



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 50/2026

Maanparannusaineiden vaikutukset fosforikuormitukseen ja käytön tukemisen vaihtoehdot

Juho Valtiala, Risto Uusitalo, Maria Kämäri, Petri Ekholm, Helena Soinne, Tuomas Kahma, Pasi Valkama, Antti Kaseva, Riikka Keskinen, Jari Hyväluoma, Paula Luodeslampi, Merja Myllys, Jenna Bergholm ja Jaana Uusi-Kämpä

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 50/2026

Maanparannusaineiden vaikutukset fosforikuormitukseen ja käytön tukemisen vaihtoehdot

**Juho Valtiala, Risto Uusitalo, Maria Kämäri, Petri Ekholm, Helena Soinne,
Tuomas Kahma, Pasi Valkama, Antti Kaseva, Riikka Keskinen, Jari Hyväluoma,
Paula Luodeslampi, Merja Myllys, Jenna Bergholm ja Jaana Uusi-Kämpä**



TURKU AMK



Vantaanjoen ja Helsingin seudun
vesiensuojeluyhdistys ry



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment

Viittausohje:

Valtiala, J., Uusitalo, R., Kämäri, M., Ekholm, P., Soinne, S., Kahma, T., Valkama, P., Kaseva, A., Keskinen, R., Hyväluoma, J., Luodeslampi, P., Mylly, M., Bergholm, J. & Uusi-Kämpä, J. 2026. Maanparannusaineiden vaikutukset fosforikuormituksen vähentämiseen ja käytön tukemisen vaihtoehdot. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 50/2026. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 47 s.

Juho Valtiala ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0001-5103-6685>



ISBN 978-952-419-206-4 (Verkkojulkaisu)

ISSN 2342-7639 (Verkkojulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-206-4>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Juho Valtiala, Risto Uusitalo, Maria Kämäri, Petri Ekholm, Helena Soinne, Tuomas Kahma, Pasi Valkama, Antti Kaseva, Riikka Keskinen, Jari Hyväluoma, Paula Luodeslampi, Merja Mylly, Jenna Bergholm ja Jaana Uusi-Kämpä

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2026

Julkaisuvuosi: 2026

Kannen kuva: Elina Nurmi (Luke)

Tiivistelmä

Juho Valtiala¹, Risto Uusitalo¹, Maria Kämäri², Petri Ekholm², Helena Soinne¹, Tuomas Kahma², Pasi Valkama², Antti Kaseva³, Riikka Keskinen¹, Jari Hyväluoma¹, Paula Luodeslampi⁴, Merja Mylly¹, Jenna Bergholm⁵ ja Jaana Uusi-Kämppe¹

¹ Luonnonvarakeskus (Luke)

² Suomen ympäristökeskus (Syke)

³ Turun ammattikorkeakoulu

⁴ Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys

⁵ Lounais-Suomen elinvoimakeskus

Tämä raportti käsittelee kolmen maanparannusaineen – kipsin, rakennekalkin ja metsäteollisuuden kuitujen – käyttöä peltomaiden eroosioon liittyvän fosforikuorman vähentäjänä. Kyseessä on yhteenveto pääasiassa Suomessa tehdyistä tutkimuksista. Tutkimuksia on tehty eri skaaloissa ja koejärjestelyin yli 40 kappaletta. Tässä raportissa tutkimusten tulokset on tiivistetty kuviksi ja taulukoiksi.

Tulokset osoittavat kaikkien kolmen aineen toimivan eroosioon liittyvän fosforikuorman vähentäjänä savimailla, vähentäen hiukkasmaisen fosforin pitoisuuksia valumavesissä useita kymmeniä prosentteja. Savimailla hiukkasmaisen fosforin osuus fosforin kokonaiskuormasta on hallitseva, yleensä 75–85 %. Pienemmän fosforijakeen, veteen liunneen fosforin muodon, vähentämisessä ainoastaan kipsillä on tähän mennessä saatu osoitettua tehoa pelto- ja valuma-alueittakaavan kokeissa. Maanparannusaineista kipsi on toiminut tehokkaimmin hiukkasmaisen fosforin vähentämisessä, mutta kipsin teholla näyttää selvimmin olevan myös tietty kesto. Rakennekalkin ja erityisesti kuitujen tehollinen vaikutusaika on vaihdellut eri kokeissa. Vaikutusajan kestosta kaivataankin pitkäaikaisia koetuloksia. Tehdyt tutkimukset antavat kyllä hyvän yleiskuvan eri aineiden tehosta, mutta tulosten vertailtavuuden osalta ihannetilanne olisi se, että kaikkia aineita tutkittaisiin samaan aikaan samoissa paikoissa ja yhtenäisellä koejärjestelyllä. Nyt tuloksia vertaillaan aina jollain tavalla toisistaan poikkeavissa oloissa. Toki kokeiden kohtalaisen suuri määrä tuo luotettavuutta yhteenvedon tuloksiin.

Koska eri aineiden käytöllä on omia rajoitteitaan tai suositeltavia käyttökohteita, kaikki vaihtoehdot on syytä pitää mukana käytännön vesiensuojelutyössä. Viljelijöiden halukkuus käyttää maanparannusaineita on lopulta ratkaiseva tekijä niiden käytön laajuudessa. Tämän vuoksi tulevaisuuden hankkeissa maanparannusaineiden agronomiakin hyötyjä on syytä arvioida. Kipsi on erinomainen kalsium- ja rikkilannoite, rakennekalkki on tehokas kalkitusaine ja kuitujen mukana peltoon saadaan hiiltä ja monipuolisesti eri ravinteita. Näitä hyötyjä viljelylle ei ole tähän mennessä juurikaan arvioitu.

Aiempi tutkimus osoittaa, että maanparannusaineiden levittämisen tukeminen on yhteiskunnan näkökulmasta kannattava ja kustannusvaikuttava tapa vähentää maatalouden fosforikuormitusta vesistöihin. Tuki kolmelle maanparannusaineelle voitaisiin järjestää samaan tapaan kuin nykyinen kipsinlevitystoiminta, jossa viljelijän tarvitsee käytännössä vain antaa suostumus kipsinlevittämiselle hakemalla tukea. Viranomaisen huolehtii maanparannusaineiden hankinnasta, levityksen organisoinnista sekä siihen liittyvästä hallinnosta. Maanparannuskuiduille on voinut saada tukea maatalouden ympäristökorvausjärjestelmästä, ja myös tuki kipsille ja rakennekalkille voitaisiin vaihtoehtoisesti liittää osaksi maatalouden tukipolitiikkaa.

Tässä vaihtoehdossa levityksiä ei voida kohdentaa optimaalisesti, mikä heikentää politiikan kustannustehokkuutta.

Tutkimus päättyy suosittelemaan nykymuotoisen kipsinlevitystoiminnan laajentamista kierrätysrakennekalkkiin ja maanparannuskuituihin. Toiminnan tulisi jatkossakin olla viranomaisen hallinnoimaa ja vähintään kipsin osalta ilmaista viljelijöille. Rakennekalkkin omakustannusosuuden määrittäminen vaatii erillistä analyysia. Kustannusvaikuttavuuden tulee ohjata levitettävän aineen valintaa, mutta myös muut tekijät, kuten rajoitteet tietyn aineen käytössä, täytyy huomioida levitettävän aineen valinnassa.

Asiasanat: maanparannusaineet, maanparannuskipsi, rakennekalkki, maanparannuskuidut, fosforikuormitus, maatalouden vesiensuojelu, maatalouspolitiikka

Kiitokset

Tekijät kiittävät Eija Hagelbergiä kannustuksesta, jota ilman tätä raporttia ei olisi syntynyt. Tekijät haluavat kiittää myös Markku Ollikaista ja Sanna Lötjöstä politiikkaa koskevan osion asiataarkistamisesta ja arvokkaista kommentteista.

Sisällys

1. Vaikutukset valumavesien fosforiin	6
1.1. Kokeiden mittakaavoista.....	6
1.2. Yhteenveto maanparannusaineilla toteutetuista kokeista.....	8
1.3. Kipsitutkimukset.....	11
1.4. Rakennekalkkitutkimukset	12
1.5. Kuitututkimukset.....	14
1.6. Käsitelyjen tehon kestosta ja tehoon vaikuttavista tekijöistä.....	15
1.7. Maanparannusaineet ja tulvaolosuhteet	19
1.8. Tutkimustarpeet	21
1.9. Yhteenvetoon sisältyvien koeaineistojen kuvaus	22
1.9.1. Kipsi – laboratorioskokeet.....	22
1.9.2. Kipsi – sadetuskokeet.....	24
1.9.3. Kipsi – valuma-aluekokeet.....	24
1.9.4. Rakennekalkki – laboratorioskokeet.....	26
1.9.5. Rakennekalkki – sadetuskokeet.....	27
1.9.6. Rakennekalkki – kenttäkokeet	28
1.9.7. Rakennekalkki – valuma-aluekokeet	31
1.9.8. Kuidut – laboratorioskokeet	31
1.9.9. Kuidut – sadetuskokeet	32
1.9.10. Kuidut – kenttäkoe	33
1.9.11. Kuidut – valuma-aluekoe	34
2. Poliittika-analyysi maanparannusaineiden tuesta	35
2.1. Tuen järjestäminen.....	35
2.1.1. Nykyinen tuki ja poliittikkakehys.....	35
2.1.2. Tukimallien vertailu	36
2.2. Mikä aine millekin lohkolle	37
2.2.1. Aineen valinta lohkon ominaisuuksien mukaan	37
2.2.2. Kustannusvaikuttavuus perustana aineen valinnalle.....	38
2.2.3. Muita näkökohtia aineiden valintaan ja tukeen liittyen.....	40
2.3. Toimenpidesuositukset	41
3. Yhteenveto.....	42
Viitteet.....	43

1. Vaikutukset valumavesien fosforiin

Tämä tutkimusyhteenveto kolmen maanparannusaineen – kipsin, rakennekalkin ja metsäteollisuuden kuitujen – vaikutuksista valumavesien fosforipitoisuuksiin perustuu pääosin kotimaisiin tutkimuksiin. Rakennekalkituksen osalta mukana tuloksia myös ruotsalaisista tutkimuksista. Koeaineistoja yhteenvedossamme on yli 40 kappaletta, kun mukaan luetaan myös laboratoriokokeet. Sadetus- ja kenttäkokeiden yhdistelmiä, peltokokeita tai valuma-aluekokeita on tehty 7–12 kpl kullakin maanparannusaineella. Kipsitutkimuksista useampi on tehty valuma-aluekokeina, kun taas rakennekalkikokeissa on useita kenttäkokeita, ja kuitukokeissa kenttälevityksen ja sadetuskokeiden yhdistelmiä.

Yhteenvetoon on kerätty sekä julkaistuja että julkaisemattomia tuloksia. Tutkimuksia on tehty eri koejärjestelyillä ja erilaisilla mailla, ja tulosten laskentaa on alkuperäisissä tutkimusraporteissa tehty osin vaihtelevin tavoin. Eri kokeiden tulokset eivät siten ole välttämättä täysin vertailukelpoisia. Vertailtavuuden parantamiseksi olemme tehneet joitakin laskutoimituksia alkuperäisille raportoiduille aineistoille, jotta niitä voidaan verrata samassa yksikössä. Jos alkuperäisjulkaisuissa on esitetty fosforikuorma (kg/ha) ja valunnan määrä, näistä on laskettu keskipitoisuus. Eri koejärjestelyjen tulokset esitetään siis valumapainotteisina pitoisuuksina ja niiden muutoksina, vaikka muutamassa tapauksessa onkin jouduttu käyttämään aritmeettisia pitoisuuskeskiarvoja.

Yleiskuva kolmen maanparannusaineen tehosta valumavesien fosforipitoisuuksien vähentämisessä on, että kaikki aineet vähentävät hiukkasmainen fosforin (partikkelifosforin, PP) pitoisuuksia peltovalumavesissä useita kymmeniä prosentteja. Kipsi on vähentänyt hiukkasmainen fosforin pitoisuuksia enemmän kuin kuitu tai rakennekalkki. Liuennutta reaktiivista fosforia (DRP) on vähentänyt selvästi ainoastaan kipsi.

Prosenttimuutosten tulkinnessa on tässä työssä otettu huomioon lähtöpitoisuuksien vaikutus, koska sama prosentuaalinen muutos voi tarkoittaa hyvin erisuuruista absoluuttista pitoisuusmuutosta. Esimerkiksi usean maanäytteen laboratoriokokeista, tai usean vuoden kenttäkokeista, on laskettu pitoisuudella painotetut vähennysprosentit, jotta pienistä pitoisuuksista lasketut suuret suhteelliset muutokset eivät korostuisi.

Valuma-aluekokeiden kohdalla fosforipitoisuuden muutos on suhteutettu käsitellyn peltoalan osuuteen koko alueen peltoalasta, jotta vaikutus olisi vertailukelpoinen eri kokeiden välillä.

Raportissa käytetään yleisiä fosforifraktioiden lyhenteitä, PP = hiukkasmainen fosfori (Particulate P), sekä DRP = liuennut fosfori (Dissolved Reactive P). Negatiivinen vähennysprosentti ilmaisee pitoisuuden kasvua kontrolliin verrattuna.

1.1. Kokeiden mittakaavoista

Tutkittaessa maanparannusaineiden vaikutuksia pelloilta vesistöihin päätyvään fosforikuorman eri mittakaavat ja koetyypit täydentävät toisiaan. Laboratoriokokeet auttavat parhaimmillaan ymmärtämään perusmekanismeja ja voivat antaa viitteitä siitä, millaisilla lisäyksillä vaikutusta voidaan odottaa. Peltokokeet puolestaan tuottavat tietoa fosforin pidätystehosta todellisissa olosuhteissa. Valuma-alueen seurannalla voidaan arvioida vaikutuksia laajemmalla mittakaavassa. Pelto- ja valuma-alueen tutkimus mahdollistaa esimerkiksi käsittelyn

viiveiden havaitsemisen. Alla kuvataan tiivistetysti kunkin mittakaavan menetelmien vahvuuksia ja rajoitteita.

Laboratoriokokeissa tutkitaan maanparannusaineiden vaikutuksia kontrolloiduissa olosuhteissa. Ne ovat tyypillisesti joko inkubaatiokokeita (muhituskokeita), joita seuraa fosforin uutto (yleisimmin vedellä), tai rakennettuihin maanäytteisiin kohdistuvia sadetuskokeita. Rakennetulla näytteellä tarkoitetaan näytettä, joka on otettu pellolta esimerkiksi lapiolla ja pakattu laboratoriossa sadetusastiaan. Näissä maan luontainen rakenne on rikottu, mikä voi vaikuttaa esimerkiksi maanparannusaineen sekoittumiseen maahan, maan liettyvyyteen ja veden kulkuun maakerroksen läpi.

Laboratoriokokeet ovat yleensä lyhytkestoisia ja voivat kuvata tilannetta, jossa maanparannusaine on juuri levitetty pellolle. Ne ovat nopeita, hinnaltaan edullisia ja helposti toistettavia. Niissä voidaan joskus käyttää suurempia lisäysmääriä kuin pelto-olosuhteissa, mikä voi voimistaa reaktioita, joita ei välttämättä tapahdu käytännön peltolevityksessä. Esimerkiksi rakenekalkilla suurten annosten käyttöön liittyvä voimakas pH:n kasvu voi käynnistää laastireaktioita (pozzolaanireaktiot), joita ei tapahdu peltolevityksen tavanomaisilla lisäysmäärillä.

Maanparannusaineen peltolevityksen ja sadesimulaation yhdistelmä on yleinen tutkimusjärjestely, joka yhdistää peltomaan luonnollisen rakenteen ja käytännölliset levitysmäärät kontrolloituun sadetukseen. Pellolle tehdyn käsittelyn jälkeen koepaikalta kairataan häiriintymättömiä maaliieriöitä (monoliitteja), jotka kuljetetaan laboratorioon sadetuskokeeseen. Menetelmän etuihin kuuluu suhteellisen pieni tilantarve pellolla, mikä luo mahdollisuuden käyttää useita kerranteita, kokeen lohkottamisen maaperän laadun vaihtelun kontrolloimiseksi, sekä vakioitavan sademäärän ja sateen intensiteetin. Sadetusintensiteetti voi kuitenkin vaihdella huomattavasti eri laboratoriossa tehdyissä kokeissa, mikä voi tuoda vaihtelua tuloksiin. Monoliittinäytteiden luonnollisen rakenteen vuoksi ravinteiden pitoisuustasot vastaavat usein kentällä havaittavia valumavesien pitoisuuksia paremmin kuin käytettäessä irtomaasta uudelleen sadetusastiaan pakattuja näytteitä, koska aineiden sekoittuminen maahan vastaa käytännön tilannetta pellolla. Vesinäytteiden saamiseksi ei tarvita pellolle rakennettavia vedenkeräimiä, vaan vesinäytteet kerätään laboratoriossa maan läpi suotautuvasta vedestä ja/tai pintavalunnasta. Usean vuoden mittaisissa kokeissa saadaan mukaan vuosien välistä vaihtelua ja maaperä ehtii kehittymään levityksen jälkeen. Sadetuskokeiden rajoitteena on mm. se, että tulokset kuvaavat vain näytteenottohetken tilannetta maassa. Lisäksi monoliittien näytteenotto onnistuu vain sopivissa kosteusolosuhteissa.

Menetelmänä maamonoliittien sadetus soveltuu hyvin tilanteisiin, joissa halutaan huomioida sekä maanparannusainekäsittely että pellon todellinen rakenne ja aineen sekoittuminen maahan, mutta samalla säilyttää kokeen hallittavuus. Kustannusten ja tilantarpeen osalta tämä mittakaava on sopiva usean käsittelyn väliseen vertailuun.

Peltomittakaavan vedenlaadun seuranta esimerkiksi salaojavesissä jatkuvatoimisilla vedenlaatumittalaitteilla mahdollistaa maanparannusaineiden vaikutuksen havainnoinnin todellisissa viljelyolosuhteissa ja eri vuodenaikoina. Tämän mittakaavan vahvuuksia ovat ajallisen vaihtelun havaitseminen (esim. sateet, sulamisvedet), käsittelyjen toteutus pellon olosuhteissa ja tavanomaisilla työkoneilla, yhdenmukaiset viljelytoimet kaikissa käsittelyissä, sekä mahdollisuus seurata vaikutuksia pitemmän aikaa. Luotettavan kokeen edellytyksenä on kuitenkin toisiaan vastaavat kontrolli- ja käsittelyalat, joiden pinta-alat ovat riittävän suuria tuottamaan valuntaa muulloinkin kuin lyhyiden valuntahuippujen aikana. Alueilla tulee olla riittävän pitkät

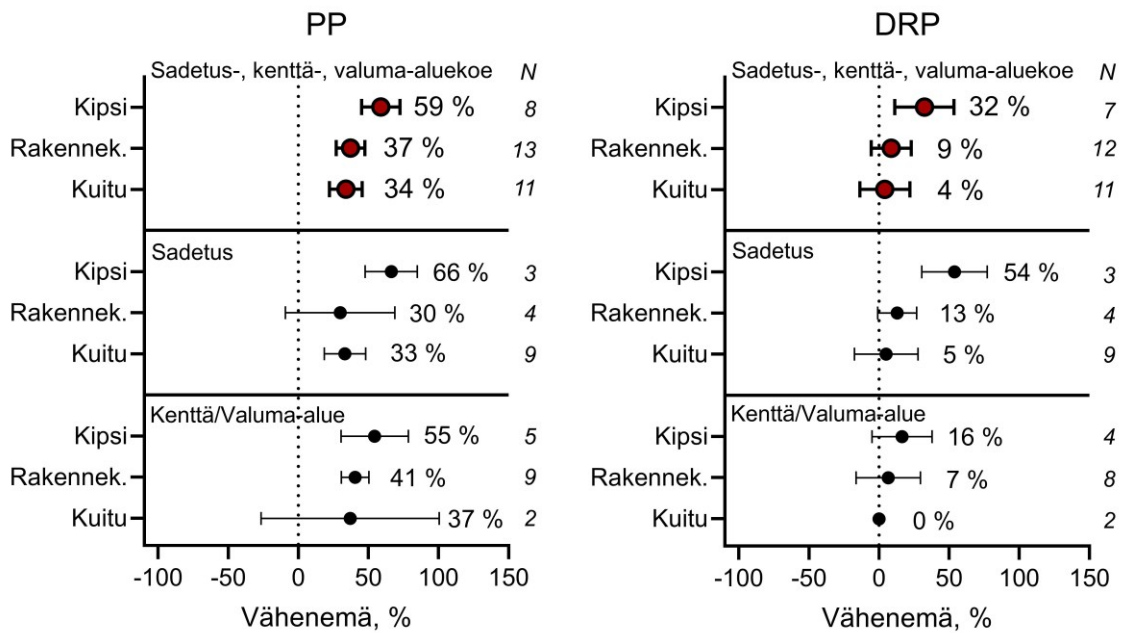
seuranta-ajat ennen käsittelyä ja sen jälkeen. Etukäteisseurannalla todennetaan käsittely- ja kontrollialueiden vedenlaadun eroja ja siten varmistetaan tulosten vertailukelpoisuus. Pelto-kokeissa on aina riskinä poikkeukselliset sääolot kuten kuivuus, minkä vuoksi seurantajaksojen riittävää pituutta on hankala arvioida etukäteen. Hyvin suunnitellut ja toteutetut peltoimitakaavan kokeet antavat realistista tietoa maanparannusaineiden tehosta, sekä mahdollistavat lyhytaikaisten vedenlaadun vaihteluiden havainnoinnin.

Valuma-alueittakaavan tutkimukset mahdollistavat maanparannusaineiden vaikutusten tarkastelun laajalla alueella, jolloin mukaan tulee lukuisia erilaisia lohkoja ja viljelymenetelmiä. Tämä on toisaalta etu, mutta voi myös aiheuttaa vaihtelua, jota ei pystytä kontrolloimaan tai eristämään pois tulosten tulkinnasta. Valuma-alueen tutkimus edellyttää tyypillisesti, että tutkimukseen voidaan sisällyttää vähintään kaksi samankaltaista valuma-aluetta, joiden maankäyttökäytäntö (erityisesti peltojen osuus) ja hydrologiset ominaisuudet (valunnan synty sateiden ja lumien sulamisen yhteydessä) ovat samankaltaisia. Käsiteltävällä valuma-alueella pitäisi olla mahdollisuus toteuttaa maanparannusaineen levitys mahdollisimman kattavasti. Lisäksi tarvitaan tietoa muista kuormitukseen vaikuttavista toimista, mikä edellyttää kattavaa tietojen keruuta tutkimuksessa olevilta valuma-alueilta. Valuma-alueittakokeissa korostuu pitkä, erilaiset vesitilanteet kattava esiseuranta. Tulosten tulkinta on yleensä vaativaa, mutta onnistuneet kokeet tuottavat arvokasta tietoa todellisessa viljely-ympäristössä käytäntöön soveltuvista ratkaisuksista ja niiden todellisesta potentiaalista vesiensuojelussa.

