

## Maatalouden vesiensuojelutoimenpiteiden vaikutukset muuttuvissa ilmasto-oloissa

Markku Puustinen<sup>1)</sup>, Kirsti Granlund<sup>1)</sup>, Tapio Salo<sup>2)</sup>, Katri Siimes<sup>1)</sup>, Sirkka Tattari<sup>1)</sup>, Sari Väisänen<sup>1)</sup>, Jari Koskiaho<sup>1)</sup> ja Jarmo Linjama<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>*Syke, PL 140, 00251 Helsinki, etunimi.sukunimi@ymparisto.fi*

<sup>2)</sup>*MTT, 31600 Jokioinen, etunimi.sukunimi@mtt.fi*

### Tiivistelmä

1990-luvun loppuvuosilta saakka todettu leutojen ja sateisten talvien toistuminen saattaa olla ensimmäisiä maataloutta koskevia konkreettisia seurauksia ilmastonmuutoksesta. Sen vaikutusten arviointi maatalouden aiheuttamaan vesistökuormitukseen on keskeinen tehtävä jo ennen kuin ilmasto muuttuu pysyvästi erilaiseksi. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten ilmastonmuutos vaikuttaa kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen viljelytoimenpiteiden jatkuessa muuttumattomina ja kuinka paljon vaihtoehtoiset toimenpiteet ja toimenpideyhdistelmät vähentävät kuormitusta nykyilmastossa sekä muuttuneissa ilmasto-oloissa neljän erilaisen ilmastoskenaariota perusteella. Tutkimus perustui kuormitusmallien käyttöön, joilla laskettiin eroosion, fosforin ja typen kuormituksen muutoksia.

INCA-N-mallin tulosten mukaan koko peltoalueen viherkesannointi vähentää valuma-alueen epäorgaanisen typen kuormitusta nykyilmastossa n. 50 %. Tulevaisuuden ilmastossa vähenemä olisi keskimäärin vain 26 % nykytilan kuormitukseen verrattuna. Tämä johtuu valunnan ja osittain typen mineralisaation lisääntymisestä etenkin kasvukauden ulkopuolella myös viherkesantokasvustossa (Granlund ym. 2010). Viljelykasvin ominaisuuksien pysyessä nykyisinä, COUP-mallin mukaan typen huuhtoutuminen kaksinkertaistuu sekä 2025 että 2085 skenaarioissa. Typen huuhtoutumista kohottavat sekä lämpötilan nousun vauhdittama maan typen mineralisaatio että talviaikaisen valunnan lisääntyminen.

Toholammille tehtyjen ICECREAM-mallin simulaatioiden mukaan pintavalunnan ajoittuminen muuttuu ratkaisevasti. Jatkossa ei ole enää selkeää kevätvaluntapiikkiä, joka on yleensä tullut pintavaluntana, ja pohjavalunnan määrä (suureksi osaksi salaojiin) kasvaa jonkin verran. Torjunta-aineiden huuhtoutumisriski tulevaisuudessa todennäköisesti kasvaa johtuen monista syistä: 1) skenaarioiden mukaiset syys- ja talvisateet lisäävät pelloilta vesistöihin poistuvan veden (joko pintavalunta tai salaojavalunta) määrää 2) pelloilla seisova lammikoitunut pintavesi irrottaa maahan normaalisti tiukastikin sitoutuvat aineet ja 3) torjunnan ja torjunta-aineiden käyttötarve ajoittuu syksyyn syysmuotoisten kasvien yleistyessä.

Viljelyalueiden valumavesien hallintamallin (VIHMA) laskentatulosten mukaan maatalouden nykyiset peltotoimenpiteet ovat alentaneet koko peltoalalla, kun hydrologinen vuosivaihtelu jätetään huomiotta, eroosiota ja partikkelifosforin kuormitusta yhteensä 20 %, kokonaisfosforikuormitusta 12 % ja typpikuormitusta 6 %. Jos nykyisten toimenpiteiden vaikutuksia arvioidaan hydrologisesti kuormittavien vuosien olosuhteissa, eroosio ja partikkelifosforin kuormitus on pienentynyt n. 7 % ja kokonaisfosforin ja -typen kuormituksessa ei ole tapahtunut lainkaan muutoksia.

Ilmastonmuutos lisää riskiä peltomaan ravinteiden huuhtoutumiselle leutojen talvien yleistyessä. Peltojen vesitalouden ja rakenneongelmien hallintaan tulee kehittää uusia teknisiä ratkaisuja kastelun ja kuivatuksen tarpeiden muuttuessa. Luonnonmukaisen vesistörakentamisen periaatteiden soveltaminen peruskuivatuksessa voidaan nähdä peltojen kuivatustarpeen ja tuottoedellytysten sekä vesistöjen tilatarpeen integroivana toimenpiteenä. Kosteikat kuuluvat järjestelmään välttämättöminä uoman osina.

