



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 86/2021

Raakun mahdollisuudet Karjaanjoella

Mustionjoen jokihelmisimpukan (*Margaritifera margaritifera*) kuormitustekijöiden moninäkökulmainen kestävyysarviointi

Merja Saarinen, Liisa Ukonmaanaho, Katri Rankinen, Timo Räsänen,
Erkka Laitinen, Joonas Tammivuori ja Juha-Pekka Vähä

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 86/2021

Raakun mahdollisuudet Karjaanjoella

Mustionjoen jokihelminsimpukan (*Margaritifera margaritifera*)
kuormitustekijöiden moninäkökulmainen kestävyysarviointi

Merja Saarinen, Liisa Ukonmaanaho, Katri Rankinen, Timo Räsänen, Erkkä Laitinen,
Joonas Tammivuori ja Juha-Pekka Vähä



Viittausohje:

Saarinen, M., Ukonmaanaho, L., Rankinen, K., Räsänen, T., Laitinen, E., Tammivuori, J. & Vähä, J-P. 2021. Raakun mahdollisuudet Karjaanjoella : Mustionjoen jokihelmisimpukan (*Margaritifera margaritifera*) kuormitustekijöiden moninäkökulmainen kestävyysarviointi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 86/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 67 s.

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.

Merja Saarinen ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0002-4375-7682>



ISBN 978-952-380-322-0 (Painettu)

ISBN 978-952-380-323-7 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-323-7>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Merja Saarinen, Liisa Ukonmaanaho, Katri Rankinen, Timo Räsänen, Erkki Laitinen, Joonas Tammivuori ja Juha-Pekka Vähä

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2021

Julkaisuvuosi: 2021

Kannen kuva: Juha-Pekka Vähä

Painopaikka ja julkaisumyynti: PunaMusta Oy, <http://luke.juvenesprint.fi>

Tiivistelmä

Merja Saarinen¹, Liisa Ukonmaanaho¹, Timo Räsänen¹, Katri Rankinen², Erkka Laitinen³, Joonas Tammivuori³ ja Juha-Pekka Vähä³

¹Luonnonvarakeskus, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

²Suomen ympäristökeskus, Latokartanonkaari 11, 00790 Helsinki

³Länsi-Uudenmaan vesi- ja ympäristö ry, PL 51, 08100 Lohja

Tässä raportissa kuvataan Karjaanjoen vesistön Mustionjoen raakkupopulaation (*Margaritifera margaritifera*) menestymisen edellytyksiä koskevan tutkimuksen päätulokset. Tutkimus toteutettiin osana Freshabit Life IP -hankkeetta. Tutkimuksessa arvioitiin kolmella kestävyysarvioinnin mallinnustyökalulla valuma-alueen maataloudesta ja maataloustuotteista aiheutuvaa kuormitusta veteen ja kuormituksen vaikutusta vedenlaatuun. Mallinnustyökalut olivat INCA-valuma-aluemalli, RUSLE-eroosiomalli ja maataloustuotteiden (ohra ja nurmi) elinkaariarviointi (LCA). Mallinnusten tuloksia tulkittiin erikseen ja suhteessa toisiinsa johtopäätösten ja toimenpidesuosittelujen tekemiseksi. Vedenlaadun osalta tuloksia verrattiin kirjallisuudesta saatuihin raakun olosuhdevaatimuksiin ja siltä pohjalta arvioitiin, missä kohtaa Mustionjokea raakku voisi parhaiten menestyä. Lisäksi tehtiin kokeellinen tutkimus nuorten raakkujen selviämisestä Mustionjoessa.

Tulosten mukaan raakuille parhaassakin paikassa Mustionjoen vedenlaatua pitäisi vielä parantaa. Luonnonhoitopeltojen lisääminen oli mallinnetuista menetelmistä paras laskemaan sekä nitraatti- että fosforikuormitusta, mutta myös muita toimenpiteitä on syytä harkita, kuten huomion kiinnittäminen Mustionjokeen tulevan veden laatuun sekä suojavyöhykkeiden ja kosteikkojen rakentaminen sopiviin kohteisiin.

Eroosion vähentäminen on yksi keskeisimmistä keinoista parantaa raakun olosuhteita Mustionjoella, koska se vaikuttaa sekä veden että joen pohjan laatuun. Eroosiomallinnuksen mukaan koko Mustionjoen valuma-alue on lähtökohtaisesti eroosioherkkää aluetta. Eroosiontorjunnan toimenpiteitä pitäisi kohdentaa systemaattisesti ja monitasoisesti, jotta kuormitus vähenisi tehokkaimmin. Eroosiota pitäisi siis tarkastella ja torjua eri mittakaavoissa – esimerkiksi osavaluma-alueella, yksittäisellä peltolohkolla ja peltolohkon sisällä. Hankkeessa tuotetut aineistot tukevat tällaista tarkastelua, mutta kohdistamisen optimoinnista tarvitaan lisää tutkimusta. Hankkeessa tunnistettuja keskeisiä yleisemmän tason eroosionvähennyskeinoja olivat toimenpiteiden kohdistaminen Storängsbäckenin sivu-uoman osavaluma-alueelle, peltojen talviaikainen laaja-alaisesti toteutettava kasvipeitteisyys ja suojavyöhykkeet alueilla, joissa korkean eroosioriskin alueet rajautuvat vesistöihin. Lisäksi tunnistettiin, että tarvitaan peltolohkomittakaavassa eriytyviä paikallisempia ratkaisuja, jotka kohdistuvat peltolohkojen sisällä oleviin eroosioriskikohtiin, kuten korkeuskäyrien suuntainen kyntö. Peltojen riskikohteiden tunnistamisessa voidaan käyttää tässä työssä tuotettuja eroosiokarttoja ja maanviljelijöiden asiantuntemusta.

Talviaikaisen kasvipeitteisyyden vaikutus näkyi myös tuotetason ympäristövaikutusten arvioinnissa, jonka mukaan nurmen ravinnehuuhtoumat (per ha) ja rehevöittävä potentiaali (PO₄ ekv per kg tuotetta tai per ha) olivat ohraa pienemmät. Käytännössä joen tilanteen paraneminen edellyttää, että myös ympäristökorvausjärjestelmä ja vesistön suojele- ja kunnostustoiminta tukevat toimenpiteiden tehokasta kohdistamista. Eroosiontorjunnan kannalta on hyvä, että toimenpiteet edistävät pitkällä aikavälillä myös viljeltävän maan tuottavuutta ja ilmastonmuutokseen sopeutumista ja vähentävät maatalouden ilmastovaikutusta. Kasvatuskokeen aikana raakut selvisivät herkästä poikasvaiheestaan hyvin ja kasvoivat jopa hieman odotettua enemmän,

vaikka vedenlaatu istutuspaikoissa ei kaikilta osin täyttänyt kirjallisuudessa esitettyjä kriteerejä. Kasvatuskoe herättikin uusia kysymyksiä: 1) onko raakku joustavampi vedenlaadun suhteen kuin kirjallisuudessa on yleisesti esitetty, 2) missä määrin raakulle sopivien habitaattien katoaminen on estänyt raakpopulaation elpymisen, kun vedenlaatu on tietyiltä osin pikkuhiljaa parantunut, ja 3) missä määrin on kyse siitä, että raakkukyytilöt ovat liian huonokuntoisia lisääntyäkseen. Nämä asiat vaativat lisätutkimusta.

Hankkeen perusteella ei saatu varmuutta Mustionjoen raakkukannan selviämiseksi, tai sen ehdoille. Sille kuitenkin saatiin vahvistusta, että raakkukanta ei selviä ainakaan ilman monipuolisia ja laajoja toimenpiteitä. Vesistökuunnostusta tekevien tahojen lisäksi viljelijät ovat keskeinen toimijajoukko, joka voi parantaa raakkujen mahdollisuuksia Mustionjoella. Hyvin suunnattujen maatalouden tukitoimenpiteiden ohella viljelijä- ja tuotekohtaiset elinkaariarviointit voisivat kannustaa viljelijöitä parannuksiin, koska niillä voidaan todentaa toimenpiteiden tehokkuus ja viljelijät voivat niiden avulla myös viestiä tekemistään edistysaskeleista.

Asiasanat: uhanlaiset lajit, lajien suojelu, vesistökuormitus, ravinnekuormitus, kiintoainekuormitus, viljelyn ympäristövaikutukset, viljelyn vesistövaikutukset.

Abstract

This report describes the main results of a study on the conditions for the success of the mussel population (*Margaritifera margaritifera*) of the Mustion River in the Karjaanjoki watershed. The study was carried out in the Freshabit Life IP project. Three sustainability assessment modeling tools were used to assess the load on water caused by agriculture and agricultural products in the catchment area and the impact of the load on water quality. The modeling tools were the INCA catchment area model, the RUSLE erosion model, and the life cycle assessment (LCA) of agricultural products (barley and grass). In terms of water quality, the results were compared with the conditions requirements of *Margaritifera margaritifera* based on data from the literature. In addition, an experimental study was conducted on the survival of young mussels in the Mustionjoki River.

According to the results, the water quality of the Mustionjoki River should be further improved, even in the best place for the mussels. Increasing the area of nature conservation fields was the best of the modeled methods to reduce both nitrate and phosphorus loads, but other measures should also be considered, such as paying attention to the quality of water entering the Mustionjoki River and building buffer zones and constructed wetlands at suitable sites. Reducing erosion is one of the best ways to improve conditions for *Margaritifera margaritifera* in the Mustionjoki River, as it affects the quality of both water and river bottom. According to erosion modeling, the entire catchment area of the Mustionjoki is basically an erosion-sensitive area. Erosion control measures should be targeted in a systematic and multi-level manner in order to reduce the load most effectively. Erosion should therefore be considered and combated on different scales - for example, in a sub-catchment area, at the scale of field blocks and within a field block. The data produced in the project support such a consideration, but more research is needed on optimizing targeting the measures. The main erosion reduction measures identified in the project were the targeting of measures in the sub-catchment area of the Storängsbäcken tributary, the extensive winter plant cover and protection zones or protective stripes in areas where high erosion risk fields are bordered by water bodies, and even more local solutions such as plowing along elevation curves at high erosion risk sites. The erosion maps produced in this work and the expertise of farmers can be used to identify risk areas in the fields. The effect of winter plant cover was also reflected in the product-level environmental impact assessment; nutrient leaching (per ha) and eutrophication potential (PO₄ eq per kg product or per ha) for grass were lower than for barley. In practice, the improvement of the river's situation requires that the environmental compensation system of agriculture and water protection and rehabilitation activities at the Karjaanjoki area also support the effective targeting of measures. From the point of view of combating erosion, it is good that the measures also promote the productivity of the cultivated land and its adaptation to climate change in the long term and reduce the climate impact of agriculture.

During the rearing experiment, the mussels survived their delicate juvenile stage well and grew even slightly more than expected, although the water quality at the planting sites did not fully meet the criteria presented in the literature. Indeed, the experiment raised new questions: 1) whether the mussels is more flexible in terms of water quality than is generally stated in the literature, (2) the extent to which the disappearance of suitable habitats has prevented the recovery of the mussel population, as water quality has gradually improved in certain respects; and 3) the extent to which the mussel individuals are too poor to reproduce. These issues require further investigation.

On the basis of the project, there is no certainty about the survival of the Mustionjoki *Margaritifera margaritifera* population, or its conditions. However, it was reassured that the population

would not survive at least without comprehensive and far-reaching measures. In addition to river basin rehabilitation, farmers are a key player whose action is needed. Furthermore, in addition to well-targeted agricultural support measures, farm- and product-specific life-cycle assessments could encourage farmers to take improvement measures, as they can verify the effectiveness of the measures and allow farmers to communicate their progress.

Keywords: endangered species, species protection, water load, nutrient load, suspended solids load, environmental impact of cultivation, aquatic impact of cultivation

Sisällys

Abstract	5
1. Johdanto	9
1.1. Tausta ja tutkimuksen tarkoitus	9
1.2. Tutkimuksen tavoitteet	10
1.3. Raportin rakenne.....	11
2. Raakku vaatii paljon elinympäristöltään	12
2.1. Raakun yksilönkehitys ja elinkierto	12
2.2. Raakun esiintymisalueet.....	13
2.3. Raakun elinympäristövaatimukset.....	13
3. Mustionjokeen on kohdistunut paljon kuormitusta	15
3.1. Mustionjoen valuma-alueen maankäyttö ja kuormitustekijät.....	15
3.2. Olosuhdemuutokset	18
3.2.1. Morfologia.....	18
3.2.2. Virtaama ja veden lämpötila	18
3.2.3. Maatalouden vesiensuojelutoimenpiteet	20
3.2.4. Vedenlaatu	22
4. Menetelmät	25
4.1. Valuma-alueelta tulevien kuormitusten mallinnus	25
4.1.1. INCA-valuma-aluemalli	26
4.1.2. RUSLE-erosiomalli.....	27
4.2. Maataloustuotteiden rehevöittävien vaikutusten arviointi elinkaariarvioinnilla.....	27
4.3. Raakkujen kasvatuskoe.....	29
4.3.1. Kasvatuspaikkojen vedenlaadun seuranta.....	30
5. Tulokset	31
5.1. INCA-malli – veden ravinnepitoisuudet eri skenaarioissa.....	31
5.2. RUSLE-malli – eroosio pelloilta.....	34
5.2.1. Potentiaalinen eroosioriski	34
5.2.2. Todellinen eroosioriski vuoden 2019 viljely- ja toimenpidetiedoilla	36
5.2.3. Eroosioskenaariot	39
5.3. Maataloustuotteiden elinkaariset rehevöittävät vaikutukset: ohra ja nurmi.....	40
5.4. Raakkujen kasvatuskoe.....	43
5.4.1. Raakkujen kasvu.....	43
5.4.2. Vedenlaatukriteerien täytyminen kasvatusjakson aikana	44

6. Tulosten tarkastelu	46
6.1. INCA-mallin tulokset	46
6.2. RUSLE-mallin tulokset	46
6.3. Maataloustuotteiden rehevöittävät vaikutukset	47
6.4. Raakkujen kasvatuskokeen tulokset	48
7. Johtopäätökset ja jatkotutkimustarpeet	50
Viitteet.....	52
Liitteet	56

1. Johdanto

1.1. Tausta ja tutkimuksen tarkoitus

Jokihelmisimpukka eli raakku (*Margaritifera margaritifera*) (Kuva 1) on Suomen pitkäikäisin eläinlaji. Se voi elää jopa yli 200-vuotiaaksi. Ravintonsa raakku saa, kuten muutkin simpukat, suodattamalla kasviplanktonia virtavedestä (Skinner ym. 2003). Samalla se puhdistaa vettä tehokkaasti; yksi yksilö voi puhdistaa kymmeniä litroja vettä vuorokaudessa. Itselleen tarpeettoman osan suodattamastaan kasviplanktonista raakku pakkaa limapalleroksi, jonka se pullauttaa joen pohjalle. Mikrobit hyödyntävät näitä pallerointia ja erilaiset selkärangattomat, kuten hyönteistoukat, hyödyntävät puolestaan mikrobeja (Taskinen 2018). Useat kalalajit käyttävät puolestaan hyönteisiä ravintonaan. Näiden toimintojen takia raakku on virtavesiekosysteemien avainlaji. Sillä on siis keskeinen asema ekosysteemin ylläpidossa.

Raakku on myös virtavesiekosysteemien indikaattorilaji, jonka menestymisestä voidaan tehdä johtopäätöksiä vesistön ekologisesta tilasta. Raakkujen elinympäristövaatimukset ovat monessa suhteessa tiukat, tiukemmat kuin useilla muilla lajeilla. Sen takia raakkupopulaation koon, kehityksen sekä tilan tutkiminen on hyödyllistä koko vesistön tilan tarkastelussa. Veden ja joen pohjan riittävän puhtauden lisäksi raakku on riippuvainen joen lohikalakannasta.

Aiemmin Suomessa runsaana esiintynyt raakku on nykyään erittäin uhanalainen, koska virtavesiekosysteemit ovat muuttuneet monin tavoin viimeisen sadan vuoden aikana. Erityisesti Etelä-Suomen raakkukannat ovat taantuneet voimakkaasti ja raakkujen lisääntymiskyky on romahtanut. (SYKE 2014.)

Mustionjoessa on Suomen eteläisimmät raakkuesiintymät. Raakku kuuluu Mustionjoen kotoperäiseen lajistoon (Törrönen 2016), mutta sen populaation koko on taantunut voimakkaasti eikä se pysty enää uudistumaan (Valovirta 1999, Asp & Leppänen 2017, Oulasvirta 2010, 2019, Vähä ym. 2017, Leppänen ym. 2018, Mustonen ja Suonpää-Espinola 2021). Tämänhetkinen Mustionjoen raakkupopulaatio koostuu iäkkäistä yksilöistä, jotka ovat eläneet joessa kymmeniä vuosia vaihtelevissa olosuhteissa, sellaisissakin, joissa vedenlaatu on ollut nykyistä huonompi. Raakut ovat huonokuntoisia eivätkä ne lisäänty joessa. Kanta on nykyisellään luokiteltu kuolevaksi (Taskinen 2021).

Suomen vesiluonnon monimuotoisuus on kaiken kaikkiaan heikentynyt merkittävästi viime vuosikymmeninä (Hyvärinen ym. 2019). Sisävesistöjemme eli järvien, virtavesien ja soiden luonto- ja kulttuuriarvot sekä virkistysmahdollisuudet muodostavat suuren suomalaisen vesiperinnön, joka tarvitsee suojelua. Freshabit LIFE IP -hankkeen tavoitteena on varmistaa vesiperintömme säilyttäminen tuleville sukupolville parantamalla Natura 2000 -vesistöalueiden ekologista tilaa ja luonnon monimuotoisuutta monin keinoin. Tavoitteen saavuttaminen edellyttää yhteistyötä ja kokonaisvaltaisia toimia niin valuma-alueilla kuin itse vesistöissäkin. Karjaanjoki ja sen valuma-alue on yksi Freshabit hankkeen toimialueesta. Karjaanjoella Freshabit-hankkeen tavoitteena on pelastaa Mustionjoen raakkupopulaatio ja palauttaa vaelluskalat jokeen.

Tässä raportissa kuvataan Freshabit Life IP -hankkeessa tehdyn Karjaanjoen vesistön Mustionjoen raakkupopulaation menestymisen edellytyksiä koskevan tutkimuksen päätulokset. Tutkimuksessa selvitettiin kirjallisuudesta raakun olosuhdevaatimukset ja arvioitiin kolmella kestävyysarvioinnin mallinnustyökalulla valuma-alueen maataloudesta aiheutuvaa kuormitusta veden ja kuormituksen vaikutusta vedenlaatuun. Mallinnusten tuloksia tulkittiin erikseen ja suh-

teessa toisiinsa johtopäätösten ja toimenpidesuosituksen tekemiseksi. Vedenlaadun osalta tuloksia verrattiin kirjallisuudesta saatuihin raakun olosuhdevaatimuksiin ja siltä pohjalta arvioitiin, missä kohtaa Mustionjokea raakku voisi parhaiten menestyä. Maankäyttövaikutusten lisäksi maatalouden vaikutusta arvioitiin myös alueella tuotettujen maataloustuotteiden rehevöittävä vaikutuksen näkökulmasta. Lisäksi tehtiin kokeellinen tutkimus nuorten raakkujen selviämistä Mustionjoessa.

Tutkimuksen tarkoituksena oli tuottaa tietoa erityisesti valuma-alueen viljelijöille siitä, miten he voisivat ottaa raakkujen menestymisen edellytykset huomioon pellonkäyttöä ja viljelytoimenpiteitä suunnitellessaan, ja motivoida heitä tekemään näitä toimenpiteitä. Tuotettua tietoa voidaan hyödyntää myös joen vesiensuojelutoimenpiteiden suunnittelussa ja laajemminkin maatalouden ympäristövaikutusten poliittisen ohjauksen suunnittelussa.



Kuva 1. Raakut leväkasvuston peittäminä. Virtavesiekosysteemien muutokset ovat heikentäneet ja jopa hävittäneet Suomen raakkukantoja. (Kuva: Jaakko Leppänen).

1.2. Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli luoda kokonaiskuva raakun elinmahdollisuuksista ja niiden parantamisen edellytyksistä Mustionjoessa. Asiaa arvioitiin useasta eri näkökulmasta. Yksityiskohtaisempina tavoitteina oli arvioida:

1. valuma-alueen maatalouden aiheuttamia kuormituksia ja niiden vaikutuksia Mustionjoen vedenlaatuun suhteessa kirjallisuudessa esitettyihin raakun olosuhdevaatimuksiin,
2. maatalouteen kohdistettujen tai kohdistettavien toimenpiteiden vaikutuksia joen vedenlaatuun suhteessa kirjallisuudessa esitettyihin raakun olosuhdevaatimuksiin,
3. alueella tuotettujen maataloustuotteiden rehevöittäviä vaikutuksia, ja
4. raakkupopulaation lisääntymisedellytyksiä siltä osalta, että voisivatko nuoret hyväkuntoiset raakut selvitä Mustionjoen nykyisessä vedenlaadussa.

Arvioinnissa pyrittiin vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Miten maatalouden ympäristökorvausjärjestelmän ravinnekuormitusten vähennystoimenpiteet vaikuttavat Mustionjoen vedenlaatuun eri paikoissa jokea?
2. Mikä on Mustionjoen valuma-alueen pääviljelykasvien potentiaalinen rehevöittävä vaikutus? Miten näiden viljelykasvien rehevöittävät vaikutukset suhtautuvat toisiinsa?
3. Kuinka paljon kiintoainetta irtoaa ja lähtee liikkeelle (erosio) Mustionjoen valuma-alueen pelloilta?
4. Missä ovat eroosiolle herkimmät alueet Mustionjoen valuma-alueella?
5. Voiko valuma-alueen pelloilta tulevaa eroosiokuormitusta Mustionjokeen vielä vähentää pelloilla tehtävillä toimenpiteillä?
6. Missä kohdissa Mustionjoen uomassa olosuhteet ovat parhaimmat raakulle?
7. Mitkä ovat keskeisimmät toimenpiteet, joilla Mustionjoen vedenlaatua voidaan parhaiten parantaa niin että raakku voisi tulevaisuudessa menestyä joessa?
8. Kuinka hyvin nuoret raakkuyksilöt menestyvät Mustionjoen vedessä (ainakin lyhyellä aikavälillä)?
9. Voidaanko Mustionjoen raakku pelastaa? Minkälaisilla toimenpiteillä raakun menestymistä Mustionjoessa voidaan edistää (pitkällä aikavälillä)?

1.3. Raportin rakenne

Raportissa kuvataan ensin perusasiat tutkimuksen kohde-eliöstä raakusta, raakkupopulaation tilanne Mustionjoessa ja kirjallisuudessa esitetyt raakun elinolosuhdevaatimukset (luku 2). Seuraavaksi kuvataan tutkimuksen kohdealue, eli Mustionjoen uoman tilanne ja siinä tehtyjen toimenpiteiden historia, joen vedenlaatu ja sen muutokset ja valuma-alueen maankäyttö (luku 3). Raportin loppuosa kuvaa tutkimuksen tavoitteet (luku 4), tutkimuksessa käytetyt menetelmät (luku 5) ja saadut tulokset (luku 6), tulosten tarkastelun (luku 7) ja johtopäätökset ja jatkotutkimustarpeet (luku 8).

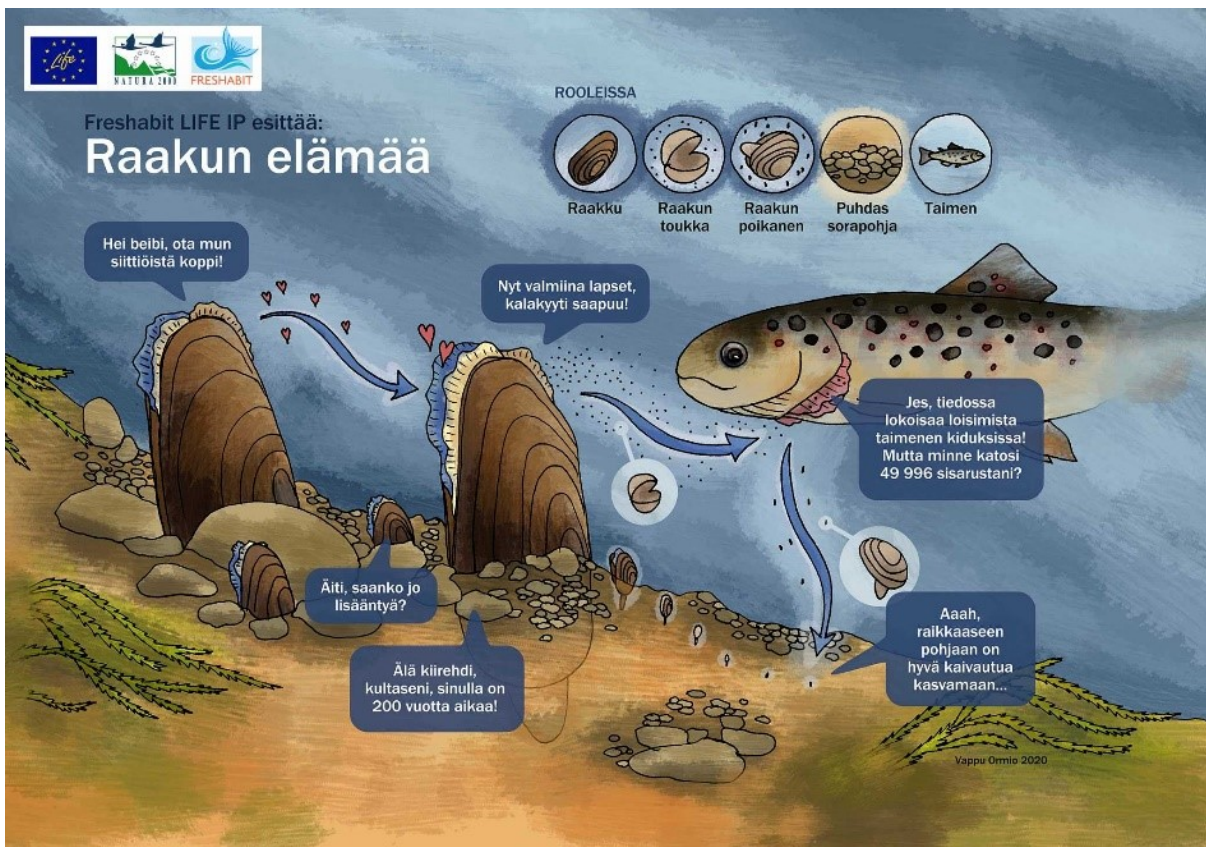
2. Raaku vaatii paljon elinympäristöltään

2.1. Raakun yksilönkehitys ja elinkierto

Raakun yksilönkehitys on hidas ja monimutkainen (Kuva 2). Urokset laskevat spermansa alkukesällä veteen, josta se kulkeutuu naarasyksilön sisään. Hedelmöityneet munat kehittyvät muutamia viikkoja naaraan kiduspussissa. Sieltä ne vapautuvat pieninä toukkina, glockidiona (0,6–0,7 mm). Tällöin ne muistuttavat jo pieniä simpukoita, joiden kuoret kuitenkin pysyvät auki, kunnes ne löytävät sopivan isännän. Yleensä ne kiinnittyvät lohikalojen kiduksiin, minkä vuoksi lohikalat ovat tärkeä osa raakujen elinkiertoa ja elinvoimaisuutta.

Raakut kasvavat luonnollisessa ympäristössään ensimmäisten vuosien aikana noin millimetristä kahteen vuodessa, ja kasvua määrittää pääosin ravinnon määrä ja veden lämpötila. Raakunpoikaset ruokailevat ottamalla veteen päätyntä orgaanista materiaalia jalkansa avulla. Myöhemmin ne alkavat ottaa ravintonsa suodattamalla vettä kidustensa läpi, jolloin tuloksena on puhdasta vettä. Tähän tarkoitettujen hengityspotket alkavat kehittyä raakuille niiden ollessa noin 4 mm kokoisia (Degerman ym. 2009). Aikuinen raaku voi suodattaa 50 litraa vettä vuorokaudessa.

Raakkuyksilö on aikuinen 10–15 vuoden iässä, jolloin sen pituus on noin 6,5 cm. Se jatkaa kuitenkin kasvuaan vielä tämän jälkeenkin yleensä noin 13–15 cm pituiseksi. Raakut voivat elää jopa 200-vuotiaiksi ja myös niiden lisääntymiskyky voi säilyä koko elämän ajan.



Kuva 2. Raakun elinkierto (Vappu Ormio 2020).

2.2. Raakun esiintymisalueet

Raakua esiintyy Pohjois-Amerikan itärannikolta Pohjois-Eurooppaan ja Venäjälle ulottuvalla alueella (Leppänen ym. 2018). Raakku on luokiteltu erittäin uhanalaiseksi lajiksi, jonka kannan vahvuus on vähentynyt levinneisyysalueillaan 95 prosenttia kuluneen vuosisadan aikana (Leppänen ym. 2018). Suomessa oli 1900-luvun alussa yli 200 jokea, joissa raakku eli ja lisääntyi. Nykyisin raakkujokia on noin 90. Niistä vain seitsemän on Oulun eteläpuolella, ja vain yhdessä niistä on lisääntyvä raakkukanta (SYKE 2014). Raakun ja sen isäntäkalojen elinalueita ovat heikentäneet maa- ja metsätalous, turvetuotanto, jokien perkaukset, säännöstely ja patoamiset, valuma-alueen ojitukset, happamoituminen sekä jätevedet.

Raakkuja on esiintynyt Mustionjoessa pitkään; ensimmäiset kirjalliset havainnot ovat vuodelta 1873 (Törrönen 2016). Mustionjoen raakkukanta on kuitenkin supistunut viime aikoina nopeasti (Taulukko 1). Etenkin 2010-luvulla tapahtuneet muutokset ovat olleet dramaattisia. Esimerkiksi Peltokosken kartoituspisteen kohdalla ei tehty yhtään raakkuhavaintoa vuonna 2017, kun vuonna 1997 yksilöitä oli vielä 25 kappaletta. Mustionjoen raakkukanta koostuu iäkkäistä, pääosin heikkokuntoisista yksilöistä eikä lisääntymistä ole todettu enää vuosikymmeniin (Valovirta 1999, Asp & Leppänen 2017, Oulasvirta 2010, 2019, Vähä ym. 2017, Leppänen ym. 2018, Mustonen ja Suonpää-Espinola 2021).

Taulukko 1. Mustionjoen raakkupopulaation kehitys eri aikoina tehtyjen kartoitusten perusteella (Valovirta 1999, Asp & Leppänen 2017, Oulasvirta 2010, 2019, Vähä ym. 2017, Leppänen ym. 2018, Mustonen ja Suonpää-Espinola 2021).