1.2. Yhteenveto maanparannusaineilla toteutetuista kokeista

Jäljempänä esitettävissä kuvissa käsittelyjen vaikutukset on laskettu kokeiden keskiarvoina ja 95 %:n vaihteluväleinä. Vaihteluvälin tulkinta on, että jos koesarjat toistetaan samanlaisina kuin ne on tehty, niiden keskiarvot asettuvat 95 %:n todennäköisyydellä lasketulle välille. Laajempi yleistettävyyys käsittelyjen tehosta vaatisi suuremman määrän kokeita eri koepaikoilla ja vaihtelevissa olosuhteissa. Parhaiten tämän yhteenvetoon tulokset ovat yleistettävissä savimaille, koska valtaosa kokeista on tehty savilla.

Raportin kuvissa käsittelyn vaikutuksia on joissakin tapauksissa laskettu yhdistettyinä. Esimerkiksi niissä kenttä- ja sadetuskokeissa, joissa on ollut useampi maanparannusaineen lisäystaso, tulostukuvissa on käytetty lisäystasojen keskimääräistä vaikutusta. Raportin loppuosassa, kokeiden tarkempien kuvausten yhteydessä olevissa taulukoissa, on kirjattu eri lisäystasojen tulokset erikseen.



Kuva 1 Kipsin, rakennekalkin ja maanparannuskuitujen aikaansaamat valumavesien hiukkasmaisesta fosforin (PP) ja liuenneen reaktiivisen fosforin (DRP) vähennykset sadetus-, kenttä- ja valuma-aluekokeissa. Prosenttiluvut ovat pitoisuusvähennysten keskiarvoja, virhejannot näyttävät keskiarvon 95 %:n luottamusvälin; N = kokeiden lukumäärä.

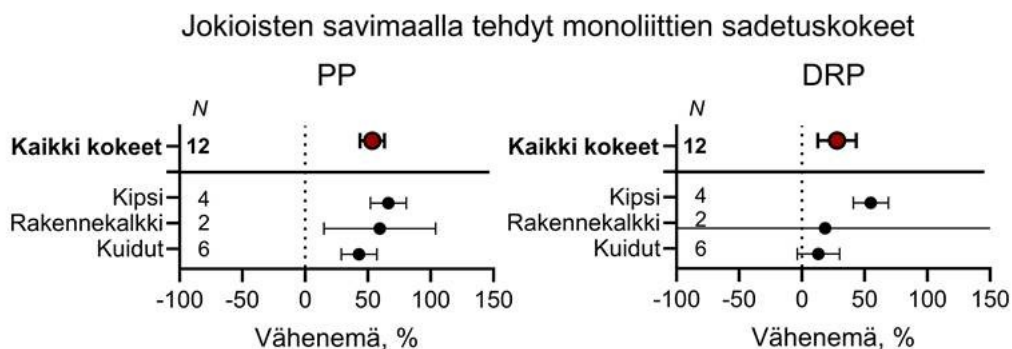
Partikkelifosfori (PP) on savimailla pääasiainen fosforin kulkeutumismuoto valumavesissä ja sen osuus valumavesien fosforin kokonaispitoisuuksista on yleensä 75–85 %. Kaikkien kolmen aineen voidaan todeta vähentävän PP:n pitoisuuksia valumavesissä. Vaikutusten voimakkuudessa on kuitenkin eroja ja kipsi on osoittautunut kaikissa koejärjestelyissä tehokkaimmaksi. Kipsikäsitellyn keskimääräinen PP-vähennys on ollut sadetus-, kenttä- ja valuma-aluekokeissa lähes 60 % ja koko aineistossa (sis. laboratorioskokeet) noin 50 %. Rakennekalkilla ja kuiduilla vähennys oli sadetus-, kenttä- ja valuma-aluekokeissa noin 30–40 %, laboratorioskokeet mukaan luettuna noin 25 %.

Koejärjestelyillä ja koeaineiston valinnalla on merkittävä vaikutus mitattuihin pitoisuusvähennyksiin. Laboratorioskokeissa PP-vähennys on ollut yleisesti vähäisempi – tai jopa vastakkainen – kuin kenttäolosuhteita jäljittelevissä sadetuksissa, tai todellisissa pelto- ja valuma-alueympäristöissä tehdyissä kokeissa. Kaikkien aineiden teho PP-pitoisuuden vähentäjänä näyttää siis korostuvan todellisissa luonnonolosuhteissa.

Valumavesien pienemmän fosforijakeen, veteen liuenneena kulkeutuvan fosforin (DRP), selkeä vähennys on havaittu ainoastaan käytettäessä kipsiä maanparannusaineena (kuva 1). Koko aineistossa kipsin keskimääräinen DRP-vähennys on 25–30 %, kun taas rakennekalkin vaikutus jää noin 10 prosenttiin ja kuiduilla vaikutus on ollut keskimäärin hyvin pieni. Kipsin vaikutus DRP-pitoisuuteen on ollut suurimmillaan sadetuskokeissa, joissa vähennys ylittää 50 %. Valuma-alue kokeissa vaikutus on jäänyt selvästi pienemmäksi, 16 prosenttiin (kuva 1). Vuoden ympäri ulottuvassa seurannassa kipsin teho DRP-pitoisuuden vähentämisessä näyttää siten olevan sadetuskokeita vähäisempi.

Kun eri tutkimuksissa maalaji, maan muut ominaisuudet ja koeolosuhteet vaihtelevat, tutkimusten suora vertailtavuus on rajallinen. Kaikkia kolmea ainetta on kuitenkin tutkittu eri vuosina ja eri hankkeissa käyttäen Jokioisten savimaata maamonoliittien sadetuskokeissa. Näissä kokeissa näytteenotto ja sadetusolosuhteet on vakioitu. Näin ollen kokeiden tulokset (Kuva 2) ovat luultavimmin koko aineistoa paremmin keskenään vertailukelpoisia, vaikka kokeiden kes- tot ovatkin olleet erilaisia. Lisäksi niihin on otettu monoliitit erilaisten talvien jälkeen, mikä vaikuttaa sadetusnäytteiden lähtötilaan (stabiili tila vs. liettymisherkkä maa). Yksityiskohtai- semmissa analyyseissä esimerkiksi käsittelemättömän maan valumavesien PP:n pitoisuustaso näyttää vaikuttavan mitattuun tehoon siten, että maanparannusaineet toimivat tehokkaam- min korkeissa kuin matalissa pitoisuustasoissa. Toisin sanoen, mitä kuormittavampaa maa on ollut, sitä tehokkaammin maanparannusaineet ovat toimineet.

Jokioisten kokeissa sekä kipsi että rakennekalkki vähensivät valumavesien PP-pitoisuuksia keskimäärin 60–65 %, kun kuiduilla vähentävä vaikutus on ollut noin 45 %. Kipsi tuotti vesien DRP:n osalta edelleen selvästi suurimman vähennyksen, noin 55 %, kun rakennekalkin ja kui- tujen keskimääräinen vaikutus jäi 15–20 prosenttiin. Aineiden välillä näyttää siten olevan eroja, jotka näkyvät niin koko tutkimusaineistossa kuin tässä Jokioisissa toteutettujen sade- tuskokeiden otoksessakin.



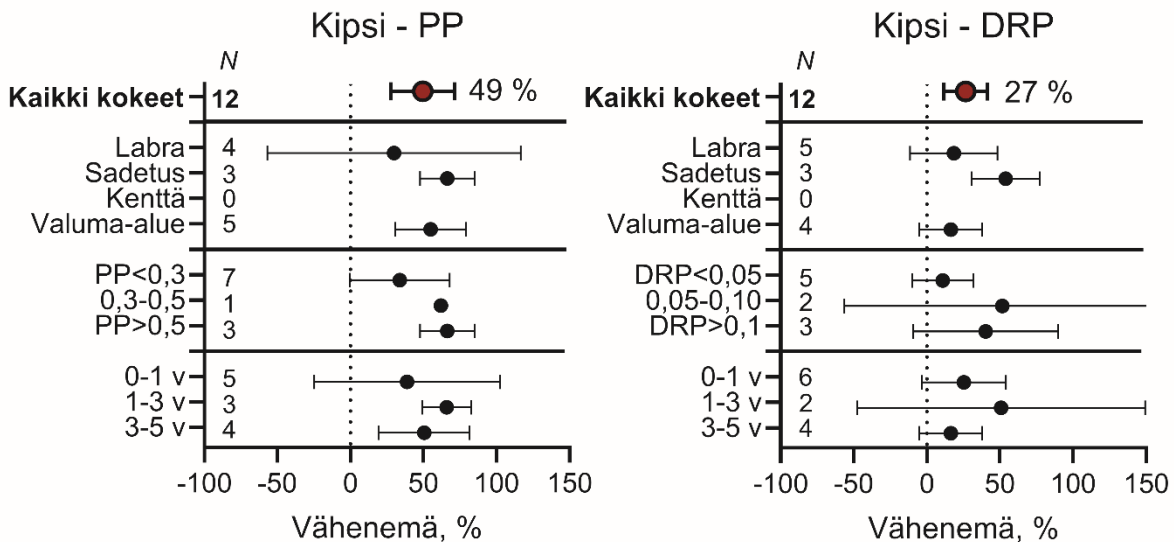
Kuva 2 Jokioisten savimaalla tehtyjen kenttälevityksen ja sadetuksen yhdistelmäkokeiden va- lumavesien PP- ja DRP-pitoisuuksien vähennemät. Kokeet on suoritettu eri aikoina ja olleet eri- pituisia, mutta maalaji on sama, ja näytteenotto ja sadetus ovat samalla tavoin suoritettuja.

Kaikkien maanparannusaineiden vaikutus valumavesien fosforipitoisuuksiin vähenee levityk- sestä kuluneen ajan myötä. Levityksestä kulunut aika ei kuitenkaan aina ole ennustanut käsit- telyn jälkeisten vuosien pidätystehon muutosta. Usean vuoden mittaisissa kipsikokeissa Joki- oisten savimaan 2,5 vuoden aikana tehdyt sadetuskokeet ja Savijoen valuma-alueen 4,7 vuo- den seurannan tulokset antavat yhtenäisen kuvan kipsin teho puoliintumisesta kolmen vuo- den välein. Rakennekalkilla kolmen kenttäkokeen tulokset olivat sen sijaan ristiriitaisia. Kah- della 3,5 vuotta seurattua koekentällä teho väheni samantapaisesti kuin kipsillä, mutta yh- dellä 6,5 vuotta seurattua koekentällä teho on alussa ollut edellisiä kokeita selvästi heikompi, mutta parantunut vuosien mittaan. Kuitujen osalta käsittelyn mitattu teho 5 vuoden aikana on niin ikään ollut vaihteleva, mutta selkeästi maan liettymisherkkyys näytteenottohetkellä on vaikuttanut tuloksiin; teho valumavesien fosforipitoisuuksien vähentäjänä on ollut sitä pa- rempi, mitä liettymisherkempää käsittelemättömän kontrollin maa on ollut näytteenottohet- kellä. Levityksestä kulunut aika ei siis välttämättä yksinään ennusta käsittelyn tehoa tiettyinä vuotena.

Maanparannusaineiden avulla on siis saatu aikaan vähintäänkin kohtalaisen suuria valumavesien PP-vähennyksiä. Käsittelyn tehokkuus fosforin valumien ehkäisyssä ja vähennetyt fosforikuorman kustannukset ovat tärkeitä tekijöitä maanparannusaineiden käytössä. Koska jokin yksittäinen maanparannusaine ei kuitenkaan sovellu käytettäväksi kaikkialle, kaikki valumavesien fosforipitoisuutta vähentävät vaihtoehdot on syytä pitää keinovalikoimassa. Viljelijä lopulta päättää mitä maanparannusainetta hän pelloillaan käyttää tai jättää käyttämättä, vaikka vesien suojeleminen kannalta olisi kannustettavaa käyttää jotakin tiettyä tuotetta. Maanparannusaineen tuoma hyöty viljelyn onnistumisen kannalta on usein viljelijälle tärkeä maanparannusaineen käyttöön kannustava tekijä. Savijoen alueella Varsinais-Suomessa toteutetussa AIN3-hankkeessa julkaistiin valintatyökalu (Keskinen ym. 2025), joka auttaa päättämään mikä aine millekin lohkolle sopisi parhaiten maan ominaisuuksien perusteella. Savijoen alueen viljelijät suostuivat tutkijoiden tekemään valintaan, vaikka heillä oli selkeästi suosikkeja maanparannusaineiden joukossa. Valintatyökalu perustuu tällä hetkellä asiantuntija-arvioihin, mutta tuloksia siitä miten se onnistui Savijoella valitsemaan tehokkaimman tuotteen vesien suojeleminen kannalta, on tulossa myöhemmin.

1.3. Kipsitutkimukset

Kipsin vaikutusta fosforikuormiin on tutkittu etupäässä Suomessa ja Yhdysvalloissa. Suurin osa ulkomaisista tutkimuksista kuvaa melko lyhyen ajan vaikutusta. Lisäksi näytteinä on usein ollut karkeampia maita kuin suomalaisissa tutkimuksissa. Tässä raportissa käsitellään kipsin osalta vain kotimaisia tutkimustuloksia.



Kuva 3 Kipsikokeissa mitatut valumavesien keskimääräiset PP- ja DRP-pitoisuuden vähennykset 95 %:n luottamusväleineen; N = kokeiden lukumäärä. Tulokset on edelleen jaettu koe-tyypin, kontrollikäsitellyn keskipitoisuuden (PP ja DRP, mg/l) ja kokeen keston mukaan.

Kipsitutkimuksissa on mukana useita valuma-aluekokeita, minkä lisäksi on tehty laboratorio- ja sadetuskokeita. Peltomittakaavan kokeista ei ollut käytettävissä tuloksia.

Laboratoriokokeissa kipsin vaikutus valumavesien partikkelifosforin (PP) pitoisuuteen on ollut 25–30 %:n vähennys, mutta suuremmissa mittakaavoissa tehdyt kokeet ovat tuottaneet lähes

kaksinkertaisia vähennyksiä. Sekä sadetus- että valuma-aluekokeet on toteutettu savimailla tai savimaavaltaisilla alueilla, joissa valumavesissä on ollut runsaasti kiintoainesta ja siten myös PP:a. Tulosten perusteella PP-pitoisuuden vähenemä on ollut sitä suurempi, mitä korkeampi lähtötilanteen PP-pitoisuus on ollut.

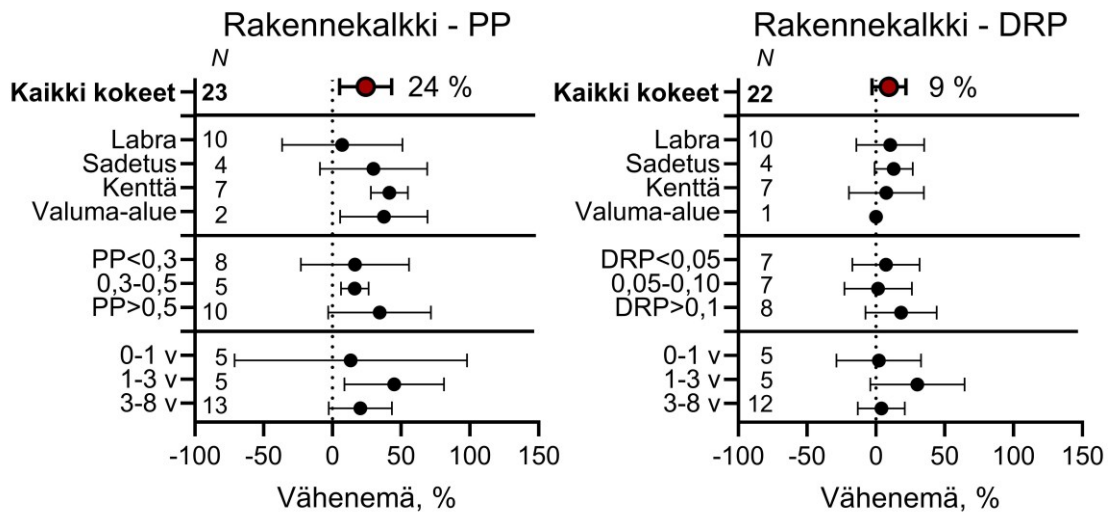
Kun vaikutus lasketaan koko koeajalle, kokeen kestolla ei ole havaittu selkeää vaikutusta PP-vähentymään (Kuva 3). Lyhyissä kokeissa on mukana lähinnä laboratoriokokeita. Kokonaisuutena kipsin teho PP-pitoisuuden vähentäjänä on eri kestoisissa kokeissa ollut varsin systemaattisesti noin 50 % viiden vuoden koejaksoon asti.

Liuenneen fosforin (DRP) osalta kokeita on tehty eniten laboratoriossa. Näissä, samoin kuin sadetuskokeissa, kipsikäsittely on vähentynyt DRP-pitoisuutta selvästi. Valuma-aluekokeissa vaikutus on kuitenkin ollut vaatimattomampi. Veden DRP-pitoisuudella on ollut yhteys kipsin tehoon siten, että suurempia vähentymiä on mitattu tilanteissa, joissa DRP:n lähtöpitoisuus on ollut korkea. Lyhytkestoisissa kokeissa DRP:n vähenemä on ollut suurempi kuin yli 3 vuoden kokeissa, mutta tämä vaikutus liittyy koejärjestelyihin, kun lyhyet kokeet ovat laboratoriossa tehtyjä ja pitkäkestoiset kokeet valuma-aluekokeita.

1.4. Rakennekalkkitutkimukset

Ruotsissa rakennekalkin käyttö peltoviljelyssä on jo pitkään ollut osa LOVA-tukijärjestelmää ja rakennekalkkia on levitetty Ruotsissa noin 60 000 peltohehtaarille vuosina 2010–2020 (Nyström ym. 2023). Sen vaikutuksista satoon, maaperään ja ravinnehuuhtoumiin on monia ruotsalaisia tiedejulkaisuja. Suomessa kokeita on tehty systemaattisemmin 2010-luvulta alkaen ja osa niistä on jäänyt julkaisematta. Julkaistut ruotsalaiset kokeet ovat antaneet erityisesti liuenneen fosforin vähentymälle huomattavasti suurempia tuloksia kuin tämän yhteenvedon aineistosta voidaan laskea. Pelkästään julkaistuihin kokeisiin pitäytyminen olisi siten tuottanut harhaisen kuvan rakennekalkin tehosta valumavesien DRP-pitoisuuden vähentäjänä (ns. julkaisuharha; Chopra ym. 2024, Dickersin ym. 1987).

Tässä yhteenvedossa tulokset niistä rakennekalkkikokeista, joissa samaa maata on käsitelty useammilla lisäystasoilla, on kuvia tehtäessä laskettu lisäystasojen keskiarvoina. Eri lisäystasojen tulokset on näytetty jäljempänä olevissa taulukoissa (Taulukot 4–6) erikseen, pois lukien Soinnen ym. (2025) yksittäisten maanäytteiden laboratoriokäsittelyt, jotka on laskettu kokeen aineiston (13 maata) pitoisuudella painotettuna keskiarvona.



Kuva 4 Rakennekalkkikokeissa mitatut keskimääräiset valumavesien PP- ja DRP-pitoisuuden vähenemät 95 %:n luottamusväleihin; N = kokeiden lukumäärä. Tulokset on edelleen jaettu koetyypin, kontrollikäsitellyn keskipitoisuuden (PP ja DRP, mg/l) ja kokeen keston mukaan.

Rakennekalkitusaineisto painottuu laboratorio- ja kenttäkokeisiin. Valuma-alueella on toteutettu kaksi rakennekalkituskoetta (Valkama & Luodeslampi 2020, Kämäri ym. 2024a).

Laboratoriokokeissa rakennekalkin vaikutus valumavesien partikkelifosforin (PP) pitoisuuteen on ollut vähäinen (Kuva 4). Kenttäkokeissa vaikutus on kuitenkin ollut selvästi suurempi, noin 40 %. Suuren laboratoriokokeiden osuuden vuoksi koko aineiston keskimääräinen arvio käsitellyn tehosta PP-pitoisuuden vähentäjänä näyttää siis aliarvioivan rakennekalkin tehoa luonnonoloissa.

Valumavesien PP-pitoisuuden lähtötaso on vaikuttanut rakennekalkin mitattuun tehoon. Vaativimmat PP-vähennemät on mitattu alhaisissa pitoisuuksissa, kun taas korkeissa PP-pitoisuuksissa vaikutus on ollut suurempi.

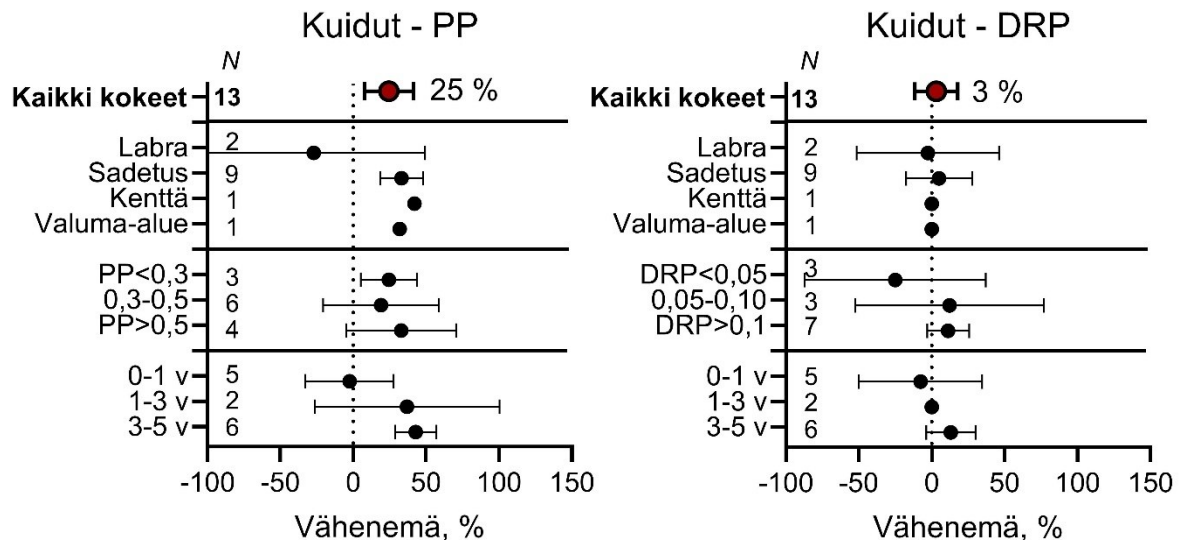
Suurimmat PP-vähennemät rakennekalkkikäsitellyn seurauksena on havaittu 1–3 vuotta kestäneissä kokeissa, kun taas lyhyissä laboratoriokokeissa ja pidempikestoissa seurannoissa vaikutus on ollut pienempi. Laboratoriokokeisiin on sisällytetty tutkimus, jossa 1–6 vuotta aiemmin rakennekalkituilta pelloilta noudettiin maanäytteet laboratoriosadetukseen (Soinne ym. 2025). Nämä tulokset on luokiteltu rakennekalkituksesta kuluneen ajan mukaisesti ja ne ovat kuvassa 4 mukana erillisinä havaintoina.

