittäiseen toimenpidealaan. Kolmatta jakovaihetta laajempien kokonaisuuksien hallinta KUHA:n avulla käy myös hyvin päinsä, mutta silloin voi olla liian työlästä ja tarpeetontakin käyttää kaikkia kuormituksen määrää selittäviä muuttujia.

KUHA-laskennan avulla haetaan vaihtoehtoja kokeilemalla toiminnan ja vesiensuojelun yhdistelmä, joka tyydyttää sekä talouden että ympäristövaikutusten hallinnan näkökulmista.

Toimintaperiaate ja rakenne

Metsätalouden aiheuttamaa kuormitusta on laskettu perinteisesti metsätalouden toimenpideohjelmien ja toimenpiteille määriteltyjen ominaiskuormituslukujen avulla. Ominaiskuormituksella tarkoitetaan tässä työssä metsätaloustoimenpiteen aiheuttamaa hehtaarikohtaista ravinne- tai kiintoainekuormituksen lisäystä luonnonhuuhtoumaan. Ominaiskuormitusluvut on määritelty erikseen metsän uudistamiselle turve- ja



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

kivennäismailla, kunnostusojitukselle sekä lannoitukselle. KUHA-laskentatyökalussa käytetään ominaiskuormituslukuja (Finér ym. 2010) kokonaisfosforina tai kokonaistyppenä, sekä kunnostusojituksen osalta myös kiintoaineksena.

Finérin ym. (2010) laatimien ominaiskuormituslukujen ja toimenpidepinta-alojen käyttöön perustuvissa kuormitusarvioissa ei oteta huomioon kuormituksen pidättymistä virtausreitinvarelle matkalla vesistöön. Luku kuvaa keskimääräistä vuosikuormitusta toimenpidealueelta valuvien vesien purkukohdasta. Ominaiskuormitusluvut perustuvat oletukseen, että tavanomaiset vesiensuojelutoimenpiteet hoidetaan nykyohjeiden mukaisesti. KUHA tarjoaa mahdollisuuden ottaa huomioon lisätoimenpiteiden ja laiminlyöntienkin vaikutusta.

KUHA:lla laskettu kuormitusarvio perustuu suunnittelualueen toimenpidemääriin edellisen ja tulevan 5-10 vuoden jakson aikana. Arvio tulevasta työmäärästä voi rajoittua niihin hankkeisiin, jotka ovat tiedossa. Laskelmaa voidaan täydentää myöhemmin uusilla suunnitelmilla.

Toimenpidehehtaarit kerrotaan ominaiskuormitusluvulla. Myös toteutusvuosi on hyvin tärkeä, koska kuormitus vähenee ajan myötä. KUHA ottaa ajan huomioon automaattisesti. KUHA tarkentaa ominaiskuormitusta jäljittelemällä laskennallisesti fosforin, typen ja kiintoaineen huuhtoutumista toimenpidealueelta ja pidättymistä huuhtoutumisreitillä matkalla vesistöön. KUHA ottaa huomioon toimenpidealueen tärkeimpiä huuhtoutumiseen vaikuttavia tapauskohtaisia piirteitä sekä vesiensuojelutoimenpiteet. Kuormituksen syntymiseen vaikuttavia olosuhdetekijöitä ovat mm. maanpinnan muodot ja maalaji.

Mikäli toimenpidealueelta huuhtoutuvan kuormituksen reitti vesistöön on lyhyt ja se koostuu pääasiassa kaivetuista uomista, ei kuormituksen pidättymistä tapahdu todennäköisesti juurikaan verrattuna tilanteeseen, jossa kuormituksen kulkeutuminen tapahtuu pääasiassa pintavaluntana ja reitti on pitkä. Niillä KUHA-taulukoiden yhtälöillä, jotka kuvaavat kuormituksen pidättymistä virtausreitille, ei ole tieteellistä pohjaa. Tarkastelun voi halutessaan tehdä ilman virtausreitinvaiikutusta, tyytyen ominaiskuormituslukuihin. Myös vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutus on teknisesti mahdollista sivuuttaa, mutta lienee harvoin perusteltua.

KUHA:n laajamittaista käyttöä rajoittaa vielä toistaiseksi se, että tieto metsätalouden kuormitusta aiheuttavista toimenpiteistä ja kuormituksen suuruuteen vaikuttavista tekijöistä joudutaan usein keräämään taulukostoon työläällä tavalla, joka vie paljon aikaa. FRESHABIT –hankkeessa on tarkoituksenaan kehittää paikkatietopohjainen malli, joka on rakennettu KUHA-taulukon laskentalogiikkaa noudattaen, mutta johon toimenpidetiedot voidaan lukea suoraan paikkatietona Metsäkeskuksen metsätietojärjestelmästä tai operatiivisista suunnittelujärjestelmistä. Paikkatietopohjainen malli mahdollistaa myös tulosten esittämisen paikkatietona sekä yhdistämisen takaisin Metsäkeskuksen metsätietojärjestelmän tai operatiivisten suunnittelujärjestelmien toimenpidetietoihin.



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

Päätelmät laskentatuloksista

Finérin ym. (2010) mukaan koko Suomen metsätalouden aiheuttama vuotuinen typpekuormitus on 1,6 M kg, ja suhteessa metsätalousmaalta tulevaan taustakuormitukseen (luonnonhuuhtouma ja laskeuma) noin 4,1 %. Vastaavat luvut fosforikuormitukselle ovat 0,130 M kg a⁻¹ ja 10 % ja kiintoaineelle 71 M kg a⁻¹ ja 54 %. Näiden lukujen perusteella metsätalouden merkittävin vesistökuormitusta aiheuttava toimenpide on kiintoainekuormitusta aiheuttava kunnostusojitus.

Kaikkien talousmetsien keskimääräinen vuotuinen metsätalouden kuormitus on KUHA:n laskentaperusteiden mukaan 6,5 grammaa fosforia, 80 grammaa typpeä ja 3,55 kiloa kiintoainetta hehtaarilta. Näihin lukuihin päästään jakamalla kokonaiskuorma metsätalousmaalta 20 miljoonalla, mikä on kutakuinkin talousmetsien metsämaan kokonaisala. Kyseinen pinta-ala tarkoittaa metsänkasvatukseen soveltuvaa ja ko. tarkoitukseen varattua talousmetsää kasvavaa maata. Keskimääräisiin lukuihin vertaamalla voi päätellä, onko valuma-alueelta lähtevä kuorma tietyssä vuonna pieni vai suuri.

Vesienhoidon toimenpideohjelmat edellyttävät metsätaloudelta kuormituksen alentamista ja vesiensuojelun täydentäviä toimenpiteitä tietyillä valuma-alueilla. Täydentäviä toimenpiteitä, joihin valuma-alueella tehtävä suunnittelukin kuuluu, toteutetaan erityisesti siellä, missä vesistökuormitus on korkea suhteessa vastaanottavan vesistön kykyyn sietää kuormitusta. Sielläkään vesiensuojelun lisärakenteita ja toimenpidemäärien sopeuttamista ei kuitenkaan aina tarvittane, jos laskelmat viittaavat siihen, että kyseisellä valuma-alueella kuormittavuus metsämahehtaarilta alittaa muutaman vuoden tarkastelujaksolla metsätalouden keskimääräisen tason (Hiltunen ym. 2014). Tavanomaisilla valuma-alueilla toimivat vesiensuojelun perustoimenpiteet riittävät, jos jo niiden turvin tarkastelujaksolla metsätalouden kuorman laskennallinen arvio pysyy kohtuullisena suhteessa taustakuormaan, eivätkä havainnot maastossa viittaa korkeaan kuormitustasoon.

Suunnitelma- ja valuma-aluekohtaisia tuloksia vertailemalla voi päätellä, minne on kannattavinta panostaa vesiensuojelutoimenpiteiden kustannuksia.

Parhaiten KUHA-laskenta näyttää sopivan menneen toiminnan ja tulevaisuuden toimintavaihtoehtojen keskinäiseen vertailuun samalla valuma-alueella. Silloin vaihtoehtojen suhteelliset erot lienevät suurella todennäköisyydellä oikean suuntaisia.

Tulokset Puruvedellä

Ominaiskuormituslukuihin perustuva KUHA-tarkastelu tehtiin Ristilahden ja Kuonanjoen valuma-alueille. KUHA-tarkastelussa kerättyjä kuormitustietoja hyödynnettiin myös LLR-mallin testaamiseen Kuonanjoella sen selvittämiseksi, mikä vaikutus metsätalouden kuormituksella arvioidaan olevan Kuonanjärven tilaan ja mille tasolle kuormitusta tulisi vähentää, jotta edellytykset järven tilan myönteiselle kehitykselle olisivat olemassa.

Ristilahden valuma-alue (kts. kuva 1) on osa 3. jakovaiheen valuma-alueita 04.181, ja se valittiin tarkasteluun, koska samalla alueella on tarkoitus pilotoida myös NUTSPATHY ja



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

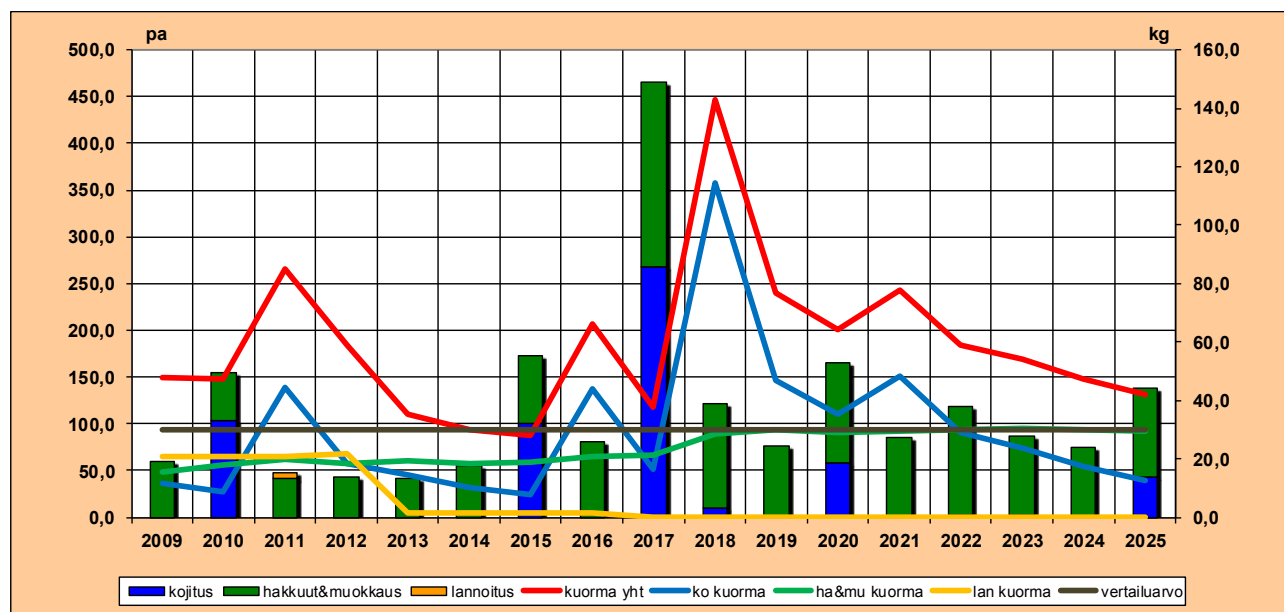
LLR-malleja. KUHA- tarkastelussa arvioitiin yleissuunnitelmassa esitettyjen vesiensuojelun täydentävien toimenpiteiden tehokkuutta kuormituksen vähentämisessä.