	1997	2010	2016	2017	2019–2021	muutos, %
Åminnefors		2000	1000		850	-58
Karjaa		1025	350		300–390	-71
Junkarsborg		13	3		2	-85
Peltokoski	25			0	ei tutkittu	-100

2.3. Raakun elinympäristövaatimukset

Raakun elinympäristövaatimukseen kuuluu puhdas, kirkas ja hyvälaatuinen virtaava vesi, jossa myös lohikalat viihtyvät (Taulukko 2). Vaelluskalojen kulku ei saa olla estynyt, koska joessa täytyy olla nuoria lohikaloja, jotta raakkukanta voisi uusiutua. Joessa täytyy olla puhdas sorapohja, joka ei saa olla liettynyt. Pohjan happipitoisuuden on oltava hyvä, jotta sinne kaivautuvat pikusimpukat voivat selviytyä. Aikuisten habitaattivaatimukset ovat väljemmät kuin glokioidien ja alle 2-vuotiaiden juveniilien.

Vedenlaadun osalta raakun elinvoimaisuus säilyy vain tietyissä olosuhteissa, mutta kirjallisuudessa esitetyt tiedot olosuhteiden raja-arvoista ovat osittain ristiriitaisia. Kiintoaineen maksimipitoisuuden ylärajana on pidetty 10 mg/l, mutta on myös esitetty, etteivät tilapäiset pitoisuusylitykset heikennä raakun elinkykyä (Skinner ym. 2003). Veden pH on raakkukohteissa yleensä alle 7,5, mikä sopii yhteen sen kanssa, että raakku on vähäravinteisten vesistöjen laji. Vuonna 1988 tehdyn tutkimuksen mukaan (Bauer 1988) raakkujen kuolleisuus korreloi esimerkiksi nitraattipitoisuuden kanssa, ja kohonneet fosfori- ja kalsiumpitoisuudet korreloivat vähentyneen juveniilimäärän kanssa. Nitraattipitoisuus ei saisi ylittää 125 µg/l, fosforin pitäisi olla alle 5–15 µg/l ja sähkönjohtavuus ei saisi ylittää 10 mS/cm. Optimilämpötila raakuille on 17–18 °C, yläraja hyvinvoinnille 25 °C (taulukko 2).

Koska raakut loisivat globidiovaiheessa lohikalan kiduksissa, lajin esiintyminen riippuu lohikalojen, taimenen tai lohen, läsnäolosta. Alle kolmivuotiaat lohikalat ovat sopivimpia isäntiä raakujen globidioille. Sitä vanhemmat yksilöt ovat yleensä tulleet resistenteiksi globidioiden infektiolle, jolloin globidiot eivät pysty niihin kiinnittymään (Bauer & Vogel 1987, Ziuganov ym. 1994, Young & Williams, 1984). Taulukossa 2 on esitetty kooste myös lohikalojen vaatimista vedenlaatukriteereistä.

Taulukko 2. Raakun eli jokihelmsimpukan ja lohikalojen vaatiman vedenlaadun sietoarvot tulkiten lähteitä Törrönen (2016) ja Degerman (2009).

Vedenlaatutekijä	Raakku eli jokihelmsimpukka	Lohikalat	Raakun eli jokihelmsimpukan lisääntymisen sietoarvot
Lämpötila	< 25 °C	4–25 °C	4–25°C
pH	≥6,2	6–9	≥6,2
Happi (liuennut)	> 9 mg/l	8–16 mg/l 2	≥9 mg/l
Kokonaisfosfori	5–15 µg/l	9,2 µg/l	5–9,2 µg/l
Kokonaistyyppi	< 1000 µg/l	-	≤1000 µg/l
Nitraatti	< 125 µg/l (NO ₃)		≤125 µg/l
Sameus	< 1 FNU/FTU/NTU	< 2*	<1 FNU/FTU/NTU
Väri	< 80 mg Pt/l	< 40 mg Pt/l	< 40 mg Pt/l
Sähkönjohtavuus	< 10 mS/m	46,3 mS/m*	< 10 mS/m
Kiintoaine	< 10 mg/l	< 25 mg/l	< 10 mg/l
Epäorgaaninen alumiini	< 30 µg/l		
Redox-potentiaali	>300 mV		
Lohikalojen poikasten määrä	≥ 5/100m ²		

*taimenelle

Veden kemiallisen laadun ohella myös fysikaaliset tekijät vaikuttavat raakun selviytymiseen. Esimerkiksi virtausnopeus vaikuttaa raakun ravinnon ja hapen saantiin, lietteen kertymiseen pohjasoraikkoon ja raakujen paikallaan pysymiseen. Liian hidas virtaus voi etenkin kesäisin saada aikaan levämattoja, jotka hidastavat myös pystysuuntaista virtausta, jolloin pohjan liettyminen lisääntyy. Syksyisin levämatot yleensä huuhtoutuvat pois ja virtavesien pohjat puhdistuvat. Liian nopea virtaus ja tulvat voivat puolestaan irrottaa raakun vesistön pohjasta ja huuhtoa sen pois elinpaikoilta (Hastie ym. 2000). Ilmastonmuutos voi lisätä vaihteluita virtaamisissa, millä voi olla jo lähitulevaisuudessa vaikutus raakkupopulaatioihin.

Myös jokiuoman ympäristöllä on merkitystä, raakujen on todettu viihtyvän parhaiten jokiuomissa, joita varjostavat puut, ja joiden rantapenkereillä on vain vähän eroosiota. Varjostava puusto pitää veden viileänä ja estää siten leväkasvustojen syntymisen veteen (Skinner ym. 2003).

Kaiken kaikkiaan raakku vaatii elinympäristöltään paljon, minkä takia jokeen kohdistuvaa kuorimitusta ja muita vaikuttavia tekijöitä pitää arvioida laaja-alaisesti, kun raakun elinmahdollisuuksia arvioidaan.

3. Mustionjokeen on kohdistunut paljon kuormitusta

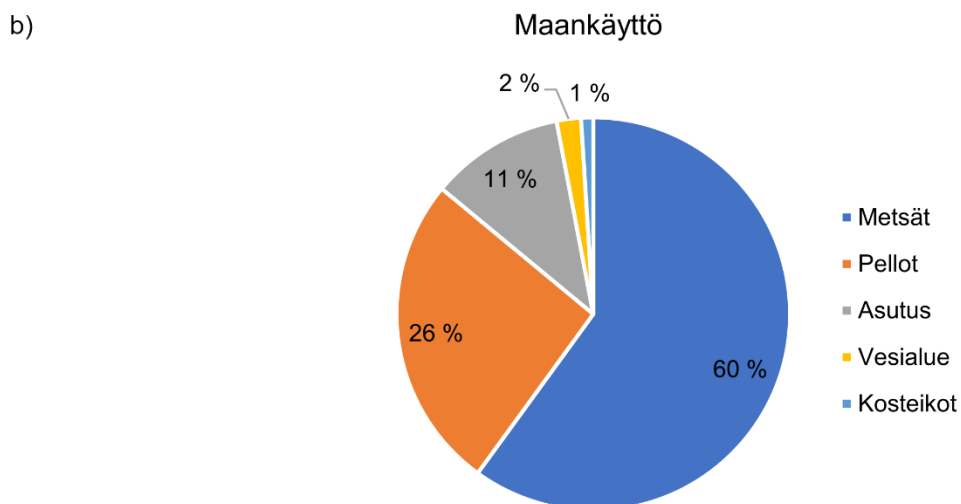
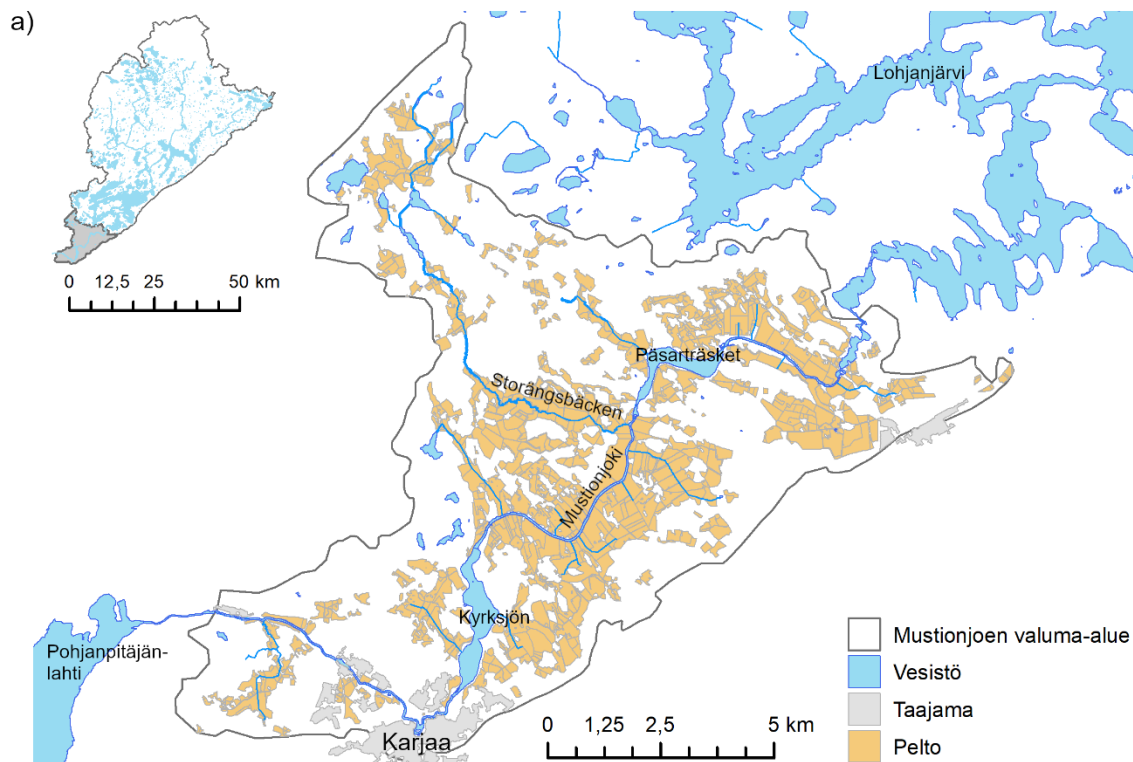
3.1. Mustionjoen valuma-alueen maankäyttö ja kuormitustekijät

Mustionjoki on 26 kilometrin pituinen Karjaanjoen vesistön laskujoki. Se alkaa Lohjanjärvestä ja laskee Suomenlahden Pohjanpitäjänlahteen (Kuva 3a). Mustionjoen alue kuuluu Natura 2000 -kohteisiin. Yhtenä perusteena Natura-alueen perustamiselle on ollut raakun esiintyminen joessa. Mustionjoen Natura-alueeseen kuuluu ainoastaan vesialueita (SYKE 2016b).

Koko Karjaanjoen vesistöalueen pinta-ala on 2050 km². Se sijaitsee pääosin Uudellamaalla, mutta ulottuu lännessä myös Varsinais-Suomen ja pohjoisessa Hämeen alueille. Vesistöalueella on useita järviä, jokia ja puroja, jotka kattavat 12 % pinta-alasta, suurimmat järvet ovat Hiidenvesi ja Lohjanjärvi.

Mustionjoen valuma-alueen yläosat ovat suurimmaksi osaksi metsää, kun taas alaosissa on runsaasti maatalousalueita (Kuva 3b). Alueella on harjuja (*Haplic Podzol*) ja kalliomaita (*Lithic Leptosol*), sekä hienojakoisia savimaita (*Eutric Cambisol*, *Eutric Reposol*, *Dystric Leptosol*). Alueella on myös happamia sulfaattimaita, jotka ovat kuivalle maalle maankohoamisen seurauksena noussutta entistä merenpohjaa. Ne voivat aiheuttaa riskejä monille vesieliöille, muun muassa raakulle, jos maaperässä oleva sulfaatti pääsee maanmuokkauksen seurauksena kosketuksiin ilman kanssa. Tällöin muodostuu rikkihappoa, joka liuottaa maaperästä metalleja, jotka voivat kulkeutua vesistöön ja samalla laskea veden pH-arvoa.

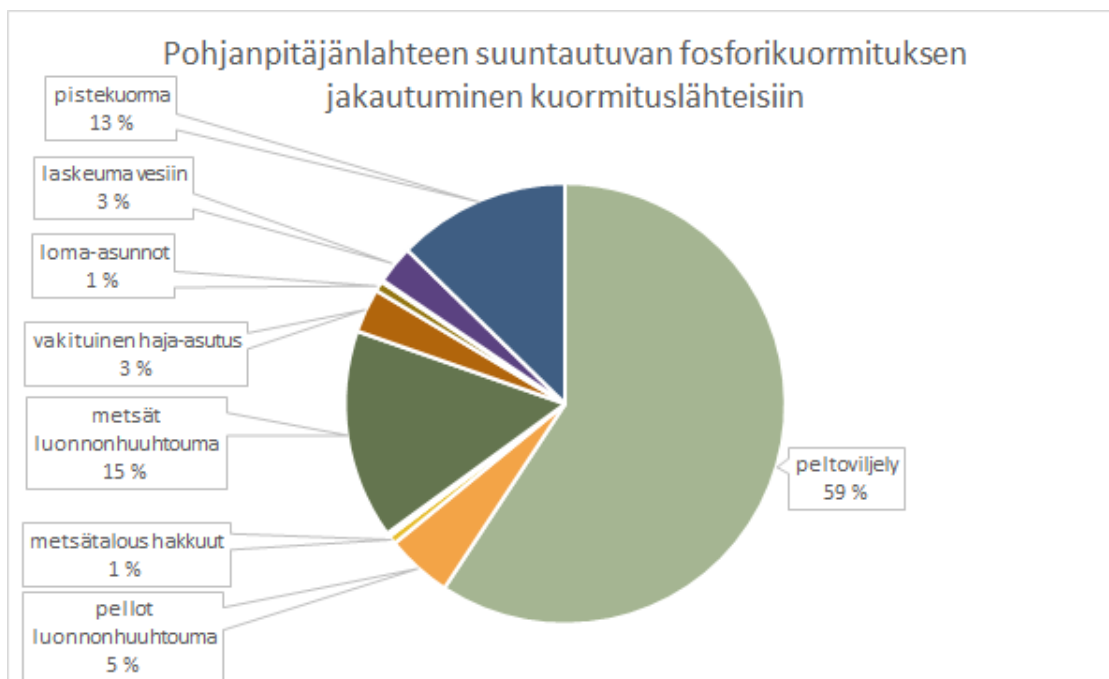
Mustionjoen pellot sijaitsevat pääosin savimailla. Pääasialliset viljelykasvit ovat kevätiljoja, lisäksi alueella viljellään syysviljoja ja nurmea. Vedenlaatu Mustionjoen yläjuoksulla (Pinjaisten yläpuoli) on käyttökelpoisuudeltaan tyydyttävää, eikä esimerkiksi happiongelmiä tai leväkukintoja ole raportoitu. Alajuoksulla veden käyttökelpoisuus on välttävää ja sen hygieeninen tila on yläjuoksua huonompi. Pohjanpitäjänlahden vesi on ollut talvisin vähähappista Mustionjokea pitkin tulevan kuormituksen vuoksi (Leppänen ym. 2018).



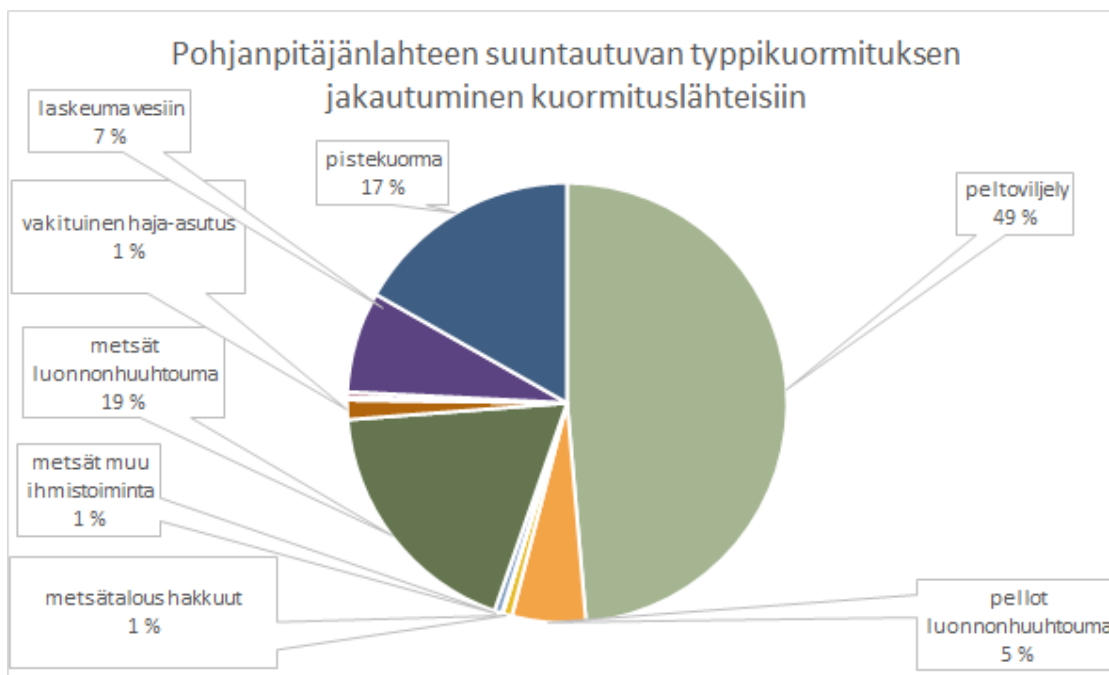
Kuva 3. a) Mustionjoen valuma-alue. Kuvan oikeassa yläkulmassa näkyy koko Karjaanjoen valuma-alue, josta harmaana erotettu Mustionjoen valuma-alue. Mustionjoki on Karjaanjoen vesistön alin jokiosuus, joka ulottuu Lohjanjärvestä Pohjanpitäjänlahteen. b) Mustionjoen maankäyttö Corine2012 mukaan (SYKE 2016a).

Maatalous on koko Karjaanjoen vesistöalueella tärkein ravinnekuormittaja: maatalouden osuus fosforikuormituksesta on noin 60 % ja typpikuormituksesta noin 50 % (SYKE 2021, Kuvat 4 ja 5). Fosforia huuhtoutuu pellolta sekä veteen liunneena että maa-ainekseen sitoutuneena. Vastaavasti typpi on liunneina orgaanisina ja epäorgaanisina yhdisteinä ja maapartikkeleihin kiinnittyneenä maa-vesisuspensionä tai kolloidisessa muodossa valumavesissä. Maatalous on myös tärkeä kiintoainekuormituksen lähde, koska peltojen eroosio nostaa vesistön kiintoainepitoisuutta. Muiden vaikutusten lisäksi ravinteet ja kiintoaine aiheuttavat veteen sameutta.

Muiden hajakuormittajien, metsätalouden ja haja-asutuksen osuudet kuormituksesta ovat huomattavasti maataloutta pienemmät (SYKE 2021, kuvat 4 ja 5). Ravinteiden pistekuormitusta Karjaanjokeen tulee kuormitusta Sappi Groupin tehtaalta Lohjan Kirkniemestä ja Lohjan kaupungin Pitkäniemen ja Peltoniemen jätevesipuhdistamoilta (SYKE 2021, kuvat 4 ja 5), jotka sijaitsevat Lohjanjärven rannalla.



Kuva 4. Suomenlahden Pohjanpitäjänlahteen koko Karjaanjoen valuma-alueelta kulkeutuvan fosforin kuormituslähteet ja niiden osuudet (2013–2021) (SYKE 2021).



Kuva 5. Suomenlahden Pohjanpitäjänlahteen koko Karjaanjoen valuma-alueelta kulkeutuvan typen kuormituslähteet ja niiden osuudet (2013–2021) (SYKE 2021).

3.2. Olosuhdemuutokset

3.2.1. Morfologia

Korkeusero Lohjanjärven ja Pohjanpitäjänlahden välillä on noin 31 metriä. Joki oli aikoinaan vuolaskoskinen ja merkittävä vaelluskalajoki. Ihminen on kuitenkin kautta historian valjastanut sitä omiin tarpeisiinsa heikentäen samalla vaelluskalojen menestymismahdollisuuksia. Vuonna 1560 Mustionjoen uoman ympäristöön perustettiin Mustion ruukki ja vuonna 1641 Billnäsin ruukki. Nykyisin Mustionjoessa on lisäksi neljä voimalapatoa: Åminnefors, Billnäs eli Pinjainen, Peltokoski ja Mustionkoski. Åminneforsin pato uusittiin vuonna 1956, jolloin kalojen vaellusyhteys merestä jokeen katkesi ja joen alkuperäinen lohikanta kuoli sukupuuttoon.

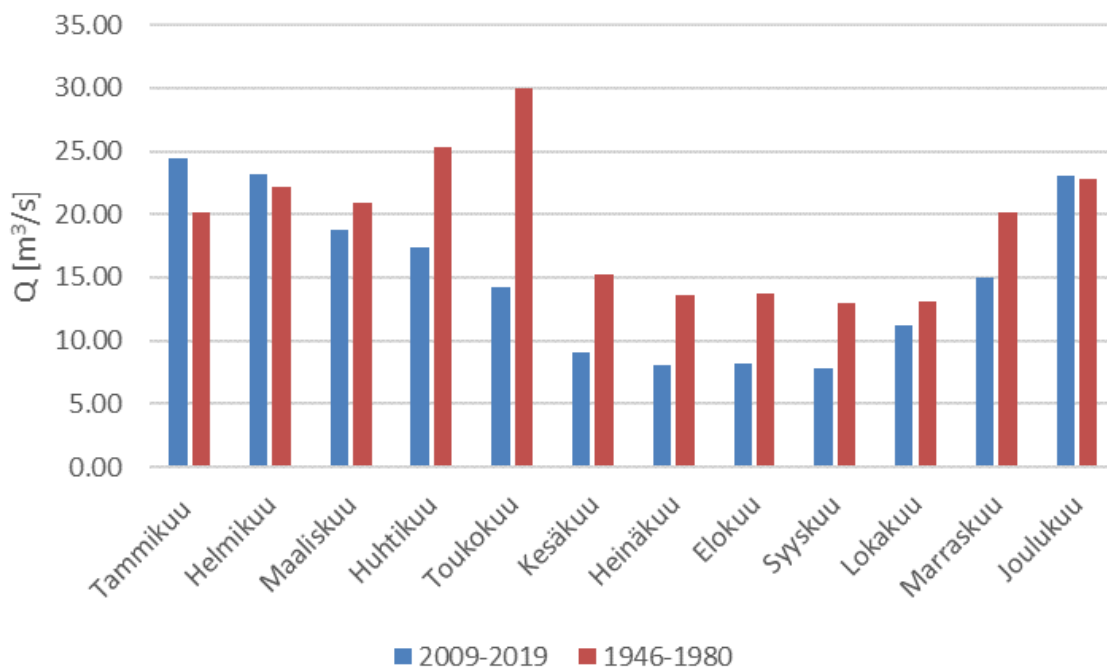
Vuonna 2020 tilanne kuitenkin parani, kun kahden lähimpänä merta sijaitsevan voimalaitoksen, Åminneforsin ja Billnäsin, yhteyteen rakennetut kalatiet avattiin toukokuussa 2020. Kalatiet mahdollistavat lohikalojen pääsyn lisääntymään raakun nykyisille esiintymisalueille Mustionjoessa.

Mustionjokea perattiin 1950-luvulla voimakkaasti, jotta voimaloiden ylä- ja alapuolisen veden välinen korkeusero olisi mahdollisimman suuri. Myös suurin osa joen sivupuroista suoristettiin ja perattiin ojiksi. Kahden valuma-alueella olevan järven, Kirkkojärven ja Päsärträsketin, pintaa laskettiin noin metrillä. Sen seurauksena joenvarrtta ympäröineet tulvaniityt, pensaikko- ja lep-päluhdat hävisivät ja tulvaniityt otettiin viljelykäyttöön. Nykyisin viljelyalat ulottuvat monin paikoin lähes joenrantaan saakka. Aiemmin tulvaniityt suojelivat jokea kiintoaine- ja ravinnekuormitukselta, joten niiden häviäminen lisäsi kiintoaine- ja ravinnekuormitusta jokeen.

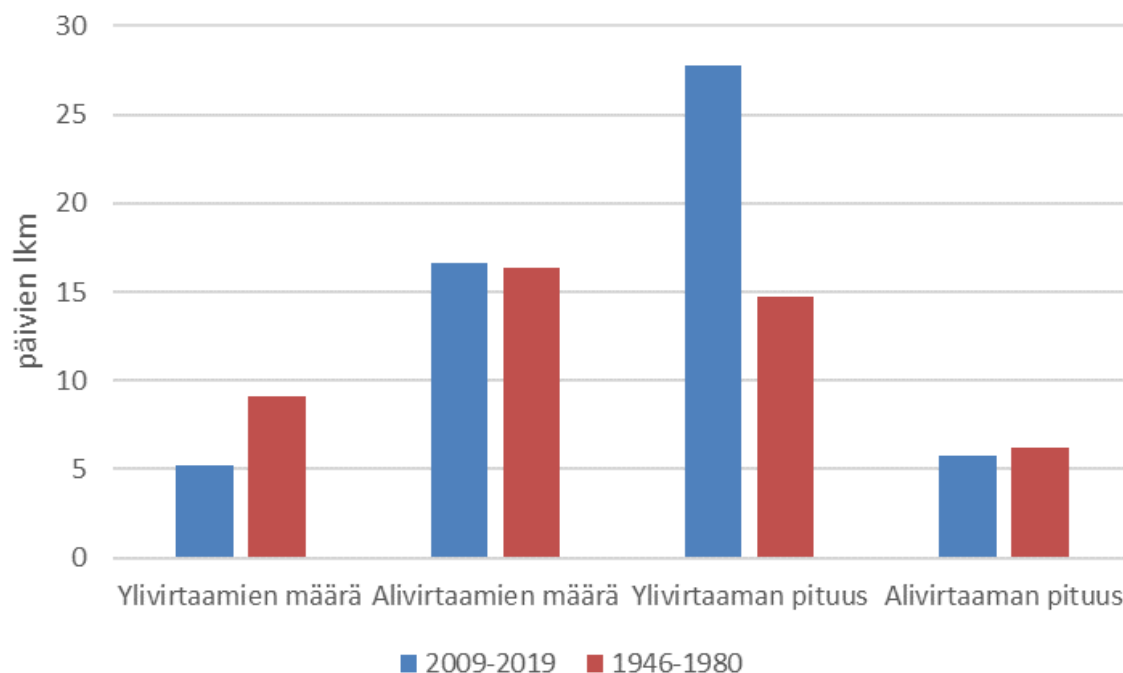
3.2.2. Virtaama ja veden lämpötila

Mustionjoen virtapaikat ovat vähentyneet edellä mainittujen ihmistoimien takia, mutta jäljellä olevissa virtapaikoissa, voimalaitosten alakanavissa ja Junkarsborgissa, on jäljellä jonkin verran sorapohjia. Niissä lohikalojen lisääntyminen on vielä jossain määrin mahdollista (Saura ym. 2010).

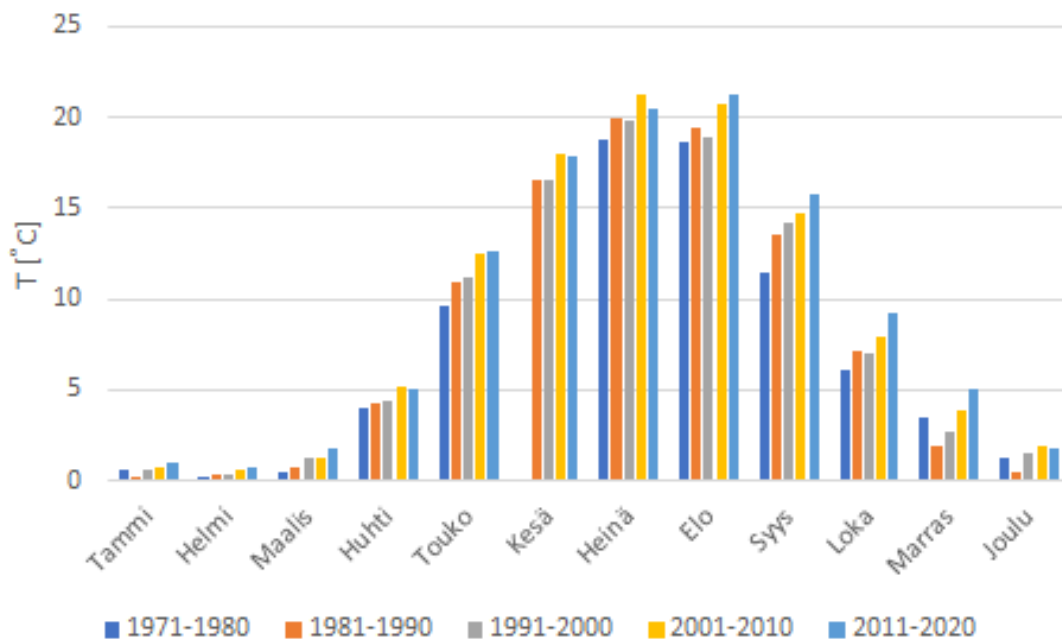
Patojen rakentaminen, pohjan perkaukset ja uomien suoristamiset ovat vaikuttaneet Mustionjoen virtaamaan. Viimeisen kymmenen vuoden aikana erityisesti ilmastonmuutos on vaikuttanut virtaamaoloihin (Veijalainen ym. 2010). Lumien sulamisen aiheuttama kevättulva on pienentynyt, mutta talviaikainen virtaama hieman kasvanut (Kuva 6). Tulvahuippujen eli korkeiden virtauspiikkien määrä on hieman laskenut, mutta niiden aika on pidentynyt (Kuva 7). Jokiveden lämpötila on noussut tasaisesti vuodesta 1971, jolloin sen mittaaminen aloitettiin (Kuva 8).



Kuva 6. Keskimääräiset kuukausivirtaamat Mustionjoessa vuosista 1946–1980 vuosiin 2009–2019 (SYKE 2016a).



Kuva 7. Päivittäisten ylivirtaamien (> 20 m³/s, 7 päivän keskimääräinen maksimivirtaama) ja alivirtaamien (< 5 m³/s, 7 päivän keskimääräinen maksimivirtaama) kehitys vuosista 1946–1980 vuosiin 2009–2019 Mustionjoella (SYKE 2016a).



Kuva 8. Jokiveden lämpötilan kehitys kymmenen vuoden keskiarvoina vuodesta 1971 alkaen Mustionjoella (SYKE 2016a).