Liuenneen fosforin osalta rakennekalkituksen vaikutus on ollut kaikissa koemittakaavoissa melko pieni. Laboratorio-, sadetus- ja kenttäkokeet ovat tuottaneet samansuuntaisia tuloksia. Joissakin tapauksissa on havaittu lievää DRP-vähennemää tilanteissa, joissa lähtöpitoisuus on ollut korkea.

Liuenneen fosforin vähennemää on havaittu erityisesti 1–3 vuoden kokeissa, kun taas lyhyissä laboratoriokokeissa ja pidempikestoissa seurannoissa vaikutusta DRP-pitoisuuteen ei ole havaittu lainkaan. Kaiken kaikkiaan rakennekalkin mahdollinen vaikutus liuenneeseen fosforiin voidaan katsoa vähäiseksi.

1.5. Kuitututkimukset

Metsäteollisuuden kuitujen käyttöä maanparannusaineena ja kuitukäsittelyjen vaikutuksia valumavesien laatuun on tutkittu Suomessa viimeisten reilun 10 vuoden aikana. Muualla, esimerkiksi Kanadassa, on myös tehty joitakin kuitututkimuksia, mutta niissä on keskitytty lähinnä eroosion vähentämiseen. Kaikki tässä yhteenvedossa olevat tulokset ovat peräisin kotimaisista tutkimuksista.



Kuva 5 Kuitukokeissa mitatut keskimääräiset valumavesien PP- ja DRP-pitoisuuden vähenemät 95 %:n luottamusväleineen; N = kokeiden lukumäärä. Tulokset on edelleen jaettu koe-mitta-kaavan, kontrollikäsitteilyn keskipitoisuuden (PP ja DRP, mg/l) ja kokeen keston mukaan.

Kuituihin liittyvä tutkimusaineisto painottuu hyvin vahvasti sadetuskokeisiin, ja vain yhden kenttäkokeen ja yhden valuma-aluekokeen tulokset olivat käytettävissä. Laboratoriokokeita lukuun ottamatta eri koejärjestelyjen tuottama kokonaiskuva on varsin yhtenäinen. Kahdessa laboratoriokokeessa kuitujen vaikutus valumavesien PP-pitoisuuteen on ollut negatiivinen (eli pitoisuus on kasvanut), mutta sadetus-, kenttä- ja valuma-aluekokeet osoittavat johdonmukaisesti 30–40 %:n PP-vähennyksiä. Kun kuitujen tehon arvellaan perustuvan lähinnä mikrobitoiminnan tuottamien liima-aineiden mukanaan tuomaan mururakenteen vahvistumiseen, tulee vaikutus esiin myöhemmin kuin esimerkiksi kipsillä, jossa vaikutus alkaa sen liukenemisestä seuraavasta maanesteen kemiallisen koostumuksen muutoksesta. Laboratoriomuutoksissa kuitujen vaikutus ei välttämättä ilmene, mikäli maaperän eliöstön olosuhteet eivät ole suotuisia.

Kuiduilla maan eroosioherkkyys näytteenottohetkellä on vaikuttanut selvästi PP-vähennyksen tehoon ja parhaat tulokset on saavutettu tilanteissa, joissa valumavesien PP-pitoisuus on ollut korkea maan heikon stabiilisuuden vuoksi. Lyhyissä kokeissa PP-vähennyksiä ei ole havaittu, mutta usean vuoden mittaisissa kokeissa vähennys on ollut keskimäärin jopa 40 %. Maan mururakenteen stabiilisuus tietyssä hetkenä (ja siihen liittyvä käsittelemättömän kontrollimaan PP-pitoisuus) näyttäisi olevan vaikuttamassa kuitujen tehoon niin voimakkaasti, että käsittelystä kuluneen ajan merkitystä on vaikea eristää tuloksista.

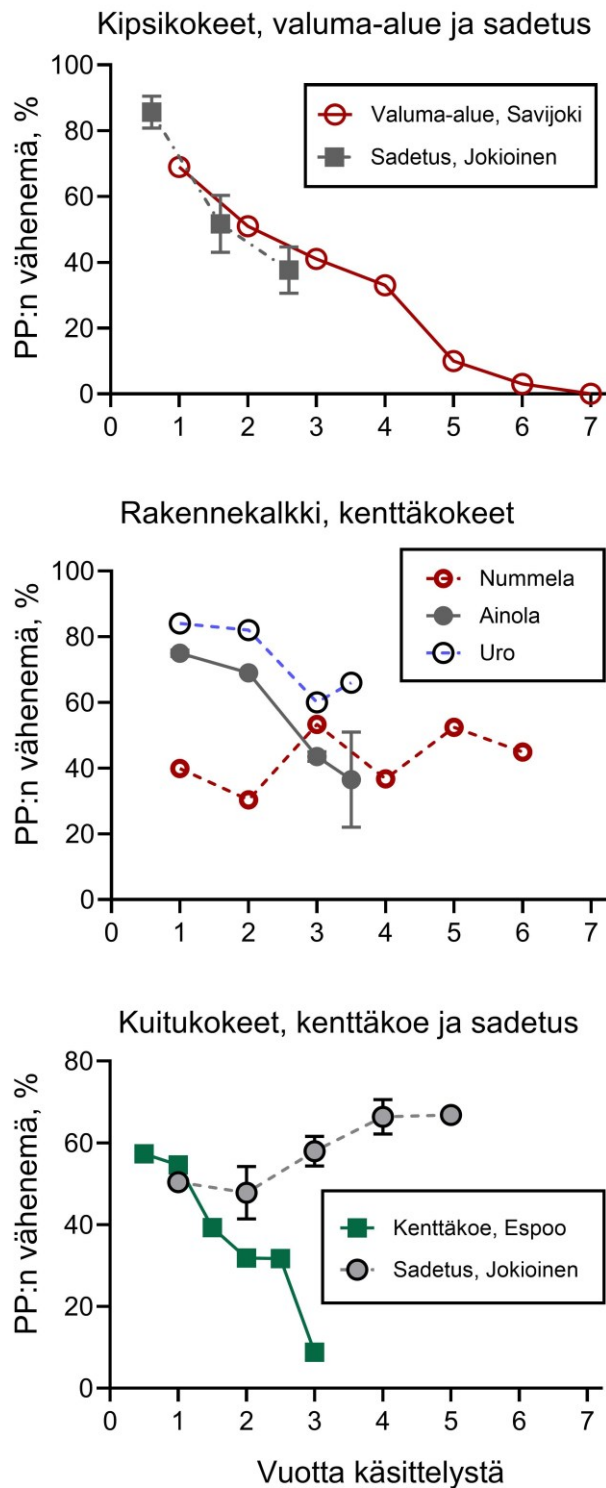
Liuenneen fosforin (DRP) osalta kaikki koejärjestelyt osoittavat vaikutuksen olevan käytännössä hyvin vähäinen. Jos yksittäisissä kokeissa on havaittu DRP-pitoisuuden vähenemää, se on liittynyt korkeisiin lähtöpitoisuuksiin. Vaikutus on ollut satunnaista ja siitä on havaittu lähinnä viitteitä yli kolme vuotta kestäneissä kokeissa. Yleisesti DRP-vaikutusta voi siis pitää epävarmana.

Tässä yhteenvedossa kokeissa käytetyt kolme kuitulaatua (nollakuitu, sekä kalkkistabiloitu ja kompostoitu ravinnekuitu) on kuvissa yhdistetty samaan analyysiin. Eri kuitulaatujen vesien-suojeluvaikutuksissa on eroja ja näitä on käsitelty Rasan ym. (2021) julkaisussa. Erilaisten kuitulaatujen vaikutusten tulokset on annettu eriteltynä jäljempänä (Taulukko 8).

1.6. Käsittelyjen tehon kestosta ja tehoon vaikuttavista tekijöistä

Jos maanparannusaineiden vaikutuksen oletetaan perustuvan maanesteen kemiallisen koostumuksen muokkaamiseen (kipsi ja rakennekalkki) tai mikrobitoiminnan aktivoimiseen (kuidut), käsittelyn vaikutuksen valumavesiin voidaan olettaa olevan ohimenevä. Pian levityksen jälkeen havaittujen valumavesien fosforipitoisuuksien vähenemien voidaan katsoa kipsillä ja rakennekalkilla kuvaavan maksimitasoa, joka käsittelyllä saavutetaan. Ajan kuluessa käsittelyn vaikutus vaimenee aineiden hajoamisen ja huuhtoutumisen seurauksena. Lopulta maa päätyy suunnilleen siihen tilaan, missä se oli ennen käsittelyä. Kationikoostumus voi tosin muuttua pitkäaikaisestikin runsaan kalsiumin lisäyksen seurauksena, mikä voi johtaa rakenteen paraneamiseen maissa, joissa vaihtuvan magnesiumin tai natriumin pitoisuus on ennen käsittelyä ollut suuri. Samoin kuitulisäyksissä orgaanisen aineksen tuoma rakenteen vahvistuminen voi olla pitkäaikaista, jos orgaaninen aines liittyy mineraaliainekseen, mikä suojaa sitä mikrobien hajoatustoiminnalta.

Käsittelytehon ajallisia muutoksia tarkasteltiin kokeissa, joissa mittauksia on jatkettu usean vuoden ajan (Kuva 6). Vaikka mukana on kokeita, joissa teho vähenee tasaisesti, kaikissa kokeissa tällaista ei havaita. Esimerkiksi Nummelan rakennekalkkikokeessa teho näyttää vähitellen kasvaneen 5–6 vuoden seurannan aikana. Sama ilmiö on näkyvissä Jokioisten kuituja koskevassa sadetuskokeessa, kun kaikkien kuitulaatujen tulokset on yhdistetty. Maanparannusainekäsittelyjen vaikutuksen kesto siis vaihtelee, mutta tällä tulosaineistolla ei voida antaa eri aineille luotettavia arviota niiden vaikutusajasta.

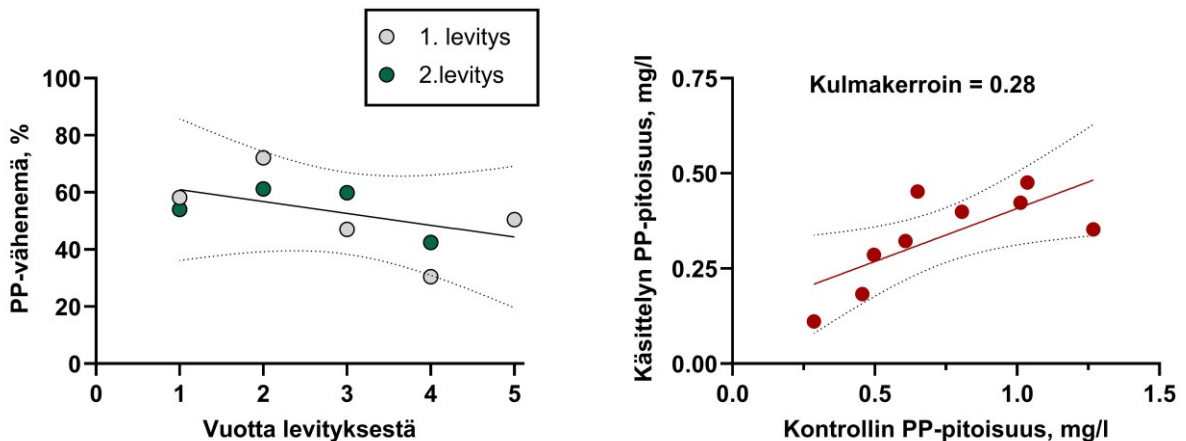


Kuva 6 Samoilla koepaikoilla useamman vuoden aikana mitatut valumavesien PP:n pitoisuusvähenemät ajan suhteen. Kuitukokeiden tulokset ovat kolmen eri kuitulaadun keskimääräisiä vaikutuksia.

Kuitukäsittelyjen sadetuksia on tehty samalta kentältä otetuille maamonoliiteille 9 vuoden ajan. Käsittelyn tehon keston liittyen kuvassa 7 vasemmanpuoleinen graafi näyttää valumavesien PP-vähentymän levityksistä kuluneen ajan suhteen; ensimmäisen kalkkistabiloidulla

kuidulla tehdyn käsittelyn jälkeen seuranta tehtiin 5 vuotta, minkä jälkeen käsittely uusittiin ja vaikutuksia on seurattu 4 vuoden ajan. Kuvan mukaan teho on kalkkistabiloidulla kuidulla käsitellyssä maassa vähentynyt hyvin hitaasti ja vielä 5 vuotta käsittelyn jälkeen kuidulla käsitellyt maat tuottavat selvästi kontrollikäsitteilyä alhaisempia PP-pitoisuuksia maan läpi suotautuvaan veteen.

Kuvan 7 oikeanpuoleinen graafi esittää PP:n pitoisuudet eri vuosien määrytyksissä kalkkistabiloidulla kuidulla käsitellyssä maassa (y-akseli) suhteutettuna saman vuoden kontrollikäsitteilyn PP-pitoisuuksiin (x-akselilla). Tässä kuvassa oleellista on se, että kontrollinäytteen PP-pitoisuus kertoo ainoastaan siitä, millaisessa tilassa maa on ollut eri vuosina näytteenoton ja sadetuksen aikana. Kun x-akselin arvot ovat kontrollikäsitteilyä mitattuja, ja kontrollimaata ei ole käsitelty lainkaan, käsittelystä kuluneella ajalla ei siten ole merkitystä sen tilan määrittäjänä. Sen sijaan muut tekijät määrittävät kontrollimaan tilaa, varmaankin tärkeimpänä se, millaisissa sääoloissa maa on ollut edeltävän talven aikana. Jos talvi on kylmä, maa voi stabiloitua jääty-misen aiheuttaman kuivumisen vuoksi ja käsittelemättömän kontrollimaan valumaveden tuottamat PP-pitoisuudet ovat pieniä. Jos talvi on ollut sateinen ja lämmin, maan tila on keväällä monoliittinäytteenoton aikana jo valmiiksi liettymiselle altis, mikä tuottaa kontrollikäsitteilyssä korkeita valumaveden PP-pitoisuuksia. Kuitukäsittely on siis tehonnut hyvin nimenomaan kuormitukselle alttiissa olosuhteissa.

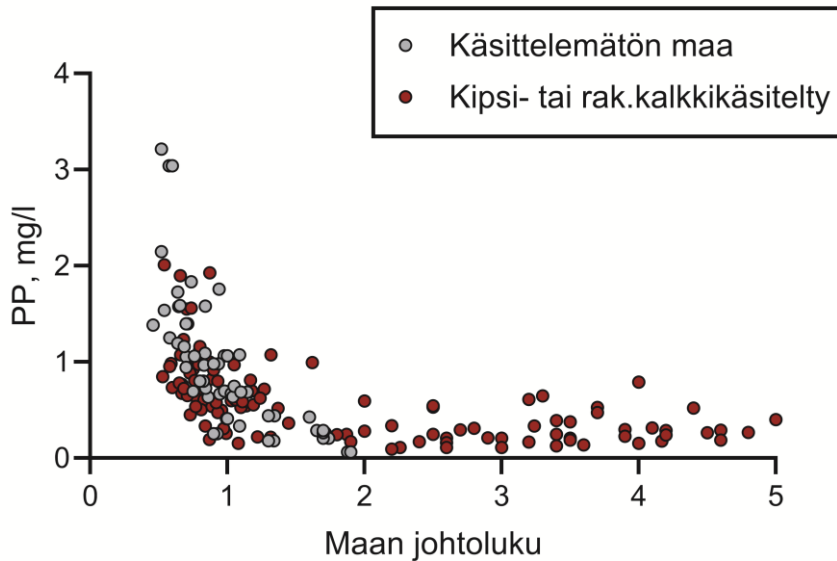


Kuva 7 Vasen kuva: kalkkistabiloidun kuidun levitystä seurannut valumavesien PP-vähennelmä (y-akseli) käsittelyn jälkeisinä vuosina (x-akseli). Oikeanpuoleinen kuva: valumavesien PP-pitoisuus kalkkistabiloidulla kuidulla käsitellyn maan valumavedessä (y-akseli) piirrettynä saman vuoden käsittelemättömän maan valumaveden PP-pitoisuutta vasten (x-akseli). Maan liettymisherkkyttä kyseisenä vuonna kuvaavalla kontrollin PP-pitoisuudella on selkeästi vaikutus käsittelyn tehoon.

Kuvan 7 oikeanpuoleisen graafin pisteparven läpi piirretyn sovitteen kulmakerroin 0,28 ($p = 0,03$) kertoo käsittelyn vähentäneen valumaveden PP-pitoisuutta sitä enemmän, mitä liettymiselle alttiimmassa tilassa maa on kunakin vuonna ollut. Käsittelystä kulunut aika ei siten ole ainoa tekijä, mikä vaikuttaa havaittuun käsittelytehoon. Se, kuinka stabiilissa tilassa maa on ollut mittaushetkellä näyttääkin vaikuttavan selvästi valumavesien PP:n vähennystehoon. Tällaisia yhteyksiä voi hyvinkin olla piilossa myös muiden maanparannusaineiden tuloksissa. Esimerkiksi Savijoen kipsitutkimuksessa havaittiin (Ekholm ym. 2024), että kipsikäsitteilyn

tehoa valuma-alueella selitti käsittelystä kulunut aika ja joen keskivirtaama (PP-vähennelmä, $\% = 55 - 9,4 \times \text{aika vuosina} - 0,5 \times \text{keskivirtaama}$, $r^2 = 0,77$).

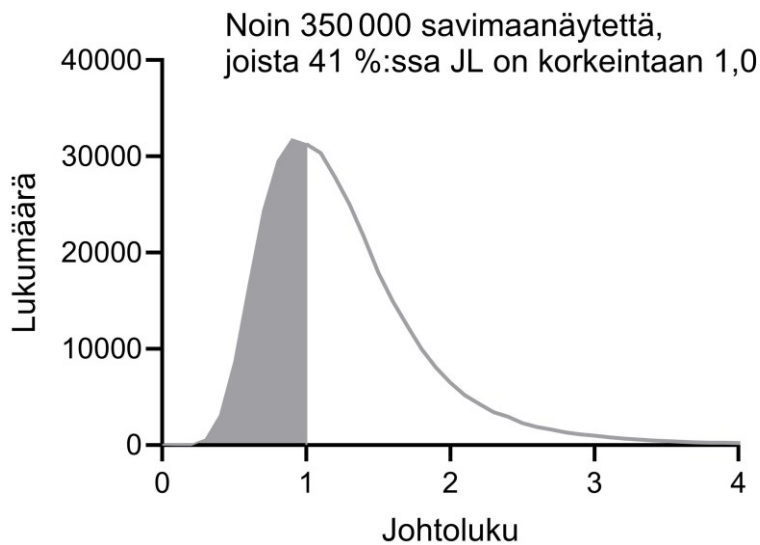
Toisena käsittelytehoon vaikuttavana tekijänä on oletettavasti maan johtoluku, joka kuvaa maanesteeseen liuenneiden suolojen pitoisuutta. Pienen johtoluvun omaava maa on helposti liettyvää (Kuva 8). Kun maan suolavahvuutta lisätään esimerkiksi kipsin tai rakennekalkin avulla, sen liettyminen vähenee. Jos maan suolavahvuus on jo ennen käsittelyä korkea, se on lähtökohtaisesti vain vähän liettymisherkkää (kuvan 8 harmaat pisteet johtoluvun lähestyessä arvoa 2). Tällaisessa tapauksessa käsittelyn suhteellinen vaikutus voi jäädä vähäiseksi.



Kuva 8 Käsitlemättömistä ja kipsillä tai rakennekalkilla käsitellyistä maista sadetuksessa valumaveteen irronneen partikkelifosforin pitoisuus (y-akseli) piirrettynä maan johtolukua vasten (x-akseli). Matalan johtoluvun maat ovat herkästi liettyviä ja tuottavat valumaveteen korkeita partikkelifosforin pitoisuuksia. Johtoluvun kasvaessa tämä taipumus vähenee. Kuvan aineisto lähteistä Uusitalo ym. (2012) ja Soinne ym. (2025).

Jos maanparannusaineita käytetään kohdennetusti, maan johtoluvulla on tärkeä merkitys esimerkiksi levitettäväksi suositeltavan aineen valintaan. Johtoluku oli yksi keskeisistä ainevalintaa ohjaavista maan ominaisuuksista kohdennettaessa maanparannusaineita eri lohkoille AIN3-hankkeen aikana (Keskinen ym. 2025). Jos valumavesien PP:a vähentäviä käsittelyjä halutaan kohdentaa nimenomaisesti riskialueille, voi pellon johtoluku toimia yhtenä eroosioriskiä ilmaisevana tekijänä.

Kuvan 8 aineistossa maan johtoluvut, jotka alittavat arvon 1 edustivat kaikkein liettymisherkimpiä maita. Alla kuvaan 9 on koottu viljavuuslaboratorioissa 5 vuoden aikana (2014–2019) analysoitujen noin 350 000 savimaanäytteen johtolukujen jakauma. Kuvaan on harmaalla täytöllä merkitty niiden näytteiden osuus, joissa johtoluvun arvo on korkeintaan 1. Nämä ovat edustaneet yli 40 % viljavuustutkimusnäytteiden savimaista.



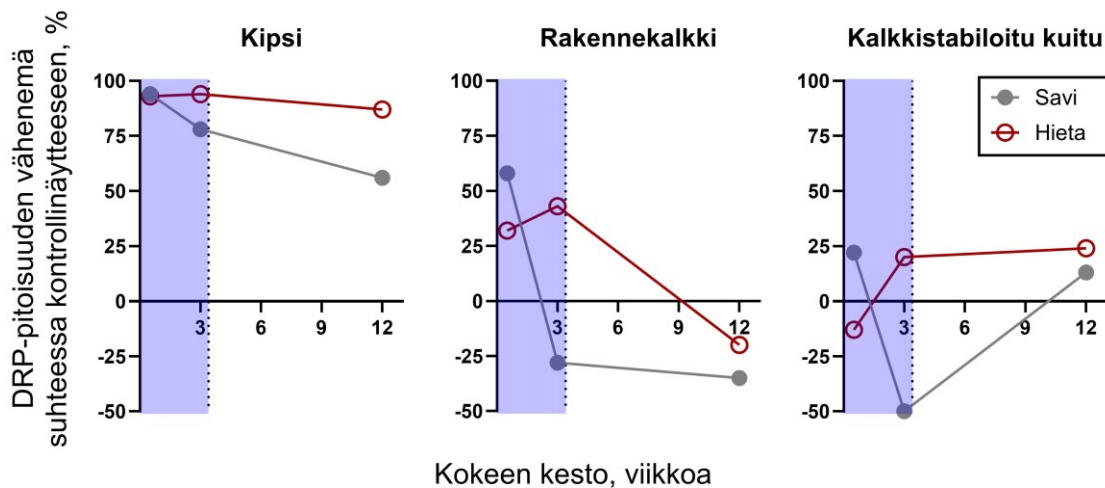
Kuva 9 Vuosien 2014–2019 aikana analysoitujen savimaata edustavien maanäytteiden johtolukujen jakauma. Alle 1 olevien tulosten osuus on harmaalla täytöllä.