Sekä peltokasvien satoisuuden että ympäristön kannalta optimaalinen ravinnetalous edellyttää maaperän omien ravinnevarastojen mahdollisimman tarkkaa hyödyntämistä. Tavoitteena tulee olla fosforilukujen alentaminen kestäväälle tasolle ja kasvien typen käytön tehostaminen mineralisaatioprosessien kiihtyessä myös syys- ja talvikaudella. Intensiivisen maanmuokkauksen korvaaminen pysyvän kasvipeitteen kaltaisilla vaihtoehdoilla on keskeinen toimenpide kuormitusherkillä alueilla.

## Johdanto

Maataloudesta vesistöihin tulevaa kiintoaine- ja ravinnekuormitusta vähennetään kilpajuoksuna muuttuvien sääilmiöiden kanssa. Jo 1990-luvun loppuvuosilta saakka on ollut todennettavissa leutojen ja sateisten talvien tavanomaista runsaampaa toistumista. Tämä saattaa olla ensimmäisiä maataloutta koskevia konkreettisia seurauksia ilmastomuutoksesta.

Maatalouden vesistökuormitusta on pyritty vähentämään maatalouden ympäristötuen toimenpiteillä vuodesta 1995 lähtien. Tämä jakso muodostaa johdonmukaisen ja päämäärätavoitteisen ympäristökysymykset huomioivan toimintajakson huolimatta siitä, että ohjelman toimenpiteitä koskeva sisältö on ajoittain muuttunut. Keskeinen tavoite tässä on ollut saada aikaan merkittäviä ympäristöhyötyjä. Jokien ainevirtaamaseurannoissa niitä on kuitenkin ollut hyvin vaikea todentaa, vaikka peltolohkokokeissa saadut tulokset osoittavat erilaisten viljelykäytäntöjen välillä selviä eroja. Toimenpiteiden vaikutuksia on ensisijaisesti arvioitu laajassa mittakaavassa haastattelemalla viljelijöitä muuttuneista tuotantotavoistaan, arvioimalla ravinnetaseita lannoite- ym. tilastojen perusteella ja käyttämällä kuormitusmalleja laskentatyövälineinä.

Ilmastomuutoksen vaikutusten arviointi maatalouden aiheuttamaan vesistökuormitukseen on keskeinen tehtävä jo ennen kuin ilmasto on pysyvästi muuttunut erilaiseksi. Lähestymistapa tähän tutkimusongelmaan on enenevässä määrin jatkuvatoiminen valuma-alueiden seuranta kehittyneellä anturitekniikalla sekä kuormitusmallien ja erilaisten ilmasto- ja maankäytön skenaarioiden yhdistäminen. Tämän tutkimuksen (WP ILMASOPU-hankeessa) tavoitteena oli selvittää, 1) miten ilmastomuutos vaikuttaa kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen viljelytoimenpiteiden jatkuessa muuttumattomina, 2) missä määrin vaihtoehtoiset toimenpiteet ja toimenpideyhdistelmät vähentävät kuormitusta nykyilmastossa sekä muuttuneissa ilmasto-oloissa neljän erilaisen ilmastoskenaarioiden perusteella ja 3) millä toimenpidevolyymin lisäyksellä absoluuttista lähtötilanteen kuormitustasoa saadaan vähennettyä tavoitetasoonsa jo ilmaston muutoksen alkuvaiheessa. Lisäksi tutkimuksen tavoitteena on esittää tämän hetkisen tietotason epävarmuustekijöitä ilmastomuutokseen sopeutumista ajatellen.

## Aineisto ja menetelmät

Savijoen pieneltä valuma-alueelta (60°36' N, 22°40' E) jatkuvatoimisen veden laadun (sameus, nitraatti) mittaustuloksia on vuoden 2007 kesäkuusta lähtien. Runsaan kahden vuoden seurantatulokset sisältävät vuoden 2007–2008 hyvin leudon ja sateisen talven ilmiöt sekä vuoden 2008–2009 melko normaalin ja tavanomaisen lumisen pakkastalven ilmiöt. Savijoen valuma-alueen implementointi ja seuranta toteutettiin MMM:n rahoittamassa hankkeessa: Seurannan kehittäminen ja kuormitusmallien jalkauttaminen maatalousvaltaisten valuma-alueiden hoito- ja toimenpideohjelmien työkaluksi (SeMaTo).

Erosion ja ravinteiden huuhtoutumien nykyinen arviointi tulevissa ilmasto-oloissa perustuu mallitarkasteluihin. Käytetyistä malleista COUP ja ICECREAM ovat peltolohkokohtaisia malleja ja INCA-N (Integrated Nutrients from Catchments – Nitrogen model) ja VIHMA valuma-alueille. Vesistömallijärjestelmä (VEMALA) simuloi hydrologian ja fosforiravinnekuormituksen vaihtelua reaaliaikaisesti päivätasolla kaikilla Suomen jokivesistöalueilla.