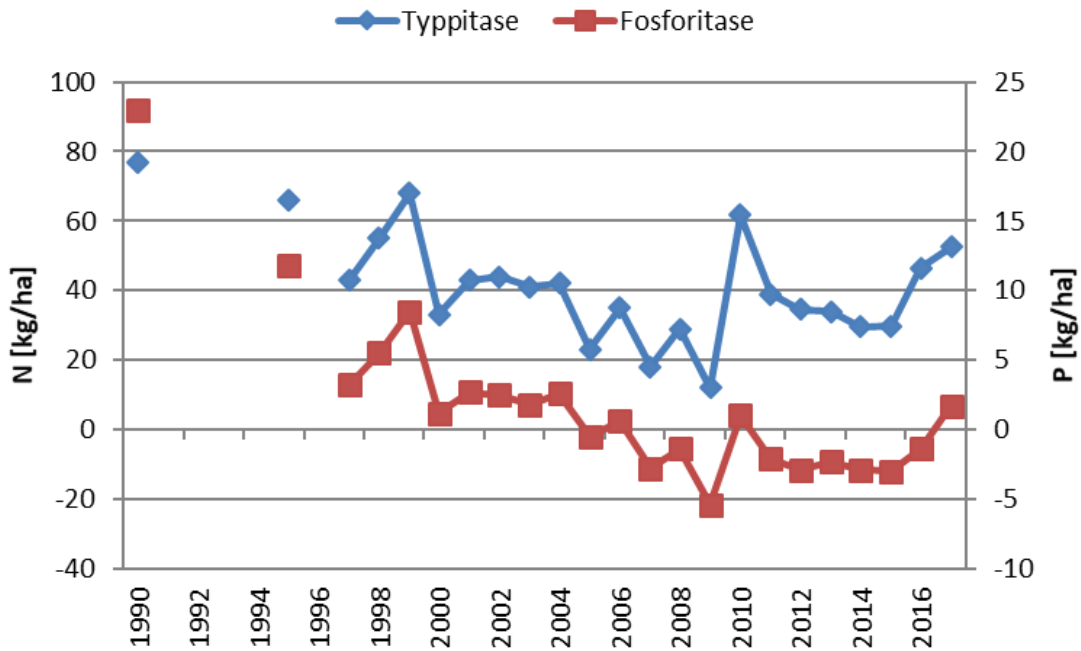
3.2.3. Maatalouden vesiensuojelutoimenpiteet

Maatalouden ympäristöohjelma astui voimaan vuonna 1995, kun Suomi liittyi EU:hun ja alkoi noudattaa sen maatalouspolitiikkaa. Sitä ennen Suomen maatalouspolitiikka kohdistui ennen kaikkea maataloustuotannon sääntelyyn, vaikka joillakin siihen sisältyvillä toimenpiteillä olikin ympäristön kannalta hyviä vaikutuksia. Esimerkiksi 1990-luvun alussa voimassa olleen kesannointivelvoitteen tavoitteena oli vähentää ylituotantoa, mutta samalla se vähensi ravinnekuormitusta vesistöihin.

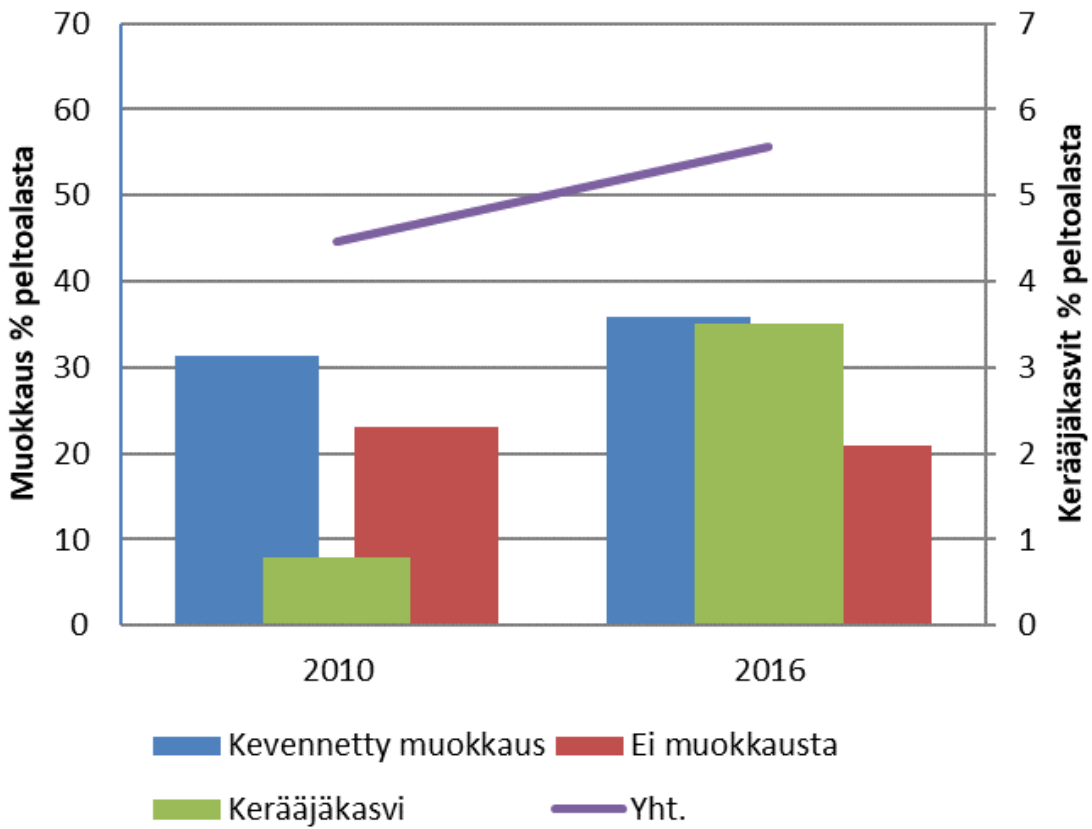
Maatalouden ympäristöohjelman tärkeimmät tavoitteet ovat olleet eroosion vähentäminen ja kasvukauden jälkeen maahan jäävien ravinnevarastojen pienentäminen. Erityisesti maan fosforitason alentaminen on ollut tärkeä tavoite vesistöjen fosforikuormituksen vähentämisessä. Merkittävä osa fosforikuormituksesta kulkeutuu veteen kiintoaineksen mukana, koska merkittävä osa fosforista on sitoutuneena maahiukkasiin.

Tärkeimmät käytössä olevat laaja-alaiset toimenpiteet ovat peltojen kasvipeitteisyyden lisääminen erityisesti kasvukauden ulkopuolella ja ravinnetaseiden laskeminen. Ohjelmaan sisältyy myös kohdennettuja toimenpiteitä, kuten suojavyöhykkeet.

Maatalouden ympäristöohjelman käyttöönoton jälkeen Mustionjoen alueen peltojen lannoitus on vähentynyt (Aakkula ym. 2012). 2000-luvulla keskimääräinen fosforitase on ollut lähellä nolaa (Kuva 9), eli lannoitus on ollut samaa suuruusluokkaa kuin sadon fosforin otto, jolloin maan fosforivarasto ei ole aiempien vuosien tapaan kasvanut. Typpitase on myös laskenut, mutta on ollut edelleen selkeästi ylijäämäinen ja se on myös vaihdellut paljon (kuva 9). Talviaikaisen kasvipeitteisyyden pinta-ala on kasvanut vuodesta 2010 lähtien (LUKE 2016) (kuva 10). Tätä aikaisemmilta vuosilta tilastoja ei ole. Erityisesti kerääjäkasvien viljely on lisääntynyt, mutta pinta-alaosuus on edelleen varsin alhainen. Kerääjäkasvien tarkoitus on sitoa ravinteita kasvustoon, jolloin ne eivät ole niin alttiina huuhtoutumiselle.



Kuva 9. Uudenmaan peltoviljelyn ravinnetaseiden muutokset; Mustionjoen alue on osa Uuttamaata (Luke 2016).



Kuva 10. Kasvipeitteisyyden muutos Uudellamaalla vuodesta 2010; Mustionjoen alue on osa Uuttamaata (Luke 2016).

3.2.4. Vedenlaatu

Mustionjoen vedenlaatua on seurattu 1960-luvulta lähtien (Taulukko 3, Kuvat 11–14). Mittaushistorian aikana veden tyypipitoisuudessa on nähtävissä vuosittaista ja jaksottaista vaihtelu (Kuva 12). 1990-luvun puolivälistä lähtien on kuitenkin nähtävissä pitkän aikavälin laskeva trendi. Myös fosforipitoisuus on mittaushistorian aikana pitkällä aikavälillä laskenut (Kuva 13) (varsinkin jos virtaamassa tapahtuneet muutokset otetaan huomioon (Kuvat 6–7). Mustionjoen veden sameudessa ei sen sijaan ole nähtävissä samantapaista trendimäistä laskua (Kuva 14) kuin ravinnepitoisuuksissa. Sameudella on yhteys pohjan liettymiseen ja sedimenttikerroksen kasvuun.

Raakun kannalta Mustionjoen veden laadussa ja joenpohjan olosuhteissa on parannettavaa, vaikka osin parannusta on jo tapahtunut. Fosforipitoisuus, sähkönjohtavuus ja varsinkin sameus ylittävät kirjallisuudessa esitetyt raakun ja lohikalojen sietorajan (Taulukko 2). Kokonaistypen keskimääräinen pitoisuus mittauspisteissä alittaa kirjallisuudessa esitetyn raja-arvon, mutta joissakin mittauksissa pitoisuus on lähellä sietorajaa.

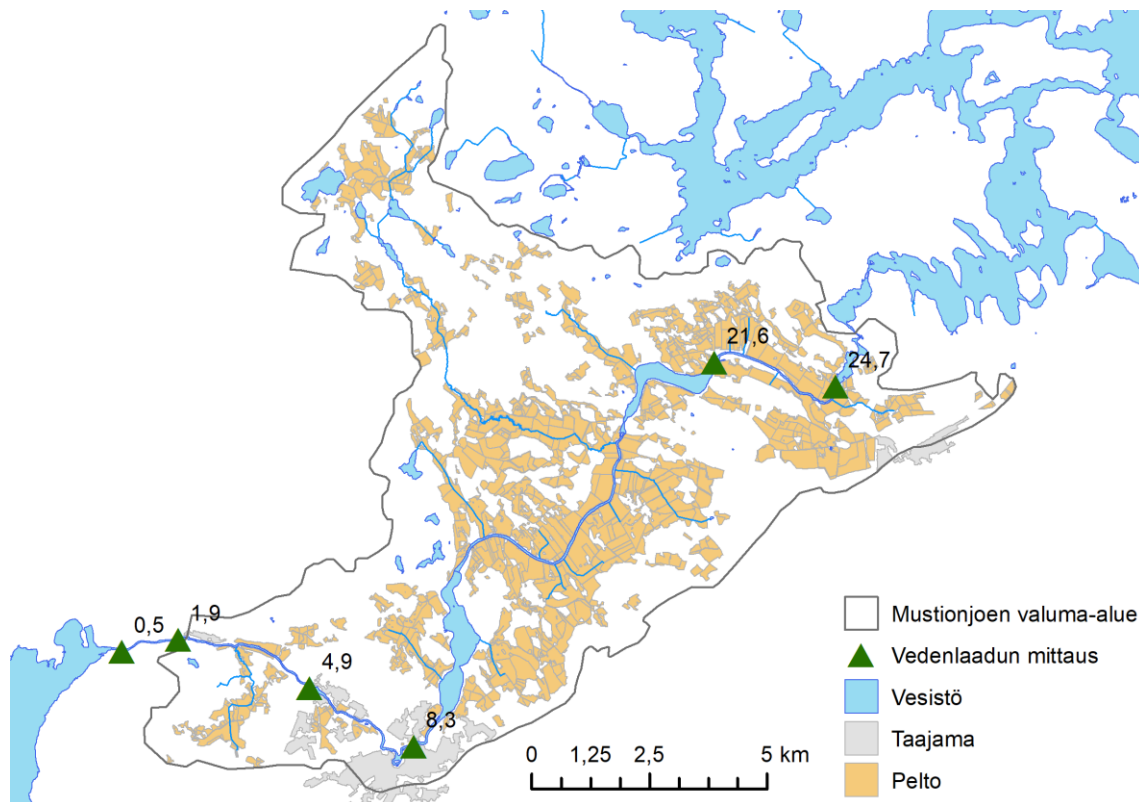
Taulukko 3. Mustionjoen vedenlaatu pitkänajan vuosikeskiarvoina (Törrönen 2016).

Mittauspiste ¹⁾	Mittausjakso	Lämpötila	Happamuus	O ₂ (liuenut)	P	N	Sameus	Väri	Sähkönjohtavuus	Kiintoaine
		° C	pH	mg/l	µg/l	µg/l	FNU	mg Pt/l	mS/m	mg/l
24.7 ¹⁾	1961–2015	9.2	7.3	10.1	31.3	836	5.25	39.8	12.9	4.24
21.6 ¹⁾	1973–2015	9.6	7.4	9.9	31.4	789	5.87	33.1	13.6	4.69
8.3 ¹⁾	1961–2015	9.1	7.3	9.9	35.0	862	7.84	38.9	13.5	5.61
4.9 ¹⁾	1967–2015	8.3	7.2	10.4	35.0	950	10.25	48.9	14.0	5.37
1.9 ¹⁾	1972–2009	9.2	7.3	9.9	37.4	897	7.58	36.2	13.9	5.13
0.5 ¹⁾	1962–2015	9.3	7.3	10.0	36.7	921	8.25	40.1	14.6	5.95
Raja-arvot raakuille ²⁾		4–25	≥6,2	≥9	5–15	≤1000 tai 125 ³⁾	< 1	≤80	≤10	≤10

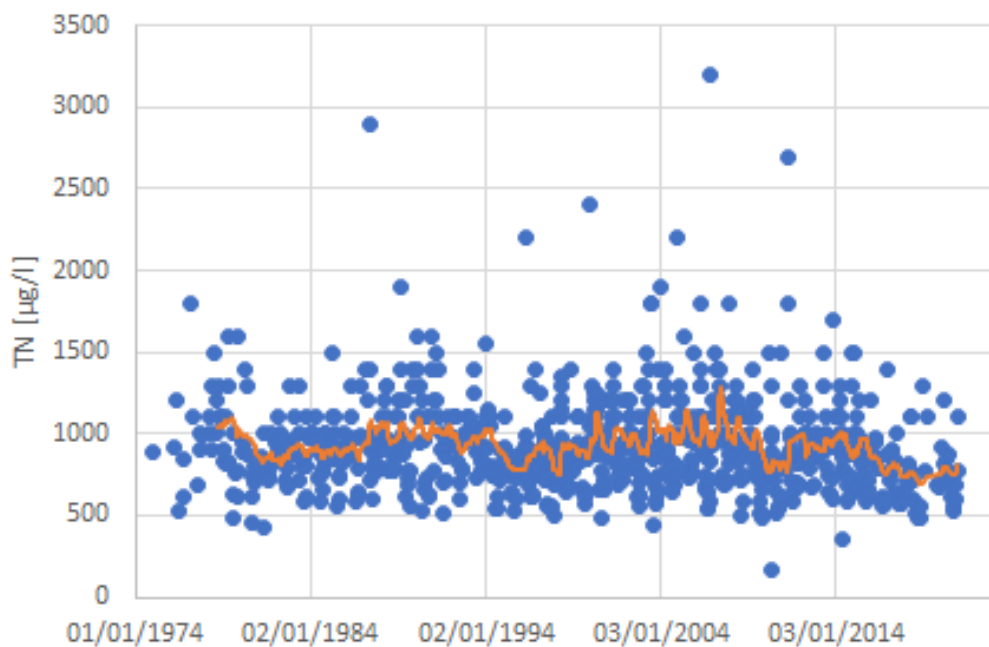
¹⁾ piste kuvasta 11

²⁾ taulukosta 2

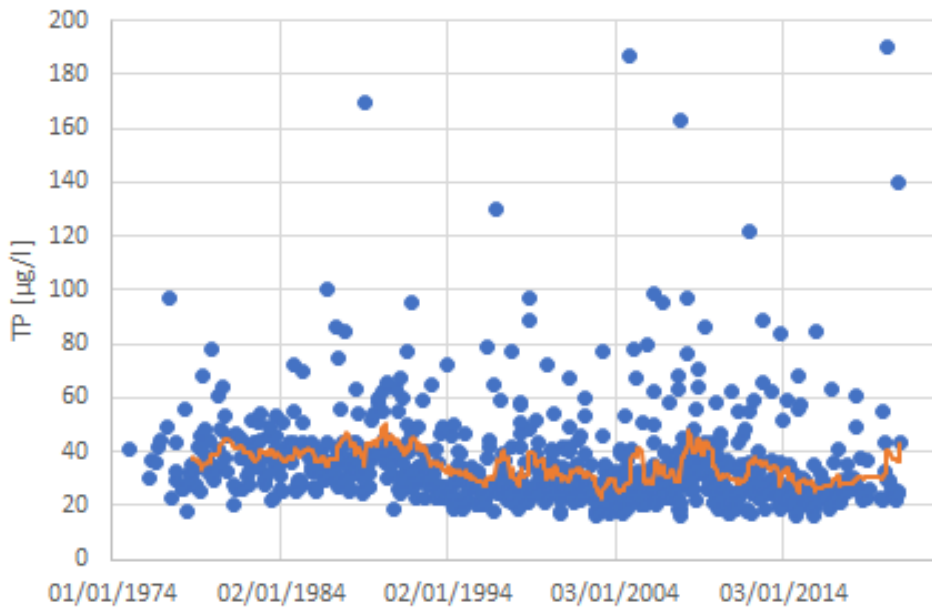
³⁾ ≤1000 on raja-arvo koskee kokonaistyppeä ja 125 nitraattia (NO₃)



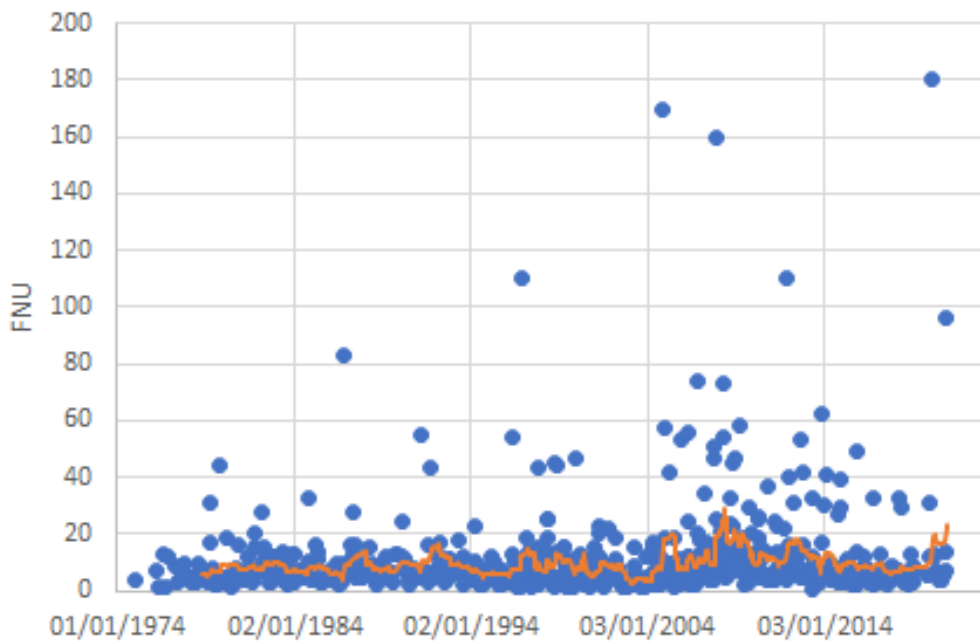
Kuva 11. Taulukossa 3 esitetyt vedenlaadun mittauspisteet Mustionjoella.



Kuva 12. Kokonaistyyppipitoisuuden kehittyminen Mustionjoessa vuosina 1974–2020 (SYKE 2016c).



Kuva 13. Kokonaisfosforipitoisuuden kehittyminen Mustionjoessa vuosina 1974–2020 (SYKE 2016c).



Kuva 14. Sameuden kehittyminen Mustionjoessa vuosina 1974–2020 (SYKE 2016c).

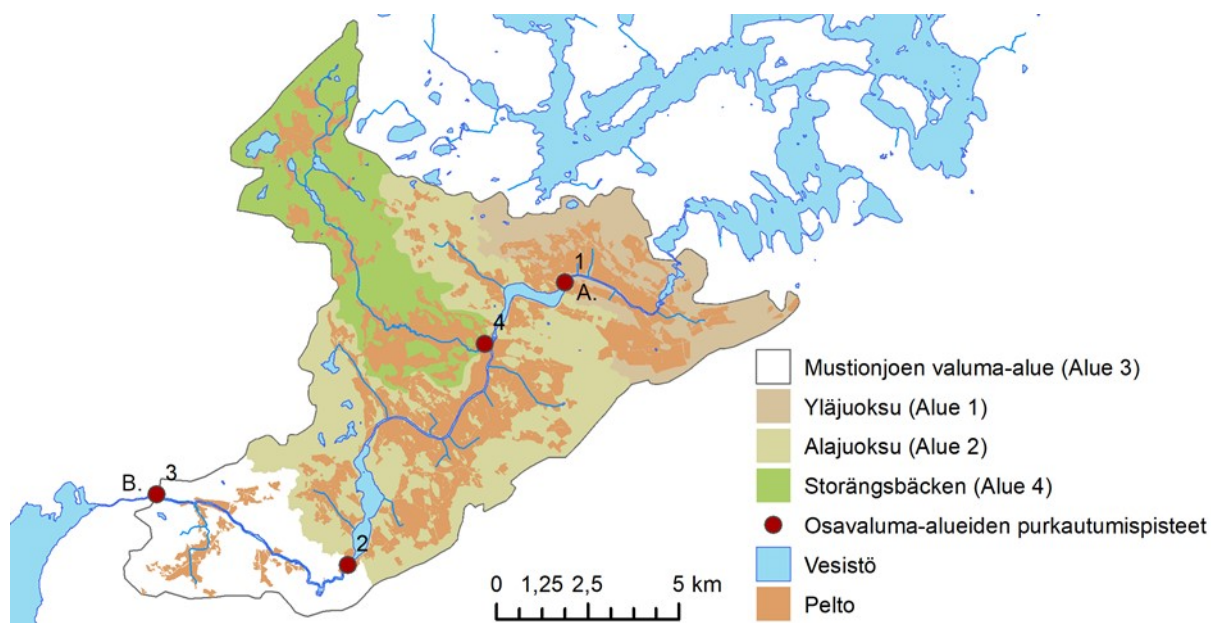
4. Menetelmät

Maatalouden vaikutuksen arvioiminen perustui kolmen erilaisen arviointimallin hyödyntämiseen. Valuma-alueen (ml. maatalous) aiheuttamia ravinne- ja kiintoainekuormituksia eri osiin jokea arvioitiin INCA-valuma-aluemallilla (luku 5.1.1). Eroosiolle herkkiä peltoalueita tunnistettiin ja pelloilta lähtevän eroosion määrää arvioitiin RUSLE-eroosiomallilla (luku 5.1.2). Maataloustuotteille kohdistettuja kuormituksia arvioitiin sekä INCA-mallilla että erityisesti elinkaariarvioinnilla (Life cycle assessment, LCA), jolla arvioitiin myös tuotteiden elinkaarista potentiaalista rehevöittävää vaikutusta (luku 5.1.3). Raakkujen selviytymistä Mustionjoen nykyisessä vedenlaadussa testattiin kokeellisessa kasvatuskokeessa (luku 5.2).

4.1. Valuma-alueelta tulevien kuormitusten mallinnus

Alueellisten kuormitusten arvioinnissa Mustionjoen aluetta tarkasteltiin neljässä osassa: yläjuoksu, alajuoksu, Storängsbäckenin alue ja koko Mustionjoen valuma-alue. Aluerajaukset tehtiin siten, että ne kuvaavat raakkujen esiintymisalueiden tai raakuille mahdollisesti suotuisten alueiden yläpuolisia valuma-alueita. Storängsbäcken ei edusta raakkujen esiintymisalueen yläpuolista valuma-aluetta, vaan aluetta tarkasteltiin yleisesti kuormitusnäkökulmasta. Raakkujen kokeellisessa kasvatuksessa paikkojen valinnassa puolestaan hyödynnettiin tietoa raakkujen aiemmista tunnetuista esiintymispaikoista. Mallinnusalueet ja raakkujen kokeelliset kasvatuspaikat Mustionjoen alueella on merkitty kuvaan 15.

Valuma-alueen toimintojen merkityksen arvioinnin taustaksi kerättiin kirjallisuudesta tietoa raakkujen elinolosuhdevaatimuksista, riskitekijöistä ja Mustionjoen olosuhteista. Nämä asiat on kuvattu luvuissa 2 ja 3.



Kuva 15. Mallinnusalueet ja raakkujen kokeellisen kasvatuksen paikat. Mallinnusalueet on merkitty numeroiduilla osa-valuma-alueiden purkautumispisteillä (1–4) ja kokeellisten kasvatuspaikkojen summittaiset sijainnit puolestaan kirjaimilla (A, B).

4.1.1. INCA-valuma-aluemalli

INCA-malli (Integrated Nutrients from CAthments) on dynaaminen ja prosessipohjainen valuma-aluemalli, jolla voidaan laskea mm. typen, fosforin ja kiintoaineksen kulkeutuminen vastaanottavaan vesistöön. Mallia on kehitetty monikansallisena yhteistyönä (esim. Whitehead ym. 1998, Wade ym. 2004, Jackson-Blake ym. 2016).

Malli on rakenteeltaan osittain (tai näennäisesti) hajautettu, eli se laskee ravinteiden kierron ja kulkeutumisen samanlaisissa, toisiaan vastaavissa maankäyttöluokissa. Malli laskee aineiden fyysiset ja kemialliset prosessit maaperässä ja jokivedessä sekä valunnan maan pintakerroksesta, aktiivisesta maaperäkerroksesta ja pohjavesivarastosta päivän aika-askelilla. Mallia on käytetty Suomessa ilmastonmuutoksen, maankäytön muutosten ja maatalouden ympäristötoimenpiteiden vaikutusten arviointiin. Mallin tarkempi kuvaus on liitteessä 1.

Tässä tutkimuksessa mallinnuksen tavoitteena oli selvittää ravinnekuormituksen aiheuttamia riskejä kolmella raakun nykyisellä esiintymisalueella ja arvioida vedenlaadun parannustoimenpiteiden vaikutuksia. INCA-mallilla arvioitiin, miten maatalouden ympäristötukijärjestelmän eri kuormitusten vähennystoimenpiteet vaikuttavat Mustionjoen vedenlaatuun eri paikoissa jokea (tutkimuskysymys 1), missä kohtaa jokea olosuhteet ovat parhaimmat raakulle (tutkimuskysymys 6) ja mitkä ovat keskeisimmät toimenpiteet, joilla Mustionjoen vedenlaatua voidaan parhaiten parantaa niin, että raakku voisi tulevaisuudessa menestyä joessa (tutkimuskysymys 7).

Valuma-alueen kuormitusten nykytila laskettiin typpi- (INCA-N) ja fosforimalleilla (INCA-P) ajanjaksolle 1995–2018. Tulokset esitetään jakson keskiarvona. Syötetietoina malli vaatii päivittäisen sadannan ja ilman lämpötilan. Nämä tiedot otettiin Ilmatieteen laitoksen Lohjan Porlan sääasemalta. Viljelykasvien viljelyalat perustuivat Ruokaviraston kasvulohkoaineistoon (Ruokavirasto 2020) (taulukko 4), ja satotasot Luken satotilastoihin (Luke 2016). Lannoitustasona käytettiin ympäristöohjelman mukaisia lannoitustasoja, niin että ravinnetaseet noudattivat Uudenmaan tilastollisia lannoitustasojen muutoksia. Talviaikainen kasvipeitteisyyden pinta-ala on Luken tilastoista (Luke 2016) vuodesta 2010 lähtien. Tätä aikaisemmat tiedot ovat peräisin Uudenmaan viljelijöille tehdyistä haastatteluista (Grönroos ym. 1998, Palva ym. 2001, Mattila ym. 2007).

Tutkimuksessa tarkasteltiin viittä skenaariota, joita verrattiin nykytilaan. Ensimmäisessä skenaariossa lannoitustasot ja kasvipeitteinen peltoala olivat samalla tasolla kuin vuonna 1995 (Tilanne 1995), jolloin Suomi liittyi EU:hun ja alkoi seurata sen maatalouspolitiikkaa. Toisessa skenaariossa molemmat edellä mainitut toimenpiteet olivat mahdollisimman hyvällä EU:n ympäristöohjelman määrittelemällä tasolla (Optimaalinen tilanne). Kolmannessa skenaariossa mallinnettiin tilanne, jossa kaikilla pelloilla on nurmipeite (Nurmiviljely), ja neljännessä skenaariossa kaikki pellot ovat luonnonhoitopeltoja tai kesantoja (Potentiaalinen minimi). Viidennessä skenaariossa pumpattiin pieneen sivupuroon (Storängsbacken) puhdasta vettä pellonkäytön ollessa nykytilanteen mukainen (Elvytystilanne).

Taulukko 4. Eri kasvien keskimääräiset viljelyalojen osuudet (%) Mustionjoen eri alueilla vuonna 2012 (Ruokavirasto 2020).

		Nurmet	Kevätviljat	Syysviljat	Puutarhakasvit
Alue 1	Yläjuoksu	31	63	6	0
Alue 2	Alajuoksu	28	50	22	0
Alue 4	Storängsbäcken	35	50	13	1

4.1.2. RUSLE-eroosiomalli

RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) on vesieroosion arvioinnissa laajalti käytetty empiirinen malli (Renard ym. 1997). Mallia kehitettiin alun perin Yhdysvalloissa (Wischmeier & Smith 1978) ja sitä on sovellettu useissa Euroopan maissa. Mallia on kehitetty paikkatietopohjaiseksi (RUSLE2015) EU:n yhteistutkimuskeskuksessa (JCR) Euroopassa kootun mitta-aineiston pohjalta (Panagos ym. 2015) ja sitä on myös testattu ja sovellettu aiemmin Suomessa (Lilja ym. 2017a ja 2017b). Lukessa nykyisin käytössä olevaa RUSLE-mallia on tarkennettu (Räsänen ym., käsikirjoitus) hyödyntäen uusia aineistoja ja aikaisempia eurooppalaisia (Panagos ym. 2015) ja suomalaisia kokemuksia (Lilja ym. 2017a ja 2017b).

RUSLE-mallissa eroosio (E) lasketaan sadetekijän (R), maaperätekijän (K), pinnanmuototekijän (LS), maanpeitetekijän (C) ja eroosion torjuntatekijän (P) tulona ja mallin antama eroosioarvio on muotoa t/ha/v. Sadetekijä vaikuttaa eroosioon sadetapahtuman sadepisaroiden liike-energiolla. Maaperätekijä taas kuvaa maan omaa taipumusta eroosioon ja se riippuu maan eloperäisen aineksen määrästä, pintarakenteesta, vedenjohtokyvystä ja profiilin rakenteesta. Pinnanmuototekijään yhdistyy rinteiden pituus ja jyrkkyys. Rinteiden pituus alkaa pisteestä, jossa vesi alkaa virrata rinnettä alaspäin ja loppuu veden kertymispisteeseen. Maanpeitetekijän lukuarvo kuvaa maanpinnan suhteellista eroosiota paljaan maan ja kasvipeitteisen maan välillä. Se on mallin merkittävin tekijä ja siihen vaikuttavat viljelykasvi, muokkauskäytännöt, sadonkorjuun kasvijäänteet ja suojakasvit. Eroosion torjuntatekijässä voidaan huomioida esimerkiksi suojavyöhykkeiden ja salaojien eroosiota vähentävä vaikutus. Mallin merkittävänä etuna on sen yksinkertaisuus ja vahva empiirinen pohja, jotka mahdollistavat tehokkaan eroosiokarttojen tuotannon ja käytön.

Tässä tutkimuksessa RUSLE-mallinnuksen tavoitteena oli selvittää eroosion aiheuttamia riskejä ja eroosion vähentämismahdollisuuksia kolmella raakun esiintymisalueella (tutkimuskysymykset 3, 4, 5 ja 7). Tätä varten laskettiin kaksi erilaista eroosiomäärettä. Ensimmäinen oli *potentiaalinen eroosioriski*, jossa kaikille peltolohkoille oletettiin sama käyttömuoto (avokesanto), jotta eri kasvien ja maanmuokkausmenetelmien vaikutukset voitaisiin poissulkea ja pellot olisivat keskenään vertailukelpoisia. Toinen eroosiomäärä on *todellinen eroosioriski* ja siinä huomioitiin vuoden 2019 viljely- ja toimenpidetiedot Ruokaviraston kasvulohkoaineiston (Ruokavirasto 2020) tietojen mukaisesti. Molempien eroosioriskimäärien laskenta perustuu vuosien 2007–2013 väliseen keskimääräiseen sadantaan. Eroosion vähennysmahdollisuuksia arvioitiin skenaarioiden avulla, joissa keskityttiin talviaikaisen kasvipeitteisyyden vaikutukseen. Lisäksi työssä arvioitiin suojavyöhykkeiden ja niitä vastaavien kasvipeitteiden määrää vesistöjen läheisyydessä sijaitsevilla peltolohkoilla. Eroosiolaskenta toteutettiin kaikille maatalousmaille kahden metrin resoluutiolla. RUSLE-mallin ja mallinnusprosessin tarkempi kuvaus on liitteessä 2.

4.2. Maataloustuotteiden rehevöittävien vaikutusten arviointi elinkaariarvioinnilla

Elinkaariarviointi (LCA, Life Cycle Assessment) on standardoitu (ISO 14 040 -sarja) menetelmällinen viitekehys tuotteen (tai palvelun) elinkaarien ympäristövaikutusten tarkastelemiseksi. Elinkaarisuus tarkoittaa sitä, että tarkasteluun sisällytetään koko tuotanto-kulutusketju mukaan lukien eri vaiheissa käytettyjen tuotantopanosten tuotantoketjut ja tuotetut jätteen sekä niissä syntyneet ympäristökuormitukset. Elinkaariarvioinnin inventaariovaiheessa arvioidaan kuormitukset (yleensä päästöt) ja kohdistetaan ne tuotteelle (tai tuotteille jos kyseessä on tuotantoketju, jossa syntyy samanaikaisesti useita tuotteita) eli kuormitusten määrä suhteutetaan kussakin ketjun vaiheessa tuotannonmäärään (tai -määriin). Elinkaaren eri vaiheissa syntyneet

kuormitukset lasketaan yhteen käyttäen kullekin ympäristövaikutukselle määritettyä karakterisointimallia. Karakterisointimallissa kukin päästö saa oman karakterisointikertoimensa, joilla kuormitustekijöiden (yleensä päästöjen) vaikutus suhteutetaan toisiinsa. Karakterisointimallit perustuvat tieteellisesti tunnistettuihin ympäristövaikutusmekanismeihin. Arvioinnin lopputuloksena saadaan arvioinnin kohteena olevan tuotteen potentiaaliset ympäristövaikutukset eri ympäristövaikutusluokissa.

Johtuen elinkaariarvioinnin luonteesta arvioidut ympäristövaikutukset syntyvät eri paikoissa ja siten ne voivat myös kohdistua eri paikkoihin, jos vaikutus on paikallinen, niin kuin esimerkiksi rehevöityminen on. Esimerkiksi ilmastovaikutus sen sijaan on globaali ympäristövaikutus, koska se kohdistuu maailmanlaajuiseen ilmastoon riippumatta vaikutuksen syntypaikasta. Paikallisissa ympäristövaikutuksissa myös vastaanottava ekosysteemi (ei ainoastaan ekosysteemiin kohdistuvat päästöt) osallistuu vaikutuksen muodostumiseen. Tyypillisesti elinkaariarviointi ei pysty ottamaan huomioon kaikkia lopullisen ympäristövaikutuksen syntyyn vaikuttavia ekosysteemin piirteitä vaan se perustuu kuormitustekijöihin kuten päästöihin. Elinkaariarvioinnin tulokset eivät siis koskaan kerro jossakin tietyssä ympäristössä toteutuneista ja esimerkiksi mitatuista ympäristövaikutuksista, vaan tulokset kertovat tuotteeseen liittyvistä laskennallisista ympäristövaikutusten synnyn mahdollisuuksista (potentiaalinen vaikutus), jotka perustuvat tieteellisesti tunnistettuihin vaikutusmekanismeihin. Elinkaariarvioinnin vahvuus on siinä, että se ottaa huomioon koko tuotanto-kulutusketjun. Se auttaa välttämään ketjunsuuntaisen osaoptimoinnin tuotantoprosessien ympäristövaikutusten vähentämisessä. Se mahdollistaa myös eri tuotteiden ympäristövaikutusten vertaamisen, mikäli arvioinnin yksityiskohdissa on käytetty samoja (tai muuten vertailukelpoisia) menetelmiä, esim. päästö- ja vaikutusarviointimallit potentiaalisen rehevöittävän vaikutuksen arvioinnissa.

Kokonainen elinkaariarviointi kattaa koko tuotanto-kulutusketjun ja kaikki ympäristönäkökohdat. Osittaisessa elinkaariarvioinnissa tarkasteluun sisällytetään vain osa tuotanto-kulutusketjun vaiheista tai vain osa ympäristövaikutuksista. Tässä tutkimuksessa sovellettiin tällaista osittaista elinkaariarviointia, joka kohdistui kahden Mustionjoen alueella tuotetun alkutuotannon tuotteen, ohran ja nurmen, potentiaaliseen vesistöjä rehevöittävään vaikutukseen. Arvioinnilla vastataan tutkimuskysymykseen 2. Tulokset esitetään sekä tuotekiloa että viljelyhehtaaria kohden, eli toiminnallisia yksiköitä oli kaksi, kilo tuotetta ja ha.

Ohra ja nurmi valittiin tarkasteltaviksi tuotteiksi, koska ne ovat Mustionjoen alueen yleisimmät viljelykasvit. Tarkasteltavat tuotejärjestelmät sisälsivät viljelyn tärkeimpien tuotantopanosten kuten lannoitteiden ja kalkitusainesten valmistuksen ja käytön, peltotyökoneiden energiankäytön ja energialähteiden valmistuksen, maaperän päästöt (erityisesti fosfori) ja sadonkäsittelyn.

Alun perin tutkimuksessa oli tarkoitus arvioida maataloustuotteiden potentiaaliset rehevöittävät vaikutukset tilakohtaisesti niille tiloille, jotka olisivat ilmoittaneet halukkuutensa arviointiin. Näin maanviljelijöille olisi ollut mahdollista ehdottaa tila- ja lohko kohtaisia toimenpiteitä kuormituksen vähentämiseksi ja tilan tuotteiden rehevöittävän vaikutuksen pienentämiseksi. Mahdollisuutta tilakohtaiseen arviointiin tarjottiin kahdessa tiloille järjestetyssä tilaisuudessa, mutta arviointiin halukkaita viljelijöitä ei löytynyt. Tämän takia tuotteiden elinkaariarvioinnissa käytettiin lähtötietoina Mustionjoen alueen keskimääräisiä viljelytietoja. Nämä elinkaariarvioinnin lähtötiedot on esitetty liitteen 3 taulukoissa 1–3.

Potentiaalinen rehevöittävä vaikutus (potential eutrophication) valittiin tarkasteltavaksi vaikutusluokaksi, koska se kuvaa tuotannon vaikutusta kahteen keskeiseen raakun olosuhdevaatimukseen, typen ja fosforin pitoisuuteen vesistössä. Myös kiintoainekuormitus (erosio) vaikut-

tavaa rehevöittävä vaikutuksen tulokseen, koska arvioinnissa käytetty päästömalli ottaa eroosion huomioon tärkeänä fosforin päästölähteenä. Rehevöittävä vaikutus ei kuitenkaan kuvaa kaikkia raakkuun kohdistuvia kuormitustekijöitä.

Rehevöittävä vaikutuksen vaikutusarviointimenetelmä oli Seppälän ym. (2004) mukainen, jossa rehevöittävä vaikutuksen yksikkönä on g PO₄-ekvivalenttia per kg tuotetta. Menetelmässä rehevöittävien päästöjen, typen ja fosforin, vaikutus suhteutetaan fosfaatin (PO₄³⁻) rehevöittävä vaikutukseen käyttämällä karakterisointikertoimia, minkä jälkeen kaikkien päästöjen määrät lasketaan yhteen kuvaamaan tuotteen (elinkaarista) potentiaalista rehevöittävä vaikutusta. Esimerkiksi 1 kg:n ammoniakkin (NH₃) rehevöittävä vaikutus (karakterisointikerroin) on 0,35 kg PO₄-ekvivalenteja, tarkoittaen että yhden ammoniakikilon potentiaalinen rehevöittävä vaikutus on sama kuin 0,35 kilolla fosfaattia.

Rehevöittävä vaikutuksen arviointi perustuu tuotantoketjun typen ja fosforin huuhtoumiin. Ohran ja nurmen viljelyn typen ja fosforin huuhtoumat laskettiin päästömalleilla, jotka on kuvattu Saarisen ym. (2011) raportissa ja jotka nojaavat Luken (ent. MTT) ja SYKEN valuma-alue-tutkimuksissa kerättyihin havaintoaineistoihin. Näiden yleisesti Luken elinkaarimallinnuksessa käytettävien päästömallien tuottamia tuloksia verrattiin myös INCA-mallin tuottamiin tuloksiin huuhtoumien ja rehevöittävien vaikutusten (vaikutusluokkaindikaattorin) tasolla.

Päästöt arvioitiin sekä nykytilalle että vuodelle 1995. Päästöt esitetään tyyppillisestä elinkaariarvioinnin inventaariotuloksesta poiketen viljelyalaa (eikä tuotekiloa) kohden, eli kg/ha. Hehtaarikohtaiset päästöt kuvaavat tuotekohtaisia päästöjä paremmin todellista kuormitusta paikalliseen vesistöön.

Ohran ja nurmen elinkaarimallit ja rehevöittävä vaikutuksen arviointi tehtiin SimaPro -ohjelmalla (SimaPro9, <https://simapro.com/>).

4.3. Raakkujen kasvatuskoe

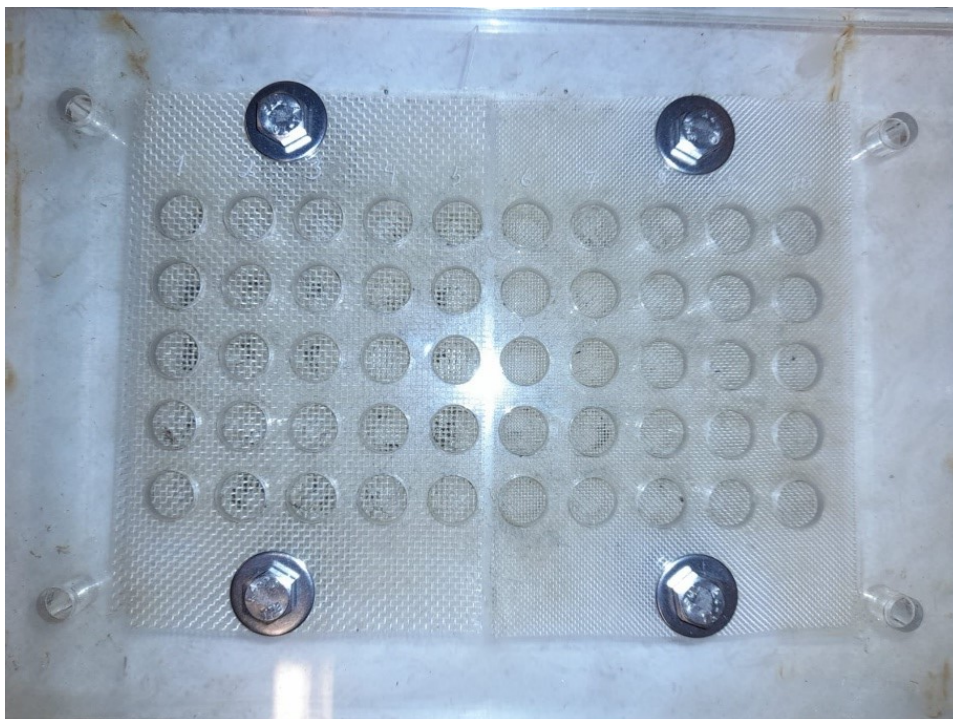
Karjaanjoen alueella toteutettiin vuonna 2020 raakunpoikasten kasvatuskoe. Kasvatuskoe vastasi tutkimuskysymykseen 8 ja osaltaan tutkimuskysymykseen 9.

Alun perin Mustionjoelta ja Ähtävänjoelta peräisin olevien raakkujen jälkeläisiä kasvatettiin noin 5 kuukautta (10.6.–7.11.2020) Mustionjoen pääuomassa Junkarsborgissa ja Åminneforsissa (Kuva 15) ja vertailukohteessa Vihtijoen latvojen alueella pohjoisemmassa. Åminneforsin ja Junkarsborgin kasvatuspaikat valittiin vuonna 2015 tehdyn selvityksen perusteella tunnetuista raakkujen esiintymisalueilta. Vihtijoen latva valittiin vertailupaikaksi sillä perusteella, että vedenlaadun oletettiin olevan siellä Mustionjokea parempi, koska Vihtijoen latvoilla valuma-alue on metsätalousvaltainen. Raakkujen sijoituspaikoiksi valittiin raakkujen luonnollista elinympäristöä muistuttavat ympäristöt, joissa virtausnopeus on raakkujen kannalta optimaalinen.

Kasvatuskokeessa käytetyt raakut olivat irrottautuneet isäntäkaloistaan alkukesällä 2019 Konneveden tutkimusasemalla ja niitä seurattiin laitosolosuhteissa vuosi ennen istuttamista. Istutushetkellä kesäkuussa 2020 poikaset olivat kasvaneet 1–2 millimetrin kokoisiksi.

Raakut asetettiin Buddensiek-levyihin (Kuva 16) kasvamaan valituille istutusalueille Buddensiek-levyt kiinnitettiin harjaterästankoihin ja ne asetettiin uoman pohjaan likimain kohtisuoraan veden virtaussuuntaa vastaan, mikä mahdollisti veden virtauksen kulkemisen levyjen lä-

vitse. Yksi Buddensiek-levy koostui 50 reiästä, jonne raakut sijoitettiin. Raakkujen lisäksi istutusalueille asetettiin tyhjiä Buddensiek-levyjä eri verkonkarkeuksilla liettymisen seuraamiseksi. Lisäksi kasvatuspaikkojen vedenlaatua seurattiin.



Kuva 16. Buddensiek-levy, jossa kahden eri silmäkoon suojaverkkoa.

Raakkujen kasvua seurattiin kolme kertaa kesän 2020 aikana toistuvalla mittauksella. Raakut siirrettiin Buddensiek-levystä petrimaljalle pipetin avulla ja raakkujen pituus mitattiin mitta-asteikolla varustetulla mikroskoopilla. Mittauksen jälkeen yksilö siirrettiin takaisin Buddensiek-levyn numeroituun koloon.

4.3.1. Kasvatuspaikkojen vedenlaadun seuranta

Mustionjoen Junkarsborgin ja Åminneforsin ympäristössä vedenlaatutiedot perustuvat säännölliseen vesinäytteenottoon. Junkarsborgin osalta käytetyt havaintopisteet ovat aivan Junkarsborgin tuntumassa sijaitseva Mustionjoki 21,6 sekä tämän yläpuolella oleva Bruksträsketin luusua (vrt. kuva 11. Åminneforsin voimalaitoksen kohdalla havaintopaikkaa ei ole, joten data on kerätty Åminneforsin ylä- (Mustionjoki 4,9) ja alapuolelta (Mustionjoki 0,5) saatujen tulosten perusteella.

Vihtijoen latvoille asennettiin jatkuvatoiminen vedenlaadun mittausasema toukokuussa 2020, ennen raakkujen viemistä uomaan, joten sieltä oli mahdollista saada reaaliaikaista vedenlaatu-tietoa koko raakkujen kasvun seuranta-ajalta. Jatkuvatoimisen mittauksen lisäksi Vihtijoesta otettiin kuukausittain laboratorionäytteitä erityisesti raakkujen menestymisen kannalta tärkeistä parametreista (taulukko 1). Vihtijoen kiintoainepitoisuutta ei seurattu (jatkuvatoimisesti), vaan se estimoitiin lineaarisen regression avulla käyttäen sameusarvoja lähtötietoina. Sademäärätiedot haettiin Ilmatieteen laitoksen Vihdin Hiiskulan mittausaseman seurannasta (Ilmatieteenlaitos 2020).

5. Tulokset

5.1. INCA-malli – veden ravinnepitoisuudet eri skenaarioissa

Alueilla 2 ja 4 keskimääräinen nitraattipitoisuus ylitti raakuille ja lohikaloille esitetyn nitraatin raja-arvon (125 µg/l; taulukko 2) kaikissa skenaarioissa, mutta alueella 1 raja-arvo ei ylittynyt (Taulukko 5). Keskimääräinen fosforipitoisuus jäi alle fosforin raja-arvon (35 µg/l) alueilla 1 ja 2 kaikissa skenaarioissa, mutta ylittyi alueella 4 niin ikään kaikissa skenaarioissa (Taulukko 5).

Taulukko 5. Nitraatin ja kokonaisfosforin keskimääräiset pitoisuudet (µg/l) ja niiden keskihajonnat eri skenaarioissa.

	Skenaario	Alue 1	Alue 2	Alue 4
		Nitraatti (NO ₃) µg/l		
	Nykytila	84 (±126)	304 (±357)	766 (±351)
	Tilanne 1995	124 (±197)	453 (±560)	1144 (±525)
	Optimaalinen	114 (±114)	280 (±321)	710 (±329)
	Nurmiviljely	54 (±81)	217 (±255)	628 (±344)
	Potentiaalinen minimi	44 (±62)	179 (±196)	509 (±269)
	Elvytystilanne			566 (±302)
		Kokonaisfosfori µg/l		
	Nykytila	2.32 (±2.61)	10.2 (±14.14)	89.60 (±55.67)
	Tilanne 1995	2.40 (±2.71)	10.7 (±14.7)	92.85 (±57.35)
	Optimaalinen	2.25 (±2.5)	9.93 (±13.9)	89.26 (±56.14)
	Nurmiviljely	2.61 (±2.81)	11.91 (±14.14)	96.97 (±60.86)
	Potentiaalinen minimi	2.14 (±2.14)	10.11 (±11.30)	76.28 (±59.32)
	Elvytystilanne			37.39 (±17.22)

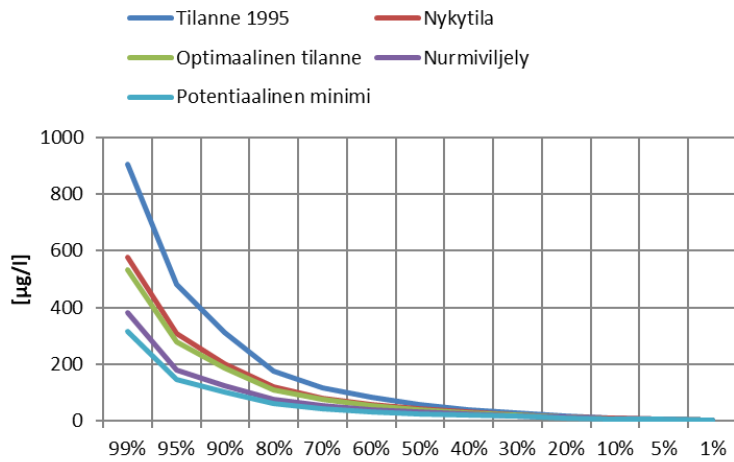
Päiväkohtaisten ravinnepitoisuustulosten mukaan Alueella 1 veden nitraattipitoisuus pysyi alle raakkujen sietokyvyllä esitetyn raja-arvon (125 µg/l) 80 % päivistä Nykytilanteessa ja Optimaalisessa tilanteessa ja Potentiaalinen minimi ja Nurmiviljely-skenaarioissa lähes 90 % päivistä. Tilanne 1995-skenaariossa nitraattipitoisuus pysyi alle raja-arvon hieman yli 70 % päivistä. Kääntäen ilmaistuna Tilanne 1995-skenaariossa nitraatin raja-arvo (125 µg/l) siis ylitettiin lähes 30 % päivistä, Nykytilanne- ja Optimaalinen tilanne -skenaarioissa noin 20 % päivistä ja Potentiaalinen minimi- ja Nurmiviljely-skenaarioissa lähes 10 % päivistä (Kuva 17 a).

Alueella 2 nitraatin raakulle sietokyvyllä esitetty raja-arvo (125 µg/l) ylitettiin Tilanne 1995-skenaariossa 80 % päivistä, Nykytilanteessa ja Optimaalisessa tilanteessa noin 70 % päivistä, Nurmiviljely-skenaariossa 60 % päivistä ja Potentiaalinen minimi -skenaariossa 50 % päivistä (Kuva 17 b).

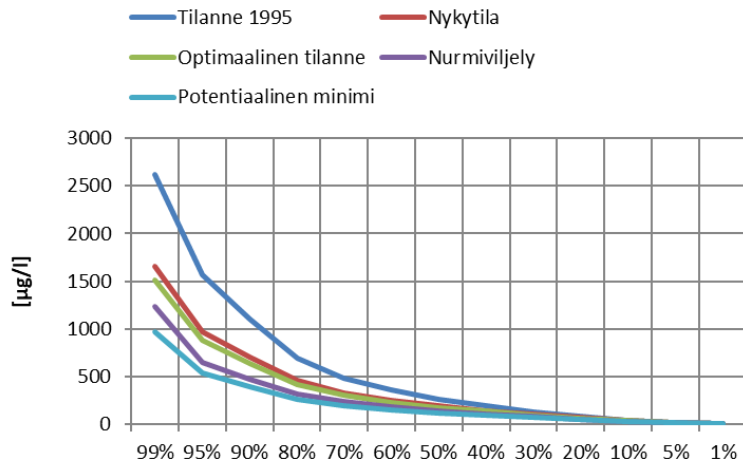
Alueella 4 nitraatin raja-arvo ylitettiin lähes koko ajan kaikissa muissa skenaarioissa paitsi Elvytystilanne-skenaariossa, jossa nitraattipitoisuus jäi alle raja-arvon 20 % päivistä.

Fosforipitoisuuksissa ei havaittu eroja eri skenaarioiden välillä (Kuva 18). Raja-arvo (35 µg/l) ylittyi 25 % päivistä Alueilla 1 ja 2 (Kuva 18 a ja b) ja Storängsbäckenin alueella lähes koko ajan kaikissa skenaarioissa (Kuva 18 c).

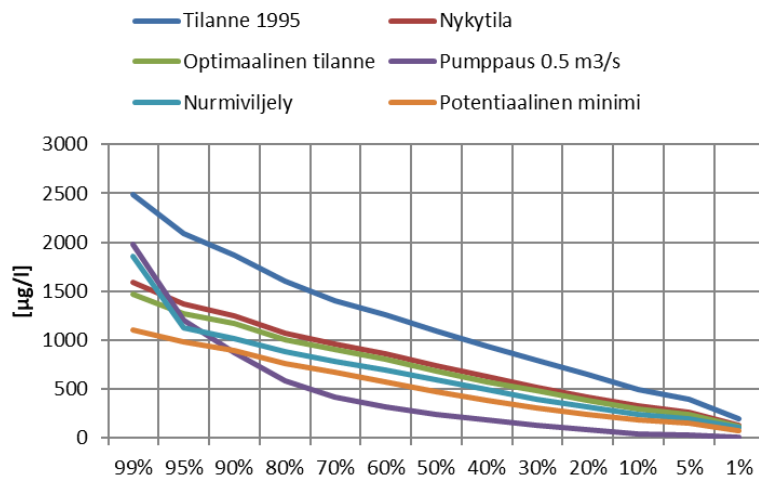
a)



b)

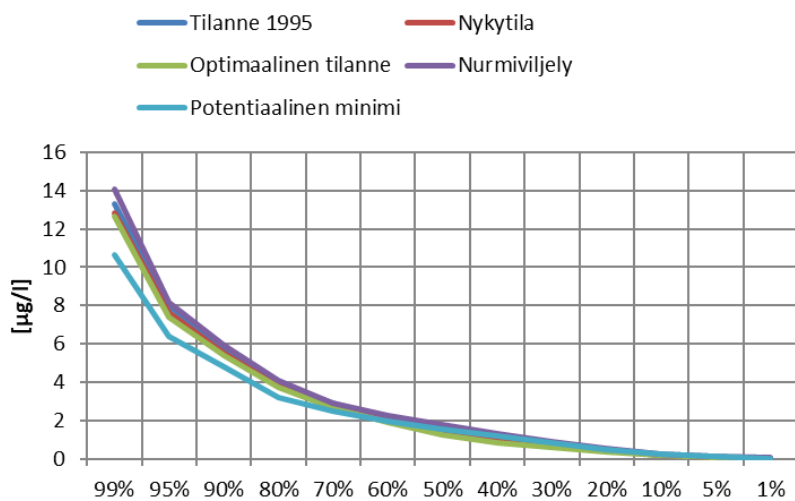


c)

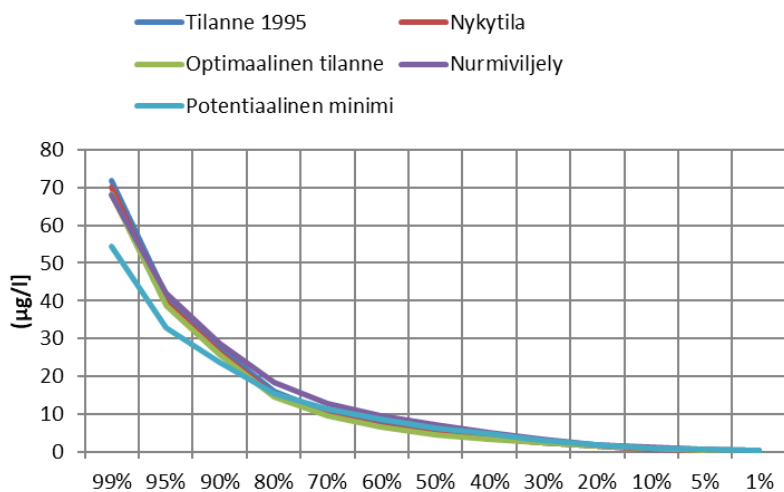


Kuva 17. Nitraattikonsentraation frekvenssit mallinnetuilla alueilla a) Alue 1 (yläjuoksu), b) Alue 2 (alajuoksu) ja c) Alue 4 (Storängsbäcken). Kuvassa y-akselilla on nitraattipitoisuus (NO_3 $\mu\text{g/l}$) ja x-akselilla pitoisuuden frekvenssi (esiintyminen) päivien osuutena (Pumppaus = Elvytystilanne).

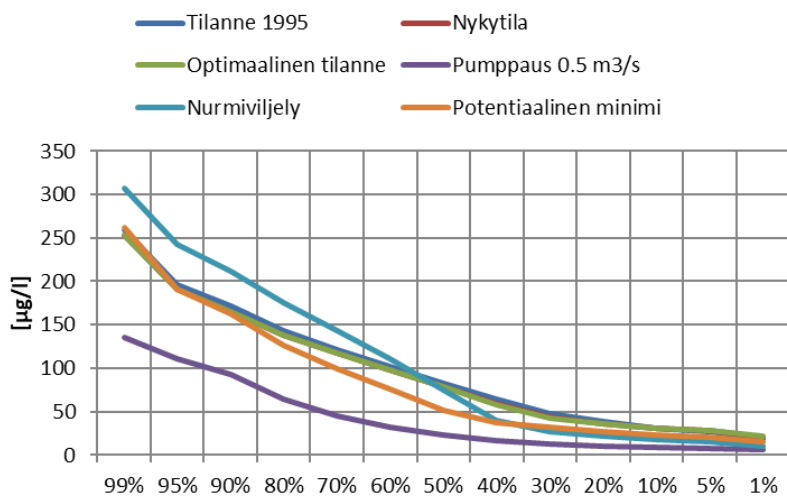
a)



b)



c)



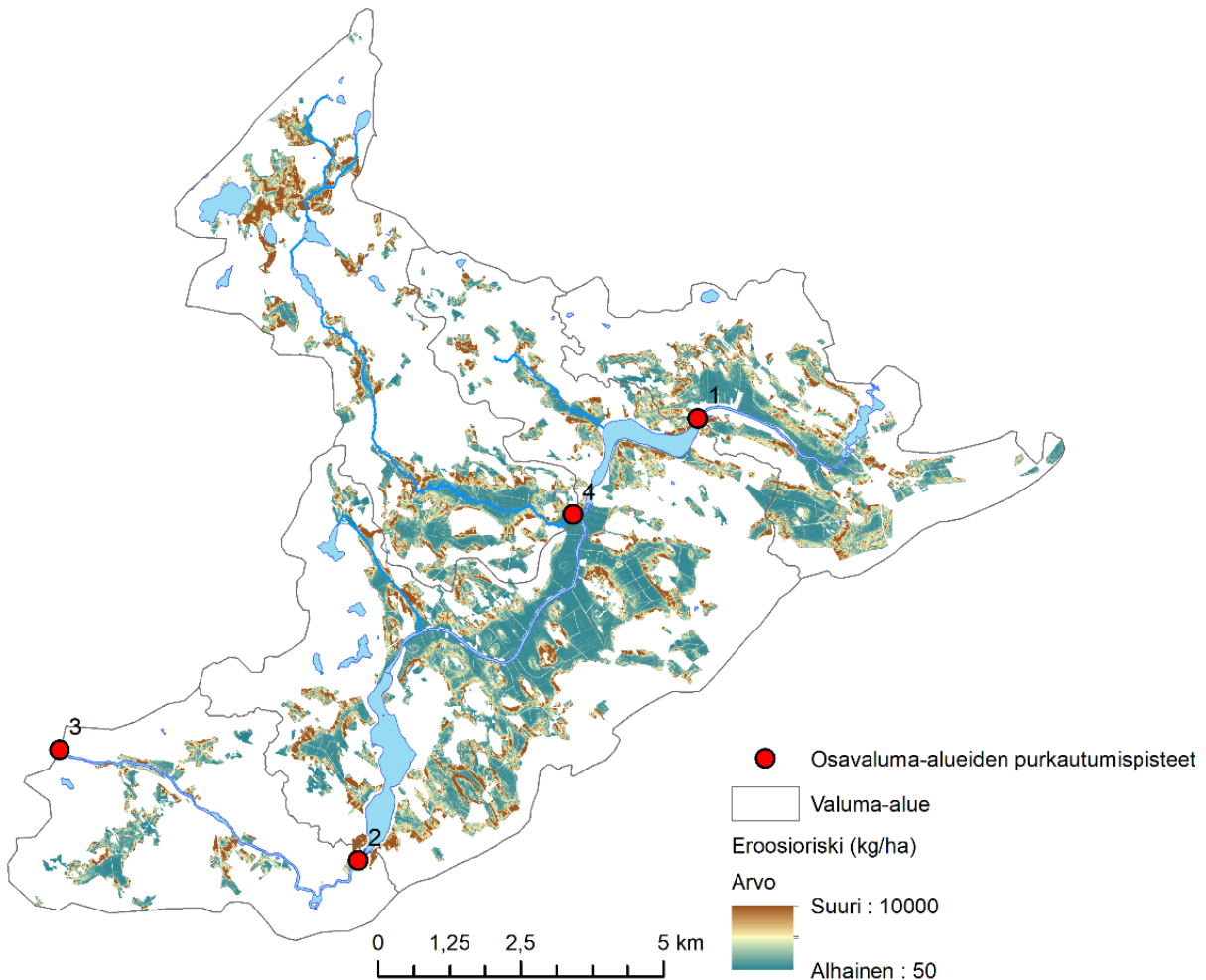
Kuva 18. Fosforikonsentraation frekvenssit mallinnetuilla alueilla a) Alue 1 (yläjuoksu), b) Alue 2 (alajuoksu) ja c) Alue 4 (Storängsbäcken). Kuvassa y-akselilla on fosforipitoisuus (P µg/l) ja x-akselilla pitoisuuden frekvenssi (esiintyvyys) päivien osuutena (Pumppaus= elvytystilanne).

5.2. RUSLE-malli – eroosio pelloilta

5.2.1. Potentiaalinen eroosioriski

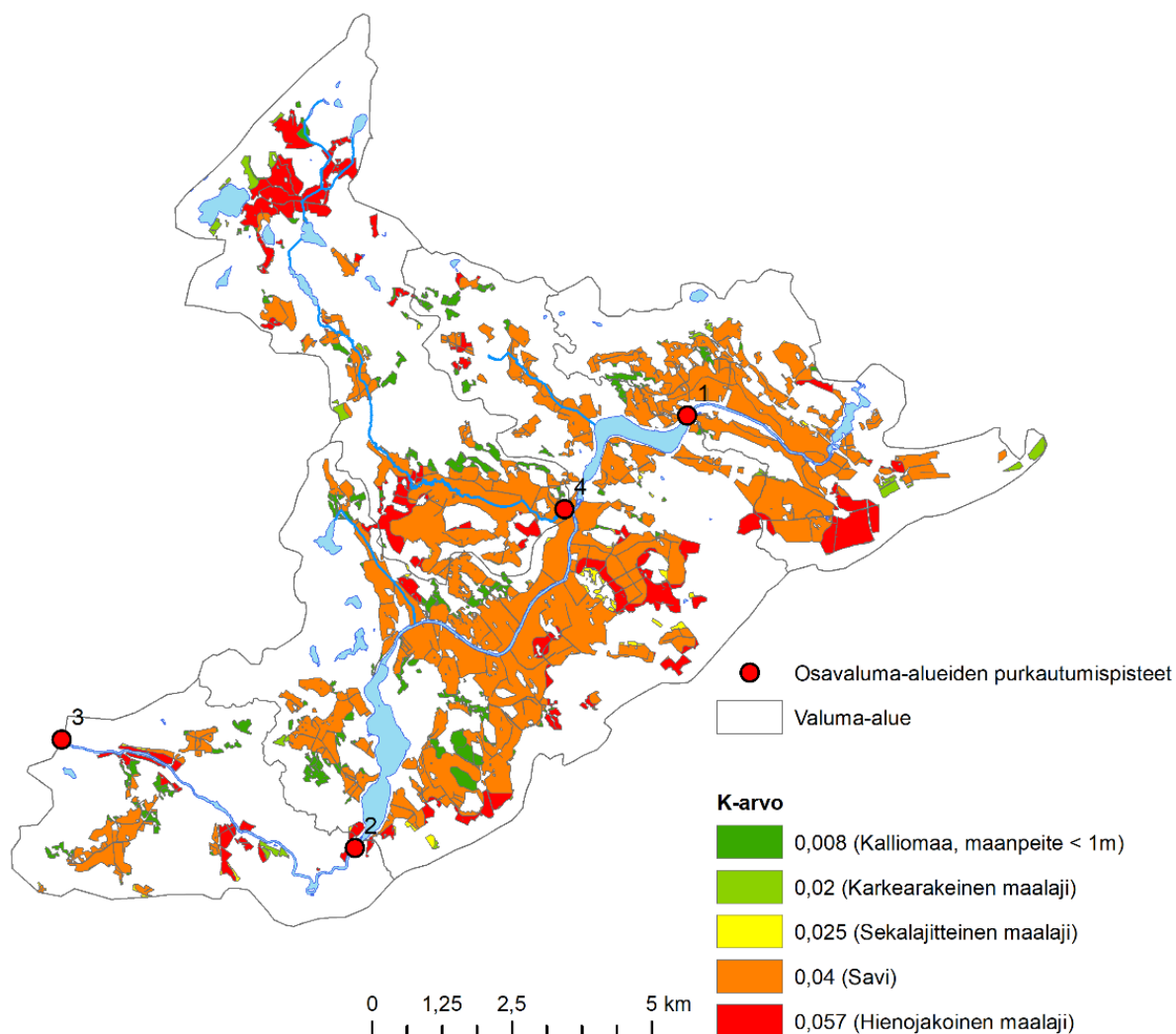
Mustionjoen valuma-alueen potentiaalisen eroosioriskikartan (Arvioitu maatalousmaiden potentiaalinen eroosioriski (kg/ha/v) Mustionjoella kahden metrin tarkkuudella. Eroosioriskikartta kuvaa peltolohkojen eroosioherkkyttä tilanteessa, jossa kaikille lohkoille on oletettu sama käyttömuoto (avokesanto), jotta lohkot ovat keskenään vertailukelpoisia. Osavaluma-alueiden purkautumispisteet 1–3 kuvaavat raakun esiintymisalueiden kannalta merkityksellisiä yläpuolisia valuma-alueita ja purkautumispiste 4 kuvaa merkittävimmin sivu-uoman valuma-alueita.

19) mukaan korkean eroosioriskin alueet sijoittuvat eri puolille peltolohkoja ja ne esiintyvät suurelta osin kauempana Mustionjoesta ja muista isommista uomista. Paikallisia korkean eroosioriskin alueita esiintyy kuitenkin paikoitellen myös vesistöjen läheisyydessä. Potentiaalisen eroosioriskin kartasta (Kuva 19) voidaan myös tunnistaa suurehko korkean eroosioriskin alue, joka sijaitsee Storängsbäckenin sivu-uoman yläjuoksulla valuma-alueen luoteisosassa (Alue 4). Tämän alueen korkea eroosioriski selittyy ainakin osin erilaisella maalajilla. Alueella on maala-jeja, jotka erodoituvat helpommin kuin alueella yleisemmin esiintyvä savimaa (Kuva 20).



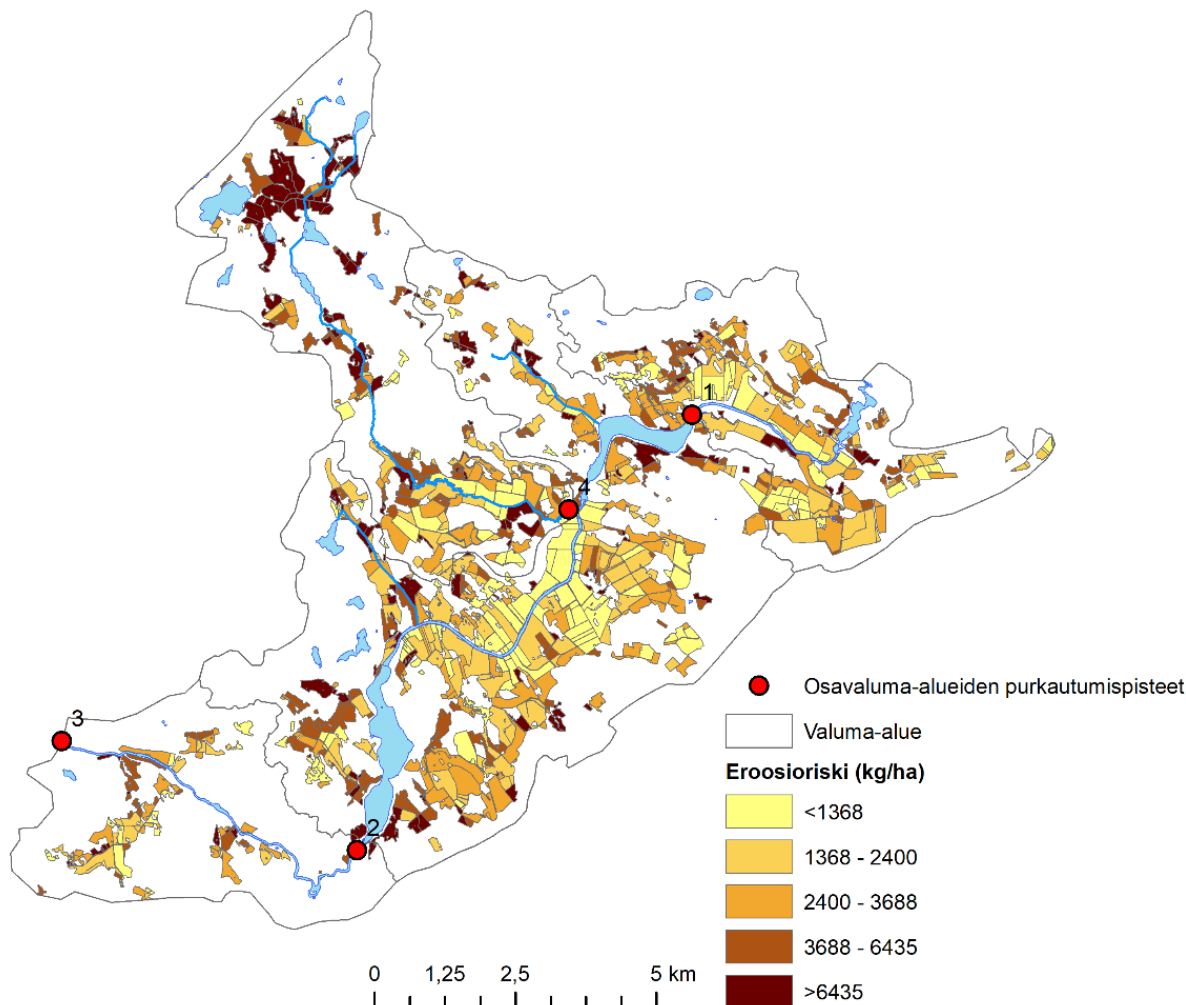
Kuva 19. Arvioitu maatalousmaiden potentiaalinen eroosioriski (kg/ha/v) Mustionjoella kahden metrin tarkkuudella. Eroosioriskikartta kuvaa peltolohkojen eroosioherkkyttä tilanteessa, jossa kaikille lohkoille on oletettu sama käyttömuoto (avokesanto), jotta lohkot ovat keskenään

vertailukelpoisia. Osavaluma-alueiden purkautumispisteet 1–3 kuvaavat raakun esiintymisaluiden kannalta merkityksellisiä yläpuolisia valuma-alueita ja purkautumispiste 4 kuvaa merkittävimmin sivu-uoman valuma-aluetta.



Kuva 20. Maalajit ja niiden K-arvot Mustionjoella. Mitä suurempi K-arvo on, sitä suurempi on maalajin erodoituvuus. Osavaluma-alueiden purkautumispisteet 1–3 kuvaavat raakun esiintymisaluiden kannalta merkityksellisiä yläpuolisia valuma-alueita ja purkautumispiste 4 kuvaa merkittävimmin sivu-uoman valuma-aluetta.

Kasvulohkotason potentiaalisen eroosioriskin kartasta (Kuva 21) voidaan myös havaita, että korkean eroosioriskin lohkot sijoittuvat hajanaisesti valuma-alueelle, mutta Storängsbäckenin sivu-uoman valuma-alueen luoteisosa (Alue 4) korostuu yhtenäisenä korkean eroosioriskin alueena. Kartasta voidaan tunnistaa yleisesti useita lohkoja, joilla on mahdollisesti korkea eroosioriski ja jotka sijaitsevat vesistöjen läheisyydessä ja raakun esiintymisaluiden yläjuoksulla. Lohkokohtaisiin eroosioarvioihin liittyy kuitenkin epävarmuuksia – mallin kalibroinnissa malli aliarvioi eroosiota kahdella pellolla seitsemästä.



Kuva 21. Arvioitu maatalousmaiden kasvulohkokohtainen potentiaalinen eroosioriski (kg/ha/v) Mustionjoella. Eroosioriskikartta kuvaa peltolohkokohtaista eroosioherkkyyttä tilanteessa, jossa kaikille lohkoille on oletettu sama käyttömuoto (avokesanto), jotta lohkot ovat keskenään vertailukelpoisia. Kartassa on huomioitu myös salaojituksen eroosiota vähentävä vaikutus. Eroosioriskin väriskaala on jaoteltu siten, että kussakin väriluokassa on 20 % peltolohkoista. Osavaluma-alueiden purkautumispisteet 1–3 kuvaavat raakun esiintymisalueiden kanalta merkityksellisiä yläpuolisia valuma-alueita ja purkautumispiste 4 merkittävimmin sivu-uoman valuma-alueita.

5.2.2. Todellinen eroosioriski vuoden 2019 viljely- ja toimenpidetiedoilla

Vuoden 2019 viljely- ja toimenpidetietojen mukaan Mustionjoen maatalousala oli 3357 ha ja merkittävimmät peltojen käyttömuodot olivat monivuotiset kuivaheinä-, säilörehu- ja tuorerehunurmet (18,2 %) ja keväisin kylvettävät vehnä (14,3 %) ja kaura (12,6 %) (Taulukko 6). Maatalousalasta oli talviaikaisen kasvipeitteisyyden alla 59 %, mutta merkittävimmillä viljoilla, kevätevehnällä ja kauralla, talviaikainen kasvipeitteisyys oli hieman vähäisempää, noin 45–49 %.

Taulukko 6. Neljätoista merkittävintä viljelykasvia ja niiden viljelyala ja talviaikaisen kasvi-
peitteisyys Mustionjoella vuonna 2019. Suhteelliset alat on laskettu kokonaisuomaalasta,
joka oli 3356,9 ha. Tiedot Ruokaviraston kasvulohkoaineistosta (Ruokavirasto 2020).

	Laji/maankäyttö	Ala	Suhteellinen ala	Talviaikainen kasvi- peitteisyys
		[ha]	[%]	[%]
1	Monivuotiset kuivaheinä-, säilörehu- ja tuorerehunurmet	459,5	18,2 %	75,3 %
2	Kevätvehnä	233,9	14,3 %	48,8 %
3	Kaura	190,0	12,6 %	44,9 %
4	Rehuohra	211,9	9,9 %	64,0 %
5	Mallasohra	125,9	7,4 %	50,6 %
6	Syysvehnä	168,0	7,1 %	100 %*
7	Viherkesanto (nurmi ja niitty)	72,3	4,5 %	48,3 %
8	Suojavyöhyke	15,0	3,8 %	100 %*
9	Luonnonhoitopelto (nurmikasvit, väh. 2 v.)	20,0	3,1 %	19,5 %
10	Monivuotiset laidunnurmet	92,9	3,0 %	93,0 %
11	Syysruis	61,0	2,9 %	100 %*
12	Kumina	69,3	2,6 %	78,6 %
13	Härkäpapu	53,7	2,0 %	80,4 %
14	Rehuherne	33,9	1,0 %	96,9 %

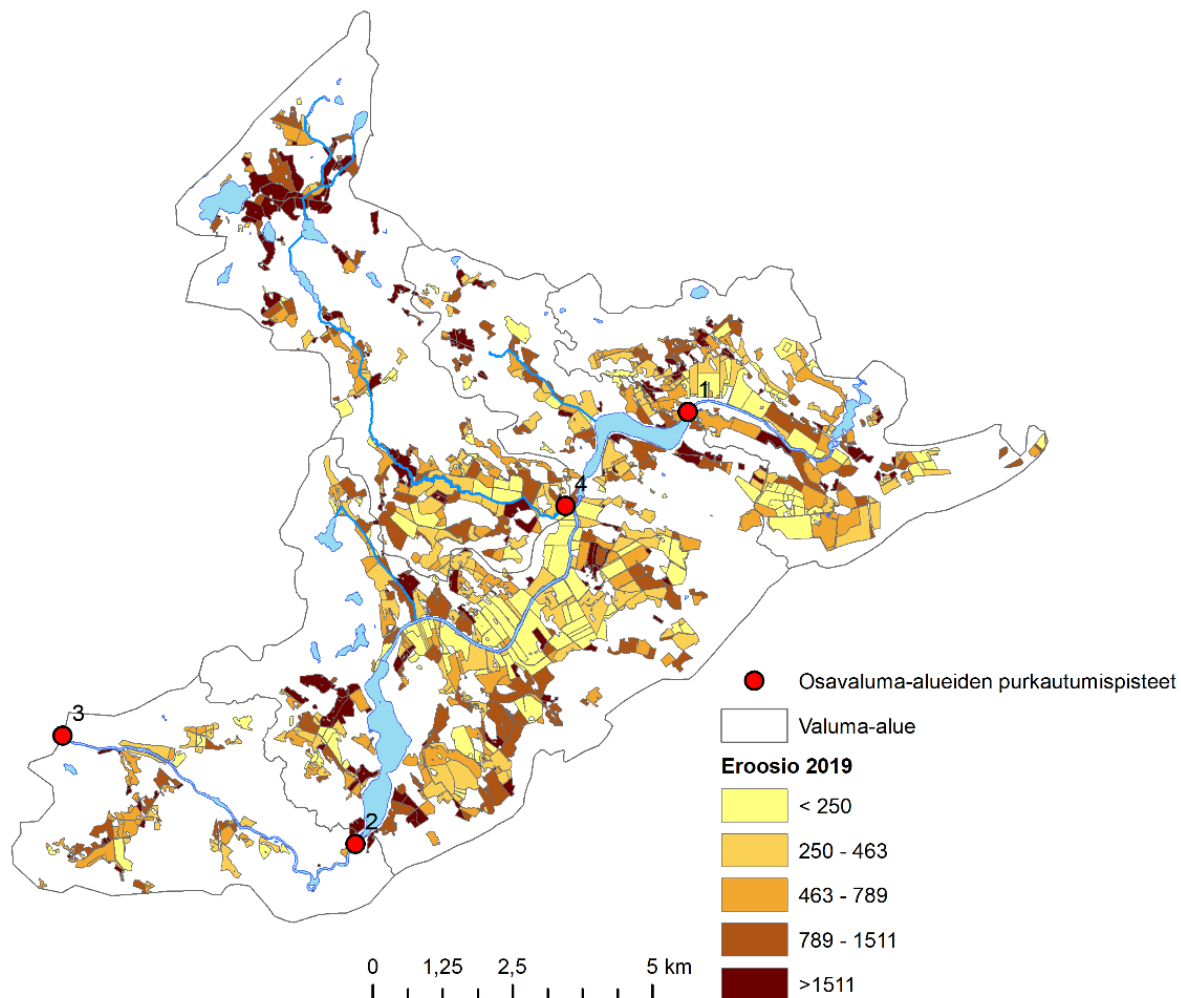
*talviaikainen kasvi-
peitteisyys todennäköisesti 100 %, mutta ei täyttä varmuutta

Vuoden 2019 viljely- ja toimenpidetietoihin perustuva lohko-kohtainen todellisen eroosioriskin kartta (Kuva 26) on hyvin saman suuntainen kuin lohko-kohtainen potentiaalisen eroosioriskin kartta (Kuva 24), mutta lohko-kohtaisia eroja on. Mustionjoen valuma-alueen maatalousmaiden keskimääräinen todellinen eroosioriski vuoden 2019 viljely- ja toimenpidetietojen mukaan oli 845 kg/ha/v kun koko Suomen maatalousmaiden keskimääräinen todellinen eroosioriski oli 425 kg/ha/v. Peltolohko-kohtainen todellinen eroosioriski Muistionjoella vaihteli 90 ja 3580 kg/ha/v välillä.

Raakun esiintymisalueiden yläpuoliset valuma-alueet 1–3 (Kuva 19–21) eroavat peltopinta-aloiltaan ja vuoden 2019 eroosiokuormiltaan (Taulukko 7). Alueiden 1, 2 ja 3 todellinen eroosioriski oli 646, 857 ja 845 kg/ha/v ja näitä vastaavat kuormat 780, 4154 ja 4371 t/v. Kun nämä kuormat suhteutetaan INCA-mallilla arvioituihin raakkukohteiden virtaamiin, alueille 1, 2 ja 3 saadaan kiintoainekuormat 1, 7 ja 8 g/m³ (huom. sedimenttien kulkeutumis- ja pidättäytymisprosesseja ei ole huomioitu, joten luvut eivät vastaa todellista pitoisuutta). Näiden lukujen perusteella alueen 1 alapuolella olevalla raakun esiintymisalueella eroosiokuorma on pieni, mutta laskelmat eivät kuitenkaan ota huomioon Lohjanjärvestä tulevaa kuormitusta. Eroosio-
arvioiden mukaan alueiden 2 ja 3 alapuolella olevilla raakun esiintymisalueilla olosuhteet ovat eroosiokuormien näkökulmasta lähes samankaltaiset.

Storängsbäckenin sivu-uoman eroosioriski (alue 4) on merkittävä koko alueen (alue 3) eroosioriskiin suhteutettuna. Vuoden 2019 viljely- ja toimenpidetiedoilla todellinen eroosioriski sivu-uoman alueella oli 1299 kg/ha/v ja sitä vastaava kuorma 1488 t/v. INCA-mallilla arvioituun virtaamaan suhteutettu kuorma oli 167 g/m³ (huom. sedimenttien kulkeutumis- ja pidättäytymisprosesseja ei ole huomioitu, joten luku vastaa todellista pitoisuutta). Sivuuoman eroosio-
kuorma on näin ollen 33 % koko alueen eroosiokuormasta, vaikka sivuuoman peltopinta-ala

on vain 21 % koko alueen peltopinta-alasta. Storängsbäckenin sivu-uoma on siten mahdollisesti merkittävä alueiden 2 ja 3 alapuolisten raakuesiintymien kuormittaja. Arviossa ei ole kuitenkaan huomioitu sitä, miten eroosioaines kulkeutuu sivu-uomasta pääuomaan ja raakun esiintymisalueille.



Kuva 22. Arvioitu maatalousmaiden kasvulohkokohtainen todellinen eroosioriski (kg/ha/v) Mustionjoella vuoden 2019 viljely- ja toimenpidetietojen mukaan. Kartassa on huomioitu myös salaojituksen eroosiota vähentävä vaikutus. Eroosioriskin väriskaala on jaoteltu siten, että kussakin väriluokassa on 20 % peltolohkoista. Osavaluma-alueiden purkautumispisteet 1–3 kuvaavat raakun esiintymisaluiden kannalta merkityksellisiä yläpuolisia valuma-alueita ja purkautumispiste 4 kuvaa merkittävimmin sivu-uoman valuma-aluetta.

Taulukko 7. Arvioitu maatalousmaiden todellinen eroosioriski raakun esiintymisalueiden yläpuolisilla valuma-alueilla vuoden 2019 viljely- ja toimenpidetietojen mukaan. Virtaamalla painotetuissa eroosioarvioissa ei ole otettu huomioon eroosioaineksen kulkeutumista ja sedimentoitumissa vesistöissä, ja siten todelliset sedimenttipitoisuudet ovat pienemmät. Virtaamat on arvioitu INCA-mallilla. Valuma-alueiden sijainnit kuvassa 3. Huom. sama peltolohko saattaa osua kahdelle valuma-alueelle, joka aiheuttaa pieniä epätarkkuuksia taulukon laskettuihin arvoihin.

Valuma-alue	Pelto pinta-ala	Talviaikainen kasvipeitteisyys	Eroosioriski	Kokonaiseroosioriski	Virtaamalla painotettu eroosioriski
	[ha]	[%]	[kg/ha/v]	[1000 kg/v]	[g/m ³]
Alue 1	728	65	646	780	1
Alue 2	3 149	61	857	4 154	7
Alue 3	3357	59	845	4 371	8
Alue 4	720	60	1 299	1 448	167

Päävesistöihin rajautuvia kasvulohkoja (Kuva 22, lohkon etäisyys vesistöstä < 10 m) oli Mustionjoella yhteensä 164 kpl (Taulukko 8). Näistä 34 % on luokiteltavissa suojavyöhykkeiksi tai niitä vastaaviksi ja 40 % alueiksi, joilla viljeltiin viljoja tai muita vuosittain kylvettäviä kasveja. Noin 19 %:lla ei ollut talviaikaista kasvipeitettä. Todellinen eroosioriski päävesistöihin rajautuvilla kasvulohkoilla oli keskimäärin 949 kg/ha/v, joka on hieman suurempi kuin alueen kaikkien maatalousmaiden keskimääräinen todellinen eroosioriski 845 kg/ha/v. Näin ollen valuma-alueen vesistöjen varsien maatalousmaista merkittäväällä osalla ei ole suojavyöhykkeitä tai talviaikaista kasvipeitettä. Eroosiontorjuntaa olisi mahdollista tehostaa näillä lohkoilla.

Taulukko 8. Päävesistöihin rajautuvat vuoden 2019 kasvulohkot (lohkon etäisyys vesistöstä < 10 m) ja näiden kasvipeitteisyys ja todellinen eroosioriski.

	Määrä	Suhteellinen osuus	Ala	Eroosioriski
	[kpl]	[%]	[ha]	[kg/ha/v]
Suojavyöhykkeet tai niitä vastaavat	56	34,1 %	84,9	745
Kevätviljat	39	23,8 %	244,6	891
Monivuotiset kuivaheinä-, säilörehu- ja tuorerehunurmet	39	23,8 %	187,1	846
Muut vuotuiset satokasvit	13	7,9 %	75,8	1052
Syysviljat	12	7,3 %	74,6	1149
Muut	3	1,8 %	10,6	1371
Avokesanto	1	0,6 %	1,1	20997
Monivuotiset laidunnurmet	1	0,6 %	3,2	1319

5.2.3. Eroosioskenaariot

Talviaikaiseen kasvipeitteisyyden skenaarioiden mukaan (Taulukko 9) talviaikaisen peitteisyyden lisääminen 100 %:iin (skenaario B2) vuoden 2019 viljely- ja toimenpidetilanteesta (59 %) (skenaario A) vähentäisi todellista eroosioriskiä 30–39 % raakun esiintymisalueiden yläpuolisilla valuma-alueilla (**Virhe. Viitteen lähde ei löytynyt.** 19–21). Talviaikaisen kasvipeitteisyyden poistamisella (skenaario B2) todellinen eroosioriski lisääntyisi 55–66 % (huom. skenaariossa 20

% alasta on jonkinlainen talviaikainen kasvipeite kuten suojavyöhykkeillä, laitumilla sekä hedelmä- ja marjatarhoilla). Jos valuma-alueella siirryttäisiin 100-prosenttisesti monivuotisten nurmikasvien viljelyyn (skenaario B3) kaikilla kasvulohkoilla todellinen eroosioriski vähenisi 56–57 % vuoden 2019 tilanteesta.

Taulukko 9. Kolme skenaariota talviaikaisen kasvipeitteisyyden ja monivuotisten nurmikasvien vaikutuksesta todelliseen eroosioriskiin. Vertailukohtana todellinen eroosioriski vuoden 2019 viljely- ja toimenpidetiedoilla. Valuma-alueiden sijainnit **Virhe. Viitteen lähde ei löytnyt..** Huom. sama peltolohko saattaa osua kahdelle valuma-alueelle, mikä aiheuttaa pieniä epätarkkuuksia taulukon laskettuihin arvoihin.

Valuma- alue	A. Viljelytilanne 2019	B1. Viljelytilanne 2019, ei talviaikaista kasvipeitettä*		B2. Viljelytilanne 2019, 100 % talviaikainen kasvipeite		B3. 100 % monivuotinen nurmi kaikilla kasvulohkoilla	
		Kokonais- eroosioriski	Muutos	Kokonais- eroosioriski	Muutos	Kokonais- eroosioriski	Muutos
	[1000 kg/v]	[1000 kg/v]	[%]	[1000 kg/v]	[%]	[1000 kg/v]	[%]
Alue 1	471	780	66 %	328	-30 %	207	-56 %
Alue 2	2697	4154	54 %	1689	-37 %	1170	-57 %
Alue 3	2838	4371	54 %	1763	-38 %	1235	-56 %
Alue 4	935	1448	55 %	569	-39 %	401	-57 %

* huom. skenaariossa 20 % alasta jonkinlainen talviaikainen kasvipeite, kuten suojavyöhykkeillä, laitumilla sekä hedelmä- ja marjatarhoilla

5.3. Maataloustuotteiden elinkaariset rehevöittävät vaikutukset: ohra ja nurmi

Elinkaariarvioinnissa käytetyn päästömallin mukaan typen päästöt ohralle olivat suuremmat kuin nurmelle molemmissa arviointiajankohdissa, mutta ne olivat paljon pienemmät nykytilanteessa kuin vuoden 1995 tilanteessa (Taulukko 10). Sen sijaan fosforipäästöt olivat samansuuruiset molemmille tuotteille molemmissa arviointiajankohdissa. Fosforipäästöt eivät siis ole niin riippuvaisia viljelykasvista kuin typpipäästöt, eivätkä ne ole laskeneet viime vuosikymmeninä toisin kuin typen päästöt. Maaperän hitaasti muuttuva fosforivarasto onkin fosforipäästöjen pääasiallinen lähde, kun taas pääosa typpipäästöistä aiheutuu (mallin mukaan suoraan) typpiannoituksesta. Ohran typpiannoitus on keskimäärin puolittunut vuoden 1995 jälkeen (180 kg/ha → 90 kg/ha), kun taas nurmen typpiannoituksen määrä on pysynyt samana.

Päästömallien vertailussa LCA:n päästömalli antoi pienemmät typpipäästöt kuin INCA-malli molemmille tuotteille (Taulukko 10). Ero oli erityisen selvä, jos LCA:n päästömallissa sovellettiin elinkaariarvioinnille tyypilliseen tapaan typen kulkeutumiskerrointa, joka kuvaa typen hävikkiä sen matkalla pellolta vesistöön ja vesistöissä kohti Itämeriä (Seppälä ym. 2004). Tässä sovellettiin Suomen keskimääräistä kulkeutumiskerrointa, joka on yleisesti käytössä suomalaisten tuotteiden elinkaaristen rehevöittävien vaikutusten arvioinnissa. INCA-malli ei käytä päästöjen laskennassa kulkeutumiskertoimia vaan typen määrän ja kemiallisten muotojen muutokset arvioidaan typen kierron prosesseja mallintamalla.