1.7. Maanparannusaineet ja tulvaolosuhteet

Kahma ym. (2026) tutkivat Syken laboratoriossa eri maanparannusainekäsittelyjen vaikutusta fosforin vapautumiseen simuloituissa tulvaoloissa. Tulvan seurauksena maasta voi vapautua liuennutta fosforia ensin hapellisissa oloissa tapahtuvan pitoisuuden tasapainottumisen seurauksena, ja sen jälkeen hapettomissa oloissa mangaani- ja rautahydroksidien mikrobiologisen ja kemiallisen pelkistymisen seurauksena. Kun asia ilmaistaan biokemian termeillä, pelkistymisreaktioiden ajurina toimii mikrobitoiminta, jossa orgaanisen aineksen hajotuksessa syntyvien ylijäämäelektronien vastaanottajana toimivat hapen sijasta muut yhdisteet, kuten mangaani ja rauta. Yleisemmin voi todeta, että kun maassa hapen määrä käy vähiin, mangaanin ja raudan oksidit liukenevat.

Tulvakokeen aineistona olivat LUKEn Jokioisista otetut kaksi erityyppistä peltomaata, savimaa ja hietamaa, joiden fosforiluku oli sama (20 mg/l). Maanparannusaineita lisättiin todellista peltokäyttöä vastaavia määriä ja niiden annettiin vaikuttaa 10 kk, minkä jälkeen maita inkuboitii 3 kk vesikyllästyneinä, ensin hapellisissa ja 3 viikon jälkeen hapettomissa oloissa. Inkubaatioastioista otettiin vesinäytteet 3 vrk:n, 3 viikon ja 3 kk:n kuluttua inkuboinnin aloituksesta.

Tulvakokeessa kontrollimaista vapautui liuennutta fosforia (DRP) siten, että vesifaasin pitoisuus 3 vuorokauden kuluttua oli savimaassa hieman alle 0,05 mg/l ja hiedassa hieman alle 0,10 mg/l. Kolmen viikon kuluttua molempien kontrollinäytteiden DRP oli kasvanut noin kaksinkertaiseksi. Toisen näytteenoton jälkeen hapen pääsy inkubaatioastioihin estettiin ja DRP-pitoisuus jatkoi kasvuaan siten, että savimaan kontrollin vesifaasissa DRP-pitoisuus oli kolmen kuukauden kuluttua kokeen aloituksesta noin 0,3 mg/l ja hietamaan tapauksessa noin 0,4 mg/l. Kipsikäsiteltyjen maiden DRP-pitoisuus pysyi selvästi kontrollimaita pienempänä koko kokeen ajan, kun taas rakennekalkilla tai kuidulla käsitellyissä maissa muutokset kontrolliin nähden olivat vaihtelevia (Kuva 10).



Kuva 10 Hapettomissa oloissa veteen vapautuvan liuenneen fosforin (DRP) muutokset 12 viikon muhituksen aikana kahdessa maassa, joihin oli lisätty maanparannusaineita. Vähennys on laskettu muutoksena käsittelemättömän kontrollinäytteen pitoisuuksiin nähden. Sinisellä täytöllä on merkitty kokeen alun jakso, jossa hapen pääsyä inkubaatioastioihin ei ole vielä esitetty.

Kipsikäsittely (3,2 g/kg maata, vastaten 4 t/ha peltolevitystä) alensi vesifaasin DRP:n pitoisuutta 93–94 % hietamaassa ja 78–94 % savimaassa verrattuna käsittelemättömään maahan. Kipsikäsittely säilytti tehonsa (87 % vähennemä hietamaassa ja 56 % savimaassa) myös tämän jälkeen yli 2 kk jatkuneissa yhtäjaksoisissa hapettomissa olosuhteissa. Savimaan kipsikäsittelyssä veden lopullinen DRP-pitoisuus kolmen kuukauden kuluttua oli noin 0,14 mg/l (kontrolli 0,3 mg/l) ja hietamaassa 0,05 mg/l (kontrolli 0,4 mg/l).

Rakennekalkkikäsittely (5,3 g/kg maata, vastaten 1,2 t/ha reaktiivista kalsiumoksidia pellolle levitettyinä) alensi hietamaasta veteen liuenneen liukoisen fosforin pitoisuutta 32 % kolmen vuorokauden tulituksen jälkeen ja 43 % kolmen viikon tulituksen jälkeen verrattuna käsittelemättömään maahan. Savimaassa vähennemä oli 58 % kolmen vuorokauden tulituksen jälkeen, mutta pitoisuus kasvoi kontrollinäytteeseen verrattuna 28 % kolmen viikon tulituksen jälkeen (ei kuitenkaan tilastollisesti merkitsevä ero). Tämän jälkeen 2 kuukautta jatkuneissa yhtäjaksoisissa hapettomissa olosuhteissa rakennekalkkikäsittely lisäsi liukoisen fosforin vapautumista 20 % hietamaasta ja 35 % savimaasta verrattuna kontrolliin. Kolmen kuukauden koejakson lopussa DRP-pitoisuus oli savimaan rakennekalkkikäsittelyssä noin 0,42 mg/l (kontrolli 0,3 mg/l) ja hietamaan käsittelyssä 0,47 mg/l (kontrolli 0,4 mg/l).

Käsittely kalkkistabiloidulla kuidulla (26 g/kg maata, vastaten 25 t/ha peltolevitystä) alensi hietamaasta veteen liuenneen fosforin pitoisuutta 20 % verrattuna käsittelemättömään maahan kolmen viikon tulituksen jälkeen, joskin aluksi kolmen vuorokauden jälkeen pitoisuus nousi 13 % kontrollia korkeammaksi. Savimaassa vähennemä oli 22 % kolmen vuorokauden tulituksen jälkeen, mutta kolmen viikon tulituksen jälkeen liukoisen fosforin pitoisuus kasvoi 50 % verrattuna kontrolliin. Edelleen 2 kuukautta jatkuneissa yhtäjaksoisissa hapettomissa olosuhteissa kuitukäsittely vähensi liukoisen fosforin pitoisuutta 24 % hietamaasta ja 13 % savimaasta verrattuna kontrolliin. Kolmen kuukauden jälkeiset DRP-pitoisuudet olivat savimaalla noin 0,26 mg/l (kontrolli 0,3 mg/l) ja hietamaalla 0,30 mg/l (kontrolli 0,4 mg/l).

1.8. Tutkimustarpeet

Maanparannusaineiden vaikutus näyttää hiipuvan ajan kuluessa. Koska käsittelystä kuluneella ajalla ei ole yksiselitteistä vaikutusta fosforin pidättymisen tehoon, tarvitaan lisätietoa vaikutuksen kestoa määrittävistä tekijöistä. Tekijät voivat liittyä esimerkiksi maaperän ominaisuuksiin, mutta myös levitysajankohtaan, maan muokkaukseen tai säähän. Erityisesti kipsin ja rakennekalkin osalta toistuvan käsittelyn vaikutuksista maaperän ominaisuuksiin on vain vähän tietoa. Toistuvien käsittelyjen vaikutusten ohella pitäisi tutkimusta suunnata myös siihen, kuinka viljelykäytäntöjä muuttamalla maanparannusaineiden vaikutuksia voitaisiin ylläpitää ilman toistuvia käsittelyjä.

AIN3-hankkeessa kehitetty maanparannusaineiden valinnassa auttava työkalu perustuu tämänhetkiseen tutkimustietoon kunkin maanparannusaineen pääasiassa kemiallisista vaikutusmekanismeista. Valintatyökalun toimivuudesta, eli siitä onnistutaanko sen avulla valitsemaan kullekin pellolle tehokkaimmin fosforikuormitusta hillitsevä maanparannusaine, saadaan tietoa vuoden 2026 aikana AIN3-hankkeen tulosten valmistuttua.

Ravinnekuormitukseen liittyvien tekijöiden lisäksi maanparannusaineiden vaikutuksia maan biologiaan ja kokonaisvaltaisemmin maaperän toimintaan on syytä tarkastella. Vaikka maanparannusaineiden vaikutusmekanismit tunnetaan pääpiirteittäin, mekanismeista olisi saatava tarkempaa tietoa, jotta aineiden soveltuvuutta, tehoa ja tehon kestoa eri oloissa voitaisiin mahdollisimman hyvin arvioida. Maanparannusaineilla voi olla vaikutusta myös muiden ravinteiden kuin fosforin huuhtoumaan. Lisäksi ne voivat lisätä tai vähentää liuenneen orgaanisen aineen huuhtoutumista. Näiden vaikutusta vastaanottavassa vedessä tulisi myös selvittää.

Kun maanparannusaineiden vaikutuksista on saatu tietoa eri mittakaavassa tehdyissä tutkimuksissa, antaa tämä mahdollisuuden kehittää ja tarkentaa niin peltomittakaavan (esimerkiksi ICECREAM) kuin valuma-alueenkin malleja (kuten Vemala). Mallien avulla voitaisiin arvioida maanparannusaineiden yhteiskäytön vaikutuksia ja potentiaalia vesienhoidon suunnittelun tavoitteiden saavuttamiseen nykyisissä sekä tulevaisuuden ilmasto-olosuhteissa.

Valtakunnallisella valuma-aluemallilla laaditut ilmasto- ja kuormitusskenaariot tulisi päivittää tarpeen mukaan. Valtakunnallisella Vemala-mallilla tehtiin Sykessä noin 5 vuotta siten skenaariot maanparannusaineiden vaikutuksesta fosforikuormituksen vähenemään. Mikäli tämä tuore yhteenveto osoittaa lisääntyneen tiedon myötä merkittävää muutosta maanparannusaineiden tehossa suhteessa siihen, mitä aikanaan käytettiin Vemala-mallinnuksessa, niin skenaarioiden päivitys on toivottavaa.

Lisäksi tulisi selvittää mitä mahdollisuuksia ja kehitystarpeita on, jotta lohkotason ravinnemalleja (esim. ICECREAM) voisi nykyistä paremmin ja tehokkaammin hyödyntää viljelijäyhteistyössä ja maanparannusaineiden käytön edistämiseksi. Lohkotason ravinnemalli on Sykessä kytketty ajankohtaisiin ja menneiden vuosien hydrologiatietoihin. Lohkotason malli mahdollistaa ravinnevirtojen simuloinnin peltomaassa ja valumavesissä. Malli ottaa huomioon muun muassa maalajin, pellon P-luvun, valitun viljelykasvin ravinnetarpeen sekä lannoituksen vaikutuksen ravinteiden huuhtoumaan. Mallia tulisi kehittää siten, että on mahdollista simuloida myös maanparannusaineiden vaikutusta.

Myös muiden mallien kehitykseen voidaan tuoda lisäosia maanparannusainetutkimusten tuloksista. Esimerkkinä on ajatus, jossa maan johtoluku kytkettäisiin RUSLE-malliin maan kemiallisen tilan indikaattorina kaltevuuden, maalajin, kasvipeitteen ja muokkauksen lisäksi. Vaikka

esimerkiksi kaltevuus liittyy kiinteästi eroosioon, voi maa-ainesta kulkeutua runsaasti myös tasaisemmilta pelloilta, jotka ovat kemiallisten ominaisuuksiensa vuoksi herkkiä liettymään sa- teiden aikana. Tämä kuitenkin edellyttää viljavuustutkimustiedon saatavuutta tällaiseen tar- koitukseen sekä tiedon luotettavuutta. Koska viljavuustutkimuksen johtolukua on pääosin täysin hyödyntämätön suure, sen luotettavuudesta ei ole riittävästi tietoa.

Suurimpia haasteita luotettavien ravinnekuormitusarvioiden tekemisessä ja simuloinneissa ovat nykyisin lohkotason lähtötietojen puutteet. Erityisesti lohkon tai koordinaatteihin sidot- tujen viljavuusanalyysitietojen kattavaa saantia ei ole saatu ratkaistua, vaikka tätä tarvetta on pidetty esillä ja siitä on keskusteltu lohko-kohtaisen mallinnustyön alusta alkaen, viimeiset 15 vuotta. Viljavuusanalyysit tulisi järjestää saataville riskialueiden tunnistamiseen ja ravinnekuor- mituksen arviointiin ja analyysitulokset tulisi voida paikantaa joko lohkotunnuksen tai koordi- naattien avulla. Ravinnetietovarannon kehittämisen tärkeys linjattiin Samassa Vedessä -hank- keessa (Ekholm ym. 2023). Sen avulla pystyttäisiin huomioimaan kuormittavuuden vaihtele- vuutta. Nykyisellään tutkimuslaitoksiin viljavuusanalyysit joudutaan hankkimaan maksua vas- taan niiltä analyysilaboratorioilta, jotka suostuvat ne luovuttamaan. Puuttuvien lohkojen tie- dot joudutaan arvioimaan, mikä aiheuttaa epätarkkuutta nykyisen valtakunnallisen ja paikalli- sen kuormituksen arviointiin sekä toimenpiteiden vaikutuksen arviointiin. Kattavien lähtötie- tojen avulla ravinnekuormitusarvioita voitaisiin käyttää myös toimenpiteiden kohdentamiseen oikeille ja kuormittavimmille lohkoille. Ehdotettujen kehitysaskelien myötä lohko-kohtaiset ra- vinnekuormitusarviot edesauttavat lisäksi toimenpiteiden tukitason määrittämisessä vaikutus- perusteisesti.

1.9. Yhteenvetoon sisältyvien koeaineistojen kuvaus

Alla on esitetty lyhyet kuvaukset aineistomme muodostavista tutkimuksista. Aineisto esite- tään samassa järjestyksessä kuin aiemmin, jaoteltuna maanparannusaineen ja koejärjestelyn mukaisesti. Kappaleiden lopun taulukoihin olemme koonneet tutkimusten/kokeiden tulokset.

1.9.1. Kipsi – laboratorikokeet

Lyhytaikaisissa laboratoriossa tehdyissä inkuboinneissa kipsi on vähentänyt sameutta sekä hiukkasmaisen fosforin ja liuenneen reaktiivisen fosforin pitoisuutta (Aura ym. 2006, Pietola 2008, Kahma ym. 2026).

Aura ym. (2006) selvittivät kipsin vaikutusta hiukkasmaisen ja liuenneen fosforin pitoisuuteen laboratorikokeessa, jossa astiaan lisättiin 18 grammaa maata ja 450 ml vettä sekä eri määriä kidevedellistä ja kidevedetöntä kipsiä. Neljän vuorokauden jälkeen hiukkasmaisen ja liuen- neen fosforin pitoisuus maan yläpuolisessa vedessä oli sitä pienempi mitä suurempi oli veden sähkönjohtavuus, ts. lisätyn kipsin määrä. Hiukkasmaisen fosforin pitoisuus oli kipsimäärää 4 t/ha vastaavissa kokeissa suurimmillaan muutama kymmenen mikrogrammaa litrassa ja reduktio luokkaa 95 % (kuvasta arvioituna). Liuenneen fosforin osalta tuloksissa oli enemmän hajontaa.

Pietola (2008) lisäsi 0–6 grammaa kipsiä puoleen kiloon maata; 6 g annos vastasi noin 12 tn/ha lisäystä 10 cm:n maakerrokseen sekoitettuna. Lannoitettua maata kasteltiin viikoit- tain kenttäkapasiteettiin. Kahden-kolmen kuukauden inkuboinnin jälkeen maita huuhdottiin kymmenen kertaa 300 millilitralla vettä ja huuhteluviedestä määritettiin sameus ja liuenneen fosforin pitoisuus. Liuenneen fosforin pitoisuus väheni kaikissa kipsikäsitellyissä yksiköissä,

suurimmalla kipsiannoksella 58 %. Toisessa kokeessa oli mukana erilaisia maita (hiue, hieno hiekka, savi, turve), joita huuhdottiin neljä kertaa. Liuenneen fosforin pitoisuus huuhteluvedessä aleni kaikissa näytteissä lukuun ottamatta maata, jonka viljavuusfosforin pitoisuus oli melko alhainen (6 mg/l). Sameus väheni kaikissa näytteissä.

Hämäläinen (2011) tutki kipsin vaikutusta hiuesavimaan fosforinpidätyskykyyn lisäämällä 0–4 grammaa kipsiä litraan maata (vastaa 0–4 tn/ha 10 cm:n kerrokseen sekoitettuna) ja inkuboimalla maata 30 vrk 25 % kosteudessa. Inkuboinnin jälkeen maalle tehtiin muun muassa valutuskoe, jossa maan läpi valutettiin vettä 4 kertaa kuukauden aikana. Kipsi vähensi veteen vapautuvan fosforin määrää annoksilla 2 ja 4 t/ha suurin piirtein saman verran: ensimmäisessä valutuksessa noin 60 %, toisessa noin 50 %, kolmannessa valutuksessa noin kolmanneksen ja neljännessä valutuksessa ei juuri lainkaan.

Begum ym. (2026a) tutkivat neljän maanäytteen avulla maanparannusaineiden vaikutusta ravinteiden huuhtoutumiseen. Tutkimuksessa oli mukana kaikki kolme maanparannusainetta. Vaikutukset fosforipitoisuuksiin olivat melko vähäisiä (Taulukko 1).

Begum ym. (2026b) tutkivat Århusin yliopiston laboratoriossa rakennettujen ja kipsillä käsiteltyjen maiden läpivaluvan veden fosforipitoisuuksia. Mynämäeltä otetussa savimaanäytteessä sekä hiukkasmaisen että liuenneen fosforin pitoisuus oli alempi kipsikäsitellyn näytteen läpi valutetussa vedessä, mutta vieressä sijainneelta karkealta kivennäismaalohkolta kerätyn näytteen läpi valutetussa vedessä vain liennut fosfori oli alentunut ja hiukkasmaisen fosforin pitoisuus kasvanut. Tutkimuksessa oli mukana myös Tanskasta ja Norjasta kerättyjä näytteitä. Kun näitä tarkasteltiin kaikkien näytteiden tasolla kipsin vaikutusta ei pystytty liittämään maan rakennetta kuvaaviin ominaisuuksiin (maa-aggregaattien stabiilisuus, dispergoituva savi, elastisuus, sähkönjohtavuus). Savimaissa sähkönjohtavuuden kasvu kuitenkin vähensi hiukkasmaisen ja liuenneen fosforin pitoisuutta.

Taulukko 1 Kipsikokeet laboratoriossa.

	Kesto	PP väh. %	DRP väh. %	PP Ctrl, mg/l	DRP Ctrl, mg/l
Aura ym. ¹	4 vrk	95	0	—	—
Pietola (4 tn/ha)	2–3 kk		41	—	—
Hämäläinen (4 tn/ha)	1 kk		60 ^{1,2}		
Begum ym. (2026a)	2–4 vk	2,6	-11	0,12	0,027
Begum ym- (2026 b)					
Savimaa	2 kk	51	43	0,087	0,204
Karkea kivennäismaa	2 kk	-29	19	0,068	0,258

¹ Tulokset arvioitu graafeista

² Ensimmäisen valutuksen tulos. Kokonaisfosfori (hiukkasmaista tai liennutua fosforia ei määritetty)

1.9.2. Kipsi – sadetuskokeet

TraP-hankkeessa käsiteltiin kipsillä Jokioisten kaksi savipeltoa (savesprosentti 49 ja 55). Kipsilisäyksiä oli 3 tai 6 t/ha ja suuremmalla kipsilisäyksellä vertailtiin myös muokkauskäsittelyjä (kyntö vs. kultivointi syksyisin). Koeruuduista otettiin häiriintymättömiä maamonoliitteja (hal-kaisija 30 cm, syvyys 40 cm) keväisin ja niitä sadetettiin laboratoriossa 5 mm/h intensiteetillä kahden päivän aikana yhteensä 50 mm:n sademäärällä. Näytteenotto sadetuksineen toistettiin kolmena keväänä kipsinlevityksen jälkeen, ensimmäisen kerran 7 kk kuluttua levityksestä.

Sadetuksessa maan läpi valuneen veden hiukkasmaisen fosforin pitoisuus väheni 58–74 % ja liuenneen reaktiivisen fosforin pitoisuus 43–50 % laskettuna 2,6 vuoden keskiarvoina kipsin levityksestä (Uusitalo ym. 2012). Kipsi vähensi myös liuenneen orgaanisen hiilen huuhtoutumista. Kipsin vaikutus hiipui ajan myötä eikä 2,6 vuoden jälkeen kipsi- ja vertailunäytteiden fosforin pitoisuuksien välillä ollut enää tilastollisesti merkitsevää eroa, vaikka selkeä pitoisuusero olikin vielä havaittavissa.

Syksyllä 2025 käynnistetyssä Kuitu-kipsi-hankkeessa (Uusi-Kämpä & Uusitalo 2026) tehtiin kenttäkokeen ja maamonoliittien sadetuksen yhdistelmä. Koepaikkana oli Jokioisten Lintupaju, jossa koerutuihin levitettiin kipsiä, ravinnekuitua ja näiden sekoitusta. Maa oli runsasmultainen hiesusavi, jossa savesprosentti on 48–56. Kipsilisäys oli 4 tn/ha ja ensimmäinen sadetus toteutettiin noin 2 kk kuluttua levityksestä. Ensimmäisen sadetuksen tulokset kuvaavat siten tilannetta melko välittömästi levityksen jälkeen. Koe jatkuu toukokuussa 2026 tehtävällä näytteenotolla ja sadetuksella.

Taulukko 2 Kipsin peltolevityksen jälkeisissä sadetuskokeissa mitatut partikkelifosforin (PP) ja liuenneen fosforin (DRP) vähenemät, sekä kontrollinäytteiden PP:n ja DRP:n keskipitoisuudet. Maamonoliittien näytteenotto on kokeissa tehty 2–31 kk kuluttua levityksestä; jos koe sisälsi useita sadetuksia, tulokset on laskettu niiden keskiarvona.