INCA-N tyypimallia (Whitehead et al. 1998, Wade et al. 2002) sovellettiin Savijoen pienellä maatalousvaltaisella valuma-alueella Lounais-Suomessa (Granlund ym. 2010). Tavoitteena oli selvittää mallintamisen keinoin 1) miten ilmastomuutos vaikuttaa maatalousmaan typpihuuhtoumaan viljelytoimenpiteiden jatkuessa muuttumattomina ja 2) missä määrin peltomaan viherkesannointi vähentää valuma-alueen typpihuuhtoumaa nykyilmastossa sekä muuttuneissa ilmasto-oloissa neljän erilaisen ilmastoskenaarioiden perusteella. Nykytilaa kuvattiin simulointijaksolla 1981–2004. Viherkesannointi edustaa vesiensuojeluskenaariota, jossa koko peltoalue on lannoittamatonta viherkesantoa. Ilmastoskenaariot (IPCC SRES A2 ja B2) edustavat jaksoa 2071–2100 ja niiden mukaan vuoden keskilämpötila nousisi 2.8–4.7 °C ja sadanta kasvaisi 10.1–23.6 %. Simuloitaessa viherkesannon kykyä vähentää typpikuormitusta tulevassa ilmastossa otettiin huomioon kasvukauden pidentyminen (20 vrk) sekä satotason todennäköinen kasvaminen (n. 26%).

COUP-malli kalibroitiin Jokioisten Kotkanojan huuhtoutumiskentän (60°49' N, 23°30' E) mitattuun valuntaan ja tyypin huuhtoutumiseen vuosina 1994–2007. Tarkastelujakson viljelykasvina oli kevätilja, jolle määritettiin tyypillinen kasvukauden pituus ja typenotto. Vuosille 1994–2007 tehdyn kalibroinnin jälkeen COUP-mallin avulla simuloitiin tyypin huuhtoutuminen ja denitrifikaatio sekä vesitase vuosien 2025 ja 2085 mukaisilla A2-skenaarioilla. Viljelykasvin kasvuaika ja typpitarve

pidettiin ensiksi samana kuin 1994–2007 kaudella ja sen jälkeen simuloinnit toistettiin kevätiljalla, jonka kasvukausi oli noin 20 vrk pidempi ja typentarve 25 % korkeampi kuin nykyisillä kevätiljoillamme. Tuloksista tarkasteltiin valunnan ja typen hävikkien lisäksi kasvuston typenottoa, typen denitrifikaatiota ja maan hiilipitoisuuden muutoksia.

VIHMALLA (Viljelyalueiden valumavesien hallintamalli) simuloitiin nykyisten ja teoreettisten toimenpiteiden vaikutuksia kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen. Malli sisältää pellon ominaisuuksiin (maalaji, kaltevuus, P-luku) ja pellon käyttöön (viljelykasvi/muokkausikäytäntö) perustuvan luokittelujärjestelmän sekä peltoluokkien ominaiskuormitusaineiston. Mallia sovellettiin Savijoella, Aurajoella, Kalajoella ja koko viljellyllä peltoalalla. Kullekin tarkastelualueelle laskettiin kiintoaine- ja ravinnekuormitus tilanteessa, jossa ei ole toteutettu ympäristötoimenpiteitä sekä nykyisten ja teoreettisten toimenpiteiden vaikutuksia muuttumattomissa ja muuttuneissa sääoloissa. Syöttötietoina VIHMAssa käytettiin kohdealueilla jo toteutettuja toimenpiteitä (mm. MYTVAS-raportti, Mattila ym. 2007) ja koko maatalouden osalta MMM:n tilastoja suojaväyhykkeistä ja peltojen kasvipeitteisyydestä.

Torjunta-aineiden mallinnukseen perustuvassa työssä pyrittiin selvittämään fosforin ja kasvinsuojeluaineiden huuhtoutumisen muutoksia ilmaston muuttuessa. Huuhtoutumisen arviointiin käytettiin ICECREAM-mallia, joka parametrisoitiin Pohjanmaalla sijaitsevalle Toholammin huuhtoutumiskentälle (63°49'N, 24°09'E). Simuloineilla pyrittiin selvittämään vastaavan melko tasaisen hietamaan huuhtoumia ohran, perunan, syysrukiin ja tulevaisuudessa mahdollisesti Pohjanmaallakin yleistyvän syysvehnän viljelyssä.