Kuha-laskelmissa käytetyt vuotuiset tarkastelualueittaiset metsänuudistamisen, lannoituksen sekä kunnostusojituksen toteutusmäärät on saatu Metsäkeskuksen metsävaratietojärjestelmään tallennetuista metsävarakuvio- ja metsäkäyttöilmoitustiedoista sekä lannoituksen ja kunnostusojituksen osalta yksityismailla toteutettujen kestävän metsätalouden rahoituslain mukaisten hankkeiden rahoitusasiakirjoista.

Kuonanjoen valuma-alue 04.184

Kuha-laskelman mukaan Kuonanjoen valuma-alueella metsätalouden aiheuttama kuormitus (kuva 11, punainen viiva) ylittää useana vuonna talousmetsien keskimääräisen fosforikuormitustason (kuva 11, tumma vaakaviiva). Menneisyyden kuormituksen määrään vaikuttaa erityisesti vuoden 2007 lannoitukset ja vuodelle 2010 ajoitetut kunnostusojitukset.

Lähitulevaisuudessa fosforikuormitus lisääntyy merkittävästi, mikäli kaikki valuma-alueen potentiaaliset kunnostusojitusalueet tulevat kunnostusojitusten piiriin (kuva 11). Tosiasiassa kunnostusojitusmäärät tulevat todennäköisesti jakaantumaan usealle vuodelle, eivätkä ne tule toteutumaan täysimääräisesti. Edellisestä huolimatta on kuitenkin hyvin todennäköistä, että metsätalouden kuorma lisääntyy tulevina vuosina, mikäli vesiensuojelua ei pystytä tehostamaan ennustetusta tasosta muulla keinoin. Tällöin myöskin Kuonanjärvelle asetetun tilatavoitteen saavuttaminen muuttuu jonkin verran entistä epätodennäköisemmäksi (kts. LLR-malli).



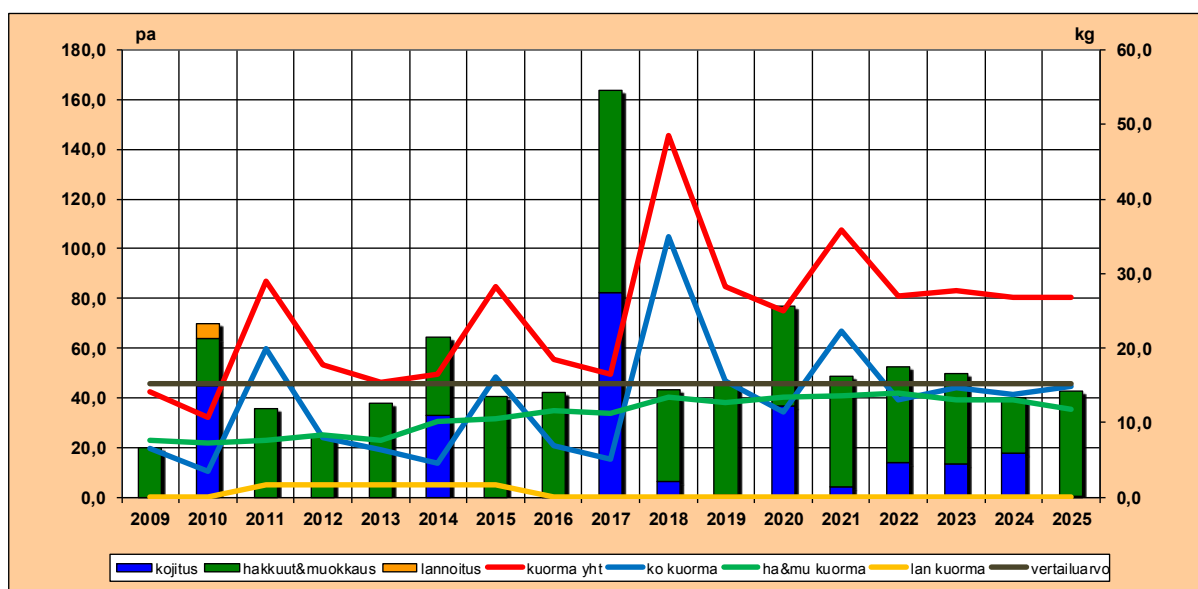
Kuva 11. Kuonanjoen selvitettyjen ja ennustettujen metsänkäsittelytoimenpiteiden aiheuttama fosforikuormituksen lisäys suhteessa keskimääräisen metsätalouden kuormaan



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

Ristilahden valuma-alue

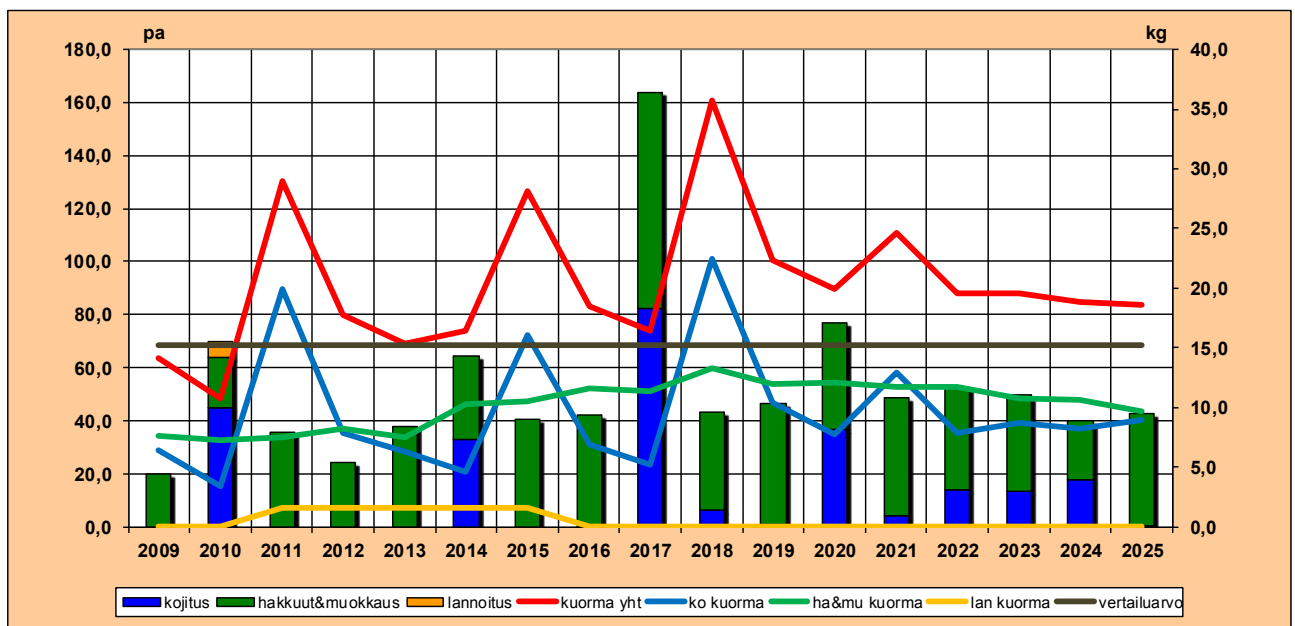
Kuha-laskelman perusteella selvitettyjen ja ennustettujen metsänkäsittelytoimenpiteiden lisäys on Ristilahden valuma-alueella joinakin vuosina ylittänyt tai ollut lähellä keskimääräistä metsätalouden kuormaa. Ilman täydentäviä vesiensuojelutoimenpiteitä fosforikuormituksen ennustetaan kasvavan ja säilyvän lähitulevaisuudessa pitkään korkeammalla tasolla suoritelmäärien kasvun myötä, vaikka kaikki ennustetut hakkuut ja kunnostusojitukset eivät toteutuisikaan ennustetussa laajuudessa tai ennusteen pohjana käytetyssä aikataulussa (kuva 12).



Kuva 12. Selvitettyjen ja ennustettujen metsänkäsittelytoimenpiteiden aiheuttama fosforikuormituksen lisäys suhteessa metsätalouden keskimääräiseen kuormaan



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.



Kuva 11. Arvio Puruvesen vesiensuojelun yleissuunnitelmassa Ristilahden valuma-alueelle esitettyjen täydentävien toimenpiteiden vaikuttavuudesta.