	Kesto Vuosisia	PP väh. %	DRP väh. %	PP Ctrl, mg/l	DRP Ctrl, mg/l
Kultivointi (10 cm) syksyisin (savimaa)					
Taso 1 (3 tn/ha)	2,6	58	54	1,256	0,159
Taso 2 (6 tn/ha)	2,6	74	63	1,256	0,159
Syyskyntö (6 tn/ha) (savimaa)	2,6	59	43	0,764	0,084
Kuitu-kipsi-hanke (savimaa)	0,17	74	60	0,610	0,072

1.9.3. Kipsi – valuma-aluekokeet

Nurmijärven Nummenpään valuma-alueella kipsiä levitettiin 92 prosentille peltoalasta. Käsitelyn arvioitiin vähentäneen hiukkasmaisen fosforin huuhtoutumista 64 % ja liuenneen fosforin huuhtoutumista 29 % noin 2,5 vuoden keskiarvona (Ekholm ym. 2012). Reduktiot pysyvät lähes muuttumattomina myös 4,5 vuoden keskiarvona (Ekholm ym. 2013), jonka jälkeen seuranta lopetettiin. Nummenpään pellot sijaitsevat etupäässä savimailla. Vaikka lohkot ovat melko tasaisia (keskikaltevuus 1,7 %), eroosio on voimakasta. Helppoliukoisen fosforin pitoisuus oli osalla lohkoista hyvin korkea johtuen kaalinviljelystä. Peltojen ominaiskuormitus 1,7 kg/ha/v (Ekholm ym. 2012) oli keskimääräistä ominaiskuormitusta 1 kg/ha/v suurempi (Tattari ym. 2017, Rankinen ym. 2016, Röman ym. 2018).

Nummenpään kipsialueen verrokkina aiemmin toimineen Lepsämänjoen yläosan pelloista noin 40 %:lle levitettiin kipsiä (330 ha) Nummenpään tutkimuksen jälkeen (Ekholm ym. 2020). Vertailujaksona toimi vuodet 2014–2018. Myös Lepsämänjoella pellot sijaitsevat lähinnä savi- mailla ja peltojen keskikaltevuus on 1,8 %. PP-kuorma väheni ensimmäisenä ja toisena kipsin levityksen jälkeisenä, noin vuoden pituisena mittausjaksona 41 % ja 17 %. Jos muutos olisi tapahtunut vain kipsipeltojen kuormituksessa, PP-huuhtouma olisi kipsikäsitellyiltä pelloilta vähentynyt 130 % ensimmäisenä mittausjaksona (1.10.2018-30.4.2019) ja 53 % toisena mittausjaksona (1.10.2019-30.4.2020). Kasvukaudella Lepsämänjokea ei seurattu, sillä tällöin huuhtoumat ovat yleensä vähäisiä. Yli sadan prosentin laskennallinen vähenemä peltotasolla liittyy tämän tarkastelutavan oletukseen, että verrokki- ja kipsialueen kuormittavuus on pysynyt kailta muilta osin samanlaisena ja havaittu muutos johtuu ainoastaan kipsin levityksestä. Valuma-alueen kuormittavuudessa on kuitenkin voinut olla eroja esimerkiksi viljelykäytännöissä tai lannoitteiden huuhtoumassa. Lisäksi on pohdittu mahdollisuutta, että jokeen kulkeuduttuun kipsi voisi saostaa uomassa myös käsittelemättömiltä pelloilta huuhtoutunutta maa-ainesta. Lepsämänjoella kipsin teho vaikutti hiipuvan nopeammin kuin Nummenpäässä. Tämä saattoi johtua leudosta ja poikkeuksellisen sateisesta kevättalvesta 2020, joka on voinut nopeuttaa kipsin huuhtoutumista alueen pitkälti suorakylvetyiltä pelloilta (Luodeslampi 2023).

Savijoen keskijuoksulla kipsiä levitettiin 1490 hehtaarille (51 % peltoalasta, Ollikainen ym. 2020, Ekholm ym. 2024). Lähes viiden vuoden seurannassa toimenpidealueen yläosassa hiukkasmaisen fosforin huuhtouma väheni 72 % ja liuenneen reaktiivisen fosforin 25 %. Toimenpidealueen alaosassa kipsin vaikutus oli heikompi. Koko alueella kipsikäsitellyiltä pelloilta arvioitiin huuhtoutuneen 35 % vähemmän hiukkasmaista fosforia ja 3 % enemmän liuenutta fosforia.

Jokitutkimuksen mahdolliset haasteet tulivat esiin Savijoella. Savijoella epävarmuutta erityisesti tulvatilanteessa tuloksiin aiheuttaa se, että maa-aineksen laskeutumisen ja liikkeellelähdön tasapaino uomassa vaihtelee hydrologisen vaihtelun mukaan. Savijoen koeasetelma on erilainen suhteessa sellaisiin valuma-alueutkimuksiin, joissa on mukana kaksi erillistä valuma- aluetta. Savijoella kontrollialue on latvavesissä ja käsittelyalueet alajuoksulla, jossa uomaerosiovoima ja uomaeroosiolle altis uoman pinta-ala kasvavat suurissa virtaamatilanteissa moninkertaiseksi yläjuoksuun verrattuna (Kasvi ym. 2024). Savijoen kaltaisessa koeasetelmassa ylä- ja alajuoksulla mitattu sameus ja kiintoaineen pitoisuudet tai kuormat eivät siten ole yksinomaan käsittelystä riippuvia. Erityisen haasteen jokimittausten tulkintaan toi vuoden 2020 märkä talvi, jolloin jokivirtaamat olivat ennätykselliset. Sameudet nousivat käsittelyalueen mittapisteillä huomattavasti yläjuoksun vertailualueutta suuremmiksi ja kipsin vaikutus oli sameusmittausten mukaan talvella 2020 heikompi käsittelyalueen ala- kuin yläosassa (Ekholm ym. 2024). Kasvin ym. (2024) hydraulisen mallinnuksen perusteella alajuoksun uomaerosio oli talvella 2020 suurempaa verrattuna yläjuoksun käsittelyalueeseen ja kasvanut uomaerosio on nostanut alajuoksulla uomasta runsaasti kiintoainesta veteen. Hydrologisten tapahtumien mallinnus osoitti, että talvella 2020 kiintoainekuorman tai hiukkasmaisen fosforin eroista ei pysty luotettavasti tekemään kipsin vaikutusarvioita poikkeuksellisten uomaprosessien vuoksi.

Savijoen seuranta-aineisto vuosilta 2016–2024 – aina vuoden 2024 kipsin, kuidun ja rakennekalkin levityksiin (AIN3-hanke) asti – mahdollistaa kipsin vaikutuksen arvioimisen 8 vuoden päähän kipsin levityksestä. Alustavien tulosten mukaan sulfaattipitoisuudet kipsin levityksen vaikutuksesta ovat Savijoessa olleet kohonneita vielä 7. vuotena.

Kämäri ym. (2026a) tutki KIPSI-hankkeen vedenlaatu- ja valuma-aineistosta kipsin vesistövaikutusta Tarvasjoella. Aineisto ulottui keväästä 2020 kevääseen 2025. Kipsiä levitettiin vaihteittain yhteensä 27 % Tarvasjoen valuma-alueen pelloista. Kipsin vaikutus Tarvasjoen fosforipitoisuuksiin ja -kuormiin määritettiin yleistetyin pienimmän neliösumman menetelmällä, jossa aineisto jaettiin ennen ja jälkeen käsittelyn, minkä lisäksi tarkastelussa otettiin huomioon kontrollivaluma-alueen eli Paattistenjoen vedenlaadun vaihtelu. Kipsin vesistövaikutusta arvioitiin sekä jatkuvatoimisen mittauksen että vesinäytteiden perusteella.

Jatkuvatoiminen mittaus osoittaa Tarvasjoen hiukkasmaisen fosforin pitoisuuden vähenemää 17 ± 4 % jaksolla syyskuu 2024–toukokuu 2025 (Kämäri ym. 2026b). Tämä seurantajakso oli noin kolme vuotta syksyllä 2020 alkaneen kipsin levityksen jälkeen. Hiukkasmaisen fosforin kuormat alenivat koko Tarvasjoen 144 km^2 valuma-alueella keskimäärin 10 %, kun kipsin levityksen alkamisesta oli kulunut 3–4 vuotta ja kipsiä oli levitetty 1 821 peltohehtaarialle. Jos oletetaan, että tutkimusvaluma-alueiden kuormittavuus pysyi samanlaisena ja että PP-kuorman vähenemä on tapahtunut vain käsitellyillä pelloilla, olisi kipsi vähentänyt käsittelypeltojen PP-kuormaa keskimäärin 39 %. Kuorman muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevä (Kämäri ym. 2026b).

Tarvas- ja Paattistenjoen jatkuvatoimisten sensorien aikasarjoista on laadunvarmennuksessa poistettu ennakoitua enemmän mittauksia (Kämäri ym. 2024b). Tulokset kattavat 55 mittauspäivää ennen kipsin levitystä ja 882 päivää levityksen jälkeen. Kummastakin joesta kerättiin 152 vesinäytettä, joista 21 kpl kerättiin ennen kipsin levityksiä. Vesinäytteiden analyysi osoitti, että kipsin levitys vähensi merkittävästi Tarvasjoen PP- ja TP- pitoisuuksia 2020–2025. DRP pitoisuus väheni jokivedessä jaksolla 2022–2025, mutta vähenemä ei ollut tilastollisesti merkitsevä (Kämäri ym. 2026b).

Taulukko 3 Valuma-alueilla tehtyjen kipsitutkimusten tulokset.

	Kesto Vuosia	PP väh. %	DRP väh. %	PP Ctrl, mg/l	DRP Ctrl, mg/l
Nummenpää (92 % pelloista käsitelty)	2,5	64	29	0,313	0,048
Nummenpää (92 % pelloista käsitelty)	4,5	60	25	0,313	0,048
Lepsämänjoki (40 % pelloista käsitelty)	1,0	130 ²	-	0,12	0,033
Lepsämänjoki (40 % pelloista käsitelty)	2,0	53 ²	-	0,12	0,033
Savijoki ylempi (46,5 % pelloista käsitelty)	4,7	72 ²	25	0,139	0,025
Savijoki koko alue (51 % käsitelty)	4,7	35 ²	-2,5	0,158	0,021
Tarvasjoki (27 % pelloista käsitelty)	3,6 ¹	33	16	0,214	0,046

¹ Pinta-alapainotettu keskiarvo yli 5 vuotisessa valuma-alue tutkimuksessa, jossa levitysala kasvoi vähitellen

² Tulos arvioitu kipsikäsitellyä peltoalaa kohti, mutta käytännössä vähenemä voi olla korkeintaan 100 %

1.9.4. Rakennekalkki – laboratorionkokeet

Soinne ym. (2025) julkaisivat rakennekalkittujen pintamaanäytteiden sadetuksista tuloksia perustuen kahteen aineistoon. Ensimmäinen aineisto käsitti 13 laboratoriossa rakennekalkittua maanäytettä, joiden savespitoisuus vaihteli suuresti (16–81 %). Rakennekalkin lisäystrasot vastasivat 1, 2 tai 3 tn/ha reaktiivista kalkkia ($\text{CaO}/\text{Ca}(\text{OH})_2$); sama kalkitsemaan maa toimi

kontrollina. Laboratoriossa rakennekalkittujen näytteiden vesipitoisuus säädettiin 60 %:iin ja näytteitä pidettiin kosteina sadetukseen asti 5 viikon muhituksen ajan, ilman että näytteiden annettiin kuivua ennen sadetusta.

Toinen Soinnen ym. (2025) aineisto oli muokkauskerroksesta otetut näytteet kuudelta pellolta (savesta 35–67 %), joille oli tehty rakennekalkitus 1–6 vuotta ennen näytteenottoa; kontroleiksi otettiin joko samoilta tai viereisiltä rakennekalkitsemattomilta aloilta/pelloilta näytteet, joiden arvioitiin edustavan ominaisuuksiltaan samaa maata kuin rakennekalkituilla aloilla. Sadetus tehtiin molemmille aineistoille 5 mm/h intensiteetillä, kunnes saatiin analyysiin riittävä määrä vettä (4–6 h mittainen sadetus).

Laboratoriossa rakennekalkittujen näytteiden sadetusvesissä PP-pitoisuus oli keskimäärin 9 % kontrollia pienempi (vaihteluväli -218–94 %) ja DRP-pitoisuus 8 % kontrollia suurempi (vaihteluväli -135–84 %). Aiemmin rakennekalkituilta pelloilta otetuissa näytteissä PP-pitoisuus oli keskimäärin 11 % kontrollia pienempi (vaihteluväli -62–78 %) ja DRP-pitoisuus 19 % kontrollia pienempi (vaihteluväli -28–70 %). Pitoisuuksien lisääntymisiä (negatiivinen käsittelyvaikutus) havaittiin niissä maissa, joille rakennekalkitus oli tehty kuusi vuotta aiemmin, mutta toisaalta fosforin pitoisuudet näiden maiden kontrollinäytteissä olivat matalia. Kontrollinäytteitä pienempiä PP- ja DRP-pitoisuuksia mitattiin 1–4 vuotta aiemmin käsitellyistä maista kerätyistä sadetusvesistä.

Taulukko 4 Laboratoriossa rakennekalkittujen näytteiden ja aiemmin rakennekalkittujen pintamaa-näytteiden sadetuksissa saadut vähennysprosentit ja pitoisuuksien vaihteluvälit. Kaikki näytteet olivat laboratoriossa sadetusaloille uudelleen pakattuja.

	PP väh. %	DRP väh. %	PP Ctrl, mg/l*	DRP Ctrl, mg/l*
Soinne ym., lab.käsittely (13 maata)				
Taso 1 (1 t/ha akt. CaO)	55	0	0,064–3,041	0,031–0,229
Taso 2 (2 t/ha akt. CaO)	59	6	0,064–3,041	0,031–0,229
Taso 3 (3 t/ha akt. CaO)	53	10	0,064–3,041	0,031–0,229
Peltonäytteet (6 maata), pitoisuus-painotettu keskiarvo	50	26	0,396–10,57	0,018–0,267
Begum julkaisematon a	14	0,8	0,12	0,027

* Pitoisuuden vaihteluväli, riveillä olevat vähennykset on laskettu kontrollin pitoisuuksilla painottaen.

1.9.5. Rakennekalkki – sadetuskokeet

Ulen ja Etana (2014) tekivät sadetuksia kokonaisina kairatuille lieriönäytteille (monoliiteille, halkaisija 20 cm, syvyys 20 cm), jotka oli otettu Bornsjön (savesta 60 %) ja Wiadin (savesta 25 %) koepaikoilta. Sadetuksen intensiteetti Bornsjön savimaalle oli 8–10 mm/h (jatkuen 3 h/pv ja parin päivän välein uudestaan), ja Wiadin karkeammalle maalle 32 mm/h (2–2,5 h kolmesti, päivän välein). Lieriönäytteenotto oli tehty Bornsjöllä 3 vuotta ja Wiadissa 2 vuotta rakennekalkin levityksen jälkeen. Pitoisuuksiksi muunnettuna Bornsjön PP-pitoisuudet olivat (kontrolli vs. käsittely) 0,044 vs. 0,029 mg/l (34 % vähennys) ja DRP-pitoisuudet molemmille käsittelyille 0,015 mg/l (0 % muutos). Wiadin kokeen PP-pitoisuus oli 0,017 mg/l molemmille käsittelyille (0 % muutos) ja DRP-pitoisuus 0,056 vs. 0,046 mg/l (18 % vähennys kontrolliin nähden).

Uusitalo ja Rasa (2012, julkaisematon) tekivät rakennekalkituksen Jokioisten savimaalla (50 % savesta) vuoden 2011 syksyllä ja hakivat seuraavana keväänä häiriintymättömät lieriönäytteet (halkaisija 30 cm, syvyys 40 cm) sadetukseen, jotka toteutettiin 5 mm/h intensiteetillä kahtena peräkkäisenä päivänä 5 tuntia päivässä. Rakennekalkkeja oli kaksi (aktiivisen CaO/Ca(OH)₂ osuus noin 30 %) ja lisäyktasoa niin ikään kaksi, 2,56 tai 5,12 tn/ha aktiivisen osan lisäyksenä. Sadetusvesien PP-pitoisuus väheni 56 % tai 63 % (2,56 tai 5,12 tn/ha) ja DRP-pitoisuudet 33 % tai 4 %. Kalkkilaaduilla oli vähäisempi vaikutus tuloksiin. Käsittelemättömien maiden läpi suotautuneissa vesissä PP-pitoisuus oli keskimäärin 2,3 mg/l ja DRP-pitoisuus 0,23 mg/l.

Nyström ym. (2023) noutivat häiriintymättömiä 15 cm syviä (halkaisija 19 cm) maamonoliitteja koekentiltä (saves 15–28 %), joille oli tehty rakennekalkitus 6–8 vuotta aiemmin. Kaikkiaan koekenttiä oli 13, mutta sadetustulokset esitetään julkaisussa vain 10 kentän keskiarvoina. Monoliitteja sadetettiin 8–11 mm/h intensiteetillä noin 10 minuutin ajan kahtena peräkkäisenä päivänä, ja toisen päivän sadetusvesistä analysoitiin PP ja DRP. Kontrollien keskipitoisuus oli 0,34 mg PP/l ja 0,13 mg DRP/l, mistä rakennekalkituskäsittely laski PP-pitoisuutta keskimäärin 26 % ja DRP-pitoisuutta 15 %.

Taulukko 5 Häiriintymättömien maamonoliittien sadetuskokeiden PP- ja DRP-vähenemät, kontrollinäytteiden PP- ja DRP-pitoisuudet, sekä kaikkien sadetuskokeiden keskimääräinen vähenemä kontrollin PP-/DRP-pitoisuuksilla painotettuna.

	PP väh. %	DRP väh. %	PP Ctrl, mg/l	DRP Ctrl, mg/l
Ulen & Etana				
Bornsjön (savimaa)	34	0	0,044	0,015
Wiad (25 % savesta)	0	18	0,017	0,056
Uusitalo & Rasa (savimaa)				
Taso 1	56	33	2,3	0,23
Taso 2	63	4	2,3	0,23
Nyström (15–28 % savesta)	26	15	0,34	0,13

1.9.6. Rakennekalkki – kenttäkokeet

Svanbäck ym. (2014) raportoivat Bornsjön (60 % savesta) koekentän 6 vuoden keskiarvoja vuosikuormista; koekentällä oli seuranta 1 vuosi ennen koetta. Samalla tavoin P-lannoite- tuissa ja muokatuissa käsittelyissä PP-kuormat olivat (kontrolli vs. käsittely) 0,68 vs. 0,46 kg/ha (käsittelyssä 32 % vähemmän), DRP:n vuosikuorma oli 0,13 kg/ha molemmissa käsittelyissä (0 % ero). Merkittävin PP-vähenemä koejaksolla oli tapahtunut noin 5 vuotta rakennekalkituksen jälkeen, jolloin valunta ja kuormat olivat olleet suuria. Noin 3 vuotta levityksestä oli toinen sateinen kausi, josta Svanbäck ym. (2014) näyttävät mausteeksi pitoisuusdataa. Tällä jaksolla PP-pitoisuudet (kontrolli vs. käsittely) olivat keskimäärin 0,141 vs. 0,082 mg/l (käsittelyssä 42 % vähemmän) ja DRP-pitoisuudet 0,026 vs. 0,023 mg/l (käsittelyssä 12 % vähemmän).

Ulen ja Etana (2014) raportoivat uudelleen Bornsjön tulokset, mutta kertoivat kuormien lisäksi myös valunnat, joiden avulla voidaan laskea valunnalla painotetut pitoisuuksien keskiarvot. Pitoisuuksina ilmaistuina Bornsjön 6 v:n keskiarvo PP-pitoisuuksille olisivat (kontrolli vs.

käsittely) 0,150 vs. 0,091 mg/l (käsitellyssä 39 % vähemmän) ja DRP-pitoisuudet 0,027 vs. 0,026 mg/l (käsitellyssä 4 % vähemmän). Ulen ja Etana (2014) julkaisivat myös toisen koepaikan, Wiadin (25 % savesta, korkea P-pitoisuus), kuormat. Wiadissa PP-kuormat 3 vuoden keskiarvona olivat 0,14 vs. 0,07 kg/ha (käsittelyssä 50 % vähemmän) ja DRP 0,15 vs. 0,08 kg/ha (käsitellyssä 47 % vähemmän). Molemmissa tapauksissa valunta kontroleista oli kuitenkin suurempaa, mikä vaikuttaa suoraan kuormiin, jotka muodostuvat valunnan ja pitoisuuden tulona. Kun Wiadin tuloksille tehdään laskutoimitus keskipitoisuuksiksi (3 vuoden jaksolla) tulee valuman määrällä painotetuksi PP-pitoisuudeksi 0,099 vs. 0,051 mg/l (käsitellyssä 48 % vähemmän) ja DRP-pitoisuudeksi 0,106 vs. 0,058 mg/l (käsitellyssä 45 % vähemmän).

Norberg & Aronsson (2022) julkaisivat tuloksia Lilla Böslidin koekentältä (29 % savesta), jossa käsittelyinä oli 8 tai 16 tn/ha Nordkalk Fostop SL -seosta, jossa on noin 20 % aktiivista CaO:a; aktiivisen kalkin lisäykset olivat siten noin 1,6 tai 3,2 tn/ha. Salaojavesiseuranta jatkui 3 vuotta, mutta kentällä ei ollut etukäteisseurantaa. Valumapainotteisiksi pitoisuuksiksi laskettuna koko 3 vuoden jaksolla PP oli käsitellyltä alalta tulevassa vedessä keskimäärin 17 % (1,6 tn annos) tai 43 % (3,2 tn annos) kontrollialaa pienempiä, kun kontrollin keskipitoisuus oli 0,197 mg PP/l. DRP-pitoisuudessa käsittelyalan vedessä oli 13 % (1,6 tn) tai 5 % (3,2 tn) pienempi pitoisuus kuin kontrollin keskipitoisuus 0,029 mg DRP/l. Käsitellyiltä aloilta PP-kuormaa tuli kahdella lisäyktasolla 24 % tai 50 % (1,6 tai 3,2 tn/ha) kontrollia vähemmän ja DRP-kuormaa 29 % tai 9 % vähemmän; kontrollin PP-kuorma oli 0,91 kg/ha ja DRP-kuorma 0,13 kg/ha vuotta kohden.