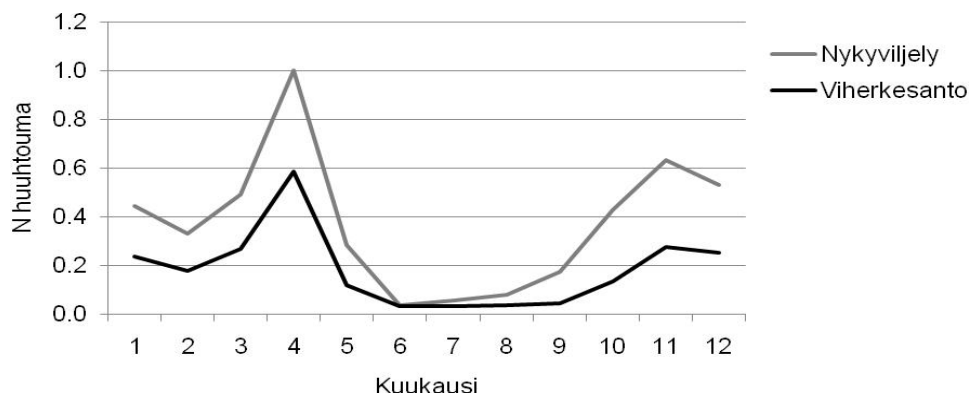
## Tulokset ja tulosten tarkastelu

### INCA-N-malli

Ilmastoskenaarioiden mukainen lämpötilan kohoaminen ja sadannan lisääntyminen talvella vaikutti voimakkaasti mallinnettuun lumipeitteen ja valunnan jakautumiseen Savijoella. Lumen vesiarvo pysyi alhaisena ja lumipeitekausi lyheni keväällä noin kuukaudella. Myöhäissyksyn ja talven valunta lisääntyi huomattavasti korvaten nykyisen lumen sulamisesta aiheutuvan kevävaluntapiikin.

Viljelytoimenpiteiden jatkuminen muuttumattomina tulevissa ilmasto-oloissa aiheutti valuma-alueen tippikuorman kasvun n. 46 %:lla (vaihteluväli eri skenaarioilla 29–64 %). Huuhtouma lisääntyi erityisesti marraskuun ja helmikuun välisellä jaksolla. Huuhtouman kasvu johtui mineralisaation kiihtymisestä ja valunnan lisääntymisestä kasvukauden ulkopuolella.

Mallitulosten mukaan koko peltoalueen viherkesannointi vähentää valuma-alueen epäorgaanisen typen kuormitusta nykyilmastossa n. 50 % (Kuva 1). Tulevaisuuden ilmastossa vähenemä olisi keskimäärin vain 26 % nykytilan kuormitukseen verrattuna. Tämä johtuu valunnan ja osittain typen mineralisaation lisääntymisestä etenkin kasvukauden ulkopuolella myös viherkesantokasvustossa (Granlund ym. 2010).



Kuva 1. Epäorgaanisen typen suhteellinen huuhtouma Savijoen valuma-alueelta vuositasolla nykykäytännön viljelyssä ja koko alueen ollessa viherkesantona. Luvut on suhteutettu maksimihuuhtoumaan.

### COUP-malli

COUP-mallin mukaan lumipeitteen määrä vähenee jo selvästi vuoden 2025 A2-skenaariossa ja lumipeite jää vieläkin ohuemmaksi ja katkonaisemmaksi vuoden 2085 A2-skenaarioissa. Tämä

vähentää kevään pintavaluntaa ja vastaavasti lisää talviaikaista valuntaa. Vuoden 2085 A2-skenaarion ennustama lisääntynyt sadanta poistuu lähes kokonaan pohjavaluntana (salaojavalunta). Evapotranspiraatio lisääntyy jonkin verran ja pintavalunta vähenee hieman. Viljelykasvin ominaisuuksien ollessa nykyisiä, typen huuhtoutuminen kaksinkertaistuu sekä 2025 että 2085 skenaarioissa. Typen huuhtoutumista kohottavat sekä lämpötilan nousun vauhdittama maan typen mineralisaatio että talviaikaisen valunnan lisääntyminen. Maan korkea vesipitoisuus nosti myös typen denitrifikaatiota. Viljelykasvin ominaisuuksien parantaminen, pidempi kasvukausi ja kasvin suurempi typenottotarve, vähensi varsin tehokkaasti typen huuhtoutumista ja denitrifikaatiota myös talvikaudella.

### **ICECREAM-malli**

Toholammilla (ICECREAM) ei enää vuosituhannen puolivälissä ole koko talven pysyvää lumipeitettä. Lunta sataa vuosittain, mutta se sulaa nopeasti pois ennen seuraavaa lumikuuroa. Lumen vesiarvot jäävät huomattavasti nykyistä alhaisemmiksi. Näin ollen pintavalunnan ajoittuminen muuttuu ratkaisevasti. Jatkossa ei ole enää selkeää kevätvaluntapiikkiä, joka on yleensä tullut pintavaluntana. Tulevaisuudessa nykyistä suurempi osa syksyn ja talven aikana sataneesta lumesta/vedestä suotautuu maahan. Näin ollen pohjavalunnan määrä (suureksi osaksi salaojiin) kasvaa jonkin verran. Useimpien kasvien haihdunta kasvaa enemmän kuin mitä sadanta kasvaa.