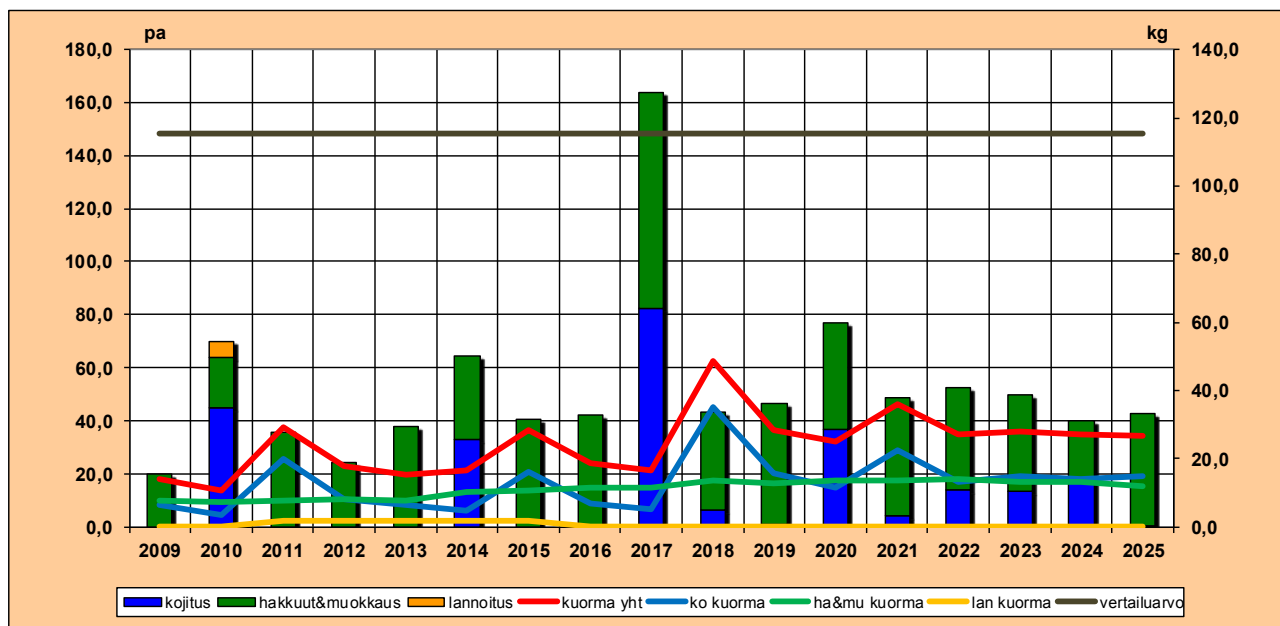
Puruveden vesiensuojelun yleissuunnitelman laadinnan yhteydessä kartoitettiin potentiaalisia vesiensuojelurakenteiden paikkoja myös koko Puruvesen alueelta. Laskelmaa varten yleissuunnitelmasta poimittiin Ristilahden valuma-alueelle sijoittuvat vesiensuojelurakenteet ja arvioitiin niiden vaikutus selvitettyjen ja ennustettujen metsänkäsittelytoimenpiteiden aiheuttamaan fosforikuormaan 2017 vuodesta lähtien.

Laskeutusaltaita, virtaamansäätöpatoja sekä pohjapatosarjoja yleissuunnitelmassa esitettiin 12 eri paikkaan. Kosteikkoja esitettiin 9 kappaletta, yhteensä 23 hehtaaria ja pintavalutuskenttiä 2 kappaletta, yhteensä 5 hehtaaria. Vesiensuojelurakenteiden tehokkuus oletettiin aiempien tutkimustulosten ja asiantuntija-arvioiden mukaiseksi.

Yleissuunnitelmassa esitetyillä täydentävillä toimenpiteillä saavutettava fosforikuormituksen vähennys olisi laskelman mukaan noin 30 %. Tämä auttaisi laskemaan tulevaisuudessa ennakoituista metsänkäsittelytoimenpiteistä aiheutuvaa fosforikuormaa lähemmäksi keskimääräistä metsätalouden kuormaa, mutta ei kuitenkaan sen alle (kuva 13). Tulosta tarkasteltaessa on huomioitava lisäksi, että laskelman pohjana käytetyt yleissuunnitelman vesiensuojelurakenteiden määrät edustavat ns. teoreettista maksimia, eivätkä todennäköisesti toteuttamiskelpoista todellisuutta, esimerkiksi maanomistusolosuhteista johtuen. Lisäksi vesistön tavoitteen mukaisen tilan saavuttamiseksi tarvittava kuormituksen vähentämistavoite voi olla laskelmassa kuormituksen viitetasona käytettyä suurempi.



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.



Kuva 14. Selvitettyjen ja ennustettujen metsänkäsittelytoimenpiteiden aiheuttama fosforikuormituksen lisäys Ristilahden valuma-alueella suhteessa metsätalouden taustakuormaan

Metsänkäsittelytoimenpiteiden aiheuttaman fosforikuormituksen vertaaminen metsätalouden taustakuormaan auttaa hahmottamaan mittakaavaa, johon metsätalouden toimiin liitettävillä vesiensuojelun tehostamistoimenpiteillä voidaan vaikuttaa. Laskelman perusteella fosforin taustakuorma metsätalouden taustakuormasta on lähes 120 kg vuodessa ja metsätalouden aiheuttaman fosforikuormituksen lisäyksen ennustetaan olevan keskimäärin n. 30 kg vuodessa, ilman vesiensuojelun täydentäviä toimenpiteitä (kuva 14).

Viitteet

Finér, L., Mattsson, T., Joensuu, S., Koivusalo, H., Laurén, A., Makkonen, T., Nieminen, M., Tattari, S., Ahti, E., Kortelainen, P., Koskiahho, J., Leinonen, A., Nevalainen, R., Piirainen, S., Saarelainen, J., Sarkkola S. & Vuollekoski, M. 2010. Metsäisten valuma-alueiden vesistökuormituksen laskenta. Suomen ympäristö 10/2010. 33 s.

Hiltunen, T., Jämsén, J., Joensuu, S., Heikkinen, K. & Vuollekoski, M. 2014. Opas metsätalouden vesiensuojelun suunnitteluun valuma-alueella. Kopijyvä, Jyväskylä 2014

VEMALA - valuma-aluehallinnus

Mallikuvaus

VEMALA (Huttunen ym. 2016) on koko Suomen kattava operatiivinen laskentajärjestelmä, joka kuvaa ravinteiden ja kiintoaineksen kuormitusta vesistöihin, kuormituksen kulkeutumista ja pidättymistä vesistöissä ja pitoisuuksia eri osissa vesistöä. Ravinteiden ja kiintoaineksen kuormitus vesistöön kuvataan erikseen seuraavista lähteistä:

- luonnonhuuhtouma



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

- peltoviljely
- metsätalous
- haja-asutus
- pistekuormitus
- laskeuma

Malli laskee kuormitusta 3. jakovaiheen vesistöalueittain sekä jakaa valuma-alueet kaikille yli 1 ha järville. Malli sovittaa kuormituksen järvien ja jokien vedenlaatuhaavaintoihin. Malli laskee järvien tulovirtaamat ja järviin tulevan kuormituksen, sekä järvien sedimentaation, sisäisen kuormituksen ja denitrifikaation.

Puruveden alueen sovelluksessa metsien luonnonhuuhtouma ja metsätalouden kuormitus tullaan jatkossa laskemaan NUTSPATHY mallin (kts. seuraava luku) avulla. Nykyisessä VEMALA versiossa (V1) metsätalouden kuormitus ja luonnonhuuhtouma perustuvat VEPS:in arvoihin (Tattari & Linjama, 2004). Nykyinen VEMALA laskentamalli on metsätalouden osalta liian karkea. Kuormituksen arvioinnin tarkkuus on selkeästi karkeammalla tasolla kuin esim. maatalouden osalta koska arviointiin on käytetty vanhempaa VEPS- ominaiskuormitusmallia mikä ei huomioi yksityiskohtaisemmin mm. paikallisia/alueellisia olosuhteita. Metsätalouden kuormitus koostuu pääosin metsäojitusten, uudishakkuiden ja maanmuokkauksen sekä lannoitusten aiheuttamasta ravinnekuormituksesta. VEPS:in ominaiskuormituslukuja on tarkennettu myöhemmin (Finér ym. 2010), mutta näitä tietoja ei ole päivitetty VEMALAAan. Lisäksi vuotuiset metsätalouden toimenpidetiedot on saatu metsäkeskuksittain LUKEn tilastoista ja toimenpiteiden määrien oletetaan jakautuvan tasaisesti koko metsäkeskuksen maapinta-alalle.

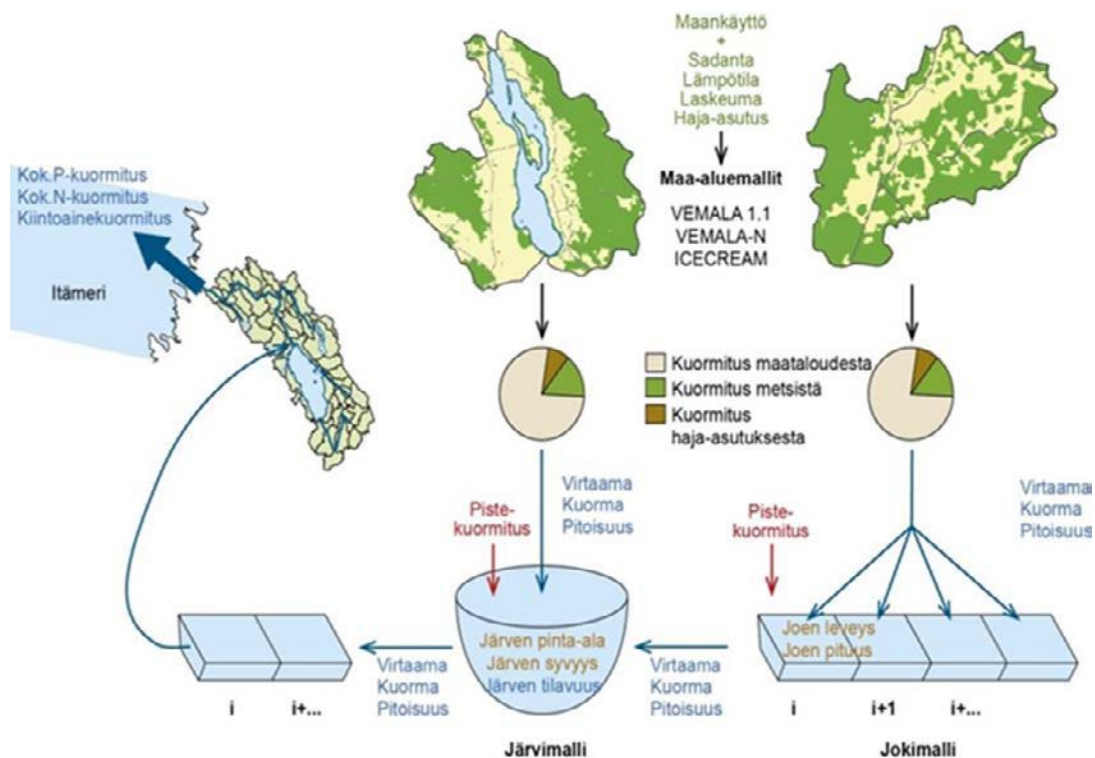
Peltojen kuormituksen laskentaan käytetään peltolohkokohtaista ICECREAM mallia, joka huomioi peltolohkojen ominaispiirteet (maalaji, kaltevuus, P-luku, multavuus), viljelykasvit, muokkausmenetelmät, lannoitusmäärät ja lannan käytön (Tattari ym. 2001).

Haja-asutuksen kuormitus perustuu huoneistorekisteristä arvioituihin viemäriverkon ulkopuolella olevien haja-asukkaiden ja loma-asuntojen lukumääriin ja näille arvioituihin ominaiskuormituksiin. Pistekuormittajien tiedot saadaan VAHTI järjestelmästä. Laskeumana käytetään mittauksiin perustuvia pitkän jakson keskimääräisiä alueellisia arvoja.

VEMALAn järvien ja uomien laskenta sisältää tärkeimmät ravinteiden ja kiintoaineksen kulkeutumiseen ja pidäytymiseen vaikuttavat prosessit (kuva 15). VEMALAn laskenta tapahtuu vuorokauden aika-askeleella. Tuloksista saadaan esille pitoisuuksien vaihtelu vesistöissä eri vuodenaikoina ja sääoloiltaan erilaisina vuosina. Prosessipohjaisen kuvauksen ansiosta VEMALAA voidaan käyttää myös muuttuvan ilmaston vaikutusten arviointiin.



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.



Kuva 15. VEMALA kuvaa eri lähteistä tulevan ravinteiden ja kiintoaineksen kuormituksen vesistöön ja kuormituksen kulkeutumisen ja pidättymisen vesistössä.

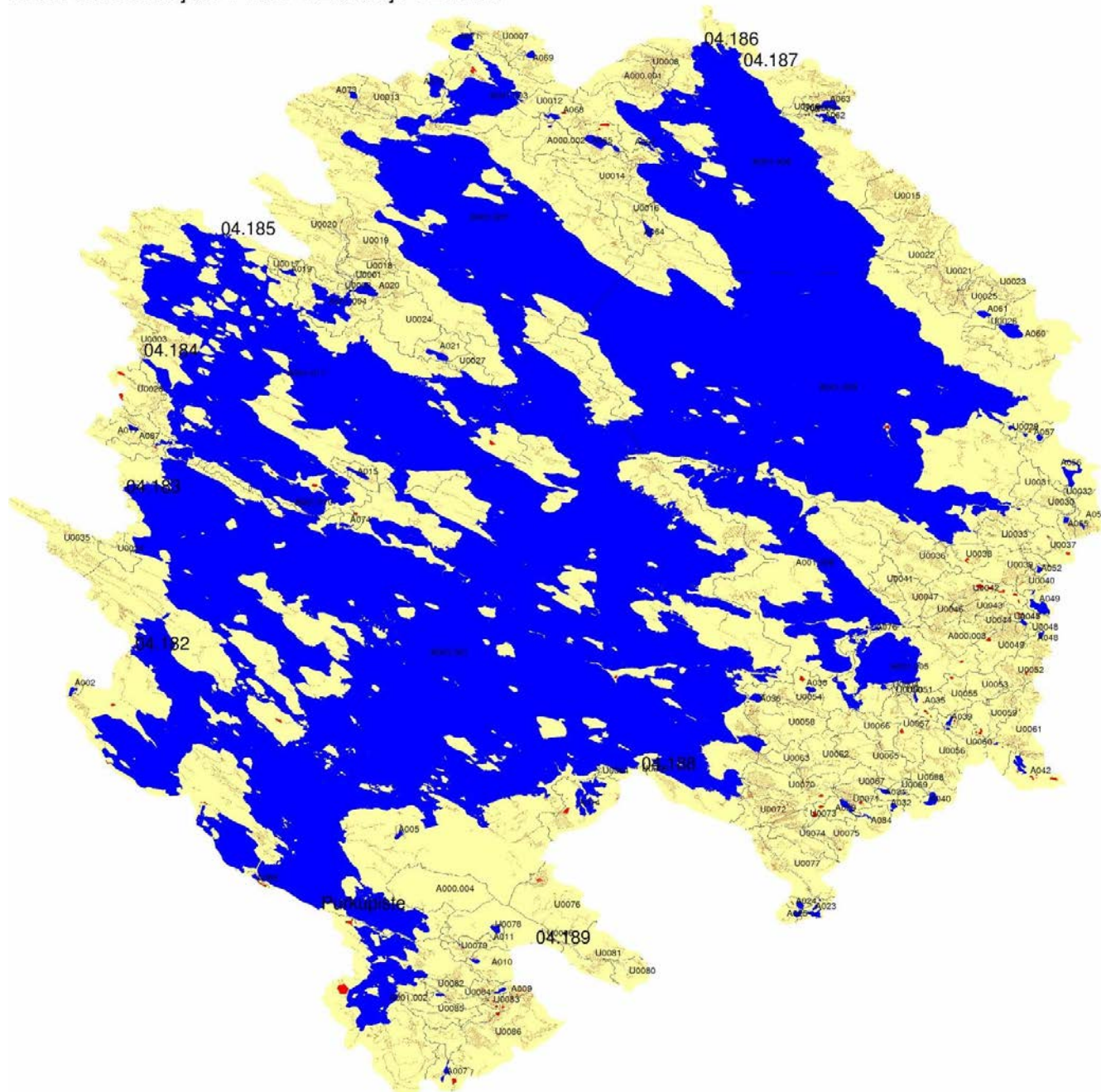
Puruveden uusi uomaverkosto

VEMALA-NutSpathy ravinnekuormitusmallissa (kuvaus jäljempänä) käyttöönotettava Puruveden alueen altaiden ja uomien kuvaus sisältää uuden uomaverkoston, joka perustuu jokiviiva-aineistoon. Tämä aineisto kattaa kaikki 2 m leveämmät uomat. VEMALA mallissa simuloidaan näille uomille virtaaman vaihtelu ja ravinteiden ja kiintoaineksen kulkeutuminen, sedimentaatio ja eroosio. VEMALA mallissa käytettävässä valuma-aluejaossa Puruveden valuma-alue on jaettu 256 osaluueeseen, joista 148 on uomien valuma-alueita ja 108 altaiden valuma-alueita. Esimerkki valuma-aluejaosta on kuvassa 16. Vertailun vuoksi mainittakoon, että nykyinen 3. jakovaiheen osavaluma-alue sisältää 9 osavaluma-aluetta.



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

SYKE-WSFS aluejako 04.181 A=altaat ja U=uomat



Kuva 16. Esimerkki VEMALA mallin käyttämästä valuma-aluejaosta. Kuvassa Puruveden lähialue.

Puruveden sovellus

Puruveden alueen sovelluksessa VEMALAN nykyistä alueellista laskentatarkkuutta tarkennetaan ottamalla käyttöön yksityiskohtaisempi uoma-järvi-verkko ja näihin uomiin ja järviin liittyvät valuma-alue tiedot. Valuma-alueille kootaan lähtötiedot kuormitukseen vaikuttavista tekijöistä. Haja-asutuksen osalta on koottu Taulukon 4 mukaiset tiedot, joissa



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

on huoneistorekisteriin perustuva arvio montako viemäriverkon ulkopuolella olevaa haja-asukasta ja lomakiinteistöä on kunkin valuma-aluejaon mukaisen uoman ja järven valuma-alueella. Pistekuormittajia Puruveden valuma-alueella on VAHTI järjestelmän mukaan vain kaksi, nämä sijoitetaan VEMALAssa pistekuormittajan purkupisteen perusteella tietyn järven tai uoman kuormaksi.

Peltojen kuormitus lasketaan lohko kohtaisesti ICECREAM mallilla. Kuorma syötetään VEMALA laskentaan jokaiselle uomalle ja järvelle joko peltopinta-alan perusteella tai suoraan lohko kohtaisesti. Käytettäessä lohko kohtaista tietoa saadaan otettua huomioon peltojen ominaispiirteet ja viljelymenetelmät kyseisen uoman tai järven valuma-alueella, mikä tarkoittaa kuormitusarviota. Tosin lähtötiedot peltojen laskentaan varsinkin lannoitusmäärien ja muokkausmenetelmien osalta perustuvat suurten alueiden keskimääräisiin tietoihin, mikä aiheuttaa epävarmuutta.

Kun VEMALAssa on kuvattu kuormituslähteet mahdollisimman tarkasti valuma-aluejaon mukaisesti, päästään uomien ja järvien kuormituksen laskennassa parempaan tarkkuuteen. Laskenta sovitetaan ja testataan eri puolilla valuma-aluetta olevien havaintopisteiden mittaustietojen perusteella. Tiedot (taulukko 5) tulevat VEMALAAan automaattisesti VESLA järjestelmän (Pintavesien tilan tietojärjestelmän vedenlaatuosio) kautta ja ne sijoitetaan VEMALAssa koordinaattien perusteella vastaavaan simuloituun uomaan tai järveen.

Taulukko 4. Haja-asutuksen lähtötiedoissa on arvio asukkaiden ja loma-asuntojen määristä jokaisen uoman ja järven valuma-alueella

Uomatunnus/järvitunnus	asukas, lkm	loma-asuntojen lkm
04.181A000.001	1	7
04.181A000.003	7	0
04.181A000.004	17	41
04.181A001.001	397	670
04.181A001.002	112	33
04.181A001.003	14	13
04.181A001.004	0	1
04.181A001.005	36	32
04.181A001.006	65	106
04.181A001.007	57	140
04.181A001.008	73	85
04.181A001.009	132	150
04.181A001.010	5	20
04.181A001.011	81	257
04.181A007	17	5
04.181A014	5	8
04.181A017	43	3
04.181A019	4	0
04.181A021	6	0
04.181A024	2	2



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

Taulukko 5. Puruveden vedenlaadun havaintopaikat, jotka sijoitetaan VEMALAssa koordinaattien perusteella automaattisesti mallinnettuihin uomiin ja järviin.

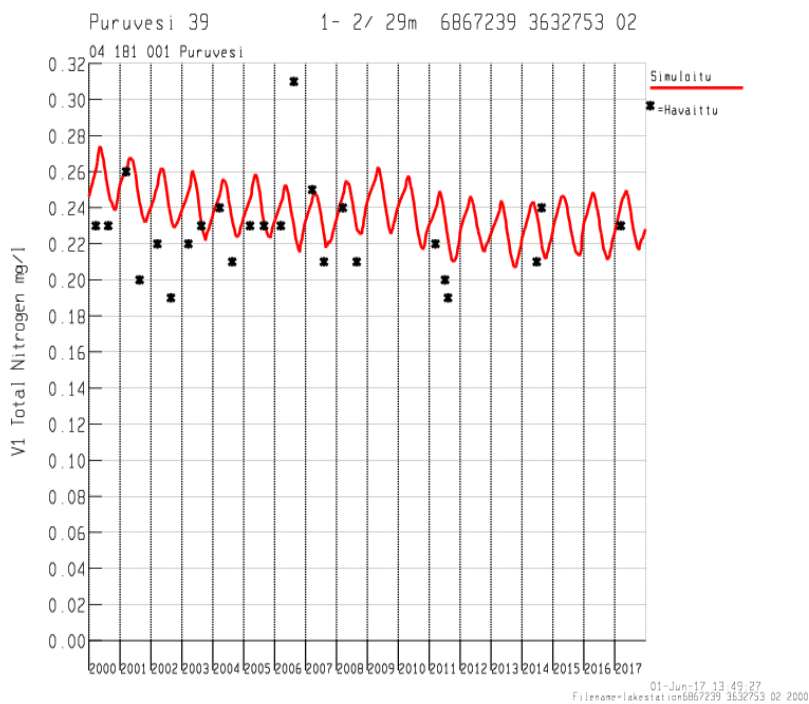
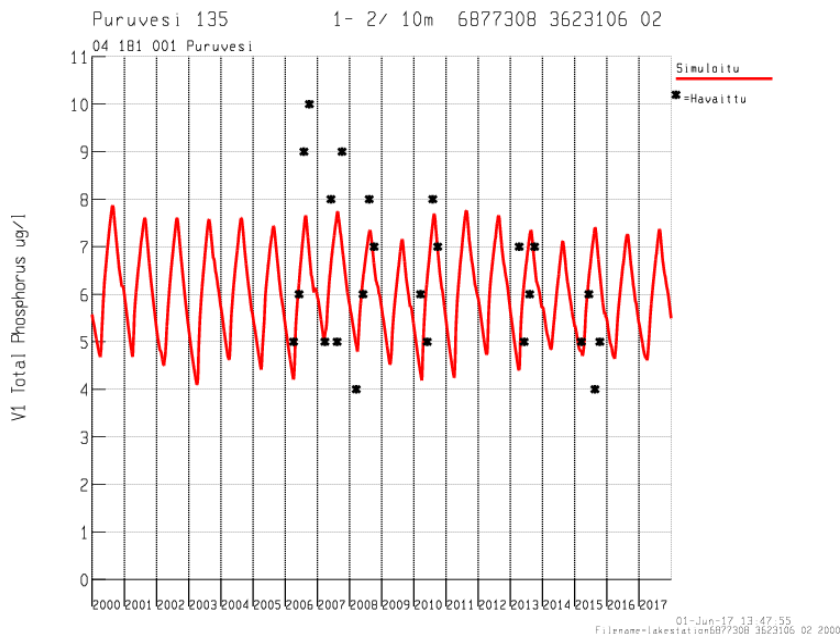
Havaintoasema (nimi VESLassa)	pohj-koordinaatti	itä-koordinaatti	uomatunnus/järvitunnus
Vehkaoja 141	6846401	628369	04.181U0085
Sorvaslahti 025	6847097	626490	04.181A001.002
Liittolamminjoki 142	6847402	628780	04.181U0082
Sorvaslahti 055	6847795	628150	04.181A001.002
Haukilammesta lask 099	6848363	630056	04.181U0079
Siimesjoki 123	6848536	632066	04.189U0004
Punk kp suotov allas 154	6848689	629931	04.181U0079
Sorvaslahti pohj osa 147	6848769	627809	04.181A001.002
Pieni Haukil een las 100	6848774	629836	04.181U0079
Suusalmi 024	6848927	628398	04.181A001.001
Kapa-Jaakonjoki 162	6849022	632576	04.181U0006
Mustaoja 101	6849296	629452	04.181U0078
Lamminniemenlampi 062	6849424	630918	04.181A011
Lautaoja 106	6849936	629776	04.181U0078
Vankka 19	6849948	640101	04.181A025
Salkolahti 015	6850743	627403	04.181A001.001

Tulokset

VEMALAn Puruveden alueen uusi sovellus ei ole tässä vaiheessa vielä käytettävissä. Seuraavassa esitetyt tulokset perustuvat siis VEMALAn koko Suomen kattavaan V1 versioon. VEMALAN laskentatulosten perusteella pystytään esittämään mm. järvikohtainen arvio kuormituksen jakautumisesta eri kuormituslähteisiin. Kuvassa 17 on esimerkki mallin simuloimasta fosfori- ja typpipitoisuudesta Puruvedessä. Kuvassa 18 on VEMALAN version V1 arvio eri kuormituslähteiden osuuksista Puruveden valuma-alueella. Kuormituslähteiden osuudet luonnollisesti vaihtelevat huomattavasti eri osissa valuma-aluetta. Varsinainen Puruveden alueen sovellus ei ole vielä käytössä ja siksi nämä tulokset ovat vasta alustavia.



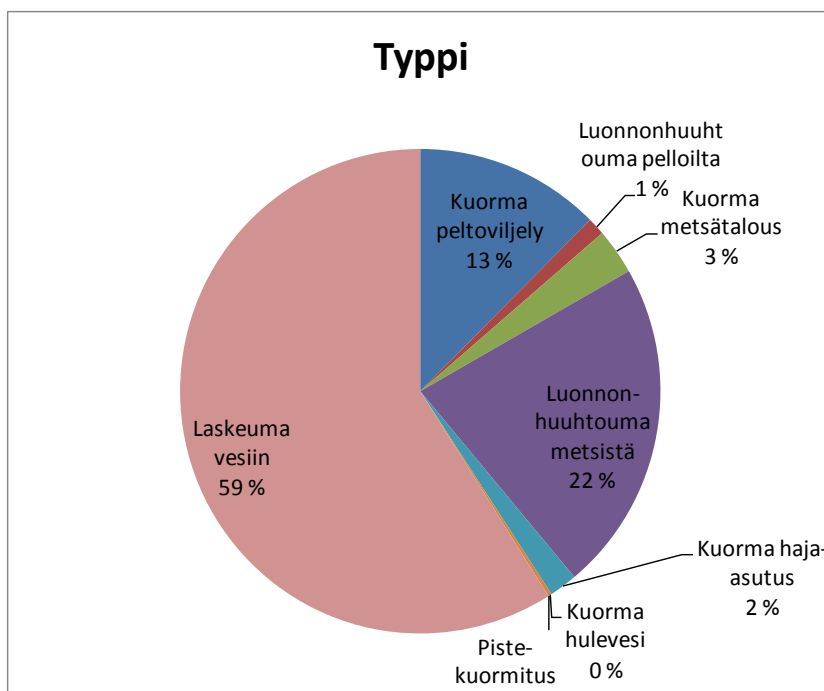
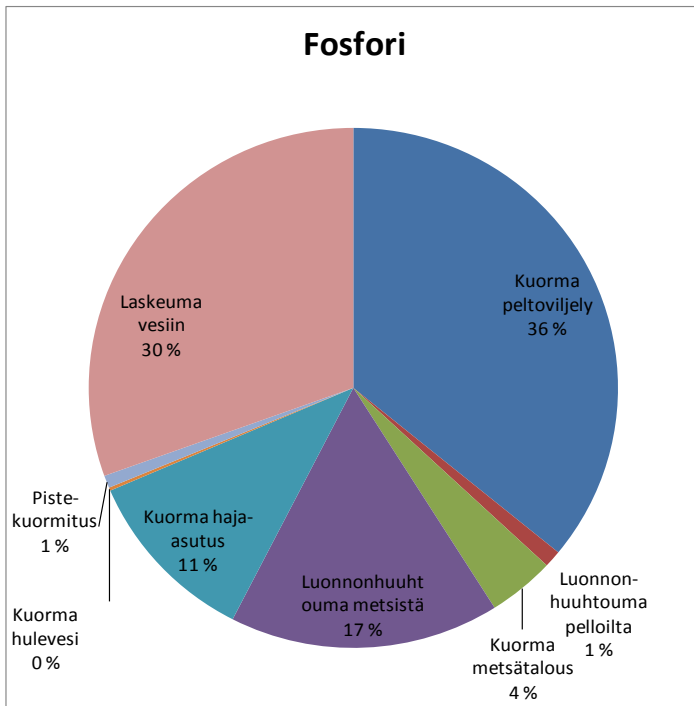
Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.



Kuva 17. Esimerkki Puruveden fosfori- ja typpipitoisuuden mallinnustuloksista ja havainnoista VEMALAn V1 versiossa.

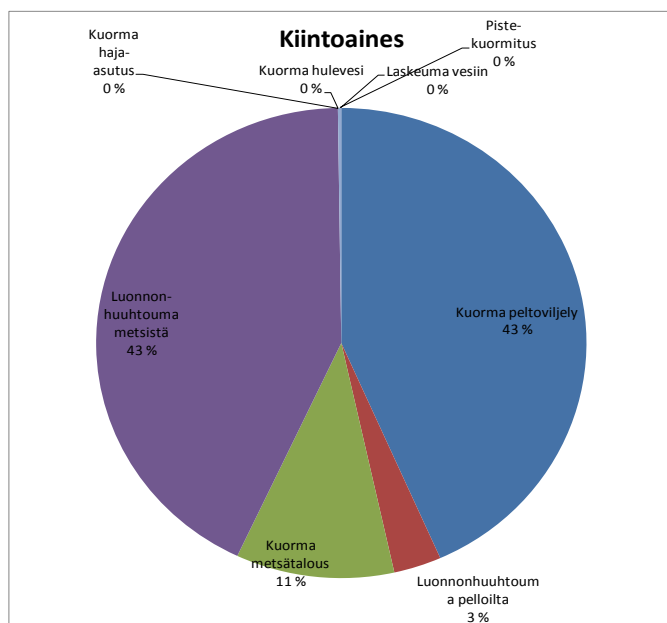


Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.





Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.



Kuva 18. VEMALA V1 version arvio fosforin, typen ja kiintoaineksen kuormituksen jakautumisesta eri lähteisiin koko Puruveden valuma-alueella.

Johtopäätökset

Metsien luonnonhuuhtouma ja metsätalouden kuormitus ainakin typen osalta ja mahdollisesti myös kiintoaineen osalta saadaan Puruveden sovelluksessa VEMALAn metsämalli NutSpathyn tuloksista. Kiintoaineen ja fosforin osalta voidaan käyttää lisäksi RUSLElla ja KUHALLa laskettuja arvoja. KUHAn laajamittaisen hyödyntämisen haasteena on vielä toistaiseksi erityisesti yksityismaiden metsänkäsittelyn historiatiedon kokoamiseen tarvittava työ määrä. RUSLE2015-mallin hyödyntäminen edellyttää kehitystyötä mm. eroosion ajallisen vähentymisen huomioimiseksi sekä mallinnustuloksen yhdistämistä uudistamishakkuiden historiatietoihin sekä simuloituihin tuleviin uudistamishakkuihin. RUSLEn ja KUHAn käyttöä hankaloittaa se seikka, että ne ovat pitkän jakson keskimääräisiä arvoja, jotka täytyy muuntaa päivittäiseksi syötteenksi VEMALAn.

Kun uusi NUTSPATHY-VEMALA sovellus Puruveden alueelle on käytössä, sillä voidaan tehdä skenaarioita tulevien muutosten vaikutuksista vesistön eri osien kuormitukseen ja pitoisuuksiin niissä. Skenaarioissa voidaan huomioida eri kuormituslähteisiin vaikuttavat muutokset. Peltoviljelyn muutokset voidaan kuvata viljelykasvien, lannoitusmäärien, muokkausmenetelmien ja peltokuormitusta vähentävien toimenpiteiden (mm. suojakaista) kautta. Haja-asutuksen muutokset voidaan kuvata asukasmäärien, loma-asuntojen määrien ja näiden ominaiskuormitusten muutosten kautta. Metsien kuormituksen muutokset saadaan NUTSPATHY simuloinnin kautta. Lisäksi pidemmissä skenaarioissa muuttuvan ilmaston vaikutus ravinnekuormitukseen, vesimääriin ja pidätyis- ja kulkeutumisprosesseihin uomissa ja järvissä voidaan huomioida. Kokonaisuutena skenaarioissa pystytään huomioimaan valuma-alueella tapahtuvat eri muutokset ja arvioimaan niiden yhteisvaikutusta vesistöihin.



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

Viitteet:

Huttunen, I., Huttunen, M., Piirainen, V., Korppoo, M., Lepistö, A., Räike, A., Tattari, S., Vehviläinen, B., 2016. A national scale nutrient loading model for Finnish watersheds – VEMALA. *Environmental Modelling and Assessment* 21(1), 83–109. DOI: 10.1007/s10666-015-9470-6.

Tattari, S., Bärlund, I., Rekolainen S., Posch, M., Siimes, K., Tuhkanen, H-R, Yli-Halla, M., 2001. Modeling sediment yield and phosphorus transport in Finnish clayey soils. *Transactions of ASAE* 44: 297-307.

Tattari, S., Linjama J. 2004. Vesistöalueen kuormituksen arviointi *Vesitalous* 45(3): 26-30.

Ravinnekuormitusten laskenta metsäalueilta NutSpathy mallilla

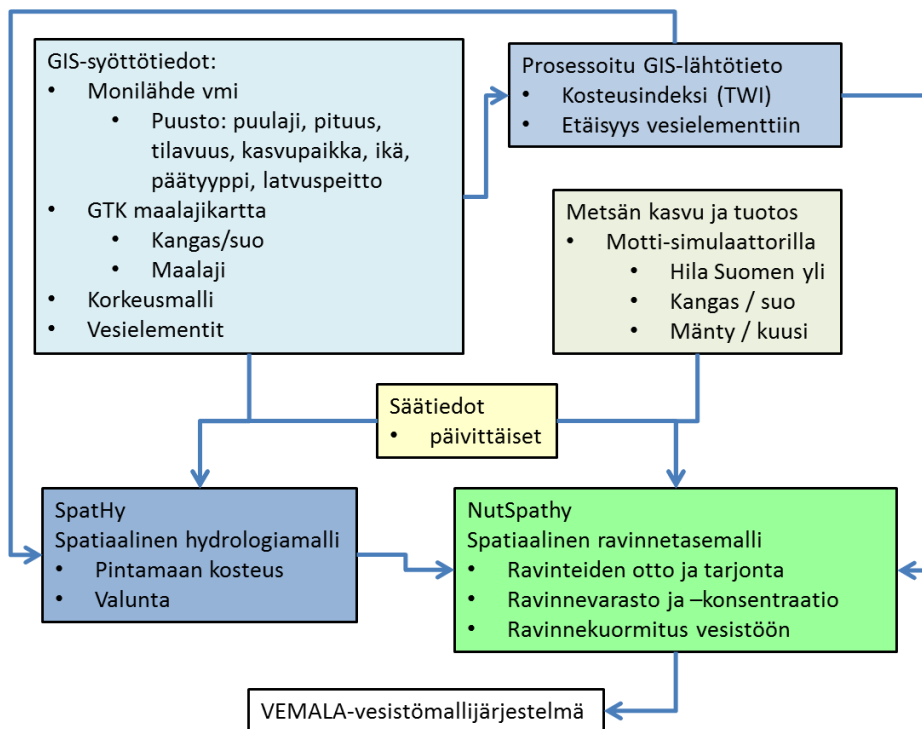
NutSpathy – kuvaus ja rakenne

Metsäalueilta vesistöön kohdistuva typpi- ja fosforikuormitus lasketaan latva-valuma-alueittain (tyypillinen koko 50...5000 ha) spatiaalisella NutSpathy –simulointimallilla (kuva 19). Sen lähtötietoina käytetään saatavilla olevia Luonnonvarakeskuksen ja Geologian tutkimuskeskuksen kartta-aineistoja sekä Ilmatieteen laitoksen tietyille paikalle interpoloituja säätietoja. Laskenta tapahtuu karttahilassa, jossa yksittäisen ruudun koko on 16 m x 16 m, mikä vastaa monilähteen Valtakunnan metsien inventointitietojen (MVMI) tilatarkkuutta.

Topografiasta johdetulla kosteusindeksillä kuvataan tietyn hilapisteen suhteellista kosteutta sen omassa maaston kohdassa, ja tätä edelleen modifioidaan sää- ja puustotiedosta lasketetulla, kunkin hilapisteen vesitaseella pintamaan kosteuden arvioimiseksi. Pintamaan kosteus, ilman lämpötila ja maatyypin säätelevät ravinteiden vapautumista, ja paikkatietoaineistossa olevan metsän ominaisuudet mittaushetkellä ja siitä eteenpäin projisoitu metsän tuotos yhdessä kertyvän lämpösumman kanssa määrittävät ravinteiden oton tietyllä ajan hetkellä hilapisteessä. Ravinteiden vapautumisen ja oton erotus määrittää ravinnevaraston muutoksen hilapisteessä. Ravinnekuormitus vesistöön lasketaan hilapisteiden hetkellisen ravinnekonsentraatioiden ja vastaanottavaan vesistöön olevan etäisyyden avulla tilastollisesti määrättyllä painotuksella. Tämä painotuskerroin lasketaan olemassa olevan mittaustietojen avulla.



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.



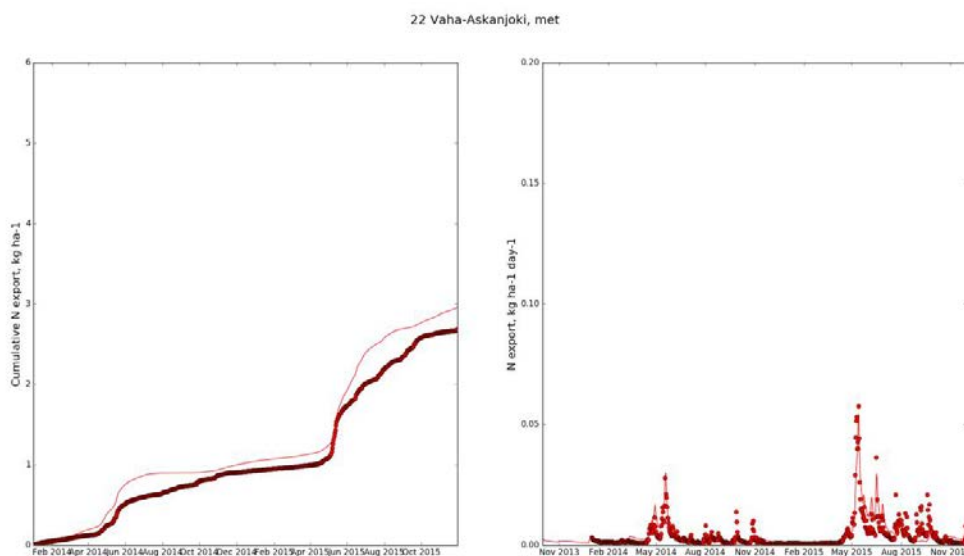
Kuva 19. Tiedon prosessointi metsäalueiden ravinnekuormituslaskennassa.

NutSpathyn kehittämisen vaihe ja testaus kokeellisella aineistolla

Tällä hetkellä NutSpathyllä voidaan laskea typpikuormitusta; fosforilaskenta rakennetaan kun yhteydet vesistömalliin on rakennettu. Ravinnelaskentaa on testattu Metsätalouden vesistökuormituksen seurantaverkko –valuma-alueille (18 aluetta) ja näiden alueiden mittaustietoa on myös käytetty ravinnekuormituksen painokertoimen laskennassa (kuva 20). Koeaineistolla testattu malli sovelletaan Puruveden valuma-alueelle painokertoimineen.



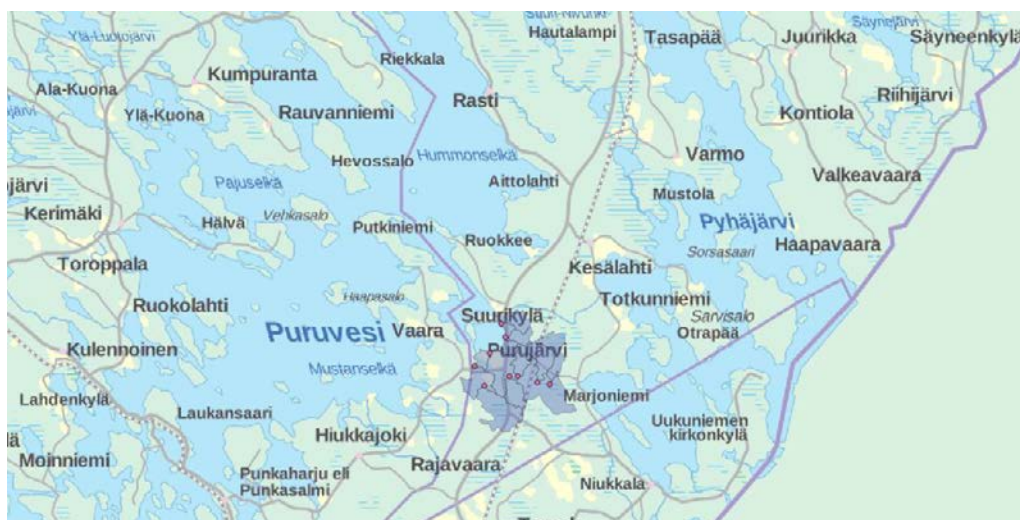
Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.



Kuva 20. Laskettu ja mitattu typpikuormitus metsätalousvaltaisella Vähä-Askanjoen valuma-alueella.

NutSpathyn soveltaminen Puruveden valuma-alueelle

NutSpathyn soveltaminen Puruveden valuma-alueelle aloitetaan testauksella kahdelletoista latvavaluma-alueelle (kuva 21). Lähtötiedot alueille on laskettu.



Kuva 21. NutSpathy mallin testialueet.

NutSpathy osana laajempaa vesistöläskentää

Simulointimallilla laskettu latvavaluma-alueilta tuleva valunta ja ravinnekuormitus talletetaan päivittäisenä aikasarjana tiedostoon, joka edustaa tilannetta valuma-alueille määritetyissä purkupisteissä. Nämä tiedot haetaan lähtötiedoiksi Suomen ympäristökeskuksen VEMALA-vesistömallilaskentaa varten.



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

LLR- Vesistövaikutukset

Mallikuvaus

LLR, eli Lake Load Response, on SYKE:ssä kehitetty mallinnustyökalu vesistöjen kuormitusvaikutusten arviointiin (Kotamäki ym. 2015). LLR auttaa kuormitusvähennystarpeen arvioinnissa ja siten vesistöalueiden hoidon suunnittelussa ja siihen liittyvässä päätöksenteossa. LLR:llä lasketaan, miten ulkoinen kuormitus ja sen muutokset vaikuttavat yksittäisen vesimuodostuman keskimääräisiin kokonaisravinne- ja a-klorofyllipitoisuuksiin. LLR soveltuu erityisesti huonokuntoisten tai hyvän ja tyydyttävän tilan rajalla olevien järvien, järven osa-altaiden sekä sisempien rannikkovesialueiden kuormitusvähennystavoitteiden laskemiseen sekä tueksi ekologisen tilan arviointiin.

LLR:ää on käytetty erityisesti maatalouden kuormittamien vesimuodostumien kuormitusvaikutusten arviointiin ja vesienhoitosuunnitelmien tarkentamiseen (esim. Väisänen 2013). Tässä hankkeessa testataan mallin soveltuvuutta metsävaltaisilla alueilla ja arvioidaan metsätoimenpiteiden vaikutusta herkkiin latvavesiin. LLR tuottaa mm. järven todennäköisimmän ekologisen tilan annetuilla kuormituksilla sekä tarvittavan ravinnekuormitusvähennyksen hyvän tilan saavuttamiseen. LLR:llä testataan myös erilaisten todennäköisten metsänkäsittelyskenaarioiden aiheuttaman ravinnekuorman muutoksen vaikutusta vesistön tilaan.

Puruveden sovellus

Ensimmäiseksi sovelluskohteeksi valittiin Puruveteen vetensä laskeva Kuonanjärvi. Kuonanjärvi sopii LLR-tarkasteluihin, koska sen ekologinen tila on tyydyttävä ja järnessä on havaittu metsätalouden ja muun hajakuormituksen aiheuttamaa rehevöitymishaittaa (Kotaniemi ym. 2010). Kuonanjärven fosforikuormitusvähennystarpeen määrittäminen ja sitä kautta tilan mahdollinen parantaminen edesauttavat Puruveden hyvän tilan ylläpitämistä.

Laskennan lähtötiedoiksi tarvitaan Kuonanjärven keskisyvyys, tilavuus ja pintavesityyppi sekä mahdollisimman pitkältä ajalta vuosikeskiarvot tulevasta fosforikuormituksesta, lähtövirtaamasta ja edustavimman syvänteen fosforipitoisuuksista (seurantapaikka Kuonanjärvi_003). Mallinnusta varten arvioidaan myös sisäisen fosforikuormituksen merkitys ja suuruusluokka.

Metsätalouden aiheuttaman kuorman laskenta perustuu Kuonanjärven todelliseen selvitettyyn metsänkäsittelyhistoriaan, jonka perusteella fosforikuorma on laskettu KUHA-työkalulla ominaiskuormituslukuihin perustuen. KUHA-työkalulla laskettiin Kuonanjärven valuma-alueen jo tehdyt metsätalouden toimenpiteet vuosilta 2009-2016 (Taulukko 6) ja tulevaisuuden skenaariot vuosille 2017-2027. Valuma-alueelta tulevan muun kuormituksen määrä ja lähtövirtaama saatiin VEMALA-mallista. VEMALAn mukaan Kuonanjärveen tuleva fosforin kokonaiskuormitus on noin 600 kg/v ja metsätalouden kuormituksen osuus tästä on noin 8 %. LLR:n lähtötietona tarvittavan sisäisen fosforikuormituksen alkuarvon arvioitiin olevan puolet keskimääräisestä ulkoisesta kuormituksesta.



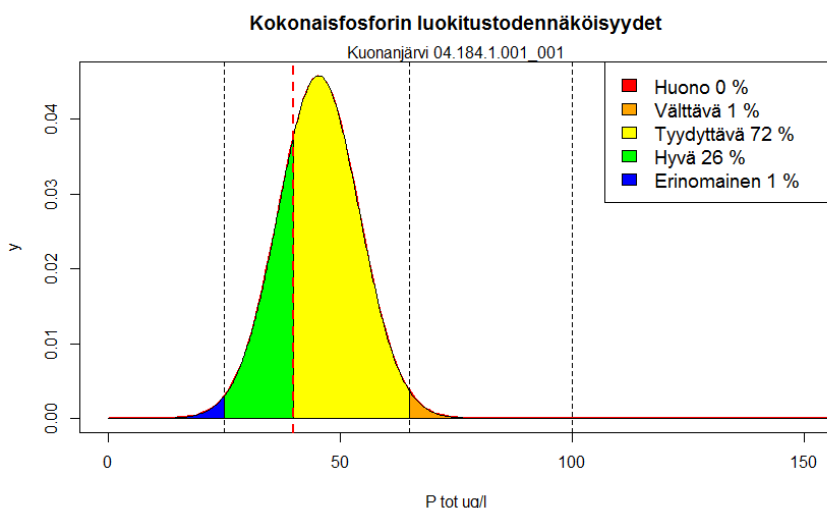
Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

Taulukko 6. KUHA-mallilla lasketut metsätalouden toimenpiteiden aiheuttamat keskimääräiset fosforivuosi-kuormat Kuonanjärveen.

vuosi	kg/v
2009	48,0
2010	47,5
2011	87,5
2012	59,6
2013	36,0
2014	30,6
2015	28,5
2016	66,6
keskiarvo	50,6

Tulokset

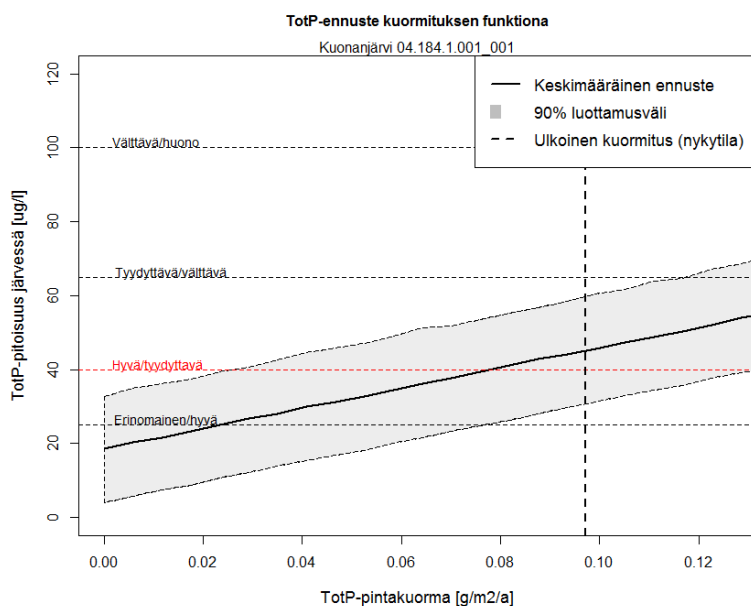
LLR-mallin mukaan keskimääräisellä kuormituksella Kuonanjärven fosforipitoisuus on kasvukaudella 45 µg/l. Näin ollen todennäköisin kokonaisfosforin tilaluokka on tyydyttävä (72 % todennäköisyydellä, kuva 22). Hyvään tilaan (alle 40 µg/l) pääsemiseen tarvittava fosforikuormitusvähennys olisi 21 %. Absoluuttinen kuormitusvähennystarve olisi 110 kg/a, eli järven pinta-alaan suhteutettuna 7,3 kg/m²/a (kuva 23).



Kuva 22. Kuonanjärven keskimääräisen kesäkauden kokonaisfosforin todennäköisyysjakauma nykykuormituksilla. Pystyviivat kuvaavat järviyypin Mh luokkarajoja, punainen katkoviiva on tavoitepitoisuus (hyvän ja tyydyttävän tilaluokan raja). Eri luokkien todennäköisyydet ja osuudet on kuvattu eri väreillä.



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.



Kuva 23. Kuonanjärven kokonaisfosforipitoisuuden ennuste ja luottamusalue ulkoisen kuormituksen funktiona. Pitkän ajan keskimääräinen ulkoinen pintakuormitus on kuvattu pystysuoralla katkoviivalla.

Metsätalouden osuus fosforin kokonaiskuormituksesta on vain 8 %, joten metsätalouden kuormitusmuutoksilla keskimääräinen vaikutus on vähäinen. LLR-mallilla testattiin kuitenkin myös, miten tulevaisuuden metsätalouden toimenpiteet vaikuttaisivat kuormitukseen ja sitä kautta Kuonanjärven tilaan. KUHA-työkälun tuottama kuormitusvaihtelu eri skenaariovuosina on 40-150 kg/v. Tällä haarukalla arvioituna kuormitusvähennystarve muuttuisi 7-25 % suuremmaksi.

Johtopäätökset

Kuonanjärven tilan parantamiseksi ulkoista kuormitusta on vähennettävä. LLR-mallinnus tuottaa fosforiluokan lisäksi myös arvion luokituksen epävarmuudesta, eli toisin sanoen fosforiluokan todennäköisyydestä. Väärin luokittelun todennäköisyys on sitä suurempi, mitä leveämpi mallinnettu todennäköisyysjakauma on. Kuonanjärven osalta fosforiluokka on 72 % todennäköisyydellä tyydyttävä, mutta 28 % todennäköisyydellä luokitus tulos voisi olla joku muukin. Mallien ketjuttaminen lisää epävarmuutta, mutta erityisesti syöttötietojen vähäisyys johtaa epävarmimpiin arvioihin.

Metsätalouden aiheuttaman kuorman osuus kokonaiskuormasta on niin pieni, että Kuonanjärven lähtöaineistolla LLR:n kaltaisen keskimääräisen mallin tarkkuus ei ole riittävä tarkempiin arviointeihin. Kattavimmilla kokonaiskuormitustiedoilla saataisiin todennäköisesti tarkempi arvio myös vastaanottavan vesistön vedenlaadusta. Hankkeen seuraavassa vaiheessa tarkennetaan VEMALA-mallin metsätalouden kuormituksen arviota ja se auttaa myös kuormitusvaikutusmallin luotettavuuden parantamisessa. Lisäksi pitoisuuskuormitusvaste saataisiin arvioitua entistä luotettavammin, mikäli järven kesäaikaista näytteenottoa lisättäisiin vähintään vuosittaiseksi.



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

Metsätalouden vaikutus kuormitukseen näkyy erityisesti kiintoaineksen määrän kasvamisessa. Sen vuoksi kokonaisfosforin käyttäminen metsätalouden vaikutusten arvioinneissa ei liene paras vaihtoehto. Vesienhoidon tarve LLR:n kaltaiselle yleissuunnittelutyökalulle on kuitenkin ilmeinen ja LLR-mallin muuttujavalikoimaan kannattanee jatkossa lisätä myös kiintoaineen mallinnus. Näin kuormitusvaikutus voitaisiin arvioida luotettavammin erityisesti metsätalouden kuormittamien vesimuodostumien osalta.

Viitteet

Kotamäki, N., Pätynen A., Taskinen, A., Huttula, T. & Malve, O., 2015. Statistical Dimensioning of Nutrient Loading Reduction - LLR Assessment Tool for Lake Managers. Environmental Management 56: 480, DOI 10.1007/s00267-015-0514-0

Kotanen, J. & Manninen, P. 2010. Etelä-Savon pintavesien hoidon toimenpideohjelma 2010-2015. Etelä-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 2/2010.

Väisänen, S. (toim.), 2013, Mallit avuksi vesienhoidonsuunnitteluun GisBloom-hankkeen pilottialueilla Suomen ympäristökeskuksen raportteja, ISSN 1796-1726 ; 29, ISBN 978-952-11-4226-0, <http://hdl.handle.net/10138/41111>

Yhteenveto

Tässä työssä tarkasteltiin viiden eri mallin alustavia tuloksia Puruveden vesistöalueella. Usean mallin avulla saadaan käytännössä tarkasteltavan valuma-alueen kiintoaine- ja ravinnekuormituksesta monipuolisempi kuva kuin jos vain yhden mallin tulokset olisivat käytössä. RUSLE-mallilla päästiin varsin pienipiirteiseen tarkasteluun. Mallin mukaan Puruveden valuma-alueelle suunnitelluille avohakkuukuvioille (3629 kpl) laskettu eroosio ensimmäisenä vuonna avohakkuun jälkeen oli keskimäärin 76 kg/ha/v. Yli 1000 kg/ha/v toteutui yhdellä kuviolla ja yli 500 kg/ha/v 20:lla kuviolla. RUSLE:n tulosten avulla voidaan paikallistaa ne kohteet, joissa kiintoainekuormitus on suurta ja joiden toteutuksessa on noudatettava erityistä varovaisuutta. RUSLE mallisovellus mahdollisti ensimmäisen kerran kiintoainekuorman laskemisen kohdekohtaiset ominaisuudet huomioiden.

KUHA-työkalulla voidaan arvioida metsätalouden kuormituksen suuruutta menneisyydestä nykyhetkeen ja edelleen tulevaisuuteen valuma-aluemittakaavassa sekä yksittäisen toimenpiteen osalta että suhteessa muiden metsätalouden työlajien kuormittavuuteen samalla valuma-alueella. Kaikkien Suomen talousmetsien keskimääräinen vuotuinen metsätalouden kuormitus on KUHA:n laskentaperusteiden mukaan 6,5 grammaa fosforia, 80 grammaa typpeä ja 3,5 kiloa kiintoainetta hehtaarilta.

VEMALA-NutSpathy mallisovelluksen rakentaminen on vielä kesken ja tässä työssä VEMALAn vanhempaa versiota (V1) käytettiin Puruveden kokonaiskuormituksen arvioinnissa. Mallin mukaan suurin fosforikuormitus tulee peltoviljelystä (36 %) ja lähes yhtä suuri ilmaperäisestä laskeumasta (30 %). Haja-asutuksen osuus on 11 %. Koko Puruveden alueella metsätalouden osuus kokonaisfosforikuormasta on 4 %. Typen osalta peltoviljelyn



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

osuus on pienempi kuin fosforille, vain 13 %. Typpilaskeuman osuus järvioltaisella alueella on suuri, lähes 60 % kokonaiskuormasta. Metsätalouden kuormitus on vain 3 % kokonaiskuormasta. Kiintoaineen osalta metsätalouden osuus kokonaiskuormasta on suurempi kuin typpi- ja fosforikuorman tapauksessa. Mallin mukaan 11 % kiintoainekuormasta tulee metsätaloudesta. Kiintoaineen osalta suurin kuormittaja on peltoviljely (43 %).

Metsien luonnonhuhouma ja metsätalouden kuormitus ainakin typen osalta ja mahdollisesti myös kiintoaineen osalta saadaan jatkossa Puruveden sovelluksessa VEMALAAan metsämalli NutSpathyn tuloksista. Kiintoaineen ja fosforin osalta voidaan käyttää lisäksi RUSLElla ja KUHAlla laskettuja arvoja. RUSLE ja KUHA käyttöä hankaloittaa kuitenkin se seikka, että ne ovat pitkän jakson keskimääräisiä arvoja, jotka täytyy muuntaa päivittäiseksi syötteeksi VEMALAAan.

Puruveden vesistöalueella sijaitsevan Kuonanjärven tilan parantamiseksi ulkoista kuormitusta on vähennettävä. LLR-mallinnus tuottaa fosforiluokan lisäksi myös arvion luokituksen epävarmuudesta, eli toisin sanoen fosforiluokan todennäköisyydestä. LLR-mallin mukaan keskimääräisellä kuormituksella Kuonanjärven fosforipitoisuus on kasvukaudella 45 µg/l. Näin ollen todennäköisin kokonaisfosforin tilaluokka on tyydyttävä. Hyvään tilaan (alle 40 µg/l) pääsemiseen tarvittava fosforikuormitusvähennys olisi 21 %. Absoluuttinen kuormitusvähennystarve olisi 110 kg/a. KUHA-mallilla lasketut metsätalouden toimenpiteiden aiheuttamat keskimääräiset fosforivuosisuoramat Kuonanjärveen olivat 50 kg/v, eli vähennyksiä tarvitaan kaikilta sektoreilta, jotta haluttuun tavoitteeseen päästään.

Koska eri kuormituslähteiden (maatalous, metsätalous ym.) osuus arvioidaan eri menetelmillä, ne sisältävät väistämättä erisuuruisia virhelähteitä. Eri kuormittajien esittäminen samassa, kuormituksen suhteellisia osuuksia kuvaavassa piirakassa herättää kysymyksiä. Jos yhdenkin kuormittajan absoluuttinen kuormitusarvio muuttuu esim. laskentamenetelmän tarkentumisen vuoksi, se vaikuttaa myös muiden kuormituslähteiden suhteellisiin osuuksiin. Suhteellisia prosentiosuuksia vertailtaessa kannattaa myös kiinnittää huomiota siihen, esitetäänkö piirakassa taustakuorman osuus vai ei.

Dynaamisilla malleilla, kuten VEMALALLa ja NutSpathylla saadaan kuormituksesta ja veden ravinne- ja kiintoainepitoisuuksista tietoa päivätasolla, kun taas KUHA ja RUSLE tuottavat pitkän jakson keskimääräisiä arvoja. LLR malli puolestaan hyödyntää yllä mainittujen mallien tuloksia syöttötietoina ja sen avulla voidaan arvioida vesistön kuormitusvähennystarpeita. Mallien yhteiskäyttö antaa siis väistämättä uusia näkökulmia sekä valuma-alueen kuormituslähteistä että niiden paikallisesta että ajallisesta vaihtelusta. Malleilla voidaan myös ennustaa vaihtoehtoisten vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutusta vastaanottavan vesistön tilaan, mikä auttaa alueella toimivia tahoja valitsemaan vesistön kannalta optimaalisimmat toimenpiteet.



Milestone 3. First applications on national integrated model for river basin management pilot areas to be applied ready (case Puruvesi). DL 30.6.2017.

Hanke on saanut rahoitusta Euroopan unionin LIFE-ohjelmasta. Aineiston sisältö heijastelee sen tekijöiden näkemyksiä, eikä Euroopan komissio tai EASME ole vastuussa aineiston sisältämien tietojen käytöstä.

Projektet har fått finansiering av Europeiska Unionens LIFE-program. Materialet reflekterar synsätt av upphovsmannen, och Europeiska kommissionen eller EASME är inte ansvariga för användning av materialets innehåll.

The project has received funding from the LIFE Programme of the European Union. The material reflects the views by the authors, and the European Commission or the EASME is not responsible for any use that may be made of the information it contains.