Luken Nummelan koekentälle (savesta 60–70 %) tehtiin rakennekalkitus noin 3 ha:n salaojastolle kesällä 2018 ja valumavesien fosforipitoisuuksia on seurattu valumapainotteisella näytteenotolla sen jälkeen 6,5 vuotta (jälkeen-jakso); etukäteen seurantaa oli tehty 8,5 vuotta (Uusitalo ym. 2026a, käsikirjoitus). Kontroleina toimivat kaksi suunnilleen samankokoista ojastoa samalla peruslohkolla; viljely on ollut samanlaista kaikilla alueilla. Koska pitoisuuksissa, pinta- ja salaojavalunnan suhteissa, ja siten kuormissa, on näin suurella ja loivasti viettävässä maastossa sijaitsevalla koealalla aina jonkin verran eroja, tulosten tulkinta on monimutkaisempaa kuin tiiviimmin sijoitelluissa koejärjestelyissä. Rakennekalkilla käsitellyllä alalla valumapainotteiset PP-pitoisuudet ovat käsittelyn jälkeen laskeneet salaojavalunnassa 63 % ja pintavalunnassa 52 % käsittelyä edeltävään aikaan verrattuna. Samaan aikaan myös kontrollialueilla PP-pitoisuudet ovat laskeneet, salaojavalunnassa 26 % ja pintavalunnassa 7 %. Ero pintavalunnan PP-pitoisuudessa alueiden välillä on muuttunut vieläkin selkeämmin: ennen-jaksolla käsittelyalueen PP:n keskipitoisuus oli 5 % kontrolleja suurempi, mutta käsittelyn jälkeen se on laskenut 46 % kontrolleja pienemmäksi. DRP:n osalta pitoisuudet ovat käsittelyalueen salaojavalunnassa kasvaneet käsittelyn jälkeen 8 % ja pintavalunnassa 10 %. Kontrollialueiden DRP-pitoisuudet ovat käsittelyn jälkeisenä aikana päin vastoin vähentyneet salaojavalunnassa 9 % ja pintavalunnassa 15 %. Kun hajonta kahden kontrollin ja yhden käsittelyalan välillä on jonkin suuruista, tilastomalli, joka käsittelee yhtä aikaa koko 15 vuoden jakson, löytää parhaimmillaan viitteitä käsittelyn vaikutuksesta, mutta ei vahvaa todistetta siitä. Alla olevaan taulukkoon käsittelyn vaikutukset on laskettu yksinkertaisesti kontrolli- ja käsittelyalueiden vähenemien erotuksena siirryttäessä ennen-käsittely-jaksolta käsittelyn-jälkeen-jaksolle.

RAKENNEKALKKI- ja RAKENNE-KUITU-hankkeissa Turun AMK tutki Ainolan (33–61 % savesta) ja Uron (26 % savesta) koekentillä rakennekalkituksen vaikutusta salaojavesien fosforipitoisuuteen. Ennen rakennekalkitusta molempien kenttien valumavesistä otettiin vuoden aikana 8–9 näytettä. Kenttien salaojaveden PP-pitoisuusnäytteissä oli kuitenkin suurta hajontaa, joten verrattain pieni näytemäärä ei välttämättä antanut kovin hyvää kuvaa alueiden eroista

ennen käsittelyä. Ainolan kentällä rakennekalkitus tehtiin kahdelle salaojastolle (3 ha ja 1,5 ha) ja yksi ojasto (1,1 ha) jäi kontrollialaksi. Uron kentällä kalkitus tehtiin yhdelle (0,9 ha) ojastolle ja toinen ojasto (1,5 ha) toimi käsittelemättömänä kontrollina. Käsittelyn jälkeen molemmilta kentiltä otettiin 3,5 vuoden aikana noin 40 vesinäytettä. Samalla seurattiin valuntaa mittakairoissa paineantureilla, sekä mittaamalla hetkellinen virtaama näytteenoton yhteydessä, mikä mahdollistaa valumalla painotettujen keskipitoisuuksien laskemisen.

Ainolassa valumapainotteiset PP-pitoisuudet olivat rakennekalkittujen alojen salaojavesissä 67 ja 68 % pienemmät kuin kontrollialan vesissä. Ennen-käsittelyä-jakson näytteissä käsittelyalojen vesien PP-pitoisuudet olivat 17 ja 60 % kontrollialan pitoisuuksia suurempia, joten käsittelyn voi arvella vähentäneen PP-pitoisuuksia selkeästi. Käsittelyalojen keskimääräinen PP-pitoisuus ja kontrollialan PP-pitoisuus olivat ennen käsittelyä 0,51 vs. 0,31 mg/l ja käsittelyn jälkeen 0,18 vs. 0,55 mg/l. Käsittelyalojen DRP-pitoisuudet olivat ennen käsittelyjaksoa 35 ja 20 % kontrollia korkeampia, mutta pitoisuuksien erot muuttuivat käsittelyn jälkeen siten, että toisen käsittelyn ojaston salaojavesien DRP-pitoisuus oli 27 % kontrollia suurempi ja toisen 6 % kontrollia pienempi. Näin ollen DRP-pitoisuuden muutos on epävarma ja se on koekenttien yhteenvedossa laskettu käsittelyjakson keskimääräisenä 10 % kasvuna kontrolliin nähden.

Uron koekentällä ennen-käsittelyä-jaksolla käsittelemättömän ojaston (kontrollin) valumalla painotettu PP-pitoisuus oli noin kaksinkertainen käsiteltävän alaan pitoisuuteen verrattuna. Käsittelyn-jälkeen-jaksolla pitoisuudet laskivat molemmilla aloilla, kontrollissa noin kolmanneksen ja rakennekalkitulla alalla 68 %. Jos oletetaan, että ilman käsittelyä molemmilla aloilla PP-pitoisuudet olisivat kehittyneet samalla tavoin kuin kontrollialalla, käsittelyvaikutukseksi tulisi 23 %:n lisävähennys. Ennen käsittelyä DRP-pitoisuus oli kontrollialalla noin kolmanneksen pienempi kuin käsiteltävällä alalla, mutta kasvoi 35 % käsittelyn jälkeisenä aikana. Rakennekalkitulla alalla DRP-pitoisuus sen sijaan laski 13 % käsittelyn jälkeen. Olettaen jälleen samanlaisen kehityksen molemmilla aloilla, DRP-vähennys olisi ollut lähes 50 %. Lyhyt kalibraatiojakso ennen käsittelyä ja pitoisuusvaihteluun nähden pieni näytemäärä tuovat epävarmuutta siitä kuinka samanlaisia kontrolli- ja käsittelyalat olivat lähtötilanteessa.

Taulukko 6 Kenttäkokeiden valumalla painotetut pitoisuuden vähenemät, sekä kokeiden kontrollien PP- tai DRP-pitoisuuden painotettu keskiarvo.

	Kesto vuosia	PP väh. %	DRP väh. %	PP Ctrl, mg/l	DRP Ctrl, mg/l
Bornsjön (savimaa)	6 v. käsittelystä	39	4	0,150	0,027
Wiad (25 % savesta)	2 v. käsittelystä	48	45	0,099	0,106
L. Böslid (29 % savesta)					
Taso 1	3 vuoden aikana	17	13	0,197	0,029
Taso 2	3 vuoden aikana	43	5	0,197	0,029
Nummela (savimaa)					
salaoja	6,5 vuoden aikana	37	-19	0,860	0,101
pintavalunta	6,5 vuoden aikana	45	-25	0,800	0,120
Ainola (savimaa)	3,5 vuoden aikana	68	-10	0,550	0,063
Uro (26 % savesta)	3,5 vuoden aikana	23	49	0,475	0,087

1.9.7. Rakennekalkki – valuma-aluekokeet

Osana LOHKO-hanketta noin 40 %:lle Vihdin savivaltaisen Laurinojan valuma-alueen (124 ha) peltoja levitettiin syksyllä 2015 rakennekalkkia. Levitysmäärä, 3,5–8 tn/ha, oli riippuvainen lohkon pH-tilasta. Laurinojan vedenlaatua seurattiin seuraavat 2 vuotta, ja uudelleen vuosina 2019 ja 2020 RAKUVE-hankkeen toimesta (Valkama ja Luodeslampi 2020). Käsittelyn teho laskeettiin suhteessa vertailujaksoon 2013–2015. Kahden vuoden aikana levityksen jälkeen (2015–2017) PP:n valuntapainotteinen pitoisuus oli noin 40 % pienempi kuin ennen levitystä ja neljä vuotta levityksestä (2019) noin 20 % vertailutasoa 2013–2015 alempi. Neljän vuoden jälkeen PP-pitoisuus palasi vertailukauden tasolle. Rakennekalkin vaikutukset näkyivät myös maaperässä noin kolmen vuoden ajan, vaihdellen levitysmäärän mukaan; esimerkiksi maan johtoluku ja pH olivat korkeimmillaan vuoden kuluttua rakennekalkkikäsitteystä. Vaikka maa-analyysin helppoliukoisen fosforin pitoisuus rakennekalkkituilla pelloilla kasvoi levityksen vaikutuksesta, mitään selvää vaikutusta valumaveden DRP-pitoisuuteen ei havaittu.

RAKENNEKALKKI-hankkeessa ja seuranneessa RAKENNE-KUITU-jatkohankkeessa seurattiin Eurajoella Kainun avo-ojan käsittelyvaluma-alueen (110 ha) ja kontrollivaluma-alueen (95 ha) ojavesien vedenlaatua ennen rakennekalkitusta ja sen jälkeen, kun Kainun avo-ojan pelloista 89 % oli rakennekalkittu syksyllä 2020. Seuranta jatkui vuoden 2023 loppuun. Kämäri ym. (2023) tekivät koosteen käsittely- ja kontrollivaluma-alueen ominaisuksista ennen käsittelyä. Pinta-alapainotettu valuma-alueiden lohkojen P-luku oli suhteellisen korkea (14–16 mg/l). Käsitteilyalueen peltojen pinta-alapainotettu savesprosentti oli 34 % ja kontrollivaluma-alueella 40 %. Vuosien 2020–2023 välillä toteutetussa seurannassa PP:n keskipitoisuus laski Kainun avo-ojassa 35 % suhteessa kontrolliin.

Taulukko 7 Rakennekalkituskokeet valuma-alueilla.

	Kesto vuosia	PP väh. %	DRP väh. %	PP Ctrl, mg/l	DRP Ctrl, mg/l
Vihti Laurinoja	2 vuoden aikana	40	0	0,283	0,021
	3 vuoden jälkeen	20	0	0,283	0,021
	4 vuoden jälkeen	0	0	0,283	0,021
Kainun avo-oja	3 vuoden aikana	35	-	0,17–0,51	-

1.9.8. Kuidut – laboratorionkokeet

Kuitujen vaikutusta fosforiin on tutkittu laboratoriossa vain ruukkukokeessa, jossa oli mukana myös kipsi- ja rakennekalkkikäsitteilyt (Begum, julkaisematon a, ks, yllä). Tutkimuksen mukaan kuidut lisäsivät tilastollisesti merkitsevästi hiukkasmaisen fosforin huuhtoutumista. Hiukkasmaisen fosforin huuhtouma kasvoi 21 %, kun kuitulisäys vastasi 25 t/ha ja 33 % kaksinkertaisella annoksella 50 t/ha). Vaikutus liuenneeseen fosforiin oli kummallakin annoksella vähäinen. Koska kuitujen vaikutus edellyttää aktiivista mikrobitoimintaa ja vaikutuksen tiedetään ilmenevän hitaammin kuin kemiallisiin reaktioihin perustuvilla maanparannusaineilla, laboratoriomuutokset eivät välttämättä kerro kuitujen toiminnasta pellolla.

1.9.9. Kuidut – sadetuskokeet

Rasa ym. (2021) perustivat Jokioisten savimaalle (savesta 47 %) 5 kerranteen lohkoittain satunnaistetun koeasetelman mukaisen koekentän, jolle levitettiin kolmea eri kuitulaatua: (1) ravinneköyhää nollakuitua, (2) kalkkistabiloitua ravinnekuitua ja (3) kompostoitua ravinnekuitua. Kontrolliksi jätettiin käsittelemätön maa. Syksyllä 2015 tehdyn levityksen jälkeen kentältä haettiin 5 peräkkäisenä keväänä häiriintymättömät maamonoliitit (30 cm halkaisija, 40 cm syvä), joita sadetettiin 5 mm/h intensiteetillä kahden päivän ajan (25 mm sadetta/päivä). Vuoden 2020 syksyllä levitykset uusittiin (samoihin koeruutuihin) ja sadetuksia tehtiin samalla tavoin keväisin otetuille monoliiteille; Rasa ym. (2021) ovat julkaisseet ensimmäisen 4 vuoden tulokset, toisen levityksen jälkeisten tapahtumien kuvaus on käsikirjoitusvaiheessa. Ensimmäisen levityksen jälkeen keskimääräinen PP-pitoisuuden vähenemä kuitukäsitellyistä näytteistä kerätyssä vedessä oli 5 vuoden keskiarvoina 32–52 % (kts. taulukko alla) ja DRP-vähennys -13–24 %. Toisen levityksen jälkeisenä neljänä vuonna vähennykset olivat PP-pitoisuudessa 21–56 % ja DRP-pitoisuudessa 0–26 %.

Räty ym. (2024) perustivat Maaningalla karkealle kivennäismaalle (KHT) lohkoittain satunnaistetun ja neljänä kerranteena toteutetun kenttäkokeen kesäkuussa 2020. Metsäteollisuuden kuitulietettä levitettiin ja muokattiin 7 cm:n syvyyteen ennen timotei-nurminata-siemenseoksen kylvöä suojaviljan (ohra) alle. Kuituliete A (28 tn/ha) oli kalkkistabiloitu puhdistamoliete (Fortum Waste Solution Oy, Kuopio), ja kuituliete B (21 tn/ha) oli hygienisoimaton ja tuotteistamaton liete (Stora Enso Oyj, Varkaus). Molemmilla kuitulietteilä oli kokeessa kaksi mineraalilyyppilannoitustasoa (40 ja 80 kg/ha). Lokakuussa 2020 otettiin maamonoliitit (40 cm syvyys ja 30 cm halkaisija) sadetuskoeita varten. Sateen intensiteetti oli 5 mm/h, 5 tuntia/vrk neljän vuorokauden ajan (yhteensä 100 mm). Monoliitin läpi valunut vesi mitattiin, kerättiin ja säilytettiin pakastettuna laboratorioanalyysyä varten. DRP- ja PP-pitoisuudet olivat pieniä verrattuna savimaalta mitattuihin pitoisuuksiin, eikä käsiteltyjen ja käsittelemättömien monoliittien valumavesien välillä ollut tilastollisesti merkitsevää eroa. Eroosioon liittyvien vesistövaikutusten osalta karkeammat maat eivät ole ongelmallisia, minkä vuoksi muita maanparannusaineita ei ole Suomessa tutkittu karkeilla mailla.

Kuitu-kipsi-hankkeen syksyllä 2025 Jokioisiin perustetussa kokeessa oli mukana kompostoitua ravinnekuitua (50 tn/ha). Pian levityksen jälkeen, 50 vuorokautta levityspäivästä, otettiin traktorikairalla maamonoliitteja (40 cm syvyys ja 30 cm halkaisija) muovisylintereihin. Monoliitit sadetettiin marras-joulukuussa. Kuitu vähensi vain DRP-pitoisuutta, mutta ei PP:a (Uusi-Kämppe & Uusitalo 2026).

Taulukko 8 Kuitukokeiden maamonoliittien sadetustuloksia.

	PP väh. %	DRP väh. %	PP Ctrl, mg/l	DRP Ctrl, mg/l
Jokioinen (savi), jakso 1 (2016–2020), 5 vuodena aikana				
Kuitu 1, Nollakuitu	48	17	0,874	0,134
Kuitu 2, Kalkkistabiloitu kuituliete	52	-13	0,874	0,134
Kuitu 3, Kompostoitu kuituliete	32	24	0,874	0,134
Jokioinen (savi), jakso 2 (2021–2024), 4 vuoden aikana				
Kuitu 1, Nollakuitu	49	25	0,431	0,195
Kuitu 2, Kalkkistabiloitu kuituliete	56	0	0,431	0,195
Kuitu 3, Kompostoitu kuituliete	21	26	0,431	0,195
Räty ym. 2024 (hietamaa), 4 kk levityksestä				
Kuitu A + 40 N	0	0	0,05	0,02
Kuitu B + 40 N	0	-50	0,05	0,02
Kuitu A + 80 N	33	-100	0,06	0,02
Kuitu B + 80 N	50	0	0,06	0,02
Kuitu-kipsi-hanke (savimaa), levityksen jälkeinen tilanne	0	42	0,610	0,072

1.9.10. Kuidut – kenttäkoe

Espoossa Valkama ja Luodeslampi (2020) tutkivat salaojavesiä koepaikalla, jossa 0,2–0,3 ha:n ruuduilta saadaan seurattua vedenlaatua salaojakohtaisesti. Lohkolla on tehty erilaisia kokeita (muokkaus/kasvipeitteisyys) reilun 10 vuoden ajan ja syksyllä 2018 kahdelle ruudulle levitettiin kalkkistabiloitua ravinnekuitua, jonka vaikutuksia salaojaveden laatuun seurattiin vuosien 2019–2021 aikana. Käsittelemättömiä kontrolliruutuja oli myös kaksi. Salaojavesien jatkuvasti automaattisensoreilla mitatusta sameudesta johdettiin veden PP-pitoisuudet erillisten vesinäytteiden avulla tehtyjen kalibrointien avulla. DRP-pitoisuuksia ei saada automaattisensoreilla seurattua, joten DRP:n muutosta voitiin arvioida ainoastaan erillisten vesinäytteiden analyyseillä.

Jatkuvasti mittaavien sameusantureiden tuloksista laskettu käsittelyalojen vesien PP-pitoisuus oli 42 % kontrollien pitoisuutta pienempi. Vähennys oli samansuuruinen kuin yksittäisten vesinäytteiden perusteella laskettu pitoisuuspainotettu, laboratoriossa määritetty PP-pitoisuuden vähenemä kontrolliin verrattuna. Laboratorionäytteistä määritettynä käsittelyiden ja kontrollien DRP-pitoisuuksien ero pysyi samana mikä se oli ollut jo ennen käsittelyn toteuttamista, joten käsittelystä ei havaittu seuranneen merkittävää DRP-pitoisuuden muutosta.

1.9.11. Kuidut – valuma-aluekoe

Tuusulassa seurattiin kahdelta valuma-alueelta purkautuvien vesien laatua ja määrää, kun toisen alueen pelloista (peltoja 43 % maa-alasta) puolet käsiteltiin kompostoidulla ravinnekuidulla (Uusitalo ym 2026b, käsikirjoitus). Ennen käsittelyä valuma-alueiden vedenlaatua seurattiin syksystä 2019 kevääseen 2021 (1,5 v) ja käsittelyn jälkeen 2 vuotta. Vedenlaadun seuranta perustui sameusantureihin ja vesinäytteenottoon kuten edellä kuvatussa Espoon kohteessa. Tulokset mallinnettiin Bayesilaisella aikasarja-analyysillä. Mallinnuksen perusteella käsitellyn valuma-alueen PP-pitoisuus vähentyi 16 % sen seurauksena, että puolet valuma-alueen peltoalasta oli käsitelty kuidulla. Oletuksella, että muu kuormitus on pysynyt muuttumattomana ja PP-pitoisuuden pienentyminen jyvitetään vain käsitellyille pelloille, kuidut vähensivät PP-pitoisuutta 32 %.

Käsinäytteistä tehtyjen laboratorioanalyysien mukaan käsittelyalueen vesien PP-pitoisuudet olivat ennen käsittelyä 30 % kontrollialueen pitoisuuksia pienempiä (pitoisuudella painotettu keskiarvojen erotus; $n = 33$) ja ero oli käsittelyn jälkeen kasvanut 38 %:iin ($n = 34$). Molemmilla alueilla vesinäytteiden PP:n keskimääräinen pitoisuus oli laskenut (ennen käsittelyä vs. sen jälkeen), käsittelyalueella 30 % (0,17 vs. 0,12 mg/l) ja kontrollialueella 18 % (0,24 vs. 0,19 mg/l). Vesinäytteiden DRP-pitoisuus oli sen sijaan kasvanut molemmilla alueilla siirryttäessä käsittelyä edeltävältä jaksolta käsittelyn jälkeiselle jaksolle, käsittelyalueella 53 % (0,027 vs. 0,041 mg/l) ja kontrollialueella 34 % (0,031 vs. 0,042 mg/l). Käsittelyalueen DRP-pitoisuus oli siten ennen käsittelyä 15 % alhaisempi kuin kontrollialueella (tämä ero on kuitenkin lähellä analyysin mittausepävarmuutta), mutta alueiden välinen ero käytännössä hävisi kokonaan käsittelyn jälkeen. Mallinnuksessa ajalliset muutokset molemmilla alueilla otettiin huomioon. Kuten valuma-alueen tutkimuksissa yleensä, kaikkia valuma-alueella tehtäviä toimia ei välttämättä tunneta. Tämä lisää epävarmuutta kuormitusmuutosten laskennassa.

2. Poliittika-analyysi maanparannusaineiden tuesta

Kipsin, rakennekalkin sekä maanparannuskuitujen (jatkossa aineiden) on osoitettu vähentävän fosforihuuhtoumia ja siten vesistöjen ravinnekuormitusta. Viljelijän tai yleisemmin maanomistajan saama suora taloudellinen hyöty aineiden levittämisestä ei kuitenkaan pääsääntöisesti kata niiden levittämisestä koituvia kustannuksia nykyisessä toimintaympäristössä. Tutkimusnäytön mukaan kipsin ja kierrätetyn rakennekalkin levittäminen on kuitenkin yhteiskunnan kannalta kannattava vesiensuojelutoimi, kun vesistö- ja ilmasto-vaikutukset huomioidaan (Ollikainen ym. 2024; Korkeela, 2025). Yhteiskunnan tulisi siis tukea maanparannusaineiden levittämistä vesiensuojelun edistämiseksi.

Aineet eroavat toisistaan maaperä- ja satovaikutuksiltaan, mistä kerrotaan tarkemmin esimerkiksi Ajosenpään ym. (2021) laatimassa viljelyoppaassa. Myös aineiden saatavuudessa ja kustannusvaikuttavuudessa on merkittäviä eroja, mikä tulee tukea suunniteltaessa ottaa huomioon. Tämä analyysi koostuu kahdesta osa-alueesta: kuinka aineiden levittämisen tuki yleisesti organisoidaan ja miten tuki allokoitetaan aineiden välillä. Alueellinen viitekehys on ennen kaikkea Itämeren ympäristö, jossa aineiden vesistövaikutuksia on toisaalta tutkittu eniten ja jossa toisaalta tarve vesiensuojelulle on erityinen.

2.1. Tuen järjestäminen

2.1.1. Nykyinen tuki ja politiikkakehys

Kipsiä levitettiin rannikkoalueilla Kipsi-hankkeen puitteissa 2020–2025 (Elinvoimakeskus 2026). Kipsi-hankkeessa kipsiä levitettiin 83 539 peltihehtaarille, ja tavoitteena oli levittää 100 000 hehtaarille. Hanke rahoitettiin ympäristöministeriön Vesiensuojelun tehostamisohjelman sekä EU:n elpymisvälineen kautta 2020–2025. Kipsin levitys ei kuitenkaan ole perustunut EU-rahoitukseen vaan kansalliseen, ja levitykset jatkuvat hankkeen päättymisen jälkeen kansallisella rahoituksella. Kipsi-hankkeessa levitykset toteutettiin avaimet käteen -periaatteella ja hallinnointi keskitettiin Varsinais-Suomen ELY-keskukselle. Maanomistajan on käytännössä vain tarvinnut anoa maanparannuskipsin levitystä, ja viranomainen on hoitanut kipsin hankinnan, kuljetuksen ja levityksen. Levitys on ollut maanomistajalle maksutonta, eli kyseessä on ollut 100 %:n tuki kipsille.