Fosforin päästöjen osalta LCA:n päästömalli tuottaa ohralle INCA:n päästömallia suuremman liukoisen fosforin päästön, joka heijastuu myös suurempana kokonaisfosforin päästönä (Taulukko 10). Nurmelle LCA:n päästömalli sen sijaan tuottaa hieman pienemmän liukoisen fosforin ja jonkin verran suuremman eroosiofosforin päästön, joka heijastuu suurempana kokonaisfosforin päästönä.

LCA:n päästömallin eroosiofosforin tulokseen vaikuttaa vahvasti se, käytetäänkö laskennassa ns. käyttökelpoisuuskerrointa, joka korjaa eroosiofosforin määrän leville käyttökelpoisen, ja siis vesistöä rehevöittävän, fosforin määräksi. Jos tätä korjausta ei tehdä, LCA:n päästömalli antaa paljon suuremman fosforin päästömäärän kuin INCA:n päästömalli (Taulukko 10). Myös INCA:n eroosiofosforin päästömallissa otetaan käyttökelpoisuus huomioon.

Taulukko 10. Typen ja fosforin huuhtoumat Mustionjoen alueen pelloilta, kg/ha, ohran ja nurmen viljelystä nykytilanteessa ja käyttäen vuoden 1995 viljelytietoja ja arvioituna kahdella eri päästömallilla. LCA viittaa Luken elinkaariarvioinneissa (LCA) käytössä oleviin huuhtoumalleihin ja INCA SYKEssä käytössä olevan INCA-mallin sisältämiin päästömalleihin.

Aika	Viljelykasvi	Huuhtoumien päästömalli	kg/ha			
			KokonaisN	LiukoinenP	Erosio P	KokonaisP
nykytila	nurmi	LCA	9,1	0,7	0,8	1,5
		INCA	5,0*	0,7	1,1**	1,8**
	ohra	LCA	9,6	0,8	0,5	1,3
		INCA	11,4	0,6	0,8	1,4
		LCA	6,4*	0,6	1,8**	2,3**
		INCA	18,9	0,4	0,8	1,2
1995	nurmi	LCA	9,1	0,7	0,8	1,5
		INCA	9,5	0,8	0,5	1,3
	ohra	LCA	23,6	0,6	0,8	1,4
		INCA	14,2*	0,6	1,8**	2,3**
		LCA	54,3	0,4	0,8	1,2
		INCA				

*käyttäen kulkeutumiskerrointa (N), **ilman käyttökelpoisuuskerrointa (P).

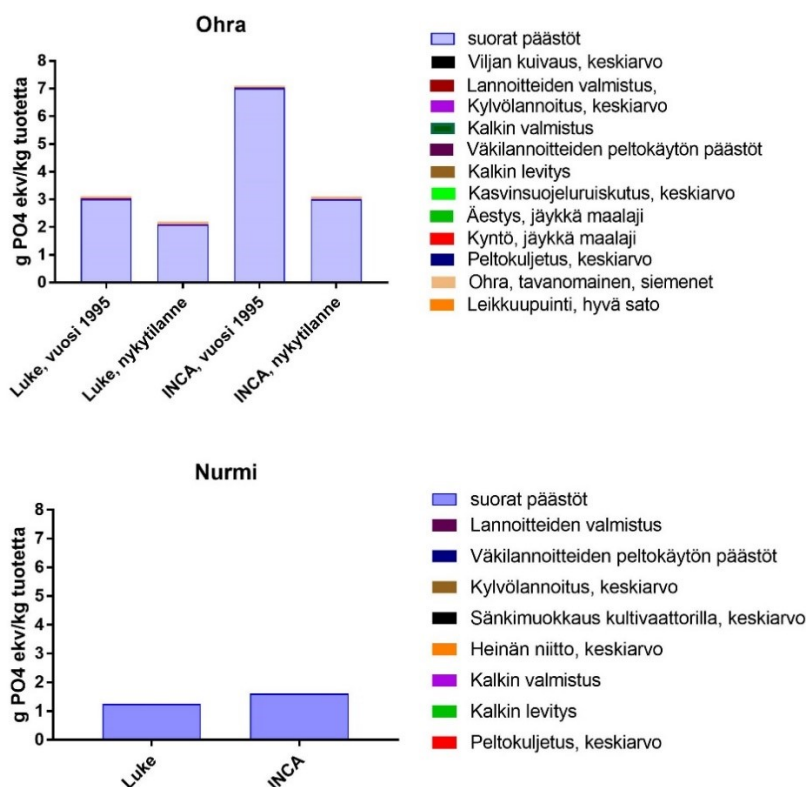
Nurmen elinkaarin potentiaalinen rehevöittävä vaikutus nykytilanteessa ja vuoden 1995 tilanteessa (1,26 g PO₄-ekv/kg tuotetta (kuiva-aineena)) oli selvästi alhaisempi kuin ohran nykytilanteessa (2,19 g PO₄-ekv/kg tuotetta) ja varsinkin vuoden 1995 tilanteessa (3,12 g PO₄-ekv/kg tuotetta) Taulukko 11).

Molemmissa tuotteissa suorat päästöt pelloilta kattoivat lähes kokonaan elinkaarisen rehevöittävä vaikutuksen tarkastellen sekä tuotekiloa (Kuva 23) että hehtaaria kohden (Kuva 24). Ohralla suorat päästöt aiheuttivat 95 % ja nurmella 99 % rehevöittävästä vaikutuksesta.

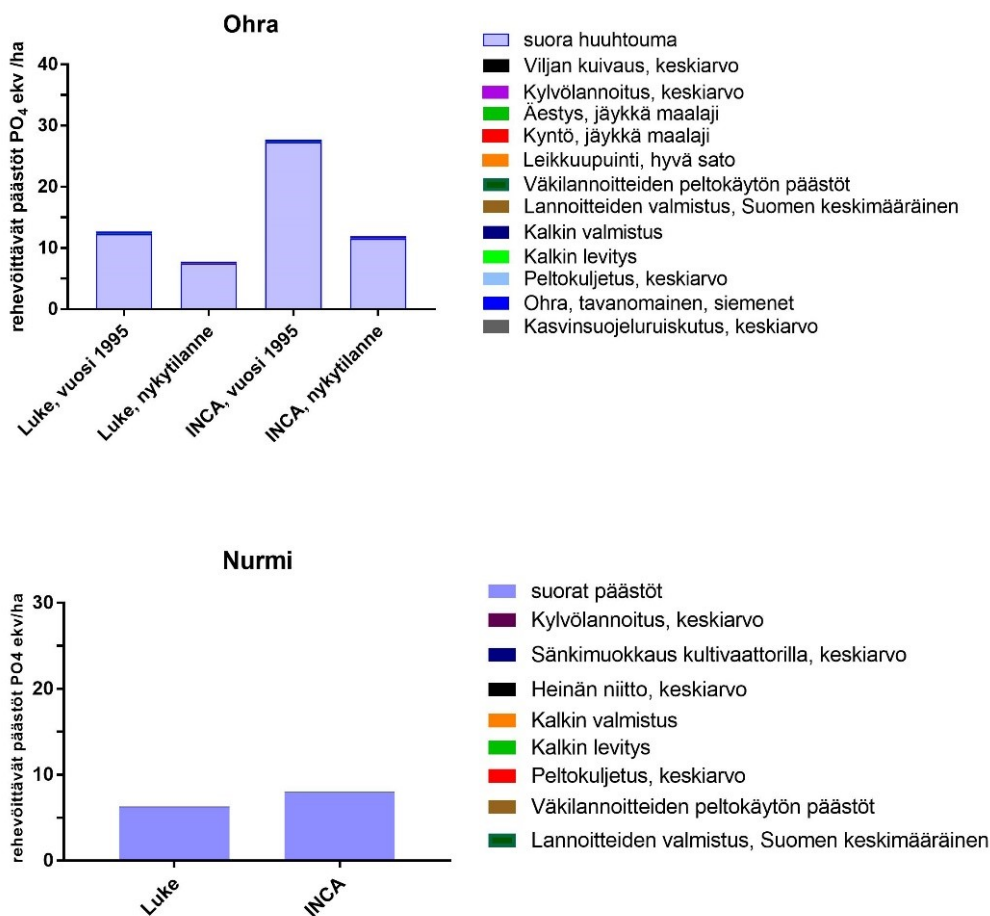
Päästömallien vertailussa tuotteiden elinkaariset rehevöittävät vaikutukset ovat säännönmukaisesti selvästi suuremmat, kun päästöt on arvioitu INCA:n päästömallilla LCA:n päästömallin sijaan. Erityisesti ohran tuloksissa on selvä ero.

Taulukko 11. Nurmen ja ohran elinkaariset rehevöittävät vaikutukset, g PO₄-ekv/ kg tuotetta nykytilanteessa ja käyttäen vuoden 1995 viljelytietoja ja käyttäen päästöjen arviointiin kahdella eri päästömallia. LCA viittaa Luken elinkaariarvioinneissa (LCA) käytössä oleviin huuhtoumalleihin ja INCA SYKEssä käytössä olevan INCA-mallin sisältämiin päästömalleihin.

	Viljelykasvi	Huuhtoumien arviointimalli	Rehevöittävä vaikutus, g PO ₄ 3- ekv/kg tuotetta
nykytila	nurmi	LCA	1,26
	nurmi	INCA	1,61
	ohra	LCA	2,19
	ohra	INCA	3,36
1995	nurmi	LCA	1,26
	nurmi	INCA	1,61
	ohra	LCA	3,12
	ohra	INCA	6,80



Kuva 23. Ohran ja nurmen tuotantoketjun rehevöittävä vaikutus (g PO₄ ekv/kg tuotetta) nykytilanteessa ja käyttäen vuoden 1995 viljelytietoja (nurmella sama tulos molemmissa) ja käyttäen päästöjen arviointiin kahta eri päästömallia. LCA viittaa Luken elinkaariarvioinneissa (LCA) käytössä oleviin huuhtoumalleihin ja INCA SYKEssä käytössä olevan INCA-malliin.



Kuva 24. Ohran ja nurmen elinkaariset potentiaaliset rehevöittävät vaikutukset (PO₄ ekv/ha) tuotetta nykytilanteessa ja käyttäen vuoden 1995 viljelytietoja (nurmella sama tulos molemissa) ja käyttäen päästöjen arviointiin kahta eri päästömallia. LCA viittaa Luken elinkaariarvioinneissa (LCA) käytössä oleviin huuhtoumamalleihin ja INCA SYKEssä käytössä olevan INCA-malliin.

5.4. Raakkujen kasvatuskoe

5.4.1. Raakkujen kasvu

Laitosolosuhteissa Mustionjoelta peräisin olevien raakkujen poikaset olivat istutushetken mennessä kasvaneet pääsääntöisesti yli millimetrin mittaisiksi ja Ähtävänjoelta peräisin olevien raakkujen poikaset keskimäärin yli kahden millimetrin kokoon. Niiden kasvu istutuspaikoissa on esitetty taulukossa 12.

Buddensiek-levyissä kesän viettäneet raakut ruokailivat vielä jalkansa avulla syöden levyn sisään päätynyttä pientä orgaanista materiaalia (veden suodatuksen mahdollistavat hengityspuutket kehittyvät raakuille vasta myöhemmin (Degerman ym. 2009).

Karjaanjoen vesistöissä raakut kasvoivat 0,8–2 millimetriä neljän kasvukuukauden aikana. Raakkujen kasvu hidastui syys-lokakuussa jokiveden lämpötilan laskiessa alle 10 celsiusasteen ja pysähtyi kokonaan talven ajaksi.

Ähtävänjoen kantaa olevat raakut kasvoivat neljän kuukauden aikana keskimäärin 1,7 mm ja Mustionjoen yksilöt 0,9 mm. Osa isoimmista Ähtävänjoen raakuista saattoi kesän loppua kohden siirtyä ruokailemaan suodattamalla vettä lävitseen. Raakkujen kasvun vertailu kohteiden välillä ei ole järkevää johtuen monista epävarmuustekijöistä.

Taulukko 12. Raakkujen pituus ja kasvu istutuspaikoittain (mm).

Istutuspaikka	Raakkujen alkuperä	Mittaus 1 18.6.2020	Mittaus 2 16.7.2020	Mittaus 3 28.8.2020	Mittaus 4 13.10.2020	Kasvu
Åminnefors	Mustionjoki	1,4	1,8	2,2	2,4	70 %
	Ähtävä	2,2	3,1	4,1	4,2	91 %
Junkarsborg	Mustionjoki	1,4	1,6	2,1	2,2	52 %
	Ähtävä	2,4	3,4	3,7	3,6	52 %
Vihtijoki	Ähtävä	2,2	2,9	3,9	4,2	88 %

Suurin kuolleisuus havaittiin Junkarsborgin kasvatuskohteessa (Taulukko 13). Istutetuista 14:sta Mustionjoen yksilöstä 11 kuoli lokakuun puoliväliin mennessä. Suurinta kuolleisuus oli heinäkuun lopun ja elokuun lopun välisellä jaksolla. Lisäksi yksi Ähtävänjoen raakkuyksilö oli kuollut elokuun loppuun mennessä. Åminneforsissa vain viisi Mustionjoen yksilöä kuoli koko kesän aikana.

Taulukko 13. Raakkujen kuolleisuus istutuspaikoittain, elossa löytyneet (kpl).

Istutuspaikka	Raakkujen alkuperä	Mittaus 1 18.6.2020	Mittaus 2 16.7.2020	Mittaus 3 28.8.2020	Mittaus 4 13.10.2020	Kuolleisuus %
Åminnefors	Mustionjoki	13	11	8	8	38 %
	Ähtävä	15	15	15	15	0 %
Junkarsborg	Mustionjoki	14	12	4	3	79 %
	Ähtävä	15	15	14	14	7 %
Vihtijoki	Ähtävä	15	15	15	15	

5.4.2. Vedenlaatukriteerien täyttyminen kasvatusjakson aikana

Raakun selviytymisen kannalta tärkeitä vedenlaatua kuvaavia parametreja sekä niiden vertailu kirjallisuudessa esitettyihin sietoarvoihin esitetään taulukossa 14. Mittaustulokset ovat kaikilta havaintopaikoilta siltä ajalta, kun raakut olivat istutuspaikoissa vuonna 2020 (Degerman ym. 2009, Geist 2005, Varandas ym. 2013, Törrönen 2016).

Taulukko 14. Kasvatuskokeen 2020 aikana mitatut vedenlaatutulokset ja niiden vertailu raakun vedenlaatukriteereihin.

Parametri	Vaatimus	Mittaustulokset tai vaihteluväli, keskiarvo			Kriteerien täyttyminen		
		Åminnefors	Junkarsborg	Vihtijoki	Åminnefors	Junkarsborg	Vihtijoki
pH	≥ 6,2	7,3–7,6	7,5–8,0	6,55–7,25*	Täyttyy	Täyttyy	Täyttyy
Happipitoisuus, liukoinen, mg/l	> 9	8,2	8,5	8,3	Ei täyty	Ei täyty	Ei täyty
Epäorgaaninen alumiini, µg/l	< 30	ei mitattu	40–100	31–68	Ei tiedossa	Ei täyty	Ei täyty
Kokonaisfosfori, µg/l	5–15	22–56	22–39	19–31	Ei täyty	Ei täyty	Ei täyty
Kokonaistyyppi, µg/l	< 1000	650	590	840	Täyttyy	Täyttyy	Täyttyy
Nitraatti, µg/l	< 125	210–1640 [#]	270–970 [#]	840–1460 [#]	Ei täyty	Ei täyty	Ei täyty
Sameus, FNU	< 1	6,8	5,0	4,61*	Ei täyty	Ei täyty	Ei täyty
Sähkönjohtavuus, mS/m	< 10	12,8	12,5	8,9*	Ei täyty	Ei täyty	Täyttyy
Kiintoaine**, mg/l	< 10	5,0	4,4	5,6; 5,4 [‡]	Täyttyy	Täyttyy	Täyttyy
Väri, mgPt/l	< 80	36–42	35–50	100–120	Täyttyy	Täyttyy	Ei täyty
Veden lämpötila, °C	< 25	20,6 (maksimi)	20,9 (maksimi)	24,2* (maksimi)	Täyttyy	Täyttyy	Täyttyy
Hienon aineksen (1 mm) osuus, %	< 25	ei mitattu	ei mitattu	ei mitattu	Ei tiedossa	Ei tiedossa	Ei tiedossa
Redox-potentiaali, mV	>300	ei mitattu	ei mitattu	ei mitattu	Ei tiedossa	Ei tiedossa	Ei tiedossa

*) mitattu jatkuvatoimisesti

**) Åminnefors: polykarbonaattisuodatin, huokoskoko 0,4 µm, Junkarsborg ja Vihtijoki: GF/C-suodatin, huokoskoko 1,2 µm. Vihtijoessa estimoitu sameusarvojen avulla

#) nitraatti- ja nitriittitypen summa, josta konvertoitu nitraatiksi, luku suuntaa antava

‡) lineaarisella regressiolla sameusarvojen perusteella estimoitujen kiintoainepitoisuuksien keskiarvo

6. Tulosten tarkastelu

6.1. INCA-mallin tulokset

INCA-mallilla tehty skenaariotarkastelu osoittaa, että joen veden ravinnepitoisuudet olisivat nyt selvästi korkeammat kuin ne ovat nykyisessä tilanteessa, jos ympäristötuen toimenpiteet eivät olisi olleet käytössä vuodesta 1995 lähtien. Tilanne on nähtävissä myös typpi- ja fosforipitoisuuksien mittaustuloksissa, joissa ravinnepitoisuudet ovat olleet alenemaan päin (Kuvat 12 ja 13), joskin fosforin pitoisuuksissa on aivan viime vuosina ollut nähtävillä pientä nousua. Nykyisiä ympäristöohjelman toimenpiteitä, erityisesti lannoituksen vähentämistä ja talviaikaista kasvipeitteisyyttä, on toteutettu alueella hyvin, joten niiden lisäämisellä on INCA-mallinnuksen mukaan vain rajallinen mahdollisuus laskea ravinnepitoisuuksia Mustionjoessa. Skenaariotarkastelun perusteella luonnonhoitopeltojen lisääminen vaikuttaisi parhaalta menetelmältä laskea sekä nitraatti- että fosforikuormitusta. Lisäksi alueella täytyy harkita muitakin toimenpiteitä, jotta kuormitukset ja veden ravinnepitoisuudet saataisiin alenemaan. Esimerkiksi Mustionjoen tulevan veden laatuun voisi olla syytä kiinnittää lisää huomiota ja selvittää kerääjäkasvien, suojavyöhykkeiden ja kosteikkojen mahdollisuuksia ravinnekuormituksen vähentämiseksi. Freshabit Life IP-hankkeessa tehdyn meta-analyysin (Valkama et al. 2019) mukaan melko kaapeillakin monilajisilla suojavyöhykkeillä voidaan vähentää typen huuhtoumia varsin tehokkaasti, mutta vaikutus kuitenkin vähenee suojavyöhykkeen iän myötä. Metsätaloudella ei nykytiedon valossa kuitenkaan ole vaikutusta pitkäaikaiseen (30 vuotta) vedenlaatuun, mutta yksittäiset toimenpiteet erityisesti eroosioherkillä alueilla voivat aiheuttaa lyhytaikaisempia korkeita pitoisuuksia.

INCA-mallinnuksen perusteella Alue 1 (Kuva 15) on tutkituista alueista vedenlaadultaan raakulle parhaiten sopiva, mutta vedenlaatua pitäisi sielläkin parantaa.

6.2. RUSLE-mallin tulokset

Tutkimuksessa tehdyn yksityiskohtaisemman eroosiomallinnuksen mukaan Mustionjoen valuma-alue on lähtökohtaisesti eroosioherkkää aluetta. Valuma-alueen eroosioherkkyys ja alueen runsas maatalous on vedenlaadun ja raakun elinympäristöjen kannalta haasteellinen yhdistelmä. Mustionjoen valuma-alueen maatalousmaiden keskimääräiseksi eroosioksi arvioitiin 850 kg/ha/v ja yksittäisellä alueella jopa 1300 kg/ha/v, kun koko maan maatalousmaiden keskiarvo on 430 kg/ha/v. Korkean eroosion taustalla ovat peltojen topografia ja maalajit.

Alueen maatalousmaiden eroosiota voidaan kuitenkin vielä vähentää lisäämällä eroosiontorjuntatoimenpiteitä, laajentamalla keinovalikoimaa ja erityisesti kohdistamalla toimenpiteet tehokkaasti eroosioherkille alueille. Mallinnustulosten mukaan Storängsbäckenin sivu-uoman osavaluma-alue vaikuttaa merkittävästi koko alapuolisen joen veden kiintoainepitoisuuteen, joten toimenpiteiden kohdistaminen sinne parantaisi tilannetta laajasti. Lisäksi mallinnuksen osoittama eroosioriskin hajautuminen eri puolille peltoja korostaa talviaikaisen kasvipeitteisyyden roolia eroosion torjunnassa. Talviaikainen kasvipeite on erittäin tärkeässä roolissa, sillä se vähentää laaja-alaisesti eroosion syntyä ja eroosioaineksen kulkeutumista. Suojavyöhykkeillä on sen sijaan tärkeä rooli erityisesti alueilla, joissa korkean eroosioriskin alueet rajautuvat vesistöihin. Suojavyöhykkeiden määrää voidaan lisätä vesistöjen varsilla ja eroosioherkillä lohkoilla voidaan viljellä eroosiota vähentäviä kasvilajeja, kuten monivuotisia nurmi- ja heinäkasveja ja puuvartisia kasveja. Eroosiontorjunnan keinovalikoimaan tarvitaan myös paikallisempia

ratkaisuja, joissa huomioidaan eroosioriskin vaihtelu peltolohkojen sisällä. Näiden tunnistamisessa voidaan käyttää tässä työssä tuotettuja eroosiokarttoja ja maanviljelijöiden asiantuntemusta. Esimerkiksi korkeuskäyrien suuntainen kyntö voisi olla yksi tällainen ratkaisu.

Eroosiontorjuntaa kehitettäessä on tärkeää, että toimenpiteiden kohdentaminen tehdään systemaattisesti ja monitasoisesti. Tämä tarkoittaa, että eroosiota tarkastellaan ja torjutaan eri mitakaavoissa – esimerkiksi osavaluma-alueella, yksittäisellä peltolohkolla ja peltolohkon sisällä. Tämä mahdollistaa erilaisten eroosiontorjuntamenetelmien rinnakkaisen ja tehokkaan suunnittelun ja toteutuksen. Tärkeää olisi myös, että ympäristötukijärjestelmä tukisi paremmin eroosiontorjunnan kohdentamista nykyistä paikallisemmin alueille, joilla on korkea eroosioriski sekä merkittäviä eroosiosta johtuvia haittoja. Korkean eroosion alueilla eroosiontorjunnalla on myös pitkällä aikavälillä merkitystä viljeltävän maan tuottavuudelle ja ilmastonmuutoksen torjunnalle, sillä eroosion vaikutukset osuvat juuri tuottavimpaan hiilipitoiseen pintamaahan.

6.3. Maataloustuotteiden rehevöittävät vaikutukset

Mustionjoen valuma-alueella tuotettujen nurmen ja ohran ravinnehuuhtoumien ja elinkaariarvioinnilla arvioidun rehevöittävien vaikutusten vertailu tuo myös esille kasvipeitteisyyden tärkeyden Mustionjoen veden laadun parantamiselle. Nurmen huuhtoumat (per ha) ja rehevöittävä potentiaali (PO₄ ekv per kg tuotetta tai per ha) ovat kaikilla arviointitavoilla ohraa pienemmät. Saadut tulokset ovat samansuuntaisia kuin aiempien elinkaariarviointien tulokset (esim. Saarinen ym. 2011). Nurmen pienemmän rehevöittävän vaikutuksen taustalla on suurelta osin juuri talvipeitteisyys, se että peltoa ei kynnetä joka syksy.

Eryteisesti typen huuhtomiin vaikuttaa myös lannoitusintensiteetti. Vuonna 1995 ohralle laitettiin typpilannoitetta keskimäärin 180 kg/ha, kun nykytilanteessa lannoitteen määrä on puolittunut (90 kg/ha). Vähentyneet lannoitemäärät näkyvät selvästi rehevöitymisvaikutuksen laskuna. Nurmella lannoitusmäärät ovat pysyneet lähes samana. Ohraa lannoitettiin vuonna 1995 20 kg/ha, mutta nykytilanteessa vain 9 kg/ha. Fosforin huuhtoumissa maahan varastoituneella ja maahiukkasiin sitoutuneella fosforilla on kuitenkin niin suuri merkitys, ettei lannoituksen väheneminen näy tuloksissa.

Ravinnekuormitusten päästömalli vaikutti selvästi elinkaariin rehevöittävän vaikutuksen tuloksiin erityisesti ohralla. INCA-mallia käytettäessä rehevöittävät vaikutukset olivat suuremmat. Tulokseen saattoi kuitenkin vaikuttaa myös se, että INCA mallissa käytettiin Mustionjoen todellisia maaperätietoja, (viljan viljely savimaalla, nurmi kivennäismaalla), kun taas LCA:n päästömallia käytettäessä maalajin oletettiin olevan Raaseporin kunnan keskimääräisen maalajisuhteen mukainen (kivennäismaa: n. 60 %, savimaa n. 40 %).

Vertailtaessa LCA:n ja INCA:n päästömalleja keskenään niillä saatiin hieman toisistaan poikkeavia arvioita, mutta molemmat olivat lähellä kirjallisuudessa esitettyjä arvioita, joiden mukaan typen keskimääräinen kuormitus on 15 kg/ha (N) ja fosforin 1,1 kg/ha (P) (Tattari ym. 2015).

Tuloksia tulkittaessa on huomioitava, että rehevöityminen on paikallinen ilmiö, jolloin päästölähteen sijainnilla on suuri merkitys. Koska emme saaneet mukaan yksittäisiä tilanomistaja, saadut tulokset kuvaavat vain keskimääräistä tilannetta eikä niitä siten voi suoraan käyttää esimerkiksi tietyn tilan tuotteille.

6.4. Raakkujen kasvatuskokeen tulokset

Kasvatuskoe antoi toivoa raakkukannan toipumista ajatellen, mutta mitään varmuutta asiasta ei tällä lyhyellä kokeella luonnollisesti saatu. Kasvatuskokeen aikana raakut selvisivät herkästä poikasvaiheestaan hyvin ja kasvoivat jopa hieman odotettua enemmän. Vastoin ennakko-odotuksia, Vihtijoen vedenlaadussa ei ollut Mustionjoen kohteisiin nähden merkittäviä eroja lämpötilaa lukuun ottamatta. Vedenlaatu istutuspaikoissa täytti osittain kirjallisuudessa esitetyt kriteerit raakun esiintymiselle, mutta usean muuttujan kohdalla kriteerit eivät kuitenkaan täyttyneet.

Kokonaistyyppipitoisuus, pH-arvo, veden lämpötila sekä kiintoainepitoisuus olivat kaikilta havaintopaikoilta saadun tiedon perusteella riittävät populaation ylläpitämiseksi. Raakun sietokyvylle ei pH-arvon osalta ole tosin esitetty varsinaista ylärajaa, mutta kirjallisuudessa todetaan, että raakkuja esiintyy harvoin vesistöissä, joiden pH-arvo on yli 7,5. Sekä Åminneforsissa että Junkarsborgissa tuo arvo ylittyi.

Kiintoaineen osalta tulosten perusteella näyttäisi, että yksittäisiä huippuarvoja lukuun ottamatta pitoisuudet pysyvät kriteerien sallimissa rajoissa. Tuloksissa on kuitenkin määritystavoista johtuvia epävarmuustekijöitä. Vihtijoella pitoisuudet estimoitiin jatkuvatoimisesti mitattujen sameusarvojen perusteella lineaarisella regressiolla. Regressioanalyysissä käytetyissä kalibrointinäytteissä sekä Junkarsborgissa että Vihtijoella määrittäminen tehtiin GF/C-suodattimella, jonka huokoskoko on 1,2 µm. Tästä johtuen estimoidut pitoisuudet ovat lukuarvoina pienemmät kuin pienemmällä huokoskoolla tehdyllä suodatuksella. Åminneforsissa käytössä oli polykarbonaattisuodatin, jonka huokoskoko oli 0,4 µm.

Lämpötilakriteerit täyttyivät saatujen tulosten perusteella, jos kriteerinä pidetään 25 celsiusastetta (vrt. Degerman ym. 2009). Pienille raakuille kuitenkin jo 20 °C lämpötilan ylittyminen saattaa aiheuttaa ongelmia, sillä pohjanläheinen happipitoisuus saattaa tässä tilanteessa laskea (Aspholm ym. 2015). Vihtijoessa lämpötila ei jatkuvatoimisesta mittauksesta saatujen tietojen perusteella kuitenkaan ollut pitkiä aikoja tämän yläpuolella.

Väriluvun kriteeri täyttyi (jäi alle raja-arvon) Åminneforsissa ja Junkarsborgissa, mutta ei täyttynyt Vihtijoessa veden suuren humuspitoisuuden vuoksi. Sähkönjohtavuuden raja-arvo puolestaan ylittyi sekä Åminneforsissa että Junkarsborgissa, mutta Vihtijoessa luku jää hieman tämän alapuolelle ja siten täytti kriteerin. Tulkintaa vaikeuttaa se, että raakkuja on löydetty myös virtavesistä, joiden sähkönjohtavuus on yli 20 mS/m (Geist 2005).

Happipitoisuuksien osalta on todettava, että vaikka pitoisuudet yleisesti ovat melko korkeat ja kyllästysaste on kaikilla havaintopaikoilla pääsääntöisesti hyvä, happipitoisuuden osalta esitetty 9 mg/l -kriteeri (Varandas ym. 2013) ei täyty yhdelläkään havaintopaikoista.

Kokonaisfosforipitoisuudet ylittävät selvästi kirjallisuudessa esitetyn raakkujen sietoarvon. Kaikkein suurin sietoarvon ylitys on nitraatissa, jossa raja-arvo ylittyi moninkertaisesti useissa mittauspisteissä.

Redox-potentiaalia eikä hienon aineksen osuutta pohjasta tutkittu vuonna 2020. Oulasvirta ja Syväranta ovat kuitenkin esittäneet, että vuonna 2011 Åminneforsin alueella pohjan rakenne ei täytä raakuille asetettuja vaatimuksia ja että myös redox-potentiaali jää alle vaaditun 500 mV:n (Oulasvirta ja Syväranta 2012).

Alumiinista oli saatavilla tuloksia Junkarsborgin ja Vihtijoen mittauspisteiltä ja molemmissa nämä olivat raja-arvojen yläpuolella. Junkarsborgissa keskimääräinen alumiinipitoisuus oli korkeampi (70 µg/l) kuin Vihtijoessa (52 µg/l).

Merkillepantavaa oli raakkujen huono kasvu ja kuolleisuus Junkarsborgin kasvatuskohteella, jonka alkuperäinen raakkuesiintymä on 2010-luvulla lähes kadonnut. Alue onkin todennäköisesti moniongelmainen ja uomassa on ollut ihmistoimintaa jo 1300-luvulla (Museovirasto). Pyörteisyyden vaihtelu virtaamien mukaan; matalalla virtaamalla alue on suvantoimaista seisovan veden aluetta, ja virtaaman kasvaessa suvanto muuttuu voimakkaaksi akanvirraksi, johon ylävirrasta kulkeutuva kiintoainetta kerääntyy. Buddensiek-levy ja silttikoelevyt keräsivät sateiden jälkeen pohjasta irronnutta levää ja virran mukana tulleita oksia. Heinäkuun puolivälissä raakkuja sisältänyt Buddensiek-levy siirrettiin uoman toiselle puolelle tukkeutumisen ja roskan kerääntymisen ehkäisemiseksi. Juoksutusten muuttuessa myös uusi paikka osoittautui levyille huonoksi ja raakut siirrettiin takaisin alkuperäiseen paikkaansa.

Yleisesti voidaan kuitenkin todeta, että kaikissa kohteissa vedenlaatu oli sellainen, että ruokaa oli riittävästi ja raakut kasvoivat. Kasvatuskoe herättää kysymyksen, onko raakku, vaikka onkin vedenlaadun suhteen vaativa laji, sittenkin joustavampi vedenlaadun suhteen kuin kirjallisuudessa on yleisesti esitetty. Kokeen perusteella ei ole kuitenkaan mahdollista esittää, mikä tai mitkä vedenlaatuparametreista ovat kriittisiä raakkujen hengissä säilymiselle ja lisääntymiselle, ja mikä olisi ratkaisevan tärkeää Mustionjoen olosuhteissa. Kasvatuskoe herättää kuitenkin myös kysymyksen, missä määrin raakulle sopivien habitaattien katoaminen on estänyt raakku-
populaation elpymisen, kun vedenlaatu on tietyiltä osin pikkuhiljaa parantunut, ja missä määrin on kyse siitä, että raakkukyvilöt ovat liian huonokuntoisia lisääntyäkseen. Sopivat pohjasoraikot ovat puuttuneet ja lohikalojen lisääntymistä ei juurikaan tapahdu. Freshabit-IP Life-hankkeessa on paikoin kunnostettu Mustionjoen pohjaa raakuille sopivammaksi ja avattu lohikaloille kulkureitti meren ja joen välille. Näiden toimenpiteiden vaikutuksista raakku-
populaatioon ei vielä tiedetä, mutta sekä raakku-
populaation tilan että vedenlaadun (ja pohjan laadun) seuranta antaa jatkossa mahdollisuuksia raakun menestymisen ehtojen parempaan ymmärtämiseen.

7. Johtopäätökset ja jatkotutkimustarpeet

Voidaanko Mustionjoen raakku pelastaa? Täysin varmaa se ei ole, mutta se on selvää, että Mustionjoen raakkukanta ei selviä ainakaan ilman monipuolisia ja laajoja toimenpiteitä.

Mustionjoen vedenlaatu on ravinnekuormituksen osalta parantunut vuodesta 1995 eteenpäin nykyisen maatalouden ympäristöohjelman (ympäristökorvausjärjestelmän) käyttöönoton jälkeen. Ympäristötukitoimenpiteitä, esimerkiksi vähennetty lannoitus ja peltojen talviaikainen kasvipeitteisyys, on otettu alueella käyttöön melko laajasti. Parantunut tilanne näkyy myös alueen viljelykasvien elinkaaristen rehevöittävien vaikutusten arviointituloksissa.

Kasvatuskokeen perusteella raakun poikaset voivat Mustionjoen vedenlaadussa hyvin ainakin lyhyellä aikavälillä. Kuitenkin ajatellen raakun lisääntymiskyvyn vahvistumista veden nitraatti- ja fosforipitoisuudet koko Mustionjoessa ovat edelleen hieman liian korkeita. Hankkeessa tehtyjen alueellisten ravinne- ja eroosiokuormitusmallinnusten perusteella Mustionjoen yläjuoksu, heti Lohjanjärven alapuolinen alue (Alue 1), on raakulle potentiaalisesti paras alue Mustionjoessa. Sen alapuolella erityisesti Storängsbäckenin sivu-uoman tuoma kuormitus heikentää vedenlaatua. Ravinnekuormitusta tulee kuitenkin myös yläpuolisesta vesistöistä ja myös siihen on syytä kiinnittää huomiota.

Peltoviljelyyn liittyvät toimenpiteet ovat ravinnekuormituksen vähentämisessä oleellisia, ja sen takia viljelijöiden osuus on keskeinen. Typpilannoituksen vähentäminen ainakin kriittisimmissä paikoissa ja lannoittamattomien peltojen, kesantojen tai luonnonhoitopeltojen osuuden lisääminen vähentäisi typpikuormitusta koko valuma-alueelta. Monilajisten suojavyöhykkeiden perustamiseen jokien ja purojen varrella liittyy merkittävää potentiaalia vähentää kuormitusta. Vuonna 2019 vain 34 % vesistöihin rajautuvista kasvulohkoista oli suojavyöhykkeitä tai niitä vastaavia ja 19 % oli vailla talviaikaista kasvipeitettä.

Raakun kannalta kiintoainekuormitus on erityisen haitallista, koska se yhdessä ravinnekuormituksen kanssa liettää pohjasoraikkoja ja samentaa vettä. Myös merkittävä osa fosforista kulkeutuu vesistöihin eroosion mukana. Mustionjoen valuma-alue on Suomen mittakaavassa hyvin eroosioherkkää aluetta. Eroosion torjunta on yksi tehokkaimmista ja tärkeimmistä toimenpiteistä edistää raakun menestymistä Mustionjoessa. Alueen korkean eroosioherkkyyden takia talviaikainen kasvipeitteisyys on merkittävässä roolissa eroosiontorjunnassa ja toimenpiteitä on syytä tehdä enemmän kuin ympäristökorvausjärjestelmä edellyttää tai ohjaa. Toimenpiteitä, tarvitaan koko alueelle, mutta erityisen tärkeää on niiden kohdistaminen eroosioherkille alueille.

Pitkään jatkunut ravinne- ja kiintoainekuormitus on pilannut raakuille elintärkeät puhtaat pohjasoraikat, minkä vuoksi niiden kunnostustoimet ovat välttämättömiä raakkukannan elpymiselle. Jatkossa riittävästä virtaamasta joessa on myös huolehdittava, jotta soraikat pysyvät kunnostuksen jälkeen puhtaina. Uoman ennallistamisessa sorapohjaan lisätään myös eri kokoista kivimateriaalia monipuolistamaan virtaamaa, liikuttamaan kiintoainesta ja sitomaan soraa.

Lisäksi Mustionjoen raakkupopulaation elvyttämiseksi tarvitaan poikasten laitoskasvatusta ja istutuksia, koska Mustionjoen raakkukanta koostuu tällä hetkellä ikääntyneistä yksilöistä, jotka ovat liian huonokuntoisia lisääntyäkseen, vaikka olosuhteet paranisivatkin. Raakut tarvitsevat lohikaloja lisääntyäkseen, joten niiden elinkierto joessa pitää varmistaa, jotta raakkukanta voi elpyä. Freshabit-Life-IP-hankkeessa kalojen vaellusesteitä poistettiin Mustionjoen alajuoksulta. Vaellusesteiden poistoa tulee jatkaa rakentamalla kalateitä ja purkamalla patoja. Padonpurulla ja luonnonmukaisilla ohitusuomilla saadaan palautettua raakun ja lohikalojen elinkierron kanalta keskeisiä elinympäristöjä.

Alueellisten kuormitustekijöiden lisäksi myös ilmastonmuutos aiheuttaa lisääntyvää uhkaa Mustionjoen raakuille ja yleensäkin vedenlaadulle ja sitä kautta koko ekosysteemille. Seurantamittauksissa on jo todettu jokiveden keskimääräisen lämpötilan nousu. Kuukausikeskiarvot ovat kuitenkin edelleen selvästi alle raakulle kirjallisuudessa ilmoitetun sietoarvon, 25 celsiusasteen. Veden korkean lämpötilan vaikutusta voidaan lieventää paikallisilla toimilla, kuten suosimalla varjostavaa kasvillisuutta joen rannoilla. Ilmastonmuutoksen vaikutukset näkyvät myös virtaamisissa, sillä keskivirtaamat ovat kesäkaudella laskeneet. Se on jo saattanut lisätä kiintoaineksen kertymistä joen pohjaan, ja korostaa osaltaan uoman kunnostustoimien tärkeyttä.

Mustionjoen raakun mahdollisuuksien parantaminen edellyttää siis monenlaisia ja monen tahon tekemiä toimenpiteitä. Vesistökuunnostukset palauttavat tärkeitä rakenteellisia olosuhteita jokeen. Ravinnekuormituksen hallitsemiseen tarvitaan sekä yläpuolisen vesistön vedenlaadun parantamista että alueen oman kuormituksen vähentämistä. Siinä ja kiintoainekuormituksen vähentämisessä ennen kaikkea viljelijöiden panos on tärkeä. Erityisesti kiintoainekuormituksen vähentämisessä viljelijöiden panos on ensiarvoinen, koska se edellyttää lohko-kohtaisia eroosion torjuntatoimia. Siinä avainasemassa parhaan mahdollisen vaikuttavuuden saavuttamiseksi on viljelijän ammattitaito ja heidän omien peltojensa tuntemus. Eroosiota ehkäisevät toimenpiteet edistävät yleensä myös peltojen kasvukuntoa, joten ne ovat viljelyn pitkäaikaista kestävyttä tukevia. Näitä toimenpiteitä ovat esimerkiksi talviaikainen kasvipeitteisyys, eroosiota ehkäisevien kasvien viljely, suojavyöhykkeet, kevennetty muokkaus ja korkeuskäyrien suuntainen kyntö.

Jatkotoimien kannalta on oleellista selvittää, miten kuormituksen vähentämistoimenpiteitä pitäisi alueen pelloilla kohdistaa, jotta kuormitus vähenisi tehokkaimmin. Tarvitaan lisää tutkimusta kohdistamisen optimoinnista. Esimerkiksi eroosion tehokas torjunta vaatii monitasoista lähestymistapaa, jossa eroosiota tarkastellaan valuma-alueen tasolta peltolohkojen sisäiselle tasolle. Tässä hankkeessa tuotetut aineistot tukevat tällaista tarkastelua. Käytännössä myös ympäristökorvausjärjestelmän ja vesistön suojelu- ja kunnostustoiminnan pitäisi tukea toimenpiteiden tehokasta kohdistamista.

Vapaaehtoisia toimenpiteitä tukemaan tarvitaan myös viljelijä- ja mahdollisesti myös tuotekohtaisia elinkaariarviointiin pohjautuvia arviointitapoja, joilla toimenpiteiden tehokkuus voidaan todentaa ja joiden pohjalta viljelijät voivat myös viestiä tekemistään edistysaskeleista. Tässä hankkeessa nousi esille ajatus elinkaariarviointiin perustuvasta tuotekohtaisesta "raakkuystavallisen maatalouden indikaattorista", "raakkuindikaattorista", joka tukisi viljelijöiden työtä omassa lähiympäristössä esiintyvän uhanalaisen lajin suojelemiseksi. Tällaisen indikaattorin mahdollisuuksien selvittämistä on syytä jatkaa tulevissa tutkimuksissa. Tämän tutkimuksen perusteella näyttää siltä, että eroosion ja sen hallinnan onnistumisen pitäisi olla tällaisen indikaattorin keskeisimpiä arviointikohteita.

Viitteet

- Aakkula, J., Kuussaari, M., Rankinen, K., Ekholm, P., Heliölä, J., Hyvönen, T., Kitti, T. & Salo, T. 2012. Follow-Up Study On The Impacts Of Agri-Environmental Measures In Finland. In: OECD (ed.), Evaluation of Agri-Environmental Policies Selected Methodological Issues and Case Studies, OECD publishing, pp. 111–127.
- Asp, T. & Leppänen, J. 2017. Jokihelmisimpukan inventoinnit Mustionjoen Peltokoskella 2017. Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö Ry. Raportti 4 s.
- Aspholm, P. E., Veersalu, A., Nilsson, L. O., Larsen, B. M., Christensen, G. & Olofsson, P. 2015. Water quality and heavy metals in freshwater pearl mussels and their habitat. Metsähallitus.
- Bauer, G. 1988. Threats to the freshwater pearl mussel in Central Europe. Biological conservation 45: 239–253.
- Bauer, G. & Vogel, C. 1987. The parasitic stage of the freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* L. Host response to glochidions. Archiv für Hydrobiologie 76: 393–402.
- Bauer, G. 1991. Plasticity in life history traits of the freshwater pearl mussel. In: Seitz A. & Loeschcke W. (eds.). Species conservation: A population biological approach. Birkhauser Verlag, Basel 103–120.
- Degerman, E., Alexanderson S., Bergengren J., Henrikson, L., Johansson B-E., Larsen, B.M. & Söderberg, H. 2009. Restoration of freshwater pearl mussel streams. WWF Sweden, Solna. 64 p.
- Geist, J. 2005. Conservation Genetics and Ecology of European Freshwater Pearl Mussels (*Margaritifera margaritifera* L.). München: Technischen Universität München. 132 p.
- Grönroos, J., Rekolainen, S., Palva R., Granlund, K., Bärlund, I., Nikander, A. & Laine, Y. 1998. Maatalouden ympäristötuki. Toimenpiteiden toteutuminen ja vaikutukset v. 1995–1997. Suomen ympäristö. Ympäristönsuojelu 239: 77.
- Hastie, L.C., Boon, P.J. & Young, M.R. 2000. Physical microhabitat requirements of freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* (L). Hydrobiologia 429: 59–71.
- Hyvärinen, E., Juslén A., Kemppainen, E., Uddström, A. & Liukko, U.-M. 2019. Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2019.
- Ilmatieteenlaitos 2020. <https://kilotavu.com/asema-tilaus.php?asema=101135>. Haettu 2020.
- Jackson-Blake, L.A., Wade, A.J., Futter, M.N., Butterfield, D., Couture, R.M., Cox, B.A., Crossman, J., Ekholm, P., Halliday, S.J., Jin, L., Lawrence, D.S.L., Lepistö, A., Lin, Y., Rankinen, K. & Whitehead, P.G. 2016. The Integrated Catchment model of phosphorus dynamics (INCA-P): Description and demonstration of new model structure and equations. Environmental Modelling & Software 83: 356–386.
- Leppänen, J., Vähä, J.-P., Taskinen, J. 2018. Jokihelmisimpukka Karjaanjoen vesistöissä – historia, nykytila ja pelastamistoimet. Länsi-Uudenmaan Vesi ja Ympäristö Raportti 149/2018.

- Lilja, H., Hyväluoma, J., Puustinen, M., Uusi-Kämppe, J., & Turtola, E. 2017a. Evaluation of RUSLE2015 erosion model for boreal conditions. *Geoderma Reg.* 10: 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.05.003>
- Lilja, H., Puustinen, M., Turtola, E., & Hyväluoma, J. 2017b. Suomen peltojen karttapohjainen eroosio-luokitus: Valtakunnallisen kattavuuden saavuttaminen ja WMS-palvelu. Luonnonvarakeskus.
- Luke 2016. Tilastopalvelu. Saatavilla <https://www.luke.fi/avoin-tieto/tilastopalvelu/>. Tiedot haettu 1.11.2019.
- Mattila, P., Rankinen, K., Grönroos, J., Siimes, K., Karhu, E., Laitinen, P., Granlund, K., Ekholm, P. & Antikainen, R. 2007. Viljelytoimenpiteet ja vesistökuormitus ympäristötutkitiloilla vuosina 2003–2005 (Changes in cultivation practices and nutrient loading to the waters due to the agri-environmental support scheme in 2003–2005, in Finnish with English abstract). *Suomen ympäristö 40*, Suomen ympäristökeskus.
- Moorkens, E. A. & Killeen, I. J. 2018. Measurement and monitoring of sub-lethal damage (stress) to the freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*), a tool for conservation monitoring
- Museovirasto 2021. Rekisteriportaali. https://www.kyppi.fi/palveluik-kuna/mjhoito/read/asp/r alue det.aspx?ALUE_ID=220400019, viitattu 14.9.2021.
- Mustonen, O. & Suonpää-Espinola, A. 2021. Junkarsborgin simpukkainventoinnit 2021, julkaisematon aineisto.
- Oulasvirta, P. 2010. Freshwater pearl mussel: Distribution and state of the populations in Finland. Conservation of Freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* populations in northern Europe. Proceedings of the International Workshop. Petrozavodsk: Karelian Research Centre of RAS, 2010. pp. 54–63.
- Oulasvirta, P. ja Syväranta, J. 2012. Jokihelmisimpukkatutkimukset Mustionjoella 2011. Alleco Oy, 20 s.
- Oulasvirta, P. (toim.), Aspholm, P., Kangas, M., Mejdell-Larsen, B., Luhta, P. L., Moilanen, E., Olofsson, P., Salonen, J., Vätilä, S., Veersalu, A. & Taskinen, J. 2015. Raakku! – Jokihelmisimpukka pohjoisessa Fennoskandiassa. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisu. Sarja A 214. 237 s.
- Oulasvirta, P. 2019. Jokihelmisimpukoien runsauden tutkimus Mustionjoen Äminneforsin osapopulaatiossa 2019.
- Palva, R., Rankinen, K., Granlund, K., Grönroos, J., Nikander, A. & Rekolainen, S. 2001. Maatalouden ympäristötuen toimenpiteiden toteutuminen ja vaikutukset vesistökuormitukseen vuosina 1995–1999. MYTVAS-projektin loppuraportti. *Suomen ympäristö. Ympäristönsuojelu.* 478. Suomen ympäristökeskus.
- Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rousseva, S., Tadić, 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: 801–814. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.008>

- Rankinen, K., Keinänen, H. & Cano Bernal, J. 2016. Influence of climate and land use changes on nutrient fluxes from Finnish rivers to the Baltic Sea. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 216: 100–115.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., & Yoder, D.C., 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Agric. Handb. 703 US Dep. Agric. Wash. DC* p 404.
- Ruokavirasto, 2020. Peltolohko- ja kasvulohkoaineistot. Ruokavirasto. <https://www.ruokavirasto.fi/tietoa-meista/avointieto/tiedonluovutukset/peltolohkoaineisto/>
- Saarinen, M., Kurppa, S., Nissinen, A. & Mäkelä, J. 2011. Aterioiden ja asumisen valinnat kulutuksen ympäristövaikutusten ytimessä. *ConsEnv-hankkeen loppuraportti. Suomen Ympäristö 14/2011*, 97 s.
- Saura, A., Rinne, J. & Vehanen, T. 2010. Mustionjoen pääuoman ja sivupurojen lohelle ja taimeille soveltuvien poikastuotantoalueiden kartoitus ja poikastuotantoarvio. *Riista- ja kalatalous – selvityksiä 13/2010*.
- Seppälä, J., Knuuttila, S. & Silvo, K. 2004. LCA methodology with case study. Eutrophication of Aquatic Ecosystems. a new method for calculating the potential contribution of nitrogen and phosphorus. *International journal of LCA* 9(2): 90–100.
- Skinner, A., Young, M. & Hastie L. 2003. Ecology of the Freshwater Pearl Mussel. *Conserving Natura 2000. Rivers Ecology Series No. 2. English Nature, Peterborough*.
- SYKE 2014. Jokihelmisimpukka. Lajien esittelyt: luontodirektiivin lajit. Suomen Ympäristökeskus. Ladattavissa internetsivustolta <<http://www.ymparisto.fi/>>. Viitattu 2.6.2021.
- SYKE 2016a. <https://www.syke.fi/avointieto>. Tiedot haettu 30.10.2019.
- SYKE 2016b. Suojelualueet. Natura 2000-alueet. Mustionjoki. [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Luonto/Suojelualueet/Natura_2000_alueet/Mustionjoki\(5984\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Luonto/Suojelualueet/Natura_2000_alueet/Mustionjoki(5984)). Viitattu 4.6.2021.
- SYKE 2016c. <https://www.syke.fi/avointieto>; tiedot haettu 6.5.2021
- SYKE 2021. [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesitilanne_ja_ennusteet/Ravinnekuormitus/Ravinnekuormitus\(25867\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesitilanne_ja_ennusteet/Ravinnekuormitus/Ravinnekuormitus(25867)). Tiedot haettu 29.4.2021
- Taskinen, J. 2018. Jokihelmisimpukoiden pelastaminen vaatii välittömiä suojelutoimia–mutta toivoa on. *Vesitalouslehti 6/2018*: 15–18.
- Taskinen, J. 2021. Raakkujen stressitaso. Sähköpostikeskustelu 7.4.2021.
- Tattari, S., Puustinen, M., Koskiaho, J., Röman, E. & Riihimäki, J. 2015. Valuma-alueen eri lähteistä tulevan vesistökuormituksen arviointi ja vähentämismahdollisuudet. Suomen ympäristökeskus. *Energiäteollisuus ry:n koordinoima ympäristöpooli* 54 s.
- Törrönen, J. 2016. Jokihelmisimpukan (*Margaritifera margaritifera* L.) ja lohikalajien (lohi, *Salmo salar* & Taimen *Salmo trutta*) lisääntymiselle soveltuvat elinalueet vedenlaadulla arvioituna Karjaanjoen vesistön alueella. *Pro-Gradu. Itä-Suomen yliopisto*. 106 p.
- Valkama, E., Usva, K., Saarinen, M. & Uusi-Kämppeä, J. 2018. A meta-analysis on Nitrogen Retention by buffer zones. *J. Environ. Qual.* doi:10.2134/jeq2018.03.0120

- Vannote, R.L. & Minshall, G.W. 1982. Fluvial processes and local lithology controlling abundance, structure and composition of mussel beds. *Proceeding of the National Academy of Science* 79: 4103–4107.
- Varandas, S., Lopes-Lima, M., Teixeira, A., Hinzmann, M., Reis, J., Cortes, R., & Sousa, R. 2013. Ecology of southern European pearl mussels (*Margaritifera margaritifera*): First record of two new populations on the rivers Terva and Beça (Portugal). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 23: 374–389. doi:10.1002/aqc.2321
- Veijalainen, N., Lotsari, E., Alho, P., Vehviläinen, B. & Käyhkö, J. 2010. National scale assessment of climate change impacts on flooding in Finland. *Journal of Hydrology* 391: 333–350.
- Wade, A., Durand, P., Beaujoan, V., Wessels, W., Raat, K., Whitehead, P.G., Butterfield, D., Rankinen, K. & Lepistö, A. 2002. Towards a generic nitrogen model of European ecosystems: New model structure and equations. *Hydrology and Earth System Sciences* 6: 559–582.
- Vähä, J-P., Suonpää, A. & Taskinen, J. 2017. Jokihelmisimpukan nykytilan selvitykseen ja pelastamiseen liittyvät maastotyöt vuonna 2016. Freshabit –hankkeen Karjaanjoen kohdealueen raportti Freshabit LIFE IP (Life14/IPE/FI023). Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry. Raportti a133b/2017. 21 s.
- Whitehead, P.G., Wilson, E.J. & Butterfield, D. 1998. A semi-distributed Integrated Nitrogen model for multiple source assessment in Catchments (INCA): Part I-model structure and process equations. *the Science of the Total Environment* 210/211: 54 –558.
- Wischmeier, W. & Smith, D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. *Agric. Handb. No 537* Wash. DC USA US Dep. Agric.
- Young, M.R. & Williams, J. 1984. The reproductive biology of the freshwater pearl mussel in Scotland I & II. *Archiv Fur Hydrobiologie* 99, 405–422, and 100, 29–42.
- Young, M.R. 1995. The distribution, ecology and conservation of the freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*) in Scotland. *Information and Advisory Note no. 2*. Scottish Natural Heritage, Edinburgh.
- Ziuganov, V., Zotin, A., Nezlin, L. & Tretiakov, V. 1994. The freshwater pearl mussels and their relationships with salmonid fish. *VNIRO, Moscow*. 104 p.

Liitteet

LIITE 1: Vedenlaadun trendien mallintaminen ekohydrologisilla malleilla

Katri Rankinen

Biodiversiteettikeskus, Suomen ympäristökeskus

Johdanto

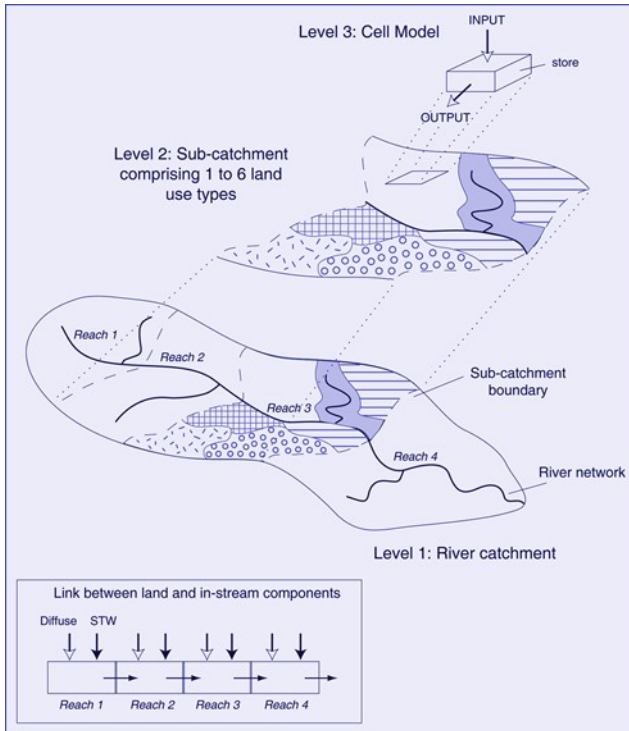
Ekosysteemit tuottavat joukon ihmisten hyvinvoinnille tärkeitä tuotteita ja palveluja, joita yhdessä kutsutaan ekosysteemipalveluiksi. Ekosysteemipalvelut vähenevät nopeammin kuin koskaan mm. maankäytön ja ilmaston muutoksen vuoksi. Ihmisten toiminnan uhkia valuma-alueen ekosysteemipalveluille voidaan arvioida ekohydrologisilla malleilla, kuten INCA-malli, joka kuvataan tässä liitteessä Whitehead *ym.* (1998) kuvauksen pohjalta.

Valuma-aluemallien kuvaus

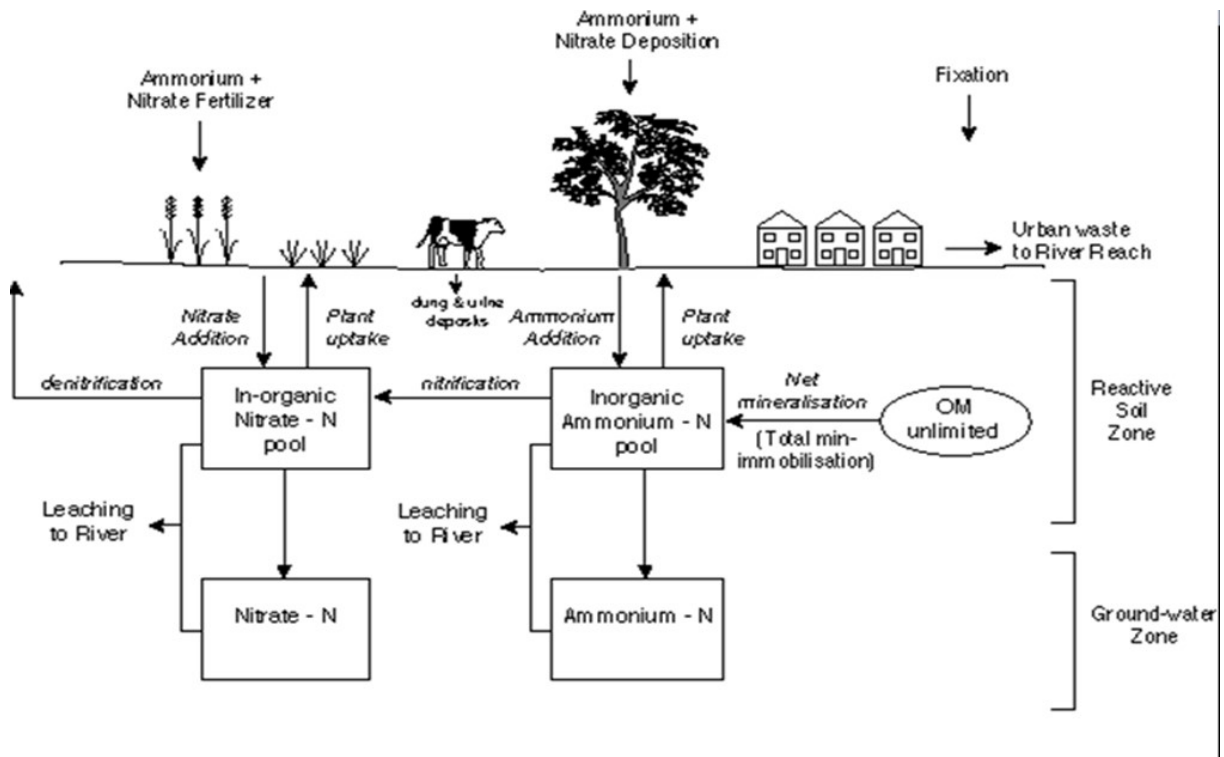
PERSiST on hydrologinen malli, jota voidaan käyttää INCA-malliperheen kanssa (Futter *et al.* 2014). Se on suunniteltu simuloimaan nykypäivän hydrologiaa sekä ennustamaan ilmaston tai maankäytön muutoksen mahdollisia tulevia vaikutuksia valumavesien laatuun ja määrään. Syötetietoina malli tarvitsee päivittäisen sadannan ja ilman lämpötilan, ja se kalibroidaan havaittuun virtaamaan.

INCA on dynaaminen massatasemalli, joka simuloi hydrologisten virtausreittien ja ravinteiden muunnosten ja varastojen ajallisia vaihteluja maa- ja vesiekosysteemeissä (Whitehead *et al.* 1998). Jokijärjestelmässä malli laskee sekä kulkeutumis- että muutosreaktiot. INCA mallintaa prosessit valuma-alueella, joka voidaan edelleen jakaa osavaluma -alueisiin. Integroidulla skaalausmenetelmällä voidaan mallintaa laaja valikoima monimutkaisia rakenteita valuma-alueille (kuva 1).

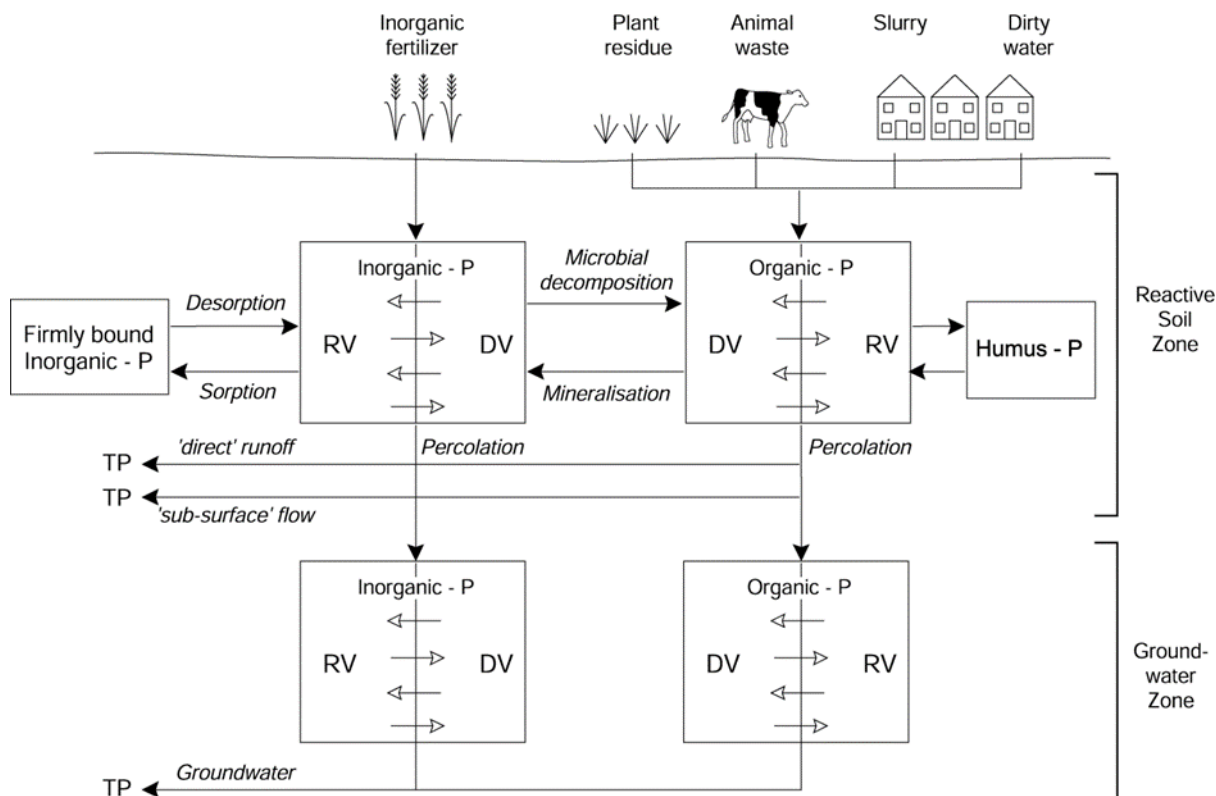
Malli laskee päivittäiset ja vuosittaiset maankäyttökohtaiset ravinnekierron ja -virrat eri osavaluma-alueilla (Kuva 1). Epäorgaanisen typen laskenta perustuu typen kierron kuvaukseen ensimmäisen kerätaluokan kinematiikalla (Kuva 2; Wade *et al.* 2002). Fosforimalli taas laskee fosforin tasapainoreaktiot maarakeen ja nestefaasin välillä (Kuva 3; Jackson-Blake *et al.* 2016).



Kuva 1. INCA-mallin rakenne



Kuva 2. Tyypin kierron kuvaus



Kuva 3. Fosforin kierron kuvaus

INCA tuottaa seuraavat tulokset:

- Päivittäiset ja vuosittaiset orgaanisten ja epäorgaanisten ravinteiden muunnosprosessit ja varastot ($\text{kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) eri maankäyttömuodoissa
- Maankäyttökohtaisten virtausten päivittäiset aikasarjat sekä orgaanisten ja epäorgaanisten ravinteiden pitoisuudet maaperässä ja pohjavesissä sekä suorassa valumassa
- Virtausprofiilit ja N- ja P-pitoisuudet jokien varrella valituilla paikoilla
- Virtaamien ja ravinnepitoisuuksien kumulatiiviset jakaumat valituilla paikoilla
- Yksityiskohtaiset massatsetarkastelut ravinnevarastoista ja muutuntaprosesseista

Valuma-aluemallien syötetiedot

INCA-mallin aluekohtaiseen sovellukseen tarvitaan paikkatietoja (esimerkiksi CORINE aineisto) tärkeimmistä maankäyttömuodoista. Osavaluma-alueiden rajat ja kytkeytyneisyys voidaan määrittellä esimerkiksi digitaalisia maastokarttoja käyttämällä. Korkeusmallia tarvitaan myös pintaveden virtailun ja kiintoaineksen kulkeutumisen laskemiseen.

INCA vaatii myös seuraavat päivittäiset aikasarjat:

- Hydrologia eli maaperän kosteusvaje (mm), hydrologisesti tehokas sademäärä (mm), ilman lämpötila ($^{\circ}\text{C}$) ja todellinen sademäärä (mm). Nämä tiedot saadaan yleensä sääasemilta sekä hydrologisen mallin tulosteista.
- Maanhoitokäytännöt, esimerkiksi arviot pääasiallisesta viljelykasvista, kasvillisuuden kasvukaudesta sekä lannoitteiden levitysmääristä ja -ajoista. Näitä tietoja saadaan mm. maatalouden ja metsätalouden tilastoista sekä projektien loppuraporteista (esim. Aakkula et al. 2012).
- Jäteveden virtausnopeudet ja ravinteiden poistopitoisuudet. Nämä tiedot saadaan esimerkiksi SYKEN VAHTI-tietokannasta.

Malli kalibroidaan kuvaamaan havaittua joen virtaamaa ja veden ravinnepitoisuuksia. Yleistettyjä yhtälöitä, jotka määrittävät solun N- ja P-muutokset voidaan lisäksi kalibroida kenttämittauksia tai kirjallisuudessa saatavilla olevia kokeellisia tietoja vastaan.

Valuma-aluemallien rakenne

INCA-mallissa on käyttöliittymä, joka mahdollistaa aikasarjojen sisällyttämisen kasvukausien, laskeuman, lannoitteiden ja jätevesien syöttöön. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää yksittäisiä keskiarvoja. Sadannan, maaperän kosteusvajeen ja ilman lämpötilan alueellisten vaihtelujen kuvaamiseksi voidaan ladata useita hydrologisia aikasarjoja, jos niitä on saatavilla. Lannoite-, jätevesi- ja lietsyöte solumalliin vaihtelevat maankäyttötyypin mukaan. Lisäksi tehokas sademäärä, maaperän kosteus ja lämpötila voivat vaihdella osavaluma-alueiden välillä. Näin ollen on mahdollista simuloida jossain määrin alueellisia vaihteluita maanhoitokäytännössä ja hydrologiassa.

INCA-mallissa on neljä osaa:

- GIS-rajapinta, jossa määritellään osa-valuma-alueen rajat ja kunkin maankäyttötyypin pinta-ala osa-valuma-alueella
- Maaperän hydrologinen malli, joka laskee tehokkaan sademäärän virtauksen maaperän ja pohjavesivarastojen läpi ja pintavalunnan. Tämä komponentti ajaa veden sekä ravinteet valuma -alueen läpi
- Maaperän osamalli, joka simuloi ravinteiden muutoksia ja varastoja valuma-alueen maaperässä ja pohjavedessä
- Joen osamalli, joka simuloi ravinteiden muutoksia ja laimennusta virtaamassa

Maakerroksen osamalli simuloi yleistettyä maankäyttömuotoa osavaluma-alueella, eli ns. hydrologisesti vastaavaa yksikköä (matemaattisesti kuvattuna 1 km² soluna; kuva 1). Täten malli on rakenteeltaan pikemminkin osittain tai näennäisesti hajautettu kuin täysin hajautettu. Jotta voidaan arvioida veden ja P-tuotoksia kustakin maankäyttötyypistä kunkin osa-valuma-alueen sisällä, solumallin tilavuus ja kuormitus kerrotaan maankäyttöalueella ja kunkin maankäytön tuotokset lasketaan yhteen. Tuloksena oleva varastotilavuus ja ravinnekuorma syötetään sitten peräkkäin monivaiheiseen jokinmalliin, kuten kuvassa 1 on esitetty. Numeerinen menetelmä yhtälöiden ratkaisemiseksi perustuu neljännen kertaluvun Runge-Kutta-tekniikkaan, koska tämä mahdollistaa malliyhtälöiden samanaikaisen ratkaisemisen ja varmistaa siten, ettei jokin yhtälöiden esittävä prosessi ole etusijalla toiseen verrattuna.

Yksinkertaistettua käsitteellistä esitystä todellisessa jokijärjestelmässä odotetusta käyttäytymisestä käytetään yksinkertaistamaan mallirakennetta, lyhentämään kunkin malliajon aikaa ja minimoimaan mallin tietovaatimukset. Kun otetaan huomioon virtausreittien sekä ravinneprosessien ja varastojen monimutkainen ja erittäin heterogeeninen luonne, on epävarmaa, parantaako realistisemmän esityksen luominen mallin suorituskykyä. Lisäksi INCA -mallin tuottamat hydrologiset ja prosessisimulaatiot, jotka käyttävät samoja oletuksia ja rakennetta, näyttävät riittävältä (Whitehead ym., 1998b; Wade ym., 2002).

Lähteet

Aakkula, J., Kuussaari, M., Rankinen, K., Ekholm, P., Heliölä, J., Hyvönen, T., Kitti, T. & Salo, T. 2012. Follow-Up Study On The Impacts Of Agri-Environmental Measures In Finland. In: OECD (ed.), *Evaluation of Agri-Environmental Policies Selected Methodological Issues and Case Studies*, OECD publishing, pp. 111–127.

- Futter, M.N., Erlandsson, M.A., Butterfield, D., Whitehead, P.G., Oni, S.K. & Wade, A.J. 2014. PERSiST: a flexible rainfall-runoff modelling toolkit for use with the INCA family of models. *Hydrology and Earth System Sciences* 18: 855–873.
- Jackson-Blake, L.A., Wade, A.J., Futter, M.N., Butterfield, D., Couture, R.M., Cox, B.A., Crossman, J., Ekholm, P., Halliday, S.J., Jin, L., Lawrence, D.S.L., Lepistö, A., Lin, Y., Rankinen, K. & Whitehead, P.G. 2016. The INtegrated CAtchment model of phosphorus dynamics (INCA-P): Description and demonstration of new model structure and equations. *Environmental Modelling & Software* 83: 356–386.
- Wade, A., Durand, P., Beaujoan, V., Wessels, W., Raat, K., Whitehead, P.G., Butterfield, D., Rankinen, K. & Lepistö, A. 2002. Towards a generic nitrogen model of European ecosystems: New model structure and equations. *Hydrology and Earth System Sciences* 6: 559–582.
- Whitehead, P.G., Wilson, E.J. & Butterfield, D. 1998. A semi-distributed Integrated Nitrogen model for multiple source assessment in Catchments (INCA): Part I-model structure and process equations. *the Science of the Total Environment* 210/211: 547–558.

LIITE 2: RUSLE-eroosiomallinnus

Timo Räsänen

Vesistökuormitusryhmä, Luonnonvarakeskus (Luke)

Erosion arviointi RUSLE-mallilla

Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

Maatalousmaiden vesieroosiota arviointiin RUSLE-mallilla (Revised Universal Soil Loss Equation), joka on laajalti käytetty empiirinen malli (Wischmeier & Smith, 1978; Renard ym., 1997). Malli arvioi maaperästä irtoavan maa-aineksen määrää, mutta ei sen kulkeutumista. Malli on muotoa

$$E = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

jossa E (t/ha/v) on keskimääräinen vuotuinen eroosio ja R (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ yr⁻¹) kuvaa sadannan eroosiovaikutusta ja K (t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹) maaperän erodoituvuutta. Muut yhtälön tekijät ovat yksiköttömiä ja niistä L (-) kuvaa rinteiden pituuden, S (-) rinteiden kaltevuuden, C (-) kasvien ja maanmuokkausmenetelmien, ja P (-) kuvaa eroosiontorjuntatoimien vaikutusta eroosioon. C voidaan jakaa alatekijöihin $C_{\text{kasvilaji}}$ ja $C_{\text{toimenpiteet}}$, jotka kuvaava kasvilajin ja pellolla tehtävien toimenpiteiden, kuten maanmuokkauksen vaikutusta eroosioon.

Mallinnusasetelma

RUSLE-mallia on sovellettu Suomessa aiemminkin (Lilja ym., 2017a, 2017b), mutta tässä työssä käytetyt laskelmat perustuvat RUSLE-malliin, joka on uudelleen kalibroitu ja sisältää päivitettyjä aineistoja (Räsänen ym., käsikirjoitus). RUSLE:n käyttö on kuvattu alla yleisellä tasolla ja tarkempaa tietoa RUSLE-mallista ja sen soveltamisesta löytyy esimerkiksi julkaisusta Panagos ym. 2015a.

Työssä laskettiin kaksi erilaista eroosiomäärettä. Ensimmäinen on potentiaalinen eroosioriski, jossa kaikille peltomaille oletettiin sama käyttömuoto (avokesanto), jotta eri kasvien ja maanmuokkausmenetelmien vaikutukset voitaisiin poissulkea ja pellot olisivat keskenään vertailukelpoisia. Potentiaalisesta eroosioriskistä laskettiin myös kasvulohkokohtainen potentiaalinen eroosioriski, jossa huomioitiin salaajituksen eroosiota vähentävä vaikutus. Toinen laskettu eroosiomäärä on todellinen eroosioriski, joka perustuu Ruokaviraston vuoden 2019 viljely- ja toimenpidetietoihin (Ruokavirasto 2020). Lisäksi työssä laskettiin skenaarioita, joissa arvioitiin eroosion vähennys mahdollisuuksia talviaikaista kasvipeitteisyyttä lisäämällä. RUSLE-arviot perustuvat vuosien 2007–2013 keskimääräiseen sadantaan, joten vuosittaista säävaihtelua ei ole huomioitu.

Eroosiolaskenta toteutettiin kaikille maatalousmaille kahden metrin tarkkuudella (Räsänen ym. käsikirjoitus). R otettiin Euroopan laajuisesta aineistosta (Panagos et al., 2015b), joka Suomen osalta perustuu sadantahavaintoihin 60 mittausasemalta. K -tekijä perustui Maannostietokantaan (Lilja et al., 2017c), johon oli lisätty maalajikohtaiset K -arvot (Lilja et al., 2017b). LS laskettiin Maanmittauslaitoksen kahden metrin korkeusmallista (MML, 2020) käyttäen SAGA GIS:n LS -tekijä-moduulia ja Desmet ja Govers (1996) -menetelmää. Laskennat toteutettiin CSC – Tieteen tietotekniikan keskuksen suurteholaskentaympäristössä R -ohjelmistoa hyödyntäen.

$C_{\text{kasvilaji}}$ ja $C_{\text{toimenpiteet}}$ määritettiin Ruokaviraston vuoden 2019 kasvulohkoaineiston kasveille (209 kpl) ja maanmuokkausmenetelmille (kyntö, kevytmuokkaus, ei syysmuokkausta/talviaikainen kasvipeite) kalibroimalla malli peltotason mittausaineistoja vasten (Taulukko 1) sekä hyödyntämällä kirjallisuusarvoja (Panagos et al., 2015c). Kalibrointi tehtiin käyttäen mittausaineistoja

seitsemältä koepelloilta – Aurajoki, Gårdskulla, Hovi, Liperi, Kotkanoja, Nummela ja Toholampi. Mallia myös testattiin viidellä pienellä (5–15 km²) ja neljällätoista suurella (300–3700 km²) valuma-alueella virtavesistä tehtyjä kiintoainemittauksia vasten.

P-tekijässä huomioitiin vain salaojien vaikutus eroosioon. Salaojien vaikutuksesta eroosioon on vähän empiiristä tutkimusta, mutta olemassa olevan kirjallisuuden perusteella (Formanek ym., 1987; Istok ym., 1985; Lilja ym., 2017a; Turtola ja Paajanen, 1995) päädyttiin arvioon, että sala-ojitus vähentää eroosiota 40 %, jolloin P saa arvon 0.6. Peruslohkokohtainen sala-ojitus-tieto saatiin Salaojayhdistykseltä ja aineisto kuvasi vuoden 2017 tilannetta.

Kalibroidun mallin hyvyys

Peltolohkotasolla malli arvioi todellisen eroosion hyvin viidellä koepelloilla ja aliarviointia esiintyi kahdella. mallinnustapauksia erilaisilla kasvipeite- ja maanmuokkaustapauksia oli yhteensä 20 kpl ja mallitulosten ja mittausten välinen R² oli 0,76. Jos vertailusta jätetään pois kaksi peltoa, joissa malli aliarvioi eroosiota, niin tapauksia oli 15 ja R² oli 0,98. Isoilla valuma-alueilla mallitulosten ja mittausten välinen R² oli 0,9 ja pienillä valuma-alueilla esiintyy enemmän epätarkkuutta, mutta malli arvioi kuitenkin valuma-alueiden välisen eroosion suuruusjärjestyksen mallitulosten ja mittausten välillä oikein. Malli myös erotteli eri kasvilajit ja toimenpiteet erittäin hyvin. Kalibroidut C-tekijän arvot on esitetty Taulukko 1.

Taulukko 1. RUSLE-mallin C-tekijän kalibroituja ja kirjallisuusarvoja.

Kasvilajit ja toimenpiteet	Tapausten määrä koepelloilla	Kalibroitu		Laskettu kalibroituista arvoista		Kirjallisuusarvoja (Panagos et al., 2015b)
		C [-]	Eroosiota vähentävä vaikutus [%]	C _{kasvilaji} [-]	C _{toimenpiteet} [-]	
Vilja, normaali syyskylvö	5	0.211	-	0.211	1	C _{kasvilaji} : 0.2, C _{toimenpiteet} : 1
Vilja, kevennetty syyskylvö (kultivaattori, sänkimuokkaus)	4	0.162	-23 %	0.211	0.768	-
Syysvilja	2	0.149	-29 %	-	-	-
Vilja, ei syysmuokkausta (talviaikainen sänki, suorakylvö)	5	0.072	-66 %	0.211	0.341	C _{kasvilaji} : 0.2, C _{toimenpiteet} : 0.25
Monivuotinen nurmi/heinä	3	0.065	-69 %	-	-	C: 0.0273
Monivuotinen laidun	1	0.097	-54 %	-	-	C: 0.0971

Mallin suorituskykyä voidaan kuvata kohtalaisen hyväksi mallituloksissa esiintyvistä epävarmuuksista huolimatta, mutta erityisesti yksittäisten lohkojen tasolla tulosten tulkinnessa on syytä käyttää harkintaa pitäen mielessä epävarmuudet. Epävarmuuksien oletetaan johtuvan puutteista mallissa ja siinä käytetyissä aineistoista. Esimerkiksi maaperän kuvaus on aineistojen puutteellisuuden vuoksi karkeahko ja maaperän ominaisuuksien vaikutuksia eroosioon ei voitu kuvata riittävän hyvin.

Eroosiontorjunnasta yleisesti

RUSLE-malli kalibroitii seitsemän koepellon mittausaineistoja vasten ja kalibrointituloksista saatiin yleistettyjä arvioita talviaikaisen kasvipeitteisyyden, kevytmuokkauksen ja nurmipeitteen vaikutuksista eroosioon viljan viljelyssä (Taulukko 1). Lisäksi kalibroinnissa jouduttiin analysoidaan ja pohtimaan salaojien ja suojavyöhykkeiden roolia eroosiontorjunnassa. Tässä eroosiontorjuntaa käsittelevässä osiossa käsitellään näiden edellä mainittujen tekijöiden vaikutusta eroosioon, mutta eroosiota voidaan torjua muillakin menetelmillä.

Tehokkaimmaksi yksittäiseksi eroosiontorjuntamenetelmäksi todettiin ympärivuotinen nurmi (Taulukko 1). Nurmi vähensi eroosiota 74 % verrattuna kevätiljan viljelyyn, jossa syysmuokkauksena on normaali kyntö. Toiseksi tehokkain oli talviaikainen sänki, joka vähensi eroosiota 66 %. Seuraavaksi tehokkaimmat olivat syysviljat ja kevytmuokkaus, jotka vähensivät eroosiota 29 % ja 23 %. Ympärivuotisten laiturien arvioitiin aiheuttaman eroosiota jonkin verran enemmän kuin ympärivuotisten nurmien.

Salaojituksen tiedetään myös vähentävän eroosiota (Formanek ym., 1987), mutta tutkimusta aiheesta on vähän. Salaojitus vähentää pintavaluntaa ja sen maaperää erodoivaa vaikutusta ja eroosiota vähentäväksi vaikutukseksi on arvioitu -28 % - -55 % (Formanek ym., 1987; Istok ym., 1985). Uusintasalaojituksen on havaittu vähentävän eroosiota 15 % (Turtola ja Paajanen, 1995). Salaojituksen myötä suurimmat eroosiokuormat, jopa 50–92 %, tulevat mittausaineistojen (Gårdskulla, kotkanoja, Nummela, Toholampi) perusteella salaojavalunnan mukana. Cesiummittaukset ovat osoittaneet, että salaojien kautta tuleva eroosioaine on pääsoin peräisin maan pintakerroksista (Uusitalo ym., 2001). Vaikka salaojat vähentävät eroosiota, salaojista valuvan eroosioaineksen torjunta on hankalaa. Salaojitus saattaa myös lisätä typen huuhtoutumista (Turtola ym. Paajanen, 1995).

Suojavyöhykkeillä voidaan vähentää eroosioaineksen kulkeutumista vesistöihin, mutta niiden teho ei ole yksiselitteinen. Salaojitetun pellolla suojavyöhykkeiden on havaittu vähentävän pintavalunnan mukana huuhtoutuvaa eroosioainesta noin 53–58 % viljan ja normaalin syyskynnön tapauksessa, 22–26 % suorakylvössä ja 11–14 % laiturilla (Uusi-Kämppe & Jauhainen, 2010). Mittausaineistojen perusteella 50–92 % eroosioaineksesta kulkeutuu kuitenkin salaojavalunnan kautta ja siten salaojien kokonaiseroosiota (pinta- ja salaojavalunta) vähentävä vaikutus on pienempi kuin yllä mainituissa luvuissa. Sen sijaan salaojittamattomilla pelloilla suojavyöhykkeen vaikutus voi olla merkittävämpi. Vaikutukset riippuvat kuitenkin hyvin paljon paikallisista olosuhteista ja suojavyöhykkeillä on myös erittäin tärkeä rooli eroosion torjunnassa suojavyöhykkeen omalla alueella. Alueet, joille suojavyöhykkeitä perustetaan ovat vesistöjen läheisyydessä ja usein vesistöön päin viettäviä ja siten eroosioriskialueita.

Lähteet

- Desmet, P.J.J. & Govers, G. 1996. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *J. Soil Water Conserv.* 51: 427–433.
- Formanek, G.E., ROSS, E. & Istok, J. 1987. Subsurface drainage for erosion reduction on croplands in northwestern Oregon. In: *Irrigation Systems for the 21st Century*, in: Proceedings of the Irrigation and Drainage Division Special Conference. American Society of Civil Engineers, New York, New York, pp. 25–31.
- Istok, J.D., Boersma, L. & Kling, G.F. 1985. Subsurface drainage: An erosion control practice for Western Oregon (No. 729), Special report. Agricultural Experiment Station, Oregon State University, Corvallis.
- Lilja, H., Hyväluoma, J., Puustinen, M., Uusi-Kämppe, J. & Turtola, E. 2017a. Evaluation of RUSLE2015 erosion model for boreal conditions. *Geoderma Reg.* 10: 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.05.003>
- Lilja, H., Puustinen, M., Turtola, E. & Hyväluoma, J. 2017b. Suomen peltojen karttapohjainen eroosio-luokitus: Valtakunnallisen kattavuuden saavuttaminen ja WMS-palvelu. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 42/2017*. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 34 s.

- Lilja, H., Uusitalo, R., Yli-Halla, M., Nevalainen, R., Väänänen, R., Tamminen, P. & Tuhtar, J. 2017c. Suomen maannostietokanta: Käyttöopas versio 1.1 (No. 6), Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 6/20217. Luonnonvarakeskus (LUKE). Helsinki. 68 s.
- MML 2020. Elevation model 2 m | Maanmittauslaitos [WWW Document]. URL <https://www.maanmittauslaitos.fi/en/maps-and-spatial-data/expert-users/product-descriptions/elevation-model-2-m> (accessed 6.9.20).
- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L. & Alewell, C. 2015a. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environ. Sci. Policy* 54, 438–447. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.012>
- Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rousseva, S., Tadić, M.P., Michaelides, S., Hrabalíková, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M., Rymaszewicz, A., Dumitrescu, A., Beguería, S. & Alewell, C. 2015b. Rainfall erosivity in Europe. *Sci. Total Environ.* 511: 801–814. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.008>
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E. & Montanarella, L. 2015c. Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land Use Policy* 48, 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.021>
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K. & Yoder, D.C. 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Agric. Handb.* 703 US Dep. Agric. Wash. DC Pp 404.
- Ruokavirasto 2020. Kasvulohkoaineisto 2019, Peltolohkokisteri. Ruokavirasto.
- Turtola, E. & Paajanen, A., 1995. Influence of improved subsurface drainage on phosphorus losses and nitrogen leaching from a heavy clay soil. *Agric. Water Manag.* 28: 295–310. [https://doi.org/10.1016/0378-3774\(95\)01180-3](https://doi.org/10.1016/0378-3774(95)01180-3)
- Uusi-Kämppe, J. & Jauhiainen, L., 2010. Long-term monitoring of buffer zone efficiency under different cultivation techniques in boreal conditions. *Agric. Ecosyst. Environ.*, Special section Harvested perennial grasslands: Ecological models for farming's perennial future 137: 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.01.002>
- Uusitalo, R., Turtola, E., Kauppila, T. & Lilja, T. 2001. Particulate Phosphorus and Sediment in Surface Runoff and Drainflow from Clayey Soils. *J. Environ. Qual.* 30: 589–595. <https://doi.org/10.2134/jeq2001.302589x>
- Wischmeier, W. & Smith, D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. *Agric. Handb.* No 537 Wash. DC USA US Dep. Agric.

LIITE 3: Elinkaarimallien lähtötiedot

Taulukko 1. Elinkaaristen rehevöittävien vaikutusten arvioinnissa käytetyn LCA-päästömallin lähtötiedot.

Taustatiedot	yksikkö	Ohra	Lähde/huom	Nurmi	Lähde/huom
Satotaso	kg/ha	3538	Luken tilastot	5500	https://www.luke.fi/projektit/nurtu-paaprojekti/
Lannoitus					
Väkilannoite N	kg/ha	90	Yara lannoiteopas 2017–2018 s. 27	190	Yara lannoiteopas 2017–2018 s. 27
Väkilannoite P	kg/ha	10	Yara lannoiteopas 2017–2018 s. 27	17	Yara lannoiteopas 2017–2018 s. 27
Kylvösiemenen määrä	kg/ha	220	Keskimääräinen	21	Nurmi: kylvetään vain kerran, ensin suoja-vilja, nurmi 3 vuotta itsekseen eli kerran 4:ssä vuodessa 21 kg/ha, jaetaan kolmella vuodella (yhden viljelykierron aikana)
Kalkitusaineet					
kalkkikivi (67 %)	kg/ha/vuosi	667	ylläpitokalkitus tehdään 5. vuoden välein	667	ylläpitokalkitus tehdään 5. vuoden välein
Viljelytoimenpiteet:					
Kylvölannoitus	krt/ha/vuosi	1		0,25	
lannoitteen pintalevitys	krt/ha/vuosi	1–2		2	N, aina sadonkorjuun jälkeen
Ruiskutus	krt/ha/vuosi	2 kertaa: 1. rikkakasvien torjunta-aineet ja osa tautien torjunta-aineista, 2. loput tautien torjunta-aineista ja hivenaineet		0,3	
Kalkinlevitys	krt/ha/vuosi	0,2			
Kyntö	krt/ha/vuosi	0,5		0,25	
Äestys	krt/ha/vuosi	0,3		0,5	
Kylvö	krt/ha/vuosi	0,1			
Maalaji (keskimäärin Raaseporin alue)	kiv.maa %	62	https://www.tuloslaari.fi/	62	https://www.tuloslaari.fi/
	savimaa%	36	https://www.tuloslaari.fi/	36	https://www.tuloslaari.fi/

Taulukko 2. SimaProssa käytetyt parametrit ohralle. Päästöt veteen (N ja P) ovat laskettu takautuvasti vuodelle 1995, ja nykytilalle, käyttäen INCA ja Luke LCA käytössä olevia päästömalleja.

Ohra, Mustionjoki	yksikkö	INCA -malli		Luken LCA malli	
		vuosi 1995	nykytila	vuosi 1995	nykytila
Panokset					
Sato	kg	4069*	3538	4069	3538
Kyntö, jäykkä maalaji	ha	1	1	1	1
Äestys, jäykkä maalaji	ha	1	1	1	1
Kylvölannoitus, ka.	ha	1	1	1	1
Leikkuupuinti, hyvä sato	ha	1	1	1	1
Viljan kuivaus, ka.	kg	244	212	244	212
Typpilannoituksen suorat N ₂ O-päästöt	kg	180	90	90	90
Kasvintähteiden N ₂ O-päästöt	kg	30,8	26,8	30,8	26,8
Väkilannoitteiden peltokäytön päästöt	kg	180	90	180	90
Lannoitteiden valmistus, Suomen ka.	kg	180	90	180	90
Kalkin valmistus	kg	660	660	660	660
Kalkkikiven käytön CO ₂ -päästö	kg	660	660	660	660
Kalkin levitys	ha	1/1,5	1/1,5	1/1,5	1/1,5
Peltokuljetus, ka.	tkm	20	18	18	18
Ohra, tavanomainen, siemenet	kg	220	220	220	220
Kasvinsuojeluruiskutus, ka.	ha	2	2	2	2
Päästöt veteen:					
Kokonais-N	kg/ha	54,3	18,9	23,6	11,4
Kokonais-P	kg/ha	1,2	1,2	0,8	0,8

*sato 15 % isompi

Taulukko 3. SimaProssa käytetyt parametrit nurmelle. Päästöt veteen (N ja P) ovat laskettu INCA-mallissa, Luken LCA-päästömalleissa nykytilalle.

Nurmi, Mustionjoki		INCA-malli	Luke LCA-malli
Panokset	yksikkö	nykytila	nykytila
Sato	kg	5000	5000
Peltokuljetus, keskiarvo	tkm	50	50
Kalkin levitys	ha	1/5	1/5
Kalkkikiven käytön CO ₂ -päästö	kg	660	660
Kalkin valmistus	kg	660	660
Heinän niitto, keskiarvo	ha	2	2
Sänkimuokkaus kultivaattorilla, keskiarvo	ha	1	1
Kylvöannoitus, keskiarvo	ha	0,25	0,25
Väkilannoitteiden peltokäytön päästöt	kg	100	100
Typpilannoituksen suorat N ₂ O-päästöt	kg	100	100
Lannoitteiden valmistus, Suomen keskimääräinen	kg	100	100
Päästöt veteen:			
N	kg/ha	9,6	9,1
P	kg/ha	1,3	0,8



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000