Toholammilla kaltaisilla tasaisilla mailla pintavalunta vähenee salaojavalunnan ja haihdunnan kasvaessa. Tämä vähentää eroosiota ja sen seurauksena myös fosforipäästöt vähenevät. Mallilla ei voitu simuloida mahdollisesti yleistä rankkasateiden aiheuttamia pintavaluntatapahtumia (säädataan ei lisätty sellaisia sateita). Torjunta-aineiden huuhtoutumisriski tulevaisuudessa todennäköisesti kasvaa johtuen monista syistä: 1) skenaarioiden mukaiset syys- ja talvisateet lisäävät pelloilta vesistöihin poistuvan veden (joko pintavalunta tai salaojavalunta) määrää 2) pelloilla seisova lammikoitunut pintavesi irrottaa maahan normaalisti tiukastikin sitoutuvat aineet ja 3) torjunnan ja torjunta-aineiden käyttötarve ajoittuu syksyyn syysmuotoisten kasvien yleistyessä.

### **VIHMA**

VIHMAN laskentatulosten mukaan maatalouden nykyiset peltotoimenpiteet ovat alentaneet koko peltoalalla eroosiota 18 %, partikkelimaisen fosforin kuormitusta 17 % ja typpikuormitusta 5 %. Liukoisen fosforin huuhtoutumien kasvu vaikuttaa siten, että kokonaisfosforin huuhtoutuminen on alentunut lievemmin eli 10 %. Vaikutukset tulevat siitä, että peltotoimenpiteet ovat lisänneet kasvipeitteisen pellon pinta-alaa hiukan yli 10 %:lla. Vastaavasti sopimusten piirissä olevat suojavyöhykkeet ovat alentaneet eroosiota 2,5 %, partikkelifosforin huuhtoutumista 3 % ja typen kuormitusta 1 %. Maatalouden vesiensuojelukosteikkoja on toteutettu niin vähän, että niillä ei ole saatu kuin merkityksettömän pieni vaikutus aikaiseksi.

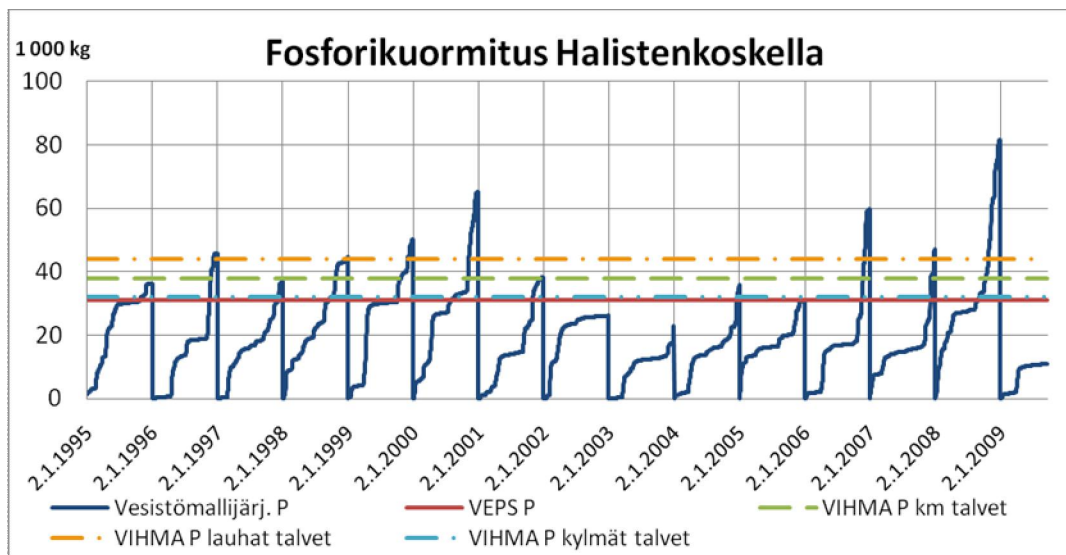
Em. nykyiset toimenpiteet, kun hydrologinen vuosivaihtelu jätetään huomiotta, ovat vähentäneet eroosiota ja partikkelifosforin kuormitusta yhteensä 20 %, kokonaisfosforikuormitusta 12 % ja typpikuormitusta 6 %. Jos nykyisten toimenpiteiden vaikutuksia arvioidaan hydrologisesti kuormittavien vuosien olosuhteissa, eroosio ja partikkelifosforin kuormitus on pienentynyt 7% ja kokonaisfosforin ja typen kuormituksessa ei ole tapahtunut lainkaan muutoksia.

Savijoen valuma-alueella MYTVAS-2 raportissa (Mattila ym. 2007) esitetyt toimenpiteet ovat vähentäneet eroosiota ja partikkelifosforin kuormitusta enimmillään 8–10 % ja typpikuormitusta 16 %. Hydrologisesti epäedullisten vuosien vaikutus kuormitukseen oli Savijoella niin suuri, että kuormituksen alenemisen sijaan eroosio ja partikkelifosforin kuormitus kasvoi 8–10 %, mutta typpikuormitus edelleen aleni nettomääräisesti 5 %. Jos Savijoella siirryttäisiin kokonaan suorakylvöön, eroosio alenisi 60 %, partikkelifosforin kuormitus 40 % ja typpikuormitus 45 %. Liukoisen fosforin huuhtoutuminen kuitenkin kasvaisi kaksinkertaiseksi, jolloin kokonaisfosforikuormitus alenisi vain alle 10 %. Kun toimenpide kattaisi koko vilja-alan tasaiset maat mukaan lukien, hydrologisesti kuormittavat vuodet eivät tässä tilanteessa lisääisi kuormitusta ja ympäristöhyödyt pysyisivät saavutetulla tasolla.

### **VEMALA**

VIHMAssa hydrologinen vuosivaihtelu ei edusta yksittäisen vuoden tilanteita, koska malliaineisto on muodostettu erityyppisten vuosien keskiarvoista. VEMALAN mukaan Aurajoen koko valuma-alueella 2000-luvulla valuma-alueen kokonaisfosforin vuosikuorma vaihteli välillä 23 000–82 000 kg. Yksittäisten vuosien kuormituserot ovat todellisuudessa niin suuria, että nykyisten toimenpiteiden

vaikutuksia on hyvin vaikea havaita. Mallitarkasteluissa hydrologinen vaihtelu voidaan eliminoida ja toimenpiteiden vaikutuksia saada paremmin esille. Käytännön ongelmana on vain se, että tavoitteena on vähentää absoluuttista kuormitustasoa. Se, että toimenpiteet leikkaavat kuormitusta myös epäedullisina vuosina ei kuitenkaan riitä nykyisellään asetettujen tavoitteiden saavuttamiseen.



Kuva 2. Vuosittainen fosforikuormitus Aurajoen valuma-alueella (1995-2008) Vesistömallijärjestelmän mukaan ja VIHMAan perustuva arvio keskimääräisenä vuonna ja hydrologisesti kuormittavana ja vähän kuormittavana vuonna.

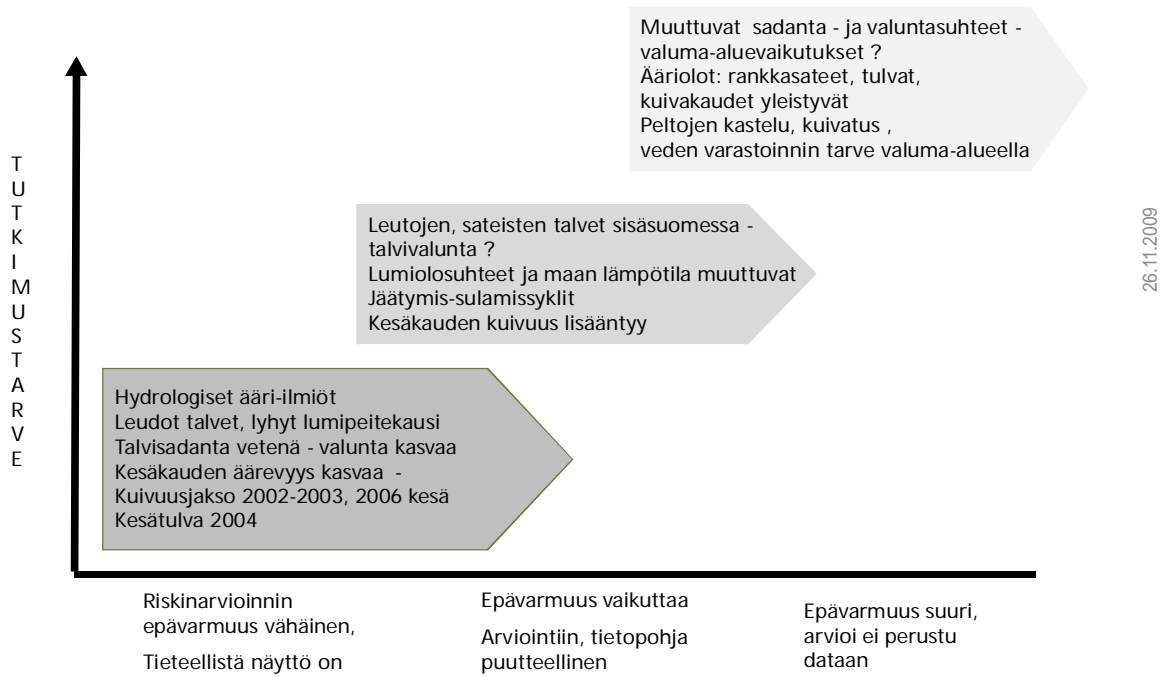
### Johtopäätökset ja sopeutuminen

Ilmastonmuutos lisää riskiä peltomaan ravinteiden huuhtoutumiselle leutojen talvien yleistyessä. Peltojen vesitalouden ja rakenneongelmien hallintaan tulee kehittää uusia teknisiä ratkaisuja kastelun ja kuivatuksen tarpeiden muuttuessa. Peltokasvien satoisuuden ja ympäristön kannalta optimaalinen ravinnetalous edellyttää maaperän omien ravinnevarastojen mahdollisimman tarkkaa hyödyntämistä. Tavoitteena tulee olla fosforilukujen alentaminen kestäväälle tasolle ja kasvien typen käytön tehostaminen mineralisaatioprosessien kiihtyessä myös syys- ja talvikaudella. Intensiivisen maanmuokkauksen korvaaminen pysyvän kasvipeitteen kaltaisilla vaihtoehdoilla on keskeinen toimenpide kuormitusherkillä alueilla.

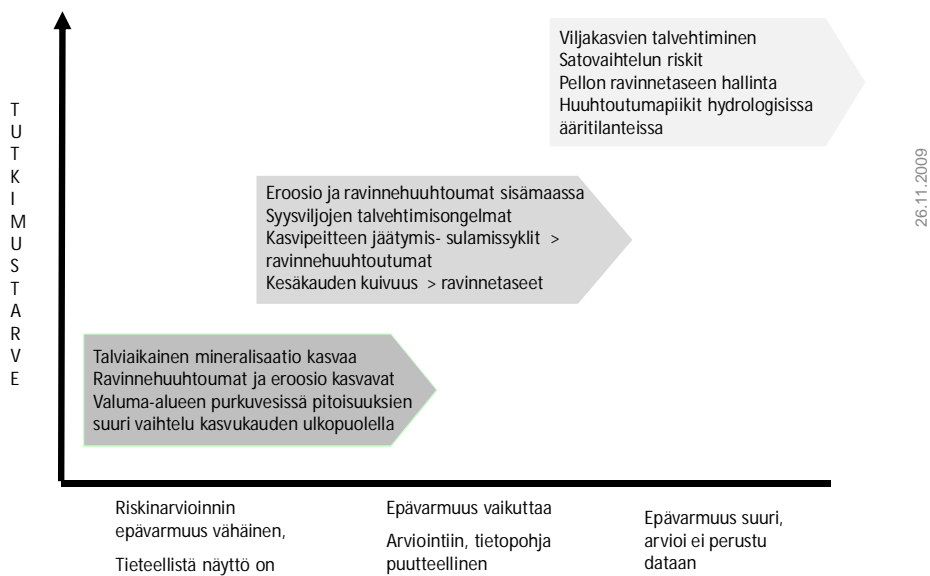
Luonnonmukaisen vesistö rakentamisen periaatteiden soveltaminen peruskuivatuksessa voidaan nähdä peltojen kuivatustarpeen, tuottoedellytysten sekä vesistöjen tilatarpeen integroivana toimenpiteenä. Kosteikot kuuluvat järjestelmään välttämättöminä uoman osina. Uomien palauttaminen mahdollisimman luonnonmukaiseksi saattaa merkitä kuivatussyvyyden pienenemistä. Haitta edellyttää peltojen alavimpien reunojen palauttamista pysyviksi tulvaniityiksi, jolloin veden viipymä pelloilta vesistöihin kasvaa. Tällaiset uomat leikkaavat tulvapiikkejä ja alajuoksujen tulvariskit samalla pienenevät.

### *Sopeutumiseen liittyviä luonnonilmiöitä, kysymyksiä ja epävarmuuksia*

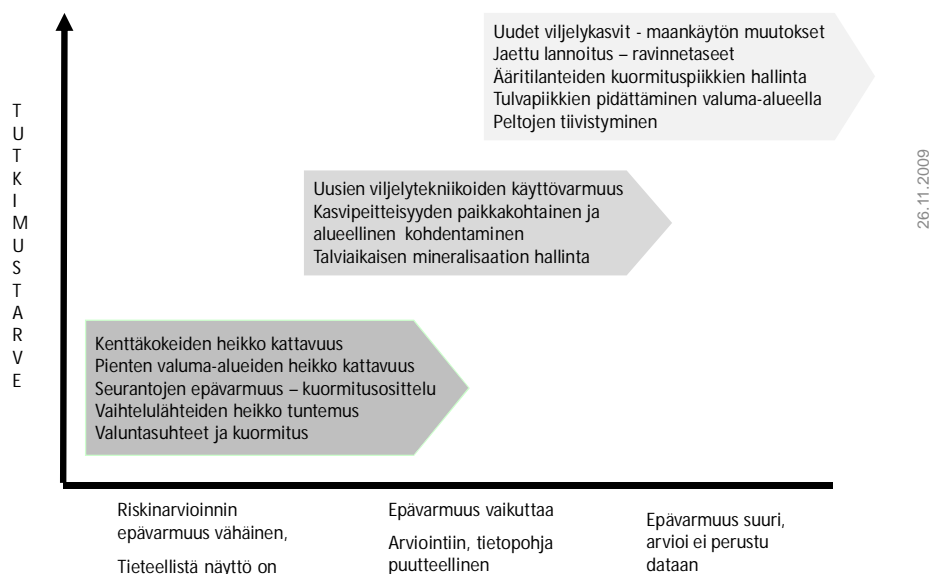
Kuvissa 3–6 on esitetty hydrologisiin muutoksiin, ravinnehuuhtoutumien riskeihin ja hallintaan sekä ilmastonmuutokseen sopeutumiseen liittyviä kysymyksiä ja epävarmuuksia. Epävarmuuden kasvaessa tutkimustarpeet kasvavat, toisaalta epävarmuus kasvaa mitä pidemmälle tulevaisuuteen ilmiöitä tarkastellaan.



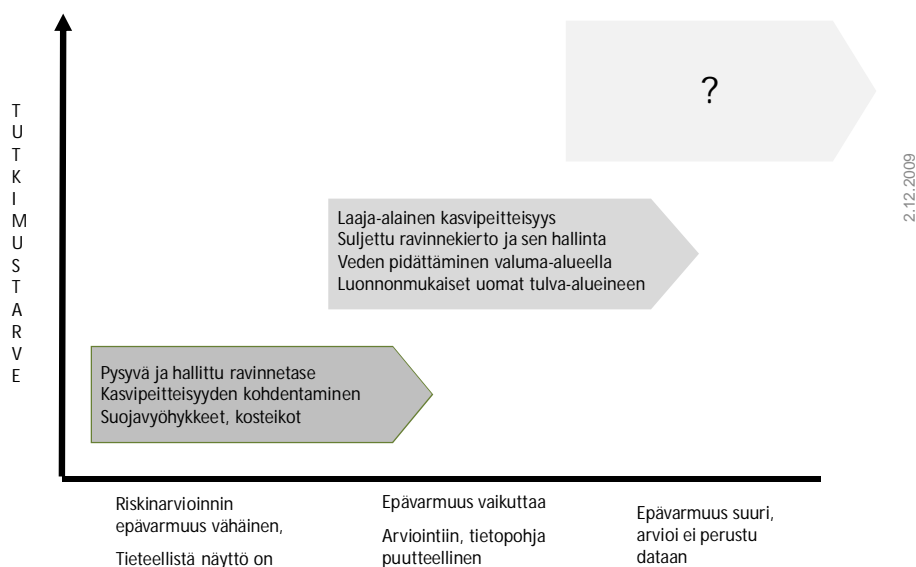
Kuva 3. Hydrologiset muutokset ja siihen liittyvä epävarmuus muuttuvissa ilmasto-oloissa



Kuva 4. Ravinnehuuhtoutumariskit muuttuvissa ilmasto-oloissa



Kuva 5. Tietovajeet ravinnehuuhtoutumien hallinnassa



Kuva 6. Tärkeimmät sopeutumiskeinot ilmastonmuutoksen kielteisten vaikutusten torjumiseksi

## **Kirjallisuusluettelo**

**Granlund, K., Peltonen-Sainio, P., Hakala, K. & Puustinen, M.** 2010. Viherkesanto maatalousmaan ravinnekuormituksen hallinnassa muuttuvissa ilmasto-oloissa. Maataloustieteen Päivät, 12.–13.1.2010. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 26.

**Mattila, P., Rankinen, K., Grönroos, J., Siimes, K., Karhu, E., Laitinen, P., Granlund, K., Ekholm, P., Antikainen, R.** 2007. Viljelytoimenpiteet ja vesistökuormitus ympäristötukitiloilla vuosina 2003–2005. Suomen ympäristö 40/2007. Ympäristönsuojelu. 101 s.

**Puustinen, M., Turtola, E., Kukkonen, M., Koskiaho, J., Niinioja, R., Tattari, S.** 2010. VIHMA assessment tool for allocation of measures to control of erosion and nutrient loading from Finnish agricultural catchments. Agricultural Water Management, submitted.

**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. HESS 6, s. 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. Sci. Tot. Env. 210/211, s. 547–558.

**Jansson, P. & Karlberg, L.** 2004. COUP manual. Coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere systems. Stockholm, Sweden.