Maanparannuskuitujen levittämiseen voi saada nykyisen CAP-ohjelmakauden 2023–2027 (Common Agricultural Policy eli EU:n yhteinen maatalouspolitiikka) puitteissa tukea, jota on maksettu osana ympäristökorvausta kiertotalouden edistäminen -nimisenä lohko-kohtaisena toimenpiteenä. Tukitaso toimenpiteelle oli 37 €/ha vuonna 2026 (Ruokavirasto 2026). Yleistä kuitujen levittäminen ei tuesta huolimatta ole ollut. Maanparannuskuitujen tapauksessa vaadittava kuljetusmatka ratkaisee levittämisen taloudellisen mielekkyyden. Tästä syystä tukitaso jää kustannuksiin nähden usein matalaksi. Rakennekalkille ei Suomessa ole voinut saada tukea, vaikka Ruotsissa rakennekalkitusta on tuettu vesiensuojelutoimenpiteenä.

Koska tuen perusteena on maatalouden vesiensuojelu, kuuluu aineiden levittäminen niin ympäristö- kuin maatalouspolitiikankin toimialueelle. Valtiontalouden tarkastusvirasto (VTV 2024) totesi 2024 julkaistussa raportissaan, ettei nykyinen politiikka maatalouden ravinnekuormituksen vähentämiseksi ole kokonaisuudessaan parantanut vesistöjen tilaa mittavista rahoitusohjelmista huolimatta. Tarkastuskertomuksessa todettiin, että kustannusvaikuttavuus

on pitkälti sivuutettu toimenpiteiden valinnassa, suunnittelussa ja seurannassa. Virasto suosittikin, että toimenpiteet kohdennetaan jatkossa valtiontalouden kannalta mahdollisimman kustannusvaikuttavasti. Ollikainen ym. (2024) sekä Lötjönen ym. (tulossa) ovat puolestaan osoittaneet, että aineiden levitys yleensä on kustannusvaikuttavin tapa leikata maatalouden ravinnekuormitusta. On siis perusteltua kehittää aineiden tukea osana vesiensuojelupolitiikan keinovalikoimaa.

On myös perusteltua laajentaa tuki kaikkiin aineisiin. Yksi aine ei ole sopiva joka paikkaan, vaan aineen valintaan vaikuttaa taloudellisten tekijöiden lisäksi pellon ominaisuudet ja käytön rajoitteet. Kipsin käytöllä on esimerkiksi maantieteellisiä rajoitteita ja kuitujen käytöllä viljelykasveihin liittyviä. Näin mahdollistetaan nykyistä laajempi levitysala ja tehokkaampi vesiensuojelu. Tuen käytännön organisointiin ja rahoitukseen voidaan nähdä ainakin kaksi toteuttamiskelpoista vaihtoehtoa.

Aineiden levitys ja rahoitus voitaisiin järjestää kansallisesti, kuten on kipsin osalta toimittu. Tätä vaihtoehtoa voitaisiin kutsua laajennetuksi nykymalliksi, jossa nykyinen kipsinlevitystoiminta laajennetaan koskemaan kaikkia aineita. Toinen vaihtoehto on liittää tuki osaksi kansallista CAP-suunnitelmaa.

2.1.2. Tukimallien vertailu

Ollikainen ym. (2018) suosittelivat SAVE-hankkeen yhteydessä kipsin levityksen liittämistä CAP-tukijärjestelmään ei-tuotannollisena vesiensuojeluinvestointina. Tämä olisi todennäköisesti helpoin tapa liittää tuki olemassa olevaan maatalouden tukijärjestelmään. Kipsiä ei kuitenkaan tähän mennessä ole suosituksesta huolimatta sisällytetty CAP suunnitelmaan. Jos aineiden levittämisen tuki vietäisiin osaksi CAP-tukea, voisi se saada pysyvämmän EU-rahoituksen. Pienempi kansallinen rahoitusosuus onkin CAP-tukeen perustuvan mallin etu, mutta kansallista rahoitusosuutta tulisi kuitenkin tarkastella osana politiikan kokonaiskustannuksia ja politiikalle asetettuja tavoitteita. Pienempi kansallinen rahoitusosuus ei hyödytä, jos tuki osana maatalouspolitiikkaa ei kannusta aineiden levitykseen eikä vesiensuojeluhyötyjä siten saavuteta.

Kysymys vaikuttavuudesta on tärkeä. Ei ole tiedossa, kuinka laajasti kipsiä levitettäisiin, jos sen hankinta ja levitys jäisi kokonaan tai edes osittain maanomistajan vastuulle. Osana maatalouden tukipolitiikkaa kipsin ja rakennekalkin levitys ja hankinta jäisi todennäköisesti pitkälti viljelijän tai maanomistajan vastuulle samoin kuin kuitujen levittäminen nykyisessä ympäristökorvausjärjestelmässä. Vesistöjen tilan ja politiikan vaikuttavuuden kannalta on ensiarvoisen tärkeää saada aineiden levitys kohdennettua kuormittavimmille lohkoille ja alueille. Levityksen tulee olla maantieteellisesti riittävän kattavaa, jotta merkittäviä vesiensuojeluvaiikutuksia saadaan aikaan.

Laajennettu nykymalli puolestaan mahdollistaa levityksen kohdentamisen kuormittavimmille lohkoille ja alueille, mikä on sinällään kustannusvaikuttavaa politiikkaa. Tosin nykyisestä kipsinlevitystoiminnasta poiketen, laajennetussa nykymallissa rakennekalkki eikä todennäköisesti kuidutkaan voi valtiontukisäännösten takia olla viljelijälle ilmaisia toisin kuin kipsi. Rakennekalkin ja kuitujen tukemiseen sinällään ei kuitenkaan ole lakiteknistä estettä, ja ne tulisi ottaa tuen piiriin täydentämään kipsiä laajempien levitysalojen saavuttamiseksi ja vesiensuojeluvaiikutusten tehostamiseksi. Maanomistajalle koitua hallinnollinen taakka jää merkittävästi pienemmäksi kuin mitä se olisi osana CAP-tukea.

CAP-tukeen perustuva malli ei pysty tuottamaan kohdennettavuutta, joskin levitystä voidaan todennäköisesti rajata alueellisesti. Kohdentamisen huolellinen suunnittelu voi olla haastavaa mutta kuitenkin erittäin tärkeää. Pahimmassa tapauksessa aineita levitetään maantieteellisesti laajalle alueelle, mutta vesiensuojeluhyöty jää olemattomaksi. Koko tuen vesiensuojelullinen peruste jäisi tällöin toteutumatta. Myös sopivan tukitason määrittäminen on haastavaa, ja vaatii erillistä analyysia. Suurempi tuki lisää aineiden kysyntää ja halukkuutta levittää niitä mutta kasvattaa samalla maatalouspolitiikan kansallista budjettia. CAP-tuki vaatii jonkin verran myös valvontaa ja ohjausta, mikä sekin osaltaan lisää politiikan kustannuksia.

Laajennettu nykymalli vaatii suuremman kansallisen rahoitusosuuden. Keskitetty toiminta mahdollistaa kuitenkin mittakaavaedut aineiden hankinnassa. Aineiden hankinta, kuljetus ja levitys voidaan hoitaa taloudellisesti ja hallinnollisesti tehokkaalla tavalla. Jos taas viljelijöiden ajatellaan hankkivan aineet vapailta markkinoilta itsenäisesti, vastaavia tehokkuusetuja ei käytännössä voida saavuttaa. Vaikka CAP-tuki aineille voi toisaalta lisätä niiden tarjontaa, voi tuki toisaalta myös valua jossain määrin aineiden myyntihintoihin. Aineita tulisi olla saatavilla kohtuulliseen hintaan, että kannuste aineiden levittämiseen säilyisi. Oli tukimalli kumpi tahansa, riittävän suuret levitysmäärät mahdollistavat logistiikan kehittämisen ja siten halvemmat hinnat.

Näistä kahdesta mallista laajennettu nykymalli olisi tehokkaampi ja edullisempi. Vaikka kansallinen rahoitusosuus tuleekin olemaan suurempi, laajennetulla nykymallilla saavutetaan todennäköisemmin tavoitellut vesiensuojeluhyödyt. Mallissa kustannuksia voidaan myös hallita ja toiminnan laajuutta skaalata asetetun budjetin mukaan. Aineiden levityksen hallinto voitaisiin keskittää esimerkiksi Lounais-Suomen elinvoimakeskukselle. Tällöin hallinnollinen rakenne sekä osaaminen olisivat valmiiksi olemassa. Hallinnon asiantuntemusta kuiduista ja rakennekalkista tulisi jatkossa lisätä, että toiminta olisi mahdollisimman perusteltua ja tehosta.

2.2. Mikä aine millekin lohkolle

2.2.1. Aineen valinta lohkon ominaisuuksien mukaan

Aineiden on osoitettu vähentävän ravinnekuormitusta ja -huuhtoumia, mutta niiden vaikutusmekanismit eroavat toisistaan. Myös maaperävaikutukset sekä levitykseen liittyvät tekniset yksityiskohdat eroavat jonkin verran toisistaan. Aineiden eroista ja ominaisuuksista on kerrottu tarkemmin toisaalla (esim. Ajosenpää ym. 2021). Tutkimusta aiheesta tehdään jatkuvasti, ja käsitys parhaista käytänteistä tarkentuu. Tässä työssä tarkastellaan myös taloudellisia ja lainsäädännöllisiä näkökohtia.

Kun mahdollisia aineita onkin yhden sijasta kolme, täytyy päättää mitä ainetta levitetään millekin lohkolle. Tästä käytetään jatkossa nimitystä allokaatio. AIN3-hankkeessa allokaatio perustui maanparannusaineen toimintamekanismiin sekä maaperän ominaisuuksiin. Valinnan kannalta keskeisiä maaperän ominaisuuksia olivat maan pH ja johtoluku, kalsiumin, magnesiumin ja fosforin pitoisuudet sekä multavuus ja savespitoisuus. Kullekin aineelle määriteltiin kriteerit, jotka pitivät sisällään myös poissulkevia raja-arvoja. Näiden raja-arvojen ylittyessä, tai alittuessa ominaisuuden mukaan, kyseinen aine jäi pois vaihtoehtojen joukosta. Jos vaihtoehtoja jäi jäljelle useampi, työkalu osoitti parhaan lohkolle sopivan aineen.

Peltolohkoille määritettiin myös riskiluokat fosforitason, maan rakenteen, eroosioherkkyyden ja muokkauskäytänteiden perusteella. Menetelmät ja aiheen tausta on kuvattu Keskinen ym. (2025) julkaisemassa tutkimuksessa. Allokaation lähtökohta oli tehokas vesiensuojeluvaikutus lohkon kasvukuntoa heikentämättä. Kasvukuntovaikutuksien huomioiminen voi lisätä halukkuutta levittää aineita ja tehdä vesiensuojelutoimia.

2.2.2. Kustannusvaikuttavuus perustana aineen valinnalle

Pellon ominaisuuksiin perustuva valintamenetelmä ei kuitenkaan huomioi aineiden kustannusvaikuttavuutta ja yleistä saatavuutta. Kustannusvaikuttavuuden tulisi kuitenkin toimia lähtökohtana allokaatiolle, koska kyse on julkisin varoin kustannettavasta tuesta. Tuen peruste on tässä tapauksessa vesiensuojelu. Kustannuksissa on kuitenkin syytä ottaa huomioon myös aineiden levittämisen ilmastovaikutukset EU:n ei merkittävää haittaa -periaatteen mukaisesti, jotta toiminta olisi myös ilmastollisesti kestävä ja perusteltua. Näin valittavan aineen tulisi tuottaa suurin vähennys ravinnekuormitukseen tukeen käytettävällä rahamäärällä. Tämä on linjassa Valtiontalouden tarkastusviraston (2024) suosituksen kanssa.

Kustannusvaikuttavuus suhteuttaa saavutettavan fosforikuorman vähennyksen maanparannusaineen kustannuksiin ja toiminnan ilmastovaikutusten yhteiskunnalliseen haittaan. Kustannusvaikuttavuuksia on laskettu Ollikaisen ym. (2024) sekä Lötjösen ym. (2026) tutkimuksissa. Yksittäisen aineen kustannusvaikuttavuuteen vaikuttaa siis kyseisen aineen hankinnasta, kuljetuksesta ja levityksestä syntyvien kustannusten lisäksi kustannukset suorista ja epäsuorista ilmastopäästöistä. Kustannusvaikuttavuuden toinen puoli on aineen kyky hillitä fosforihuuhtoumia. Kustannusvaikuttavuutta parantaa toisaalta matalammat kokonaiskustannukset ja toisaalta parempi ravinteidenpidätyskyky. Jos maaperän ominaisuuksiin perustuva allokaatio on luonteeltaan pysyvämpi tai vähintään hidasa muuttumaan, voi kustannusvaikuttavuus muuttua nopeastikin toimintaympäristön muutosten myötä. Kustannusvaikuttavuuslaskelmia tulisi tarvittaessa päivittää muun muassa hintojen muuttuessa, logistiikan kehittyessä ja tutkimustiedon lisääntyessä.

Kaikkia aineita täytyy kuljettaa mahdollisesti pitkiäkin matkoja, mikä aiheuttaa päästöjä ja kustannuksia. Kipsin vaadittava kuljetusmatka on usein pisin. Kuituja taas tarvitsee levittää hehtaaria kohti huomattavasti enemmän kuin rakennekalkkia ja kipsiä, mikä aiheuttaa päästöjä. Aineiden ilmastopäästöihin liittyy muitakin näkökohtia. Kipsiä saadaan fosforiteollisuuden sivuvirtana, ja sitä on olemassa valmiina suuret määrät. Maanparannuskuidut puolestaan syntyvät paperiteollisuuden sivuvirtana, ja polttamiseen verrattuna niiden levittäminen pelloille viivyyttää hiilen vapautumista ilmakehään. Vaikka kuitujen kuljettamisesta ja levittämisestä syntyy päästöjä, ylittää vältettyjen päästöjen määrä levittämisestä syntyvät päästöt (Lötjönen ym. 2026).

Rakennekalkin ilmastopäästöihin vaikuttaa suuresti raaka-aineen alkuperä. Kierrätysmateriaalista valmistettuna rakennekalkin käytön ilmastopäästöt ovat lähellä kipsin päästöjä (Lötjönen ym. 2026). Jos taas kierrätysmateriaalia ei käytetä, on rakennekalkin ilmastovaikutus huomattava (Ollikainen ym. 2024, Lötjönen ym. 2026). Julkinen tuki rakennekalkille voidaan tässä tapauksessa jopa tulkita olevan vastoin EU-lainsäädännössä esiintyvää ei merkittävää haittaa -periaatetta. Maanparannusaineena käytettävän rakennekalkin tulisi siis olla nimenomaan kierrätysraaka-aineesta valmistettua. Kiertotalouden edistäminen on ylipäätään suositeltavaa, jotta ilmastopäästöt eivät kumoa vesiensuojeluhyötyjä.

Aineita tarvitaan suuria määriä, ja niiden saatavuus vaikuttaa paitsi kustannusvaikuttavuuteen myös koko politiikan toteuttamiskelpoisuuteen. Nykyisessä toimintaympäristössä kipsiä on saatavilla käytännössä rajattomasti ja saatavuus näyttää vakaalta tulevaisuudessakin. Kipsiä syntyy jatkuvasti suuria määriä Yaran Siilinjärven kaivoksella lannoiteteollisuuden sivutuotteena, ja sitä on paljon yli Suomen vesiensuojelukäytön tarpeen. Maanparannuskuidun ja rakennekalkin raaka-ainetta syntyy myös jatkuvasti teollisuuden sivutuotteena, mutta määrät ovat rajallisemmat. Arviot ravinnekuitujen riittävydestä vaihtelevat 25 000 hehtaarista 30 000–60 000 hehtaariin vuosittain (Luke 2026, Syke 2024).

Saatavuuden osalta tulee kuitenkin muistaa, että kyse on tämän hetken tilanteesta. Tuki aineille kasvattaa niiden kysyntää, ja toisaalta kysyntä voi kasvaa laajemmin Itämeren alueella. Tämä parantaa esimerkiksi laivakuljetusten kannattavuutta ja kannustaa ylipäätään kehittämään logistiikkaa. Myös aineiden kansainvälinen kauppa on periaatteessa mahdollista, mikä muuttaisi aineiden saatavuutta. Itämeri toisaalta mahdollistaa kuitujen ja rakennekalkin tuomisen muualta kuin Suomesta ja toisaalta kipsin viemisen Suomesta pois.

Saatavuus ei siis ole pysyvä tila, vaan sitä tulisi voida tarkastella avoimesti. Kustannusvaikuttavuus tarjoaa tältäkin osin joustavan perustan allokaatiolle. Jos yhden tai useamman aineen saatavuus heikkenee ja hinta nousee, muuttuvat samalla aineiden kustannusvaikuttavuudet. Tällöin allokaatio voi muuttua. Teoriassa levitystoimintaa voitaisiin myös merkittävästi supistaa, jos levittämisen kustannukset ylittäisivät ravinnekuormituksen vähentämisestä syntyvät yhteiskunnalliset hyödyt.

Kun suorat ja epäsuorat yhteiskunnalliset hyödyt huomioidaan, kipsin kustannus levitettynä näyttäisi olevan keskimäärin pienempi kuin kuiduilla ja rakennekalkilla, ja ylipäätään kipsi on tämänhetkisen tiedon mukaan kustannusvaikuttavuudeltaan paras vaihtoehto fosforikuormituksen vähentämiseen (Ollikainen ym. 2024, Lötjönen 2025). Vesitulokset-kappaleessa summatut huuhtoumakokeet osoittavat kipsin vähentävän sekä hiukkasmaista että liuennutta fosforia, kun muilla aineilla vaikutus kohdistuu partikkelifosforiin. Tämä parantaa kipsin kustannusvaikuttavuutta suhteessa kuituihin ja rakennekalkkiin.

Kun hyvään kustannusvaikuttavuuteen yhdistetään hyvä saatavuus, tulisi kipsin olla yleisin valinta lohkolle. Näin siis siinä tapauksessa, että viranomainen vastaa aineiden hankinnasta ja levityksestä. Osana CAP-tukea viljelijälle tai maanomistajalle todennäköisesti suotaisiin laajempi valinnanvapaus. AIN3-hankkeessa maaperän ominaisuuksiin perustuvassa allokaatiossa kipsi oli harvimmin ensisijainen suositus lohkolle ja kuidut useimmin. Kustannusvaikuttavuus johtaa siis erilaiseen allokaatioon, kuin jos levitettävä aine valittaisiin maaperän ominaisuuksien mukaan.

Kipsin paras kustannusvaikuttavuus muihin aineisiin nähden ei kuitenkaan tarkoita sitä, että tulisi tehdä periaatepäätös levittää ainoastaan kipsiä. Kipsillä on maantieteellisesti eniten rajoitteita levityskohteiden suhteen, sillä sen käyttö on rajattu rannikkoalueille ja suoraan mereen laskevien jokien valuma-alueille. Myös esimerkiksi luomupelloille teollisuuden sivuvirtana saatavaa kipsiä ei voi levittää. Lisäksi paikallisia eroja voi esiintyä, jolloin keskimääräinen kustannusvaikuttavuus ei vastaakaan tilannetta jollakin tietyllä alueella. Ylipäätään allokaatiossa tulisi voida tarvittaessa käyttää tapauskohtaista harkintaa. Näin ei tarvitse periaatepäätöksen vuoksi jättää yksittäisiä eriä kuituja ja rakennekalkkia hyödyntämättä.

Kustannusvaikuttavuuslaskelmien tuloksiin liittyy myös epävarmuustekijöitä aineiden ravinteidenpidätkyvyyden osalta. Vesitulokset-osio osoittaa, että suuremman mittaluokan kokeissa

eri tekijät, kuten ennen koetta toteutetun seurannan kesto, heikko kontrolli muusta koealueilta tapahtuvasta toiminnasta ja sään suhteen poikkeavat olosuhteet, aiheuttavat tuloksiin ja niiden tulkintaan huomattavaa epävarmuutta. Aineiden luotettavamman vertailun edellytyksenä olisi kokeet, joissa kaikkia maanparannusaineita tutkittaisiin samaan aikaan samassa paikassa. Tällaisten vertailukokeiden toteuttaminen sadetus- ja kenttämittakaavassa varmistaisi sen, että muiden fosforikulkeumiin vaikuttavien tekijöiden tulkintaa vaikeuttava vaikutus voidaan minimoida. Aineiden kustannusvaikuttavuuksia voidaan myös tarkastella skenaarioissa, joissa esimerkiksi juna- ja laivakuljetuksilla pystyttäisiin tuomaan suuria määriä aineita lähemmäs käsiteltäviä peltoalueita. Logistiikkaa tulisikin pyrkiä kehittämään kaikkien aineiden osalta eikä vain kipsin.

2.2.3. Muita näkökohtia aineiden valintaan ja tukeen liittyen

Aineiden käyttö ja sen myötä käytännön kokemukset ovat vasta yleistymässä. Aineiden vaikutuksia ja levityksen käytäntöä ei siksi aina tunneta. Kolmesta aineesta kipsiin liittynee viljelijöiden keskuudessa eniten väärää tietoa ja voimakkaimpia epäluuloja. Ongelmaa voidaan yrittää korjata asenteisiin vaikuttamalla ja aktiivisella viestinnällä, mitä Kipsi-hankkeessa on aktiivisesti tehtykin. Tulevaisuudessa viestintää kaikista aineista tulisi lisätä, että aineiden vaikutukset ja levityksen tekniset vaatimukset tunnettaisiin yleisesti.

Kipsi tarjoaa kuituja ja rakennekalkkia vähemmän suoria hyötyjä pellon sadontuoton kannalta. Kuidut ovat useimmiten ravinnekuituja, jotka tuovat maahan monipuolisesti ravinteita sekä orgaanista ainesta. Rakennekalkki taas nostaa maan pH:ta, ja kuitujenkin levittämisestä saadaan lievä kalkitusvaikutus, jos käytetään kalkkistabiloituja kuituja. Rakennekalkin kalkitusvaikutus on merkittävä taloudellinen hyöty, minkä vuoksi sataprosenttista tukea ei voida maksaa. Jos kuituja levitetään vesiensuojelutoimenpiteenä, ei niille luonnollisesti voida maksaa erikseen maataloustukea. Omakustannusosuuden määrittämisessä tasapainoillaan sen välillä, että vältetään toisaalta tukemasta peltojen normaalia kalkitusta ja toisaalta tarjotaan riittävä kannuste tehdä vesiensuojelutoimenpiteitä. Omakustannusosuus voi myös auttaa tasapainottamaan rakennekalkin ja mahdollisesti myös kuitujen kysyntää ja tarjontaa paremmin toisiaan vastaaviksi.

Aineet parantavat maan rakennetta ja kasvukuntoa mahdollisesti myös laajemminkin. Maan kasvukunto vaikuttaa myös ravinnehuuhtoumiin. Tuottavampi maa mahdollistaa tehokkaamman ravinteiden hyödyntämisen ja suuremmat sadot, jolloin ravinteita poistuu pellostä sadon mukana enemmän. On kuitenkin kyseenalaista perustella allokoointia ja koko tukea kasvukunnon parantumisella. Tuen perusteena on vesiensuojelu, ja nykyinen maatalouspolitiikka tukijärjestelmineen tarjoaa riittävät kannusteet maan kasvukunnon parantamiseen ja ylläpitoon. Kasvukunnosta huolehtimiselle on myös taloudelliset perusteet ilman tukiakin.

Aineiden levityspolitiikkaa suunniteltaessa tulisi myös käydä avointa keskustelua siitä, pitäisikö aineiden levitykseen tietyissä tapauksissa velvoittaa ja millä edellytyksillä. Velvoittavuuden sijasta aineiden levittämisen voisi sisällyttää tiettyjen tukien saamisen ehtoihin. Vaikka velvoittavuus ja ehdollisuus ovat huonoja lähtökohtia politiikan hyväksyttävyyden kannalta, ei politiikan velvoittavuudessa ja ehdollisuudessa ole sinällään mitään erityistä. Esimerkiksi CAP-tukiin sisältyy ehdollisuuden vaatimukset, ja ympäristölainsäädäntö rajoittaa pelloille levitettävien ravinteiden määriä.

Aineiden levitys velvoittavana toimenpiteenä voitaisiin esimerkiksi rajata kaikkein kuormittavimmille lohkoille. Ehdollisuus taas voisi tarkoittaa esimerkiksi sitä, että aineiden levitys kuormittaville lohkoille sisällytettäisiin ympäristökorvauksen tilakohtaisten toimenpiteiden yleisiin vaatimuksiin. Velvoittavuus ja ehdollisuus ovat paremmin perusteltavissa, jos levitys toteutetaan laajennetulla nykymallilla. Ravinnehuhtoumat aiheuttavat merkittävää haittaa ja kustannuksia yhteiskunnalle, mutta aineiden levityksestä ei kuitenkaan aiheudu maataloudelle taloudellista haittaa. Yksityinen ja yleinen etu eivät tässä tapauksessa ole ristiriidassa keskenään.

2.3. Toimenpidesuosituks

- 1) Jatketaan nykyistä kipsinlevitystoimintaa, mutta laajennetaan se koskemaan myös kierrätysrakennekalkkia ja maanparannuskuituja. Kipsin levityksen tulisi jatkossakin olla ilmaista, mutta rakennekalkille ja tarpeen vaatiessa myös kuiduille määritetään sopiva omakustannusosuus. Aineiden hankinta, kuljetus ja levitys hoidetaan keskitetysti viranomaisen toimesta.
- 2) Toiminnan lähtökohtana tulee olla kustannusvaikuttavuus. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että levityksiä kohdennetaan ensisijaisesti kuormittavimmille lohkoille ja alueille. Aineen valinnassa tulisi suosia kustannusvaikuttavuudeltaan parasta vaihtoehtoa aineen soveltuvuus huomioiden. Tapauskohtaista harkintaa tulisi kuitenkin voida käyttää. Kustannusvaikuttavuuslaskelmia tulisi tulevaisuudessa päivittää ja kehittää esimerkiksi uuden tutkimustiedon lisääntyessä ja kustannustasojen muuttuessa.
- 3) Sopivan tukitason määrittely kierrätysrakennekalkille ja kuiduille vaatii erillistä analyysia. Erityisesti rakennekalkin osalta joudutaan tasapainoilemaan kalkitushyödyn ja vesien-suojeluvaiikutuksen välillä. Myös kierrätysrakennekalkin ja kuitujen kysyntä sekä saataavuus tulisi huomioida omakustannusosuutta määritettäessä.

3. Yhteenveto

Kolmen maanparannusaineen koetulokset osoittavat, että niiden avulla voidaan vähentää savimaiden eroosiota ja siihen liittyvää fosforikuormaa useita kymmeniä prosentteja. Siten maanparannusaineiden käyttäminen vesiensuojelun tukena on suositeltavaa muun maanhoidon ja hyvien viljelykäytäntöjen ohella. Maanparannusaineet soveltuvat myös pellon tuottavuuden ylläpitoon. Kipsi on erinomainen kalsium- ja rikkilannoite, rakennekalkin käyttö vähentää maan happamuutta ja kuitujen mukana saadaan peltoon orgaanista ainesta, jonka määrä on vuosikymmeniä ollut vähenevällä uralla. Pellon ominaisuuksien tarkastelu ja maanparannusaineen valinta niiden pohjalta on järkevä lähtökohta ainevalintaa mietittäessä. Eri maanparannusaineita voidaan käyttää vuorotellen samalla pellolla, joten jonkun tuotteen valinta nyt ei sulje pois muiden levittämistä myöhemmin.

Aiempi tutkimus osoittaa, että maanparannusaineiden levittämisen tukeminen on yhteiskunnan näkökulmasta kannattava ja kustannusvaikuttava tapa vähentää maatalouden fosforikuormitusta vesistöihin. Tarkastelluista kahdesta tukimallista nykyisen kipsinlevitystoiminnan jatkaminen ja laajentaminen kierrätysrakennekalkkiin ja kuituihin on suositeltavampi. Kipsinlevityksen tulisi olla jatkossakin viljelijöille ilmaista, mutta valtiontukisäädökset edellyttävät omakustannusosuuden määrittämistä varsinkin rakennekalkille. Omakustannusosuuden määrittäminen vaatii erillistä analyysia. Tuen tulisi tarjota riittävä kannuste vesiensuojeluun ilman, että peltojen normaalia kalkitusta tuetaan.

Viranomaisen hallinnoisi levitystoimintaa, millä voidaan saavuttaa hallinnollisen tehokkuuden lisäksi mittakaavaetuja esimerkiksi aineiden hankinnassa ja logistiikassa. Malli mahdollistaa levityksen kohdentamisen kuormittavimmille lohkoille. Toimenpiteen kohdentaminen on tärkeää politiikan kustannusvaikuttavuuden kannalta, mitä politiikkasuunnittelussa tavoitellaan. Myös maantieteellisesti laajempi alue saadaan käsiteltyä, kuin jos tuki vietäisiin osaksi maatalouden tukipolitiikkaa.

Vesitulokset osoittavat, että kolmesta aineesta kipsi vähentää fosforihuuhtoumia tehokkaimmin. Lisäksi kipsin hankinnasta ja levityksestä yhteiskunnalle koituvat kustannukset ovat maltilliset. Kipsi onkin aiemman tutkimuksen mukaan kustannusvaikuttavin, minkä vuoksi sitä tulisi suosia. Rakennekalkin raaka-aineen alkuperä vaikuttaa merkittävästi levitystoiminnasta aiheutuviin ilmastopäästöihin. Päästöt ovat neitseellisestä raaka-aineesta valmistetussa rakennekalkissa niin suuret, että ainoastaan kierrätysraaka-aineesta valmistetun rakennekalkin tukemista vesiensuojelukeinona voidaan pitää suositeltavana. Kaikille lohkoille kipsiä ei kuitenkaan voi levittää, mikä on keskeinen peruste tuen laajentamiselle rakennekalkkiin ja kuituihin. Maanparannusaineiden levittämisen lisäksi pitkällä aikavälillä tarvitaan myös kestäviä viljelykäytänteitä, kuten lannoituksen mitoittamista kasvien tarpeen mukaan. Vain siten Itämeren ravinnekuormitus vähenee pysyvästi.

Viitteet

- Ajosenpää, T., Anttila, L., Ekholm, P., Heikkinen, J., Jaakkola, S., Kaseva, A., Kämäri, M., Kääriä, J., Luodeslampi, P., Malmilehto, S., Muurinen, S., Rasa, K., Soinnie, H., Talola, S., Uusi-Kämppe, J. & Uusitalo, R. 2021. Kipsi, kuitu ja rakennekalkki – opas viljelijöille. ProAgrian hankejulkaisut 10. https://www.proagria.fi/uploads/maanparannusaineet_opas_viljelijöille_digitaalinen-julkaisu_2022-06-13-112340_rxzs.pdf
- Anttila, L., Kämäri, M., Ekholm, P. & Mikkilä E. 2021. Rakennekalkkikäsittelyn vaikutukset valumavesissä – lupaavia havaintoja Eurajoen pilottilueilta. Vesitalous 4/2021, 8–12.
- Aura, E., Saarela, K. & Rätty, M. 2006. Savimaiden eroosio. MTT:n selvityksiä 118. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. <https://urn.fi/URN:ISBN:952-487-039-8>
- Begum, K., Soinnie, H., Ekholm, P., Uusitalo, R., Rasa, K., Nikama, J. & Taskinen, A. 2026a. Do soil amendments impair soil cation balance and plant cation uptake? Käsikirjoitus.
- Begum, K., Heckrath, G. & Ekholm, P. 2026b. Do soil amendments impair soil cation balance and plant cation uptake? Käsikirjoitus.
- Chopra, F., Haaland, I., Roth, C. & Stegmann, A. 2024. The Null Result Penalty. The Economic Journal 134(657): 193–219. <https://doi.org/10.1093/ej/uead060>
- Dickersin, K., Chan, S., Chalmers, T.C., Sacks, H.S. & Smith H. 1987. Publication bias and clinical trials. Controlled Clinical Trials 8(4): 343–353. [https://doi.org/10.1016/0197-2456\(87\)90155-3](https://doi.org/10.1016/0197-2456(87)90155-3)
- Ekholm, P., Valkama, P., Jaakkola, E., Kiirikki, M., Lahti, K. & Pietola, L. 2012. Gypsum amendment of soils reduces phosphorus losses in an agricultural catchment. Agricultural and Food Science 21(3): 279–291. <https://doi.org/10.23986/afsci.6831>
- Ekholm, P., Kirjalainen, S., Valkama, P., Lahti, K. & Kiirikki, M. 2013. SYKE's and VHVSY's actions in the TraP Follow-up project – A status report as of 14 June 2013. Raportti.
- Ekholm, P., Hyrsky, M., Oksanen, A., Porvari, M., Saarentaus, A., Salmiovirta, M. & Valkama, P. 2020 Vantaanjoen kipsihanke. Loppuraportti - Projektinumero OH350-543200-03. 37 s. https://johnnurmisenasaatio.fi/wp-content/uploads/2023/09/vantaanjoen-kipsihanke-loppuraportti_15.12.20.pdf
- Ekholm, P., Valve, H., Iho, A., Kauppila, J., Koikkalainen, K., Lehtoranta, J., Salminen, J., Uusitalo, R. & Väisänen, S. 2023. Maatalouden ravinnetietovaranto tarvitaan tukemaan Itämeren ja vesistöjen kuormituksen vähentämistä: Samassa Vedessä -hankkeen politiikkasuositukset 14.3.2023. <http://hdl.handle.net/10138/357490>
- Ekholm, P., Ollikainen, M., Punttila, E., Ala-Harja, V., Riihimäki, J., Kiirikki, M., Taskinen, A. & Begum, K. 2024. Gypsum amendment of agricultural fields to decrease phosphorus losses—Evidence on a catchment scale. Journal of Environmental Management 357: 120706. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120706>
- Elinvoimakeskus 2026. Kipsinlevitys. <https://elinvoimakeskus.fi/kipsinlevitys>

- Hämäläinen, J.-M. 2011. Fosfokipsin vaikutus fosforin pidättymiseen ja savimaan murujen kestävyyteen. Maaperä- ja ympäristötieteen. Maisterintutkielma. Helsingin Yliopisto. 66 s.
- Norberg, L. & Aronsson, H. 2022. Mitigating phosphorus leaching from a clay loam through structure liming. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science* 72(1): 987–996. <https://doi.org/10.1080/09064710.2022.2138528>
- Nyberg, A. 2024. Markgeokemiska processer i gipsbehandlade åkrar. Magisterarbete i geologi och mineralogi. Fakulteten för naturvetenskap och teknik. Maisterintutkielma. Åbo Akademi. <https://www.doria.fi/handle/10024/190052>
- Nyström, Å.O., Blomquist, J., Persson, L., Gunnarsson, A. & Berglund, K. 2023. Long-term effects of liming on crop yield, plant diseases, soil structure, and risk of phosphorus leaching. *Agricultural and Food Science* 32(3): 139–153. <https://doi.org/10.23986/afsci.130983>
- Kasvi, E., Saarinen, A., Kämäri, M., Porkka, J., Alho, P. & Ekholm, P. 2024. The effect of seasonal variation, flow conditions and erosion forces on suspended matter fluxes from boreal gypsum-treated agricultural fields. *Catena* 243: 108199. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108199>
- Keskinen, R., Soenne, H., Uusitalo, R., Ekholm, P., Räsänen, T., Uusi-Kämppe, J., Bergholm, J., Nikama, J. & Hyväluoma, J. 2025. Soil Properties-Based Targeting of Soil Conditioners for reduced phosphorus loading from agriculture. *European Journal of Science* 76: e70143. <https://doi.org/10.1111/ejss.70143>
- Korkeela, O. 2025. Cost-effectiveness of gypsum, structure lime and fibre amendments to reduce phosphorus loading from agriculture. Maisterintutkielma. Helsingin yliopisto. <http://hdl.handle.net/10138/601297>
- Kahma, T., Ekholm, P. & Lehtoranta, J. 2026. The impacts of flooding on the runoff of phosphorus in agricultural soils treated with soil amendments. Maataloustieteen päivät 8.–9.1.2026, posteresitys.
- Kämäri, M., Ekholm, P., Anttila, L. & Kiiskinen, E. 2023. Structure liming as a water protection tool for agricultural clayey soils – results on carbon losses from a catchment scale study. Northern European Regional Meeting of the 4 per 1000 Initiative, Helsinki, Finland. 6.–8.6.2023, posteresitys.
- Kämäri, M., Luodeslampi, P., Anttila, L., Kaseva, A., Talola, S., Uusi-Kämppe, J., Kiiskinen, E., Begum, K., Uusitalo, R. & Ekholm, P. 2024a. Kuidun ja rakennekalkin vesiensuojeluvaikutukset 2.0: RAKENNE-KUITU 2.0 -hankkeen loppuraportti. Ympäristöministeriö. <https://www.syke.fi/sites/default/files/documents/RAKENNE-KUITU%20hankkeen%20loppuraportti.pdf>
- Kämäri, M., Ekholm, P., Kahiluoto, J. & Saarinen, P. 2024b. Vedenlaadun jatkuvatoimisen mittauksen haasteet ja mahdollisuudet. *Vesitalous* 2/24: 43–48.
- Kämäri, M., Taskinen, A., Vartila, I., Willner, M. & Ekholm, P. 2026a. Kipsin peltolevityksien vaikutusten todentaminen perustuen jokiseurantaan isohkoilla valuma-alueilla Lounais-Suomessa. Maataloustieteen päivät 8.–9.1.2026, posteresitys.

- Kämäri, M., Taskinen, A., Vartila, I., Willner, M. & Ekholm, P. 2026b. Kipsin peltolevityksen vesistövaikutukset Saaristomeren valuma-alueella: KISAJATKO-hankkeen raportti. Käsikirjoitus.
- Luodeslampi, P. 2023. Kipsi ja ravinnekuitu maatalouden vesiensuojelukeinoina: KK2-hankkeen loppuraportti. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistyksen julkaisu 96/2023. https://www.vhvsy.fi/files/upload_pdf/10845/Julkaistu%2096-2023%20Kipsi-%20ja%20ravinnekuitu%20maatalouden%20vesiensuojelukeinoina.pdf
- Luke 2026. Usein kysytyjä kysymyksiä maanparannuskuiduista. <https://www.luke.fi/fi/projektit/kuitu-3/usein-kysytyt-kysymykset>
- Lötjönen, S., Korkeela, O., Ekholm, P. & Ollikainen, M. 2026 Gypsum, structure lime and fiber amendments in reducing phosphorus losses from agriculture. Käsikirjoitus.
- Ollikainen, M., Ekholm, P., Punttila, E., Ala-Harja, V., Riihimäki, J., Puroila, S., Kosenius, A. & Iho, A. 2018. Peltojen kipsikäsitteily maatalouden vesiensuojelukeinona. Save-hankkeen julkaisu. <https://blogs.helsinki.fi/save-kipsihanke/files/2018/11/SAVE-hankkeen-tietopaketti-kipsik%C3%A4sittelyst%C3%A4.pdf>
- Ollikainen, M., Lötjönen, S., Tikkanen, T., Ala-Harja, V., Uusitalo, R. & Ekholm, P. 2024. Gypsum and structure lime amendments in boreal agricultural clay soils: Do climate emissions compromise water quality benefits? *Agricultural and Food Science* 33(2): 90–115. <https://doi.org/10.23986/afsci.143577>
- Ollikainen, M., Kosenius, A.-K., Punttila, E., Ala-Harja, V., Puroila, S., Iho, A. & Ekholm, P. 2020. Gypsum amendment of arable fields as a water protection measure – farmers' experience, phosphorus reduction potential and associated costs drawn from a large scale pilot. *Agricultural and Food Science* 29(5): 383–394. <https://doi.org/10.23986/afsci.88902>
- Pietola, L. 2008. Gypsum-based management practices to prevent phosphorus transportation. *NJF Report* 4(4): 78–82. <https://orgprints.org/id/eprint/16046/1/fosfor1.pdf>
- Rantamo, K., Arola, H., Aroviita, J., Hämäläinen, H., Hannula, M., Laaksonen, R., Laamanen, T., Leppänen, M.T., Salmelin, J., Syrjänen, J.T., Taskinen, A., Turunen, J. & Ekholm, P. 2022. Risk Assessment of Gypsum Amendment on Agricultural Fields: Effects of Sulfate on Riverine Biota. *Environmental Toxicology and Chemistry* 41: 108–121. <https://doi.org/10.1002/etc.5248>
- Rankinen, K., Keinänen, H. & Bernal, J.E.C. 2016. Influence of climate and land use changes on nutrient fluxes from Finnish rivers to the Baltic Sea. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 216: 100–115. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.09.010>
- Rasa, K., Pennanen, T., Peltoniemi, K., Velmala, S., Fritze, H., Kaseva, J., Joona, J. & Uusitalo, R. 2021. Pulp and paper mill sludges decrease soil erodibility. *Journal of Environmental Quality* 50(1): 172–184. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20170>
- Ruokavirasto 2026. Sitoumusehdot: ympäristökorvaus 2026. https://www.ruokavirasto.fi/tuet/maatalous/peltotuet/ymparistokorvaus/ymparistokorvauksen-sitoumusehdot/ymparistokorvauksen-sitoumusehdot-2026/#Kiertotalouden_edistaminen

- Räty, M., Termonen, M., Hyvönen, J., Uusi-Kämpä, J., Järvenranta, K., Soinne, H., Nikama, J., Rasa, K., Järvinen, M. & Keskinen, R. 2024. The amendment value of pulp and paper mill sludges in Finnish coarse-textured soil. *Geoderma Regional* 39: e00894. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2024.e00894>
- Röman, E., Ekholm, P., Tattari, S., Koskiahho, J. & Kotamäki, N. 2018. Catchment characteristics predicting nitrogen and phosphorus losses in F inland. *River research and applications* 34(5): 397–405. <https://doi.org/10.1002/rra.3264>
- Soinne, H., Fritze, H., Pennanen, T., Velmala, S., Räty, M. & Uusitalo, R. 2025. Structure Lime as a Soil Amendment: Impacts on Nutrient Loss Risk and Soil Health. *European Journal of Soil Science* 76(5): e70193. <https://doi.org/10.1111/ejss.70193>
- Svanbäck, A., Ulén, B. & Etana, A. 2014. Mitigation of phosphorus leaching losses via subsurface drains from a cracking marine clay soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 184: 124–134. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.11.017>
- Syke 2024. Maatalouden fosforikuormaa vesiin voidaan vähentää teollisuuden sivutuotteina syntyvillä rakennekalkilla ja ravinnekuidulla. Tiedote 14.11.2024. <https://www.sttinfo.fi/tiedote/70666470/maatalouden-fosforikuormaa-vesiin-voidaan-vahentaa-teollisuuden-sivutuotteina-syntyvilla-rakennekalkilla-ja-ravinnekuidulla?publisherId=69819243&lang=fi>
- Tattari, S., Koskiahho, J., Kosunen, M., Lepistö, A., Linjama, J. & Puustinen, M. 2017. Nutrient loads from agricultural and forested areas in Finland from 1981 up to 2010—can the efficiency of undertaken water protection measures seen? *Environmental monitoring and assessment* 189(3): 95. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-5791-z>
- Ulén, B. & Etana, A. 2014. Phosphorus leaching from clay soils can be counteracted by structure liming. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science* 64(5): 425–433. <https://doi.org/10.1080/09064710.2014.920043>
- Uusi-Kämpä, J. & Uusitalo, R. 2026. Kuidun ja kipsin seos maanparannuksessa ja vesiensuojelussa. Maataloustieteen päivät 8.–9.1.2026, posteresitys.
- Uusitalo, R., Ylivainio, K., Hyväluoma, J., Rasa, K., Kaseva, J., Nylund, P., Pietola, L. & Turtola, E. 2012. The effects of gypsum on the transfer of phosphorus and other nutrients through clay soil monoliths. *Agricultural and Food Science* 21(3): 260–278. <https://doi.org/10.23986/afsci.4855>
- Uusitalo R., Mylly, M., Kaseva, J. & Soinne, H. 2026a. Soil and phosphorus losses from a boreal clay soil during 6 yr after structural liming. Käsikirjoitus.
- Uusitalo R., Luodeslampi, P., Taskinen, A., Kaseva, J., Valkama, P., Nieminen, M., Rasa, K., Heikkinen, J. & Uusi-Kämpä, J. 2026b. Three studies on erosion and nutrient loss mitigation by pulp mill sludges on agricultural clay soils. Käsikirjoitus.

- Valkama, P. & Luodeslampi, P., 2020. Rakennekalkki ja ravinnekuitu-vaikutukset maatalouden vesiensuojelutoimina: RAKUVE-hankkeen loppuraportti. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistyksen raportti 21/2020. https://www.vhvsy.fi/files/upload_pdf/9453/Raportti%2021_2020%20Rakennekalkki%20ja%20ravinnekuitu%20loppuraportti.pdf
- Valtiontalouden tarkastusvirasto 2024. Vesien- ja merenhoidon ohjaus, rahoitus ja tuloksellisuus: Maatalouden ravinnekuormituksen vähentäminen. Valtiontalouden tarkastusviraston tarkastuskertomukset 10/2024. <https://urn.fi/urn:isbn:978-952-499-556-6>
- Yli-Halla, M., Taskinen, A. & Ekholm, P. 2023. Gypsum amendment influences soil and plant chemical composition temporarily. *Agricultural and Food Science* 32(4): 195–206. <https://doi.org/10.23986/afsci.131550>



Löydät meidät verkosta

luke.fi



Luonnonvarakeskus (Luke) Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki