



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 42/2021

Vihannestuotannon kestävä ravinnehuolto

Terhi Suojala-Ahlfors, Timo Hurme, Sauli Jaakkola, Teija Kirkkala,
Anu Koivisto, Päivi Laine, Johanna Pihala, Tapio Salo, Risto Uusitalo,
Anne-Mari Ventelä ja Kari Ylivainio

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 42/2021

Vihannestuetannon kestävä ravinnehuolto

Terhi Suojala-Ahlfors, Timo Hurme, Sauli Jaakkola, Teija Kirkkala,
Anu Koivisto, Päivi Laine, Johanna Pihala, Tapio Salo, Risto Uusitalo,
Anne-Mari Ventelä ja Kari Ylivainio

Viittausohje:

Suojala-Ahlfors, T., Hurme, T., Jaakkola, S., Kirkkala, T., Koivisto, A., Laine, P., Pihala, J., Salo, T., Uusitalo, R., Ventelä, A.-M. & Ylivainio, K. 2021. Vihannestuotannon kestävä ravinnehuolto. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 42/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 71 s.

Viittausohje yksittäiseen artikkeliin:

Uusitalo, R., Ylivainio, K., Suojala-Ahlfors, T., Hurme, T., Pihala, J. & Jaakkola, S. 2021. Fosforilannoituksen sato- ja ympäristövaikutukset vihannestuotannossa. Julkaisussa: Suojala-Ahlfors, T., Hurme, T., Jaakkola, S., Kirkkala, T., Koivisto, A., Laine, P., Pihala, J., Salo, T., Uusitalo, R., Ventelä, A.-M. & Ylivainio, K. 2021. Vihannestuotannon kestävä ravinnehuolto. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 42/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 12–33.

Terhi Suojala-Ahlfors, ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0001-7543-870X>

Tiivistelmä

Terhi Suojala-Ahlfors¹, Timo Hurme², Sauli Jaakkola³, Teija Kirkkala³, Anu Koivisto⁴, Päivi Laine³, Johanna Pihala³, Tapio Salo², Risto Uusitalo², Anne-Mari Ventelä³ ja Kari Ylivainio²

¹Luonnonvarakeskus, Toivonlinnantie 518, 21500 Piikkiö

²Luonnonvarakeskus, Tietotie 4, 31600 Jokioinen

³Pyhäjärvi-instituutti, Sepäntie 7, 27500 Kauttua

⁴Tmi Anu Koivisto, Porrassuontie 23, 07560 Pukkila

Typpi ja fosfori ovat keskeisiä ravinteita sadontuoton kannalta, mutta niiden käyttöä lannoituksessa on tarpeen optimoida lannoituksen taloudellisuuden varmistamiseksi ja haitallisten vesistövaikutusten minimoimiseksi. Vihannestuotannon kestävä ravinnehuolto -hankkeessa oli tavoitteena löytää lannoituskäytäntöjä, joilla sadon määrä ja laatu saadaan turvattu, lannoitus on taloudellisesti järkevää ja samaan aikaan vältetään ravinteiden tarpeetonta käyttöä, josta voi seurata rehevöittäviä päästöjä vesistöihin. Hankkeen kohdealueita olivat Varsinais-Suomi ja Satakunta, joissa erikoiskasveja on viljelty laajasti jo pitkään.

Hanke sai rahoituksen Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelman Vesiensuoielun ja ravinteiden kierrätyksen erillisrahoituksesta, ja se toteutettiin Luonnonvarakeskuksen ja Pyhäjärvi-instituutin yhteistyönä vuosina 2018–2021. Tavoitteina oli tuottaa tietoa typpi- ja fosforilannoituksen vaikutuksesta vihannesten satoon, viljelyn talouteen ja vesistökuormitukseen, tarkentaa vihannesten typpilannoituksen määrää ja ajoitusta sekä välittää tutkittua tietoa maaperän ja viljelykasvien ravinnetaloudesta. Hankkeessa toteutettiin kenttä- ja tilakokeita, laadittiin selvitys kastelun talous- ja ympäristövaikutuksista sekä koottiin tietoa vihannestuotannon vesistövaikutuksista. Tietoa vihannesten ravinteiden käytöstä jaettiin hankkeen järjestämissä tilaisuuksissa ja alan tapahtumissa.

Fosforilannoituksen vaikutus vihannesten satoon oli odotettua pienempi sekä tämän hankkeen tulosten että aiempien Lukessa tehtyjen kokeiden perusteella. Selkeitä sadonlisäyksiä fosforilannoitukselle saatiin joinakin koevuosina mailla, joiden fosforiluku oli korkeintaan tyydyttävä. Suurimpien ympäristöohjelmassa sallittujen fosforimäärien käyttö jätti pääsääntöisesti peltoon käyttämätöntä fosforia, kun P-lannoitusmäärät ylittivät 20–30 kg/ha. Korkeampien viljavuusluokkien mailla fosforitaseet olivat ympäristöohjelmien sallittuja lannoitusmääriä käytettäessä alijäämäisiä, mutta niillä ei myöskään havaittu satovasteita fosforilisäyksille, vaan maahan aiemmin kertynyt fosfori tyydytti sadon fosforitarpeen.

Kaksivuotisissa typpilannoituskokeissa optimilannoitukseksi arvioitu korkein lannoitustaso tuotti hyvän sadon kaikilla kasveilla. Keräkaalilla alempi lannoitus, 70 % arvioidusta optimista, tuotti selvästi matalamman sadon, mutta porkkanalla ja sipulilla tämä typpimäärä tuotti lähes saman sadon kuin korkein lannoitustaso. Porkkana on tunnetusti tehokas ravinteiden hyödyntäjä, ja kasvi pystyi ottamaan maasta runsaasti typpeä myös alimmassa typpilannoituskäsittelyssä, joka oli 10 % arvioidusta optimilannoituksesta. Typpikokeiden mallinnustulokset julkaistaan tarkemmin myöhemmin.

Vihannesten (keräkaali, sipuli, porkkana) kastelun taloudellisuutta tarkasteltiin teoreettisesti kasvumallinnuksen avulla ja 30 vuoden sääaineistoa hyödyntäen. Tulosten mukaan kastelu on taloudellisesti kannattavaa ja sen merkitys on vain kasvanut viime vuosina. Mallinnuksen perusteella tarpeen mukainen kastelu näyttäisi vähentävän typen huuhtoumia, kun annettu lannoitus pystytään hyödyntämään tehokkaammin myös kuivina jaksoina.

Hankkeessa seurattiin veden laatua Eurajoen vesistöalueella, ja tuloksia yhdistettiin aiempiin mittaustuloksiin samoista seurantakohteista. Tulokset osoittavat, että vuotuisen vaihtelun lisäksi ravinteiden kulkeutuminen ojavesiin jaksottuu eri vuosina eri tavoin. Toisessa seurantakohteessa, Kaukanaranojalla, voitiin havaita veden kiintoainepitoisuuden ja jossain määrin myös ravinnepitoisuuksien alentuneen vesiensuojelutoimena toteutetun kaksitasouoman rakentamisen jälkeen.

Vihannesten tuotannossa on tarpeen kiinnittää huomiota keinoihin, joilla vesistökuormitusta voidaan vähentää ja viljelyn taloudellinen kannattavuus varmistaa. Nämä tavoitteet eivät ole ristiriidassa, sillä monet vesiensuojeluun tähtäävät keinot parantavat peltojen kasvukuntoa ja satovarmuutta ja tuovat taloudellista hyötyä etenkin pidemmällä aikavälillä. Keskeisimpiä keinoja ravinnekuormituksen vähentämisessä ovat tarpeenmukainen lannoitus ja sen oikea ajoittaminen, maan rakenteen ja vesitalouden kohentaminen, peltojen talviaikaisen kasvipeitteisyyden lisääminen ja kasvin tarpeen mukainen kastelu.

Asiasanat: kasvinravinteet, lannoitus, typpi, fosfori, kastelu, vihannesviljely, vesistövaikutukset, ravinnekuormitus

Sisällysluettelo

1. Johdanto	6
1.1. Vihannesten tuotanto on keskittynyt Lounais-Suomeen	6
1.2. Erikoiskasvituotannon ravinnekuormitus Lounais-Suomessa.....	7
1.3. Lannoituksen suunnittelu vihannesviljelyssä	8
1.4. Kastelu vihannestuotannossa.....	9
1.5. Ravinnekuormitukseen vaikuttavat tekijät	9
1.6. Hankkeen tavoitteet.....	11
2. Fosforilannoituksen sato- ja ympäristövaikutukset vihannestuotannossa....	12
2.1. Fosforilannoituskokeet.....	12
2.1.1. Kenttäkokeiden toteutus Lukessa.....	12
2.1.2. Tilakokeiden toteutus	15
2.1.3. Tulokset	20
2.2. Sadesimulaatiokokeet ja fosforiluvun muutoksen mallinnus	29
2.3. Johtopäätökset fosforilannoituskokeista.....	33
3. Typpilannoituksen tarkentaminen vihannestuotannossa.....	34
3.1. Kenttäkokeet.....	34
3.2. Mallinnus.....	36
3.3. Tulokset	36
3.4. Johtopäätökset	43
4. Kastelun taloudellisuus	44
4.1. Kasvumallinnukset.....	44
4.2. Kastelun kustannukset ja tuotot.....	48
4.2.1. Kastelun kustannukset.....	48
4.2.2. Kastelusta saatavat tuotot.....	50
4.2.3. Kastelun kannattavuus.....	51
4.3. Typen huuhtoutuminen.....	52
4.4. Johtopäätökset	54
5. Vihannestuotannon vesistövaikutukset ja niiden hallinta	55
5.1. Lounais-Suomen vesistöjen tila ja ravinnekuormitus.....	55
5.2. Keinoja ravinnekuormituksen hallintaan.....	56
5.3. Valumavesien seuranta ja vesianalyysitulokset	58
6. Yhteenveto.....	68
Viitteet.....	70

1. Johdanto

Vihannestuotannon kestävä ravinnehuolto -hankkeessa paneuduttiin typen ja fosforin käyttöön vihannesviljelyssä. Näiden keskeisten ravinteiden merkitystä tarkasteltiin sekä sadon että ympäristövaikutusten kannalta. Tavoitteena on löytää lannoituskäytäntöjä, joilla sadon määrä ja laatu saadaan turvattua ja samaan aikaan voidaan välttää ravinteiden tarpeetonta käyttöä, josta voi seurata rehevöittäviä päästöjä vesistöihin. Ravinteiden käytön optimoinnilla vaikutetaan myös viljelyn talouteen.

Hankkeen kohdealueina olivat Varsinais-Suomi ja Satakunta, jotka ovat Suomen merkittävimpiä vihannestuotantoalueita. Erikoiskasvien viljelyllä on näillä seuduilla pitkät perinteet, ja esimerkiksi peltojen fosforiluvut ovat usein korkeita aiempien lannoituskäytäntöjen perintönä.

Tämä hanke sai rahoituksen Manner-Suomen maaseudun kehittämissuoritelman Vesiensuojelun ja ravinteiden kierrätyksen erillisrahoituksesta, ja se toteutettiin Varsinais-Suomen ja Satakunnan alueilla vuosina 2018–2021. Yksityistä rahoitusta hankkeelle saatiin Maiju ja Yrjö Rikalan Puutarhasäätiöltä ja Pyhäjärvi-instituutista. Hanke toteutettiin osaltaan Pyhäjärven suojeluohjelmaa ja JOKIohjelmaa.

1.1. Vihannesten tuotanto on keskittynyt Lounais-Suomeen

Vihannesviljely avomaalla on keskittynyt voimakkaasti Varsinais-Suomen ja Satakunnan alueelle, jossa maalais- ja ilmasto ovat otollisia vaativien kasvien viljelyyn. Vuonna 2020 vihanneksia viljeltiin Varsinais-Suomessa 3 759 hehtaarin ja Satakunnassa 2 517 hehtaarin alalla, mikä on 54 % koko maan vihannesviljelyalasta (SVT: Luonnonvarakeskus, Puutarhatilastot). Vihannesten varhaistuotanto on lähes täysin sijoittunut Lounais-Suomeen. Alueella on myös merkittävää teollisuuden sopimustuotantoa.

Tärkeimpiä Lounais-Suomessa viljeltäviä vihanneksia ovat tarhaherne, porkkana, sipuli, punajuurikas, lanttu, valkokaali, palsternakka ja avomaankurkku (taulukko 1). Vihannesten luomutuotanto alueella on toistaiseksi vähäistä, mutta kiinnostus luomuun on lisääntynyt.

Taulukko 1. Tärkeimmät vihanneslajit ja niiden viljelyalat Varsinais-Suomessa ja Satakunnassa vuonna 2020 (SVT: Luonnonvarakeskus, Puutarhatilastot).

	Viljelyala, ha	
	Varsinais-Suomi	Satakunta
tarhaherne	1 833	1 359
porkkana	548	392
sipuli	525	48
puna- ja keltajuurikas	82	201
lanttu	125	106
valkokaali	35	151
palsternakka	74	43
avomaankurkku	80	32

1.2. Erikoiskasvituotannon ravinnekuormitus Lounais-Suomessa

Varsinais-Suomen ja Satakunnan vesistöt ovat rehevöityneet vuosikymmeniä jatkuneen ulkoisen ravinnekuormituksen seurauksena. Pistemäistä kuormitusta on saatu hyvin vähennettyä, mutta suurena haasteena on hajakuormituksen, erityisesti maataloudesta tulevan fosfori- ja typpikuormituksen vähentäminen. Pintavesien tilan tavoiteluokitus on hyvä tai erinomainen, mikä saavutetaan koko Suomessa noin 70 %:ssa jokivesistä ja yli 80 %:ssa järvistä, mutta vain reilussa 10 %:ssa merialueiden rannikkovesistä (osuudet prosentteja vesimuodostumien määrästä) (<https://www.ymparisto.fi/pintavesientila>). Varsinais-Suomessa jokien ja rannikkovesien ekologinen tila on pääosin tyydyttävässä tai sitä heikommassa tilassa. Järvistä vajaa puolet on korkeintaan tyydyttävässä tilassa. Satakunnassa kauimpana hyvän tilan tavoitteesta ollaan jokivesissä, joista suurin osa jää tavoitetilasta. Satakunnan järvistä vajaa puolet ja rannikkovesistä noin viidennes ei yllä tavoitetilaan.

Vesien tilan parantamiseksi on laadittu ympäristöhallinnon vesienhoitosuunnitelmia. Lounais-Suomen toimenpiteet kaudelle 2016–2021 on esitetty Kokemäenjoen-Saaristomeren-Selkämeren vesienhoitoalueen vesienhoitosuunnitelmassa (Westberg ym. 2015). Tärkein toimenpide on ulkoisen ravinnekuormituksen pienentäminen. Suurin yksittäinen kuormittaja on maatalous, josta on VEMALA-mallin mukaan peräisin noin 63 % fosforikuormituksesta ja 52 % typpikuormituksesta (https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kartat_ja_tilastot/vesistöjen_kuormitus_ja_luonnon_huuhouma).

Vihannestuotannossa käytetään runsaasti ulkopuolisia tuotantopanoksia. Vuosina 2015–2022 voimassa olevan ympäristökorvausjärjestelmän mukaan sallitut fosforilannoituksen enimmäismäärät ovat puutarhakasveilla usein suuria verrattuna sadon mukana pelloilta poistuvaan fosforiin, joten enimmäismäärien mukainen lannoitus johtaa vähitellen peltolohkojen fosforipitoisuuksien kasvuun. Esimerkiksi Lukessa vuosina 2014–2016 tehdyissä kaali- ja sipulikokeissa välttävissä fosforiluokassa olevilla pelloilla fosforin taseylijäämä oli noin 60 kg/ha lannoitettaessa ympäristökorvausjärjestelmän lannoitusrajojen mukaisesti (Suojala-Ahlfors 2017).

Jatkuva fosforiylijäämä kasvattaa maan helppoliukoisen fosforin pitoisuutta, millä puolestaan on suora yhteys valumavesien liuenneen fosforin pitoisuuteen. Kohonneet liuenneen fosforin pitoisuudet tarkoittavat kasvaneita fosforikulkeumia pinta- ja salaojavalunnan kautta ojiin ja pintavesiin, jossa fosfori ruokkii planktonleviä ja vesikasveja. Viljelyn kannalta fosforin vuoto vesiin on merkityksetöntä, mutta vesistöissä vähäisetkin fosforimäärät voivat synnyttää näkyviä leväkukintoja, koska fosfori on yleisesti minimiravinne vesiekosysteemeissä.

Vihannestuotannon vesistövaikutuksiin on kiinnitetty huomiota useissa maissa, koska vihannesten oletetun fosforilannoitustarpeen mukaisesti toimittaessa syntyy suuria taseylijäämiä ja maan fosforipitoisuudet ovat vihannesviljelyssä olevilla pelloilla tyypillisesti viljavuusluokittelusteikkojen yläpäässä. Vihannestuotantoon keskittyneillä alueilla on myös mitattu reilusti suurempia hehtaarikohtaisia fosforikuormia kuin viljantuotantoalueilla (esim. Bechmann ja Falk Øgaard 2010). Suomessa tehtyjen tilahaastattelujen mukaan tilaluokan ”muut kasvintuotantotilat” pelloilla helppoliukoisen fosforin pitoisuudet olivat kaksinkertaisia viljantuotantotilojen peltoihin nähden ja korkeampia kuin kotieläintiloiksi luokiteltujen tilojen pelloilla (Turtola ja Lemola 2008).

Norjassa vihannesten fosforilannoitussuositukset päivitettiin vuonna 2012 laajan lannoituskoesarjan tulosten perusteella. Suositeltavia fosforimääriä vähennettiin kaikkien tutkittujen vihannesten osalta, joillakin kasveilla jopa puoleen aiemmin suositelluista määristä (Riley ym. 2012). Ruotsissa suositellut fosforilannoitusmäärät ovat olleet jo aiemmin alhaisempia kuin meillä käytössä olevat rajoitukset. Suomessa sovelletut rajoitukset ovat samantapaisia kuin

norjalaisten aiemmat suositukset ennen siellä tehtyä päivitystä. Meillä tutkimuksia vihannesten fosforin tarpeesta ja satovasteista on ollut niin vähän, että dokumentoituun aineistoon perustuvia suosituksia ei ole voitu antaa.

Vihannesviljelyssä käytetään useilla kasveilla korkeita typpilannoitustasoja. Vaikka kasvusto ottaisikin typpeä suunnitellusti, kasvin peltoon jäävät ulkolehdet sisältävät runsaasti typpeä. Tämän seurauksena vihanniskasveille lasketut typpitaseet ovat usein huomattavan korkeita (Salo ym. 2013). Jos satotaso jää tavoiteltua alhaisemmaksi esim. kuivuuden tai tuholaisien takia, lannoitetyppeä jää myös käyttämättä.

Vihannesviljelyssä riski typen huuhtoutumiselle on huomattava, mikäli maahan jää käyttämättä lannoitetyppeä tai kasvinjätteistä vapautuvaa typpeä. Riski on suurin läpäisevillä karkeilla maa-lajeilla, jotka sopivat hyvin vihannesviljelyyn.

1.3. Lannoituksen suunnittelu vihannesviljelyssä

Lannoituksen suunnittelun perustana on lähes kaikissa maissa pellon viljavuusanalyysin tuloksiin perustuvat lannoitussuositukset tai -rajoitukset. Meillä fosforilannoitusta on ohjannut ympäristöohjelman fosforilannoitusrajat, tulevaisuudessa mahdollisesti lannoitelaki. Vihannesten osalta lannoitusrajat eivät kuitenkaan toistaiseksi perustu tutkittuihin satovasteisiin, mikä on selkeä puute sekä viljelyn talouden optimoinnin että vesiensuojelun näkökannoilta.

Lukessa vuosina 2014–2017 toteutetussa PuutarhaNP-hankkeessa (Suojala-Ahlfors 2017) saatiin viitteitä siitä, että tutkittujen vihannesten (keräkaali, sipuli, porkkana, mukulaselleri) fosforilannoituksen tarve on pienempi kuin ympäristökorvausjärjestelmässä sallitut enimmäislannoitusmäärät. Maan fosforitilan vaikutusta vihannesten satotasoon ei pystytty hankkeessa kattavasti selvittämään, joten tässä hankkeessa tutkimuksia on tehty lisää eri kasveilla ja osin uusilla koepaikoilla.

Aiemmat Suomessa tehdyt puutarhatuotannon lannoitustutkimukset ovat keskittyneet yleensä typpilannoituksen tai lannoitusmenetelmien optimointiin. Typpilannoituksen tutkimiseen on panostettu, koska typpi on pääravinteista (NPK) se, jolla on kaikkein suurin vaikutus sadontuottoon. Monissa tutkimuksissa on määritetty tärkeimpien vihannes- ja marjakasvien typen otto suhteessa satotasoihin (Salo 1999, Tahvonen ym. 2001, Suojala ym. 2004).

Vihannesten typen tarve voidaan määritellä tavoitellun satotason ja tehoisan lämpösumman määrittelemän kasvunopeuden perusteella. Ihanteellisissa olosuhteissa kasvua rajoittavat vain veden ja typen puute, jos muiden ravinteiden käyttökelpoiset määrät ovat riittäviä ja kasvin-suojelu onnistuu. Typen tarjontaan vaikuttavat väkilannoituksen lisäksi maan orgaanisesta aineksesta ja kasvinjätteistä vapautuva typpi sekä huuhtoutumisen kautta syvempiin maakerrok-siin poistuva mineraalityppi.

Dynaamisten simulointimallien avulla on mahdollista ymmärtää lämpösumman, sadannan, typen saatavuuden ja kasvin kasvun välinen yhteys. MMM:n rahoittamassa Puutarha-NP hankkeessa testattiin Englannissa kehitettyä EU-Rotate-N mallia, jonka tulokset kuvasivat hyvin kaalin typpitarvetta (Salo ym. 2017).

1.4. Kastelu vihannestuotannossa

Kastelu on vihannestuotannossa usein tarpeen sadon turvaamiseksi. Vaikka veden saannin turvaaminen on erittäin keskeinen viljelytoimi satovarmuuden kannalta, ei kastelun satovaikutuksiin ja taloudelliseen merkitykseen ole Suomessa riittävästi paneuduttu. Ensimmäinen laajempi vihannesten kastelututkimus tehtiin 1980-luvulla (Aura 1985), koekasveina sipuli, porkkana, kaali ja punajuurikas. Tulokset olivat vaihtelevia eri vuosina: kastelu tuotti joinain vuosina huomattavan sadonlisän, mutta joskus jopa alensi satoa, kun maan rakenne koepaikalla oli heikko.

1990-luvun tutkimuksessa tarkasteltiin vihannesten lannoitusta ja kastelua uudelleen, ja painotettiin kastelun merkitystä etenkin helteisinä ja kuivina kesinä (Tahvonen ym. 2001). Kastelutarpeen seurantaan ehdotettiin maan kosteuden mittaamista tensiometreillä tai vaihtoehtoisesti haihduntatietojen ja kasvikertoimien hyväksikäyttöä. Kumpikaan menetelmä ei ole käytännön viljelyssä kuitenkaan yleistynyt, vaan kastelun suunnittelu perustuu enimmäkseen viljelijän käytännön kokemukseen eri kasvien ja peltolohkojen kastelutarpeesta. Vuosien väliset erot kastelutarpeessa ovat isoja. Erityisen kuivina vuosina kastelua tarvitaan läpi kesän kylvöstä tai istutuksesta alkaen, jolloin viljelmien kastelukapasiteetti ei useinkaan riitä kaikkien peltolohkojen vedensaannin turvaamiseen.

Kastelu vaikuttaa sadontuoton ohella tuotantopanosten hyväksikäyttöön. Alkukasvukauden kuivuus voi aiheuttaa epätasaista taimettumista ja kasvuunlähtöä. Kesän edetessä riittävä vedensaanti on tarpeen, jotta juuristo kehittyy normaalisti ja pystyy käyttämään hyväksi maan ravinnevarantoja ja lisättyjä lannoitteita.

1.5. Ravinnekuormitukseen vaikuttavat tekijät

Merkittävin ravinnekuormitukseen vaikuttava tekijä on kasvukauden ulkopuolinen sää, erityisesti sadannan määrä ja ajoittuminen, sekä maan jäätyminen ja sulamisen vaihtelu talven aikana. Tämä tulee aina annettuna olosuhteena, jonka vaikutuksia voidaan kuitenkin muokata. Viljelijän toimivaltaan kuuluvista asioista ravinnekuormituksen hallinta perustuu ennen kaikkea maan rakenteesta huolehtimiseen, minkä lisäksi ravinnekuormitusta voi vähentää hyödyntämällä talviaikaista kasvipeitteisyyttä ja pitämällä maan ravinnetila tasolla, joka ei ole turhan suuri kasvien tarpeeseen nähden.

Maatalouden vesiensuojelussa pellolla tehtävät toimet ovat kustannuksiltaan monta kertaluokkaa edullisimpia kuin karanneiden ravinteiden kiinniottaminen ojista tai poistaminen vesistöistä. Viljelyn talouden ja vesiensuojelun tavoitteet ovat samat silloin, kun vesiensuojelua toteutetaan vähentämällä tarpeettomien tuotantopanosten kuten lannoitteiden käyttöä. Kasvin tarpeeseen nähden ylimääräinen lannoite, joka jätetään lisäämättä peltoon, ei aiheuta kustannusta viljelijälle eikä huuhtoudu vesistöön. Ravinteiden poistotoimet kuormituksen jo synnyttäviä ovat sen sijaan kalliita ja usein myös tehottomia. Lannoituksen säätäminen kasvien todellisen tarpeen mukaan on erittäin taloudellinen vesiensuojelutoimi. Tämä edellyttää kuitenkin sitä, että eri viljelykasvien ravinnetarpeista erilaisilla mailla on riittävästi tietoa.

Typen haihtumishävikkien vuoksi typen peltotaseen (lannoituksena annetun ravinnemäärän ja sadon mukana korjatun ravinnemäärän erotus) tulee olla jonkin verran ylijäämäinen, jotta kasvien sadontuottopotentiaali voidaan hyödyntää. Koska typpi ei juuri varastoidu maahan, hyödyntävät kasvit käytännössä vain sitä typpeä, mikä maahan lisätään vuotuislannoituksena. Poikkeuksena tähän ovat hyvin runsasmultaiset maat tai esikasvina olleen typpeä sitovan kasvuston jäänteet, joista typpeä mobilisoituu kasvien hyödynnettäväksi. Runsaampiin taseyliäämiin

liittyvät typpihuuhtoumat tapahtuvat ennen seuraavan kasvukauden alkua, ja suuria taseylijiämiä on sen vuoksi syytä välttää. Näiltä osin typen peltotaseiden tulkinta on hyvin suoraviivaista.

Sen sijaan fosforin - joka varastoituu maahan - peltotaseiden ali- tai ylijäämän vaikutukset saatoon ja fosforin huuhtoumaan riippuvat kasvukauden sään lisäksi maan ominaisuuksista. Kasvintuotannon kannalta hyvä fosforitase voi tilanteen mukaan olla yhtä hyvin alijäämäinen kuin ylijäämäinen. Mailla, joiden fosforipitoisuus on nostettu korkeaksi aikaisempien vuosien runsaalla lannoituksella, voi fosforin peltotase olla pitemmän aikaa alijäämäinen kasvun siitä kärsimättä. Korkeiden fosforipitoisuuksien mailla alijäämäiset taseet ovat suositeltavia sekä ympäristövaikutusten pienentämisen että viljelyn talouden optimoinnin vuoksi. Hyvin alhaisten fosforipitoisuuksien mailla taas ylijäämäiset taseet ovat tarpeen sadontuoton nostamiseksi ja maan kasveille käyttökelpoisen fosforivarannon kasvattamiseksi kohtuulliselle tasolle.

Kasvien ottamasta fosforista ainoastaan 10–20 % on kasvukauden alussa annettua fosforia, valtaosan tullessa maahan aiemmin pidättyneestä varannosta. Fosforin hävikit ympäristöön eroosion ja huuhtouman kautta kasvavat maan fosforipitoisuuden kasvaessa, joten maan fosforipitoisuutta ei tulisi nostaa kasvintuotannon todellista tarvetta korkeammaksi. Maan luontaiset ravinnevarat ja maahan aiemmasta lannoituksesta kertyneet ravinteet saadaan tehokkaasti kasvien käyttöön, kun juuristolla ei ole kasvusteitä, kuten tiivistymiä. Kasvusteiden poistamiseen tarvitaan maan rakenteen jatkuvaa hoitoa ja rakennetta ylläpitäviä investointeja, kuten uudelleenjoitusta tarpeen mukaan.

Typen huuhtoutumisen vähentämiseksi keskeisiä keinoja ovat typpilannoituksen oikea ajoitus, määrä sekä kasvinjätteissä peltoon jäävän typen hyödyntäminen viljelykierron aikana. Epäorgaaninen typpi on nopeasti kasvien käytettävissä, mutta voi huuhtoutua sateiden ja liiallisen kastelun takia. Orgaaninen typpi mineralisoituu kasvien käyttöön ensi sijassa lämpötilan ohjaamana. Lisälannoitusten optimoinnin avulla voidaan reagoida kasvukauden olosuhteisiin ja sopeuttaa typpilannoitus kasvin typpentarpeeseen.

Vihannesviljelyn ravinnetalouden tarkentamiseksi on syytä tarkastella ravinteiden kiertoa koko viljelykierron aikana. Säästyneiden lannoitekilojen vaikutus viljelijän kustannuksiin on melko suoraviivaista arvioida tyypillisten vihanneksille annettavien lannoitteiden hinnoista. Lannoituksen tarkentamisen vaikutus kannattavuuteen on kuitenkin vaikeampi tehtävä silloin, kun viljelykierron aikana on kasveja, joilla esimerkiksi fosforin tarve vaihtelee ja jotka saattavat hyötyä vuosittain annettavasta fosforilannoituksesta eri suhteessa maaperän fosforivarantoon tai kasvukauden sään vaihteluihin nähden. Kotimaisen tutkimustiedon puute tulee korostetusti esiin, kun pyritään arvioimaan lannoituksen kannattavuutta vihannestuotannossa.

Vihannesten osalta viljelijän päätöksentekoa mutkistaa se, että sadosta saatava lisätuotto voi kattaa pienenkin lisäsadon tuottavan lannoitepanoksen aiheuttaman kustannuksen. Tällöin ylijäämäisten fosforilisäysten vähentämiseen ei välttämättä ole taloudellista painetta. Riski vesistökuormituksen lisääntymiseen kuitenkin kasvaa lannoitusylijiäämän kasvun myötä, eikä lannoitteen hinnan juuri ja juuri kuittaava lannoitustaso ole taloudellisesti kaikkein kannattavin. Kun sadonlisät tasoittuvat kasvien ravinnetarpeen tyydyttyessä, lannoitekustannukset nousevat aina samassa suhteessa käytettyyn lannoituspanokseen nähden. Yhdellä lannoitekilolla saadaan alhaisemmilla lannoitustasoilla suurempi sadonlisä kuin kilolla lannoitetta, joka on käytetty satokäyrän tasoittuessa korkeammalla lannoitustasolla.

Aiemman tiedon pohjalta on todettavissa, että erikoiskasvien tuotanto voi aiheuttaa vesistökuormitusta, jonka vähentäminen olisi tarpeen etenkin intensiivisillä viljelyalueilla. Viljelijöiden edun mukaista olisi, että eri kasvilajien lannoitustarpeesta olisi nykyistä kattavampi

tutkimustieto käytettävissä, jotta vesiensuojelun tavoitteet ja viljelyn taloudellinen kannattavuus voidaan sovittaa yhteen. Usein näiden tavoitteiden välillä ei ole minkäänlaista ristiriitaa.

1.6. Hankkeen tavoitteet

Vihannestuotannon kestävä ravinnehuolto -hankkeen tavoitteina oli

- tuottaa tietoa typpi- ja fosforilannoituksen vaikutuksesta vihannesten satoon, viljelyn talouteen ja vesistökuormitukseen
- tarkentaa vihannesten typpilannoituksen määrää ja ajoitusta hyödyntämällä mallinnusta
- lisätä viljelijöiden osaamista maaperän ja viljelykasvien ravinnetaloudesta ja havainnollistaa ravinnetalouteen liittyvien päätösten taloudellisia vaikutuksia.

Hankkeessa toteutettiin kenttä- ja tilakokeita (raportin luvut 2 ja 3). Lisäksi laadittiin selvitys kastelun merkityksestä viljelyn talouden ja typen huuhtoumariskin kannalta (luku 4) ja koottiin tietoa vihannestuotannon vesistövaikutuksista (luku 5). Tietoa vihannesten ravinteiden käytöstä jaettiin hankkeen järjestämissä tilaisuuksissa ja alan tapahtumissa.

2. Fosforilannoituksen sato- ja ympäristövaikutukset vihannestuotannossa

Risto Uusitalo, Kari Ylivainio, Terhi Suojala-Ahlfors, Timo Hurme, Johanna Pihala ja Sauli Jaakkola

Hankkeen fosforilannoitukseen liittyvän kokeellisen työn tavoitteina oli:

1. arvioida fosforilannoituksen satovasteita erityyppisillä mailla ja eri vihanneslajeilla
2. tuottaa tietoa vihannesviljelylohkojen fosforin käyttökelpoisuudesta kasveille
3. selvittää fosforin kuormitusriskiä ja arvioida kuormitusriskien muutoksia fosforitaseiden perusteella.

2.1. Fosforilannoituskokeet

2.1.1. Kenttäkokeiden toteutus Lukessa

Lukessa tehtiin vuosina 2018–2020 kenttäkokeita, joissa tutkittiin fosforilannoituksen vaikutusta lantun ja avomaankurkun satoon ja fosforin ottoon. Kokeet täydentävät vihannesten fosforilannoitusvasteisiin liittyvää tutkimusta, jossa ovat aiemmin olleet koekasveina sipuli, keräkaali, porkkana, mukulaselleri ja jäävuorisalaatti (Suojala-Ahlfors 2017, Suojala-Ahlfors ym. 2020). Tämän hankkeen kokeissa käytetty lanttu edustaa laajasti viljeltyä juuresten ryhmää. Avomaankurkku puolestaan poikkeaa useimmista vihanneksista siinä, että satona käytettävä kasvinosa on hedelmä, jonka fosforipitoisuus on varsin korkea, ja satoa kerätään parin kuukauden mittaisen satokauden ajan.

Kokeet toteutettiin savimailla, joissa maan fosforipitoisuus oli viljavuustutkimuksen mukaan välttävässä luokassa (taulukko 2). Poikkeuksena tästä oli vuoden 2020 toinen lanttukoe, joka toteutettiin hietamaalla, jonka fosforin viljavuusluokka oli tyydyttävä.

Kaikissa kokeissa vertailtiin neljää fosforilannoitustasoa, jotka olivat 0, 10, 30 ja 60 kg/ha (koetulosten yhteydessä merkinnät P0, P10, P30 ja P60). Hankkeen aikana voimassa olleiden ympäristökorvauksen ehtojen mukaan juureksilla fosforilannoituksen enimmäismäärä on tyydyttävässä viljavuusluokassa 55 kg/ha ja välttävässä viljavuusluokassa 75 kg/ha. Avomaankurkun viljelyssä (ryhmässä muut vihannekset) sallitut enimmäismäärät ovat tyydyttävässä luokassa 50 kg/ha ja välttävässä luokassa 60 kg/ha.

Taulukko 2. Luken fosforilannoituskokeiden tietoja.

Vuosi	Kasvi	Maalaji	Maan P-luku (mg/l)	Istutus-päivä	Sadonkorjuu-päivä
2018	lanttu	rm HeS	4,0–6,6	23.5.	23.8.
	avomaankurkku	rm HeS	4,2–6,3	25.5.	3.7.–29.8.
2019	lanttu	rm HtS	4,4–5,2	23.5.	4.9.
	avomaankurkku	rm HeS	4,4–6,6	4.6.	8.7.–11.9.
2020	lanttu	rm HeS	5,1–6,3	26.5.	11.8.
	lanttu	rm HtMr	8,6–10,0	28.5.	11.8.
	avomaankurkku	rm HeS	5,6–7,0	4.6.	2.7.–20.8.

Lannoituskäsittelyt toteutettiin yhdistelemällä eri lannoitteita (YaraMila Hevi1, YaraMila Hevi3, YaraBela suomensalpietari, Yara kaliumsulfaatti, Yara starttiravinne), jotta saatiin annosteltua haluttu fosforimäärä kuhunkin käsittelyyn ja muut ravinteet samoina määrinä kaikkiin käsittelyihin. Lisäksi koko alalle levitettiin hivenlannoitteita viljavuustutkimuksen osoittaman ravinnetilan mukaan (Hivenravinneseos/GreenCare Pro Extra ja Booriravinne). Lanttukokeissa kevätlannoituksessa annettiin typpeä 90 kg/ha, kaliumia 100–115 kg/ha sekä muita ravinteita arvioidun tarpeen ja käytössä olleiden lannoitteiden mukaan. Lisälannoituksessa kesä-heinäkuun vaihteessa lisättiin typpeä 40 kg/ha ja kaliumia 40–60 kg/ha (määrä vaihteli eri vuosina).

Avomaankurkulla kevätlannoitus kohdistettiin rivien kohtaan n. 80 cm leveälle kaistalle. Typpeä annettiin keväällä 60 kg/ha ja kaliumia 115 kg/ha sekä muita ravinteita arvioidun tarpeen mukaan yhdistelemällä eri lannoitteita kuten lanttukokeissa. Lisälannoitus toteutettiin kastelulannoituksena tihkuletkujen kautta. Se aloitettiin heinäkuun alussa ja sitä jatkettiin elokuun puoliväliin asti 1–2 kertaa viikossa. Tyypillinen viikkoannos kastelulannoituksessa oli typpeä 9 kg/ha, kaliumia 10 kg/ha ja kalsiumia 7 kg/ha. Kokonaismäärät vaihtelivat hieman vuosien välillä: typpeä annettiin kastelulannoituksessa yhteensä 60–70 kg/ha.

Kenttäkokeet toteutettiin satunnaistettujen täydellisten lohkojen kokeena, jossa neljä vertailtavaa lannoituskäsittelyä oli satunnaistettu erikseen kuhunkin neljään koelohkoon ("kerranteseen"). Koeruutuja oli näin 16 kpl/koe. Koeruudun koko oli lanttukokeissa 2 m x 3,6–4,6 m (pituus vaihteli eri vuosina) ja kurkkukokeissa 1,5 m x 8 m. Lanttukokeissa ruudussa oli 50 cm välein neljä taimiriviä, joihin taimet istutettiin 20 cm välein (kuva 1). Kurkkukokeissa koeruutu sisälsi yhden muovilla katetun taimirivin, jossa taimet istutettiin 25 cm välein (kuva 2). Koealuiden reunoilla oli lisäksi suojarivit.

Lanttu (lajike 'Globus') viljeltiin taimista, jotta saatiin varmistettua tasainen kasvutiheys. Taimet kasvatettiin Lukessa ja istutettiin noin 4 viikon ikäisinä avomaalle. Kasvusto peitettiin hyönteisverkolla koko kasvukauden ajaksi tuholaisten torjumiseksi. Vuosien 2018 ja 2019 kokeissa verkon silmäkoko oli 1,2 x 1,2 mm, mikä ei täysin pitänyt tuholaisia loitolla. Vuoden 2020 kokeessa käytettiin tiheämpää verkkoa (silmäkoko 0,6 x 0,6 mm), mikä piti tuholaiset muuten kurissa, mutta loppukasvukaudella kasvustossa oli kaalikoita, joka oli ilmeisesti päässyt munimaan verkon alle lisälannoituksen ja näytteiden oton yhteydessä.

Avomaankurkun lajike oli vuonna 2018 ja 2020 'Corentine' ja vuonna 2019 'Monolit'. Vuonna 2018 taimet kasvatettiin Lukessa, mutta muina vuosina taimet ostettiin viljelijältä. Taimet istutettiin touko-kesäkuun vaihteessa, ja kasvusto peitettiin harsolla kasvukauden alussa vuosina 2018 ja 2019. Vuonna 2018 merkittävä osa taimista tuhoutui istutuksen jälkeen harson hakattua taimia poikki, minkä vuoksi osa taimista jouduttiin korvaamaan uusilla 13.6., jotta kasvustoon ei jäänyt aukkoja. Muina vuosina jouduttiin vaihtamaan vain muutamia taimia.



Kuva 1. Lanttu viljeltiin Luken kenttäkokeissa taimista. Koealue peitettiin istutuksen jälkeen hyönteisverkolla. Kuva: Terhi Suojala-Ahlfors.



Kuva 2. Avomaankurkkukokeet tehtiin Luke Piikkiössä hiuesavimaalla. Penkeissä oli tihkukas-telu, mutta alkukesällä kasvuun lähtöä varmistettiin kevytsadettimilla. Kuva: Terhi Suojala-Ahlfors.

Havainnot ja mittaukset

Lanttukokeissa otettiin heinäkuun alussa kasvustonäyte (4 tainta/koeruutu), josta määritettiin mukulan ja lehtien tuore- ja kuivamassat sekä analysoitiin typen ja kivennäisravinteiden pitoisuudet. Vuonna 2019 näytteitä ei otettu kasvuston heikon kunnon takia. Sadonkorjuuvaiheessa punnittiin sato ja arvioitiin sen kauppakelpoisuus kahden keskimmäisen rivin sadosta 2,4 tai 3 metrin matkalta. Lisäksi otettiin 6 kasvia joka koeruudusta lehtineen kuiva-aine- ja ravinnemäärityksiin.

Avomaankurkkukokeissa otettiin kasvustonäytteet (2 kasvia/koeruutu) heinä-elokuun vaihteessa, jolloin kasvuston arvioitiin olevan rehevimmillään. Näytekasveista eroteltiin varret, lehdet ja hedelmät ja punnittiin näiden tuorepainot ja määritettiin kuiva-ainepitoisuus ja myöhemmin myös ravinnepitoisuudet. Kasvustonäytteitä ei kerätty vuoden 2018 kokeessa, jossa taimien kuolemat ja korvaamisen uusilla taimilla aiheuttivat kasvustoon jonkin verran epätasaisuutta alkukasvukaudella. Sen sijaan joka vuosi otettiin sadosta näytteet kuiva-aine- ja ravinnemäärityksiin 1–2 kertaa satokaudella.

Kurkun satoa poimittiin kaksi kertaa viikossa siitä lähtien, kun kasvustossa oli poimintakokoisia hedelmiä. Satokauden loppupuolella poimintaa harvennettiin yhteen kertaan viikossa vuonna 2019. Hedelmät lajiteltiin kauppakelpoisiin, pieniin, tautien voittamiin ja epämuotoisiin.

Kasvi- ja satonäytteiden ravinneanalyysit tehtiin Luken Jokioisten laboratoriossa. Typpipitoisuudet määritettiin Kjeldahl-menetelmällä ja muut ravinnepitoisuudet typpihappohajoituksen jälkeen ICP-OES:llä. Molemmat menetelmät ovat Finas-akkreditoituja kasvimateriaalille. Kuiva-ainesadon ja fosforipitoisuuksien perusteella määritettiin kasvuston fosforin otto. Fosforin peltotase laskettiin annetun fosforilannoituksen ja sadon ottaman fosforimäärän erotuksena.

2.1.2. Tilakokeiden toteutus

Tilakokeita tehtiin vuosina 2018–2020 yhteensä 12 kappaletta (taulukko 3, kuva 3). Yksi lanttu-kasvustoista vioittui tuholaisten takia vuonna 2019 niin pahasti, ettei siitä korjattu satoa. Tilakokeissa verrattiin viljelijän peltolohkolla käyttämää fosforilannoitusmäärää yhteen tai useampaan muuhun lannoitusmäärään (taulukko 3).

Keräkaalikokeissa viljelijä levitti lannoitteet ennen istutusta hajalevityksenä peltoon. Lannoitus-käsittelyihin otetut koeruudut peitettiin lannoituksen ajaksi pressuilla ja korvaavat lannoitteet levitettiin käsin koeruudun alalle. Poikkeuksena oli vuoden 2018 koe, jossa viljelijä ei lisännyt lohkolle lainkaan fosforia, mutta käsittelyt P5 tai P25 kg/ha tehtiin lisäämällä koeruuduille tarvittavat määrät superfosfaattia.

Lanttukokeissa viljelijät käyttivät sijoituslannoitusta. Muut lannoituskäsittelyt toteutettiin niin, että koeruutujen alalle levitettiin halutut lannoitemäärät hajalevityksenä käsin eikä sijoituslannoitusta tehty näille aloille. Samoin toteutettiin sipulikokeet. Lisäksi sipuliviljelijällä oli käytössä nestemäinen starttilannoitus (Next FertiPhos), joka sisältyi korkeimpaan P-lannoituskäsittelyyn ja oli vuosina 2019 ja 2020 ainoa fosforilannoitus P4- tai P3-käsittelyissä.

Kaikissa kokeissa muiden ravinteiden kuin fosforin määrät pyrittiin tasaamaan käsittelyiden välillä mahdollisimman tarkasti yhdistelemällä eri lannoitteita. Kasvukauden lisälannoitukset viljelijät toteuttivat oman suunnitelmansa mukaisesti, eikä niissä käytetyt lannoitteet sisältäneet fosforia.

Kokeet toteutettiin satunnaistettujen täydellisten lohkojen koemallin mukaisesti. Kullakin koepaikalla käsittelyt toistettiin kolmessa lohkoissa, eli eri käsittelyiden koeruudut sijaitsivat

vierekkäin tai peräkkäin kolmessa kohtaa peltoa. Poikkeuksena oli vuoden 2018 sipulikoe, jossa käsittelyt sijoitettiin neljään lohkoon eli neljään kohtaan peltoa. Koeruutujen koot vaihtelivat viljelyssä käytettyjen istutus-/kylvökoneiden koon mukaan; keräkaaliruudut olivat suurimpia (5 m x 10 m), muilla kasveilla koeruutujen leveys vaihteli 1,8 ja 3,6 metrin välillä ja pituus 6 ja 10 metrin välillä.

Keskikesällä kokeissa otettiin lehtinäytteet kasvianalyyysiin. Poikkeuksia olivat vuosien 2019 ja 2020 lanttukokeet, jotka viljeltiin hyönteisverkon alla eikä näistä siksi otettu lehtinäytteitä.

Sato korjattiin kokeista ennen viljelijän tekemää sadonkorjuuta. Satoruudun alalta (5–10 m² kasvusta ja koepaikasta riippuen) nostettiin kaikki kasvit ja punnittiin kokonaissadon ja kauppakelpoisen sadon määrä. Lisäksi otettiin ravinneanalyysiin jokaisesta koeruudusta erillinen sato näyte, joka oli kaalikokeissa 4 kasvia, sipulikokeissa 15 kasvia ja lanttukokeissa 6 kasvia. Näistä määritettiin sato-osan ja muiden maanpäällisten kasvinosien tuore- ja kuiva-ainemassat. Kuivatusta osanäytteistä määritettiin typpi- ja kivennäispitoisuudet Luken Jokioisten laboratoriossa. Sadon massan ja ravinnepitoisuuksien avulla laskettiin kasvuston ottamien fosforin ja muiden ravinteiden määrät pinta-alaa kohti. Fosforin peltotase laskettiin annetun fosforilannoituksen ja sadon ottaman fosforimäärän erotuksena.



Kuva 3. Tilakokeissa verrattiin viljelijän pellolla käyttämää fosforilannoitusta yhteen tai useampaan lannoitusmäärään, mukana oli aina ilman fosforilannoitusta viljeltyt ruudut. Koeruudut sijoitettiin peltolohkolla vierekkäin tai peräkkäin kolmeen kohtaan peltoa. Kuva: Johanna Pihala.

Taulukko 3. Tilakokeiden viljelytietoja.

Vuosi	Kasvi	Maakunta	Maalaji	Maan P-luku (mg/l)	P-lannoitus (kg/ha)	Istu- tus/ kylvö- päivä	Sadon- korjuu päivä
2018	sipuli	Varsinais- Suomi	Mm	5,5–7,3	0, 32, 36	10.5.	21.8.
	kerä- kaali	Satakunta	m/rm HtMr	11–20	0, 5, 25	19.5.	4.10.
	lanttu	Satakunta	m HtMr	13–18	0, 32	16.5.	4.10.
	lanttu	Satakunta	m KHt	19–22	0, 23	1.6.	4.10.
2019	sipuli	Varsinais- Suomi	rm HtS	4,3–9	0, 4, 32, 36	1.5.	27.8.
	kerä- kaali	Satakunta	m/rm HtMr	36–57	0, 15, 40	11.5.	17.9.
	lanttu	Satakunta		-	0, 15, 32	15.5.	-
	lanttu	Varsinais- Suomi	rm HtMr	5,6–9,3	0, 15, 40	6.6.	2.10.
2020	sipuli	Varsinais- Suomi	Ct	6,8–14	0, 3, 23, 26	26.4.	28.8.
	kerä- kaali	Satakunta	rm HeS/HtMr	39–91	0, 15, 38	19.5.	22.9.
	lanttu	Satakunta	rm HeS	7,4–12	0, 15, 32	22.5.	22.9.
	lanttu	Varsinais- Suomi	rm HeS	6,0–8,1	0, 15, 40	3.6.	28.9.

Maa-analyysit

Luken kenttäkokeiden jokaisesta koeruudusta otettiin maanäyte viljavuusanalyysiin keväällä ennen lannoitusta. Myös tilakokeissa otettiin maanäytteet pääsääntöisesti jokaisesta koeruudusta keväällä ennen lannoitusta, mutta joissain tapauksissa näytteet otettiin vain alimman ja korkeimman P-lannoituskäsittelyn ruuduilta. Taulukoissa 2 ja 3 on esitetty koeruutukohtaisten viljavuustutkimuksen P-lukujen vaihteluvälit koepaikoittain. Viljavuusanalyysit teetettiin Eurofins Viljavuuspalvelussa.

Ilman fosforilannoitusta viljeltyjen kontrolliruutujen maan fosforipitoisuus analysoitiin lisäksi DGT-menetelmällä (Ylivainio ym. 2017). DGT-menetelmä (DGT=diffusive gradient in thin films) perustuu fosforin liikkumiseen eli diffuusion maasta geelikalvon suojaamaan rautahydroksidiin. Fosforin sitoutuessa rautahydroksidiin syntyy liukoisen fosforin pitoisuusero maanesteen ja DGT-yksikön sisältämän geeliportin välille, mikä saa aikaiseksi fosforin diffuusion kohti rautahydroksidigeeliä. Menetelmän katsotaan matkivan kasvien juurten fosforinottoa, ja sen on todettu korreloivan hyvin kasveille käyttökelpoisen fosforipitoisuuden kanssa. Tässä hankkeessa otettujen maanäytteiden lisäksi analysoitiin vuosien 2014–2016 PuutarhaNP-hankkeen

kenttäkokeista peräisiä olevia maanäytteitä arvioitaessa DGT-menettelyn soveltuvuutta kasveille käyttökelpoisen fosforipitoisuuden määrittämiseksi.

Sadesimulaatiot ja maan fosforilukujen mallinnus

Tilakokeiden maiden muokkauskerroksesta otettiin lisäksi suuremmat maanäytteet, joille tehtiin sadesimulaatiokoe (ks. Laakso ym. 2017). Kokeen tarkoituksena oli laajentaa aineistoa, jolla tarkastellaan maan P-luvun ja sadetuksessa maan kanssa kontaktissa olevan veden liunneen fosforin välistä yhteyttä. Kuivat maanäytteet pakattiin halkaisijaltaan 15 cm:n PVC-lieriöihin, joiden alaosaan oli kiinnitetty muoviverkko ja verkon päällä noin 5 cm:n kerros pestyä kvartsihiekkä tukikerroksena. Maakerroksen vahvuus kvartsihiekan päällä oli noin 10 cm. Maan pinta suojattiin kangaspalalla, minkä jälkeen näytteet kostutettiin hitaasti usean päivän aikana ripotteleamalla vettä maan mururakenteen suojana kostutuksen ajan toimivalle kankaalle. Kostutuksen jälkeen kangas poistettiin ja lieriöt vietiin laboratoriosadettimen alle, missä näytteitä sadetettiin 5 mm/h intensiteetillä noin 3 tunnin ajan. Maakerroksen läpi valunut vesi kerättiin talteen ja sen liunneen fosforin pitoisuus määritettiin spektrofotometrillä. Tulokset yhdistettiin aiempien samalla tavoin tehtyjien sadetusten aineistoon.

Maan P-luvun muutosta mallinnettiin käyttämällä kolmea eri viljelykiertoa. P-luvun muutosta tarkasteltiin kahden viisivuotisen kierron ajan käyttäen maana multavaa savimaata, jonka P-luku oli 4 (välttävä fosforiluokka), 8 (tyydyttävä) tai 16 mg/l (hyvä). Kiertojen kasvivuorotus, mallinnuksessa käytetyt fosforilannoitusmäärät (ympäristökorvauksen sallimat maksimimäärät), sadon fosforin otto, sekä peltotase on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Maan fosforiluvun muutoksen mallinnuksessa lannoitusta ja kasvien fosforin ottoa (kg/ha) koskevat oletukset. Fosforilannoitusmäärinä mallinnuksessa käytettiin ympäristökorvauksen maksimimääriä ja sadon fosforin ottona tämän hankkeen tilakokeiden tyypillisen satomäärän ottamaa fosforia. Peltotase (kg/ha) laskettiin lannoituksen ja fosforinoton erotuksena. Mallinnus on tehty olettaen fosforiluvun alkupitoisuudeksi 4, 8 ja 16 mg/l (viljavuusluokat "välttävä", "tyydyttävä" ja "hyvä"). Näihin viljavuusluokkiin liittyvät lannoitus ja taseet on erotettu taulukossa kauttavii-voilla.

Vuosi	Kierto 1				Kierto 2				Kierto 3			
	Kasvi	P-lannoitus	P:n otto	P-tase	Kasvi	P-lannoitus	P:n otto	P-tase	Kasvi	P-lannoitus	P:n otto	P-tase
1	Lanttu	75/ 55/35	30	45/ 25/ 5	Sipuli	80 / 60 /40	18	62 / 42 / 22	Keräkaali	80 / 60 /40	33	47 / 27 / 7
2	Vilja	16 / 10 / 5	14	2 / -4 / -9	Keräkaali	80 / 60 /40	33	47 / 27 / 7	Sipuli	80 / 60 /40	18	62 / 42 / 22
3	Vilja	16 / 10 / 5	14	2 / -4 / -9	Vilja	16 / 10 / 5	14	2 / -4 / -9	Vilja	16 / 10 / 5	14	2 / -4 / -9
4	Vilja	16 / 10 / 5	14	2 / -4 / -9	Vilja	16 / 10 / 5	14	2 / -4 / -9	Lanttu	75 / 55 / 35	30	45 / 25 / 5
5	Vilja	16 / 10 / 5	14	2 / -4 / -9	Vilja	16 / 10 / 5	14	2 / -4 / -9	Vilja	16 / 10 / 5	14	2 / -4 / -9
6	Lanttu	75 / 55 / 35	30	45 / 25 / 5	Sipuli	80 / 60 /40	18	62 / 42 / 22	Keräkaali	80 / 60 /40	33	47 / 27 / 7
7	Vilja	16 / 10 / 5	14	2 / -4 / -9	Keräkaali	80 / 60 /40	33	47 / 27 / 7	Sipuli	80 / 60 /40	18	62 / 42 / 22
8	Vilja	16 / 10 / 5	14	2 / -4 / -9	Vilja	16 / 10 / 5	14	2 / -4 / -9	Vilja	16 / 10 / 5	14	2 / -4 / -9
9	Vilja	16 / 10 / 5	14	2 / -4 / -9	Vilja	16 / 10 / 5	14	2 / -4 / -9	Lanttu	75 / 55 / 35	30	45 / 25 / 5
10	Vilja	16 / 10 / 5	14	2 / -4 / -9	Vilja	16 / 10 / 5	14	2 / -4 / -9	Vilja	16 / 10 / 5	14	2 / -4 / -9
	Taseen summa			106 / 18 / -62				230 / 114 / 4				316 / 172 / 32

2.1.3. Tulokset

Sato Luken kokeissa

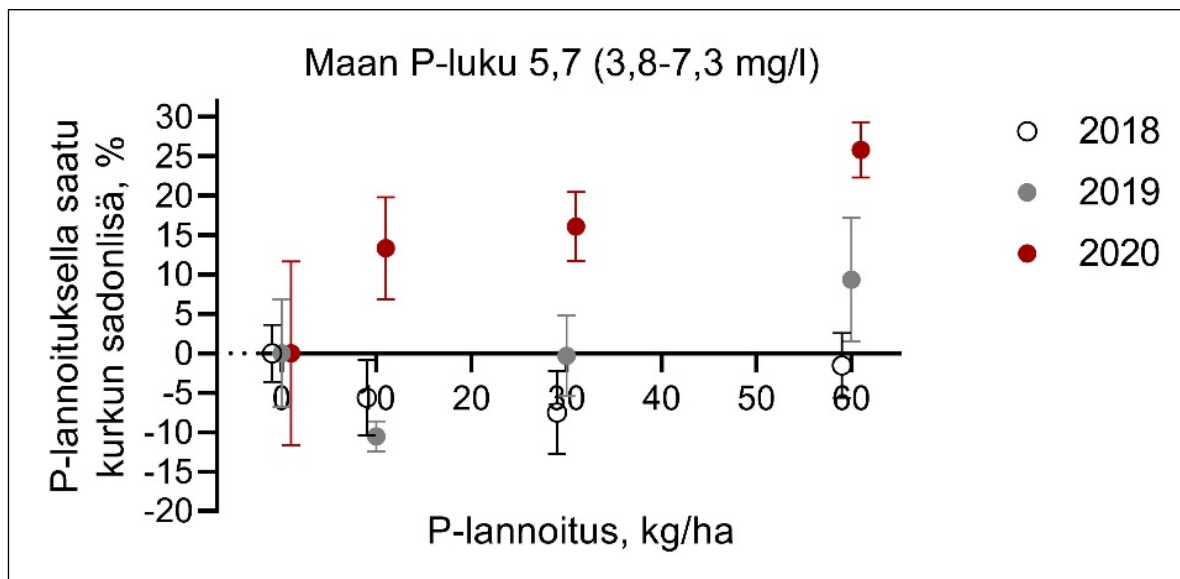
Luken Piikkiössä toteutettujen fosforilannoituskokeiden tulosten yhteenveto on esitetty taulukossa 5. Kurkkukokeet toteutettiin savimaalla, jossa otettiin eri vuosina saman lohkon eri osia koealaksi. Koealojen P-luvun keskiarvot olivat eri vuosina 5,3–6,1 mg/l (näytteiden vaihteluväli 3,8–7,3 mg/l) eli fosforiluokassa "välttävä". Näin alhaisessa maan P-tilassa kurkun odotettiin antavan sadonlisää fosforilannoituksella.

Lanttukokeita toteutettiin Piikkiössä kahden savimaalohkon eri osissa kolmena vuotena ja lisäksi yksi koe hietamaalla vuonna 2020. Savimaan eri vuosien koealojen P-luvut olivat 4,7–5,6 mg/l (näytteiden vaihteluväli 4,4–6,6 mg/l; fosforiluokka "välttävä"), joten fosforilisäysten odotettiin antavan sadonlisää verrattuna ilman fosforilannoitusta viljeltyihin koeruutuihin. Hietamaan kokeen P-luku oli 9,4 mg/l (vaihteluväli 8,6–10 mg/l; "tydyttävä"-luokan alarajalla), minkä oletettiin hietamaalla olevan vaativammalle kasville niin matala, että fosforilisäyksillä saataisiin myös tällä loholla satovastetta.

Taulukko 5. Piikkiössä tehtyjen fosforilannoituskokeiden neljän koeruudun keskimääräiset maan P-luvut, korjatun sadon määrät, sadon fosforin otot ja lannoituskäsittelyjen peltotaseet.

Vuosi	Kasvi	Koeruutujen P-luku (mg/l)	P-lisäys (kg/ha)	Sato (1000 kg/ha)	Sadon fosforin otto (kg/ha)	Peltotase (kg/ha)
2018	Kurkku	5,4	0	69	16,9	-16,9
	Kurkku	5,6	10	65	16,1	-6,1
	Kurkku	5,3	30	63	15,3	14,7
	Kurkku	4,9	60	68	16,4	43,6
2019	Kurkku	5,8	0	71	19,5	-19,5
	Kurkku	5,5	10	63	20,3	-10,3
	Kurkku	5,6	30	71	21,9	8,1
	Kurkku	5,9	60	78	23,2	36,8
2020	Kurkku	6,3	0	50	8,2	-8,2
	Kurkku	6,3	10	56	10,0	0,0
	Kurkku	6,0	30	58	10,7	19,3
	Kurkku	5,8	60	63	12,4	47,6
2018	Lanttu	5,3	0	79	26,7	-26,7
	Lanttu	5,6	10	87	30,4	-20,4
	Lanttu	5,7	30	85	31,5	-1,5
	Lanttu	5,8	60	84	35,1	24,9
2019	Lanttu	4,8	0	31	10,6	-10,6
	Lanttu	4,8	10	30	11,7	-1,7
	Lanttu	4,6	30	34	14,3	15,7
	Lanttu	4,5	60	40	18,6	41,4
2020	Lanttu	5,6	0	66	23,9	-23,9
	Lanttu	5,7	10	70	25,2	-15,2
	Lanttu	5,6	30	70	28,8	1,2
	Lanttu	5,5	60	73	33,7	26,3
2020	Lanttu	9,5	0	91	33,0	-33,0
	Lanttu	9,4	10	91	33,9	-23,9
	Lanttu	9,3	30	89	36,0	-6,0
	Lanttu	9,2	60	92	39,6	20,4

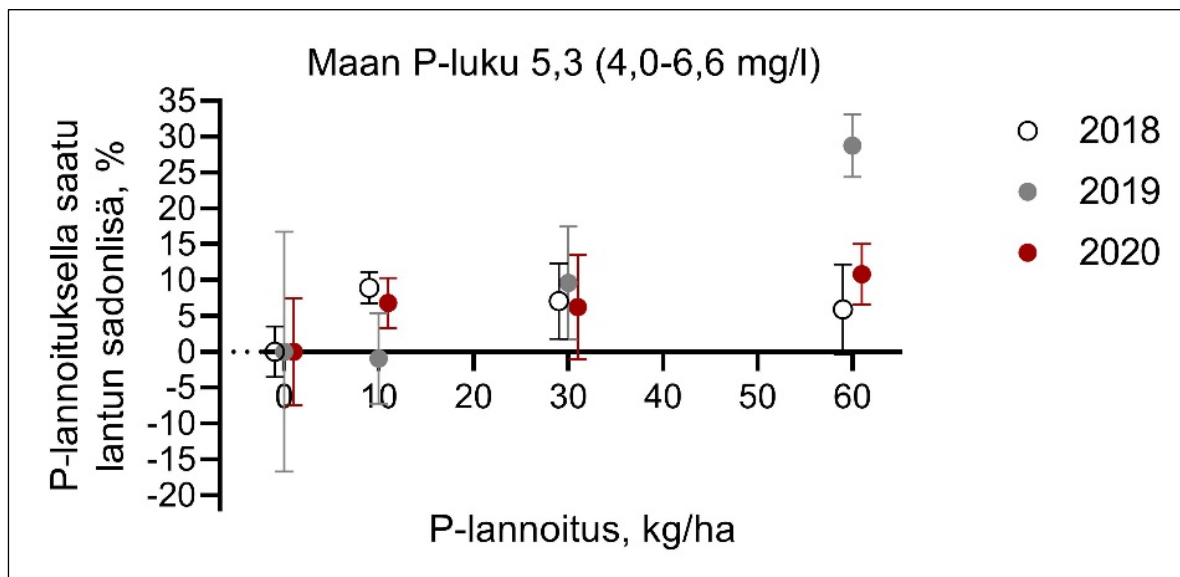
Kurkkukokeissa saatiin selkeä sadonlisäys viimeisenä koevuotena (kuva 4), mutta kahtena ensimmäisenä vuotena fosforilannoituksen satovaikutukset jäivät vähäisiksi tai toteutumatta kokonaan. Kolmen koevuoden keskimääräiset kurkkusadot olivat samoja käsittelyissä P0 ja P10, kun taas P30-käsittely antoi 3 %:n ja P60-käsittely 11 %:n sadonlisän P0-käsittelyyn verrattuna. Tulos oli samansuuntainen, tarkasteltiinpa satokertymää koko kasvukauden aikana tai satokauden eri jaksoina. Kauppakelpoisen sadon osuus oli kaikissa käsittelyissä 84–86 % kokonaissadosta, eikä fosforilannoitus vaikuttanut siihen lainkaan.



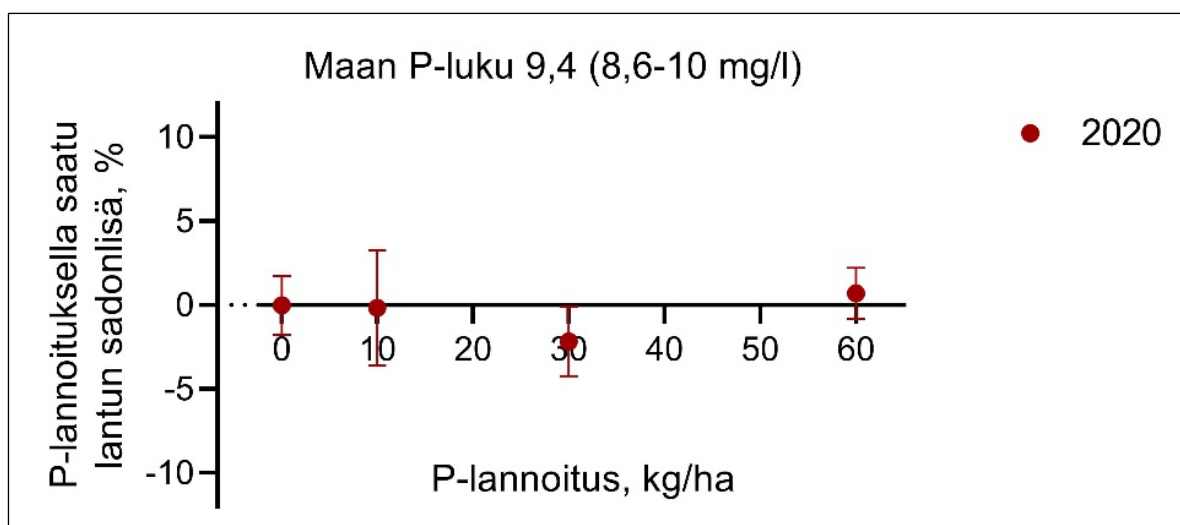
Kuva 4. Kurkun sadonlisät (% P0-käsittelyyn verrattuna) fosforilannoituksella Piikkiössä kolmen vuoden kenttäkokeissa, jotka tehtiin "välttävässä" viljavuusluokassa olevalla savimaalla. Virhe-ajanat näyttävät keskivirheen (SEM) suuruuden neljän rinnakkaisen koeruudun välillä.

Lantulla savimaalla tehdyissä kokeissa fosforilisäykset kasvattivat satoa lähes kaikkina koevuosina melko tasaisesti suuremmaksi kuin P0-käsittelyssä (kuva 5). Kolmen vuoden keskiarvoina P10-käsittelyn antama sadonlisä savimaalla oli 5 %, P30-käsittelyn 8 % ja P60-käsittelyn 15 % P0-käsittelyn satoon verrattuna. Vuoden 2019 kokeessa P10-käsittely ei kuitenkaan antanut sadonlisää, mutta P60-käsittelyn sadonlisä oli 28 % P0-käsittelyyn verrattuna. Kauppakelpoisen sadon osuus kokonaissadosta oli savimaalla P0-käsittelyssä (kolmen kokeen keskiarvo) 84 %, P10- ja P30-käsittelyissä 89 % ja P60-käsittelyssä 96 % kokonaissadosta. Näin ollen fosforilisäykset "välttävän" fosforiluokan savimaalla kasvattivat lantun satoa ja kauppakelpoisen sadon osuutta suunnilleen samalla tavoin.

Hietamaalla vuonna 2020 tehdyssä kokeessa lanttu ei antanut lainkaan sadonlisää fosforilisäyksille (kuva 6). Hietamaan kokeessa kauppakelpoisen sadon osuus oli 91–96 % kokonaissadosta, ja suurin kauppakelpoisen sadon osuus tässä kokeessa saatiin P0-käsittelystä. Tässä "tyydyttävän" fosforiluokan hiedalla tehdyssä kokeessa fosforilisäykset eivät siten kasvattaneet sadon määrää tai vaikuttaneet sen laatuun.



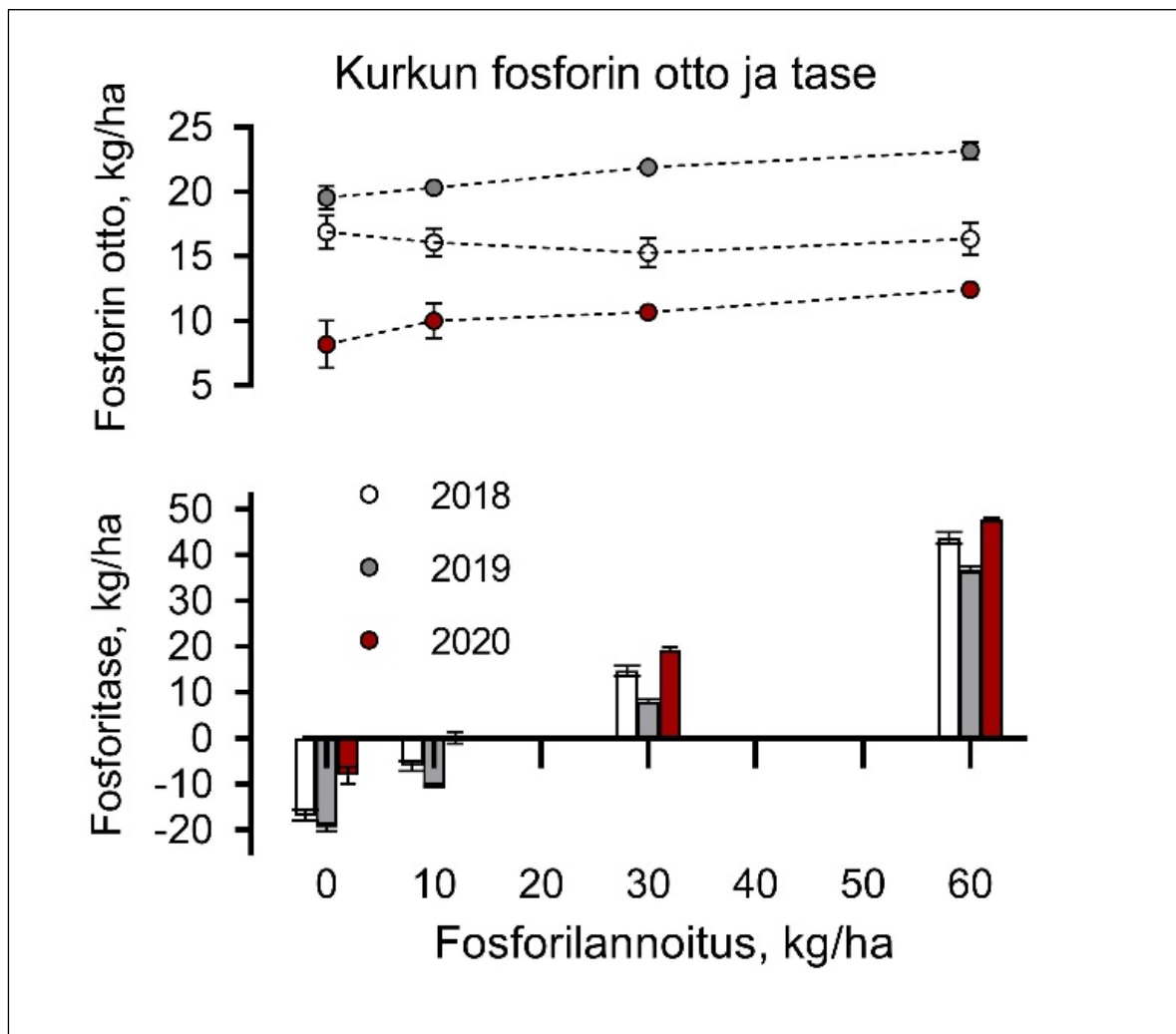
Kuva 5. Lantun mukulasatojen lisäykset (% P₀-käsittelyyn verrattuna) fosforilannoituksella Piikkiössä kolmen vuoden kenttäkokeissa, jotka tehtiin "välttävässä" viljavuusluokassa olevalla savimaalla. Virhejanat näyttävät keskivirheen (SEM) suuruuden neljän rinnakkaisen koeruodun välillä.



Kuva 6. Lantun mukulasatojen lisäykset (% P₀-käsittelyyn verrattuna) fosforilannoituksella Piikkiössä kenttäkokeessa, jotka tehtiin "tyydyttävässä" viljavuusluokassa olevalla hietamaalla vuonna 2020. Virhejanat näyttävät keskivirheen (SEM) suuruuden neljän rinnakkaisen koeruodun välillä.

Fosforin otto ja fosforitaseet Piikkiön kokeissa

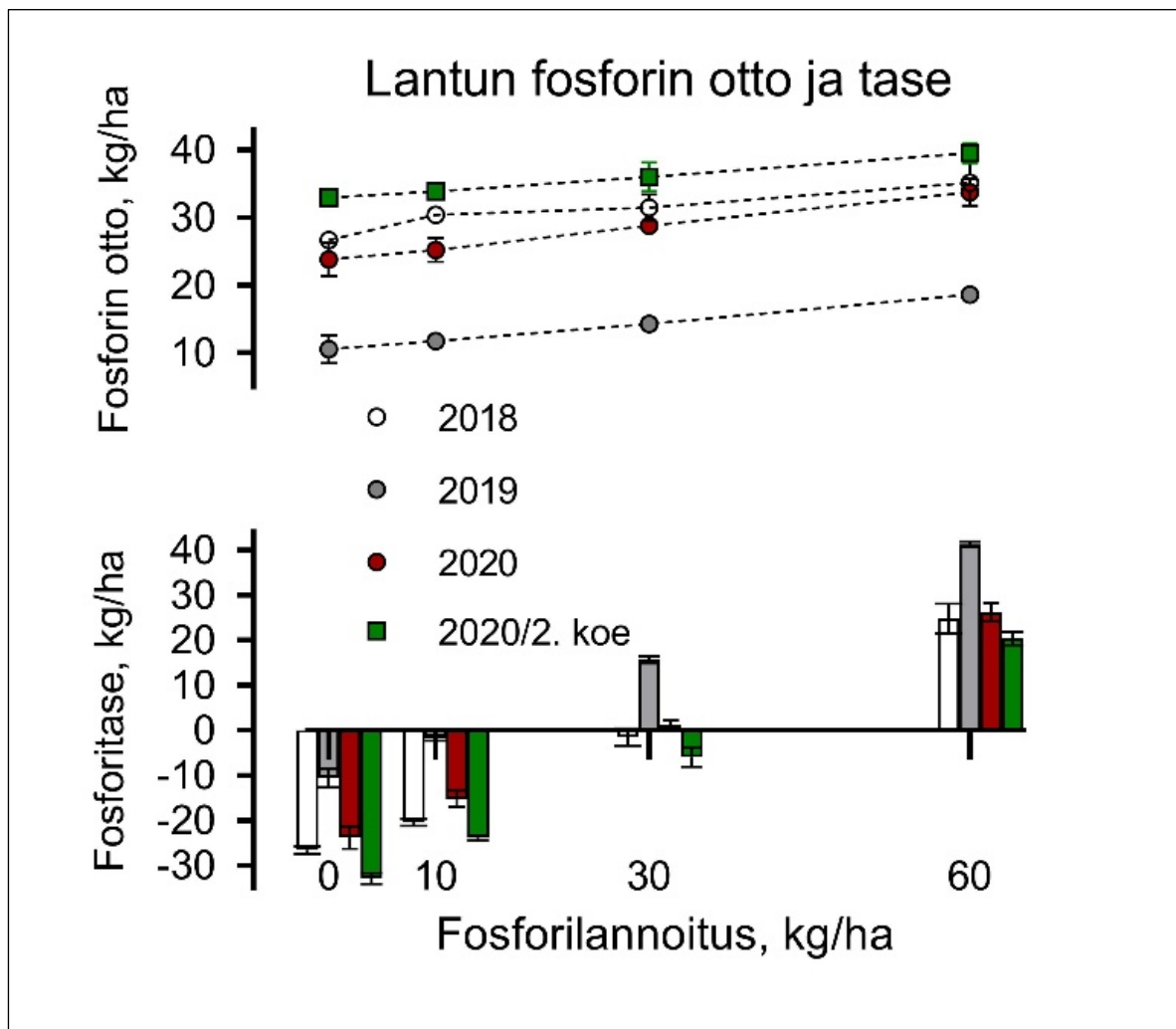
Luken kurkkukokeissa sadon fosforin otto oli keskimäärin noin 16 kg/ha tai 0,24 kg satotonna kohden (kuva 7). Kolmena koevuotena taseylijäämiä todettiin lannoituskäsitellyissä P30 ja P60. Aineistoon sovitettun suoran mukaan fosforitase oli alijäämäinen alle 16 kg/ha P-lannoitusmäärillä, ja tätä korkeammilla lannoitusmäärillä alkoi kertyä taseen ylijäämää. Korkein kokeessa käytetty lisäystaso P60 vastasi ympäristökorvausohjelman kurkulle sallimaa maksimilannoitusta (60 kg/ha) "välttävän" fosforiluokan maalle. Tällä lannoitustasolla keskimääräiseksi taseylijäämäksi mitattiin 43 kg/ha eri koevuosien ylijäämän vaihdellessa välillä 37–48 kg/ha (kuva 7).



Kuva 7. Kurkun sadon fosforin otto (yläkuva) ja peltotase (alakuva) Piikkiön kolmen vuoden kenttäkokeissa "välttävän" fosforiluokan savimaalla. Virhejanat näyttävät keskivirheen (SEM) suuruuden neljän rinnakkaisen koeruodun välillä.

"Välttävän" fosforiluokan savimaalla lanttusadon fosforin otto oli kolmen vuoden kokeissa keskimäärin 24 kg/ha tai 0,39 kg satotonna kohden. "Tyydyttävän" luokan alarajalla olevalla hiedalla fosforin otto oli savimaan koetta suurempaa, keskimäärin 36 kg/ha, mutta satotonna kohden laskettu otto oli sama 0,39 kg kuin savimaan kokeen kolmen vuoden keskiarvo. Molemmilla mailla taseylijäämää alkoi kertyä P-lisäysten ylittäessä 25–35 kg/ha (kuva 8). Savimaan kokeiden suurimmalla lisäystasolla P60 mitattiin kolmen vuoden kokeiden keskiarvona reilun 30 kg/ha taseylijäämä, yksittäisinä koevuosina 19–35 kg/ha.

Ympäristöohjelmien suurin sallittu lannoitus lantulle olisi "välttävässä" fosforiluokassa ollut 75 kg/ha. Kun yhdestä lannoitekilosta päätyi kokeissa lähes 0,9 kg/ha taseylijäämään, fosforitase olisi sallitulla maksimilisäyksellä "välttävän" fosforiluokan maalla mitä todennäköisimmin päätynyt tasolle 40–45 kg/ha. "Tyydyttävässä" fosforiluokassa olevalla hietamaalla ympäristöohjelman suurin sallittu lannoitus, 55 kg/ha, olisi tarkoittanut 15–20 kg/ha taseylijäämää. Satovasteita hietamaan kokeessa ei havaittu, mutta lanttusadon fosforipitoisuus kasvoi lannoitusmäärän lisääntyessä. Noin 90 % lisätystä lannoitefosforista päätyi maahan käyttämättä jääneeseen varantoon, eli taseen ylijäämäksi.



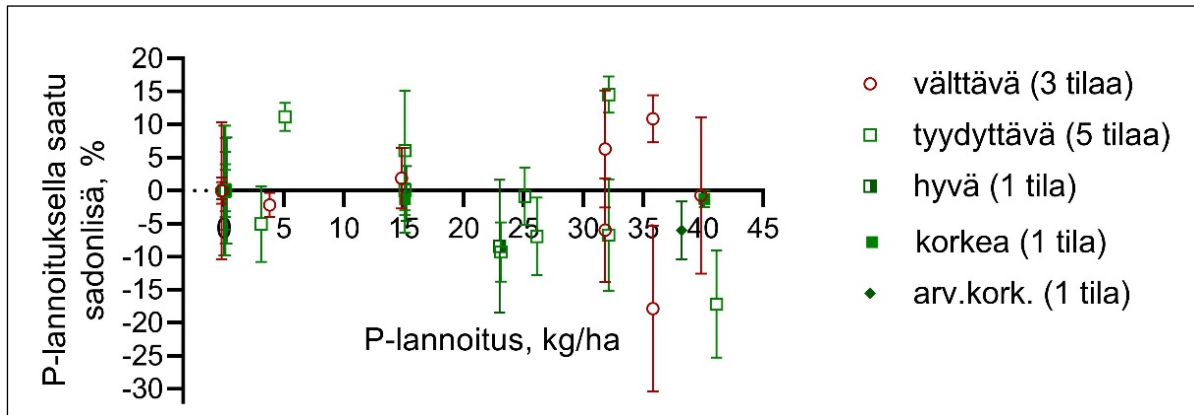
Kuva 8. Lantun sadon fosforin otto (yläkuva) ja peltotase (alakuva) Piikkiön kolmen vuoden kenttäkokeissa. Merkintä "2020/2. koe" on "tyydyttävässä" viljavuusluokassa hietamaalla tehty koe, muut kokeet tehtiin "välttävän" fosforiluokan savimailla. Virhejanat näyttävät keskivirheen (SEM) suuruuden neljän rinnakkaisen koeruudun välillä.

Sato ja fosforitaseet tilakokeissa

Hankkeen aikana tehtiin yhteistyössä viiden tilan kanssa kokeita eri maalajeilla ja vaihtelevissa maan fosforiluokissa. Kuten Piikkiön kokeissa, kaikissa tilakokeissa oli P0-käsittely (ei lisättyä fosforilannoitetta), johon P-lannoitetta saaneiden ruutujen satomääriä verrattiin. Useimmiten kokeissa oli P0-käsittelyn lisäksi kaksi P-lisäystasoa, joissakin kokeissa kolme. Kullakin käsitteilyllä oli kolme (yhdessä kokeessa neljä) rinnakkaista koeruutua. Kokeissa kasveina oli lanttu (5 koetta), keräkaali (3 koetta) ja sipuli (3 koetta). Kokeiden tulokset on esitetty kuvassa 9 ja taulukossa 6. Kuva 9 näyttää sadonlisät kootusti koko aineistossa fosforin viljavuusluokan mukaan ja taulukossa 6 on esitetty koekäsittelyjen antamat satokeskiarvot kokeittain.

Yleisesti fosforilannoituksen vaikutukset satoon olivat vähäisiä. Jos niitä mitattiin, sadonlisää tuli fosforiluokissa "välttävä" ja "tyydyttävä". Vain kahdessa kokeessa korkein käytetty fosforilisäystaso tuotti suuremman sadon kuin ilman fosforilannoitusta viljelty P0-käsittelyn sato. Muutoin suurimman lisäysmäärän antaneet satomäärät olivat samoja tai jopa hieman pienempiä kuin P0-käsittelyssä (taulukko 6). Vähäiset satovasteet osoittavat, etteivät kasvit yleisesti kärsineet fosforin puutteesta koepaikoilla. Toisaalta sadon fosforin otto oli niin suurta, että suuria

fosforylijäämiä ei esiintynyt korkeimmilla käytetyillä lisäysmäärillä. Ainoastaan yhdessä ko-
keessa maahan jäi käyttämätöntä fosforia yli 20 kg/ha (taulukko 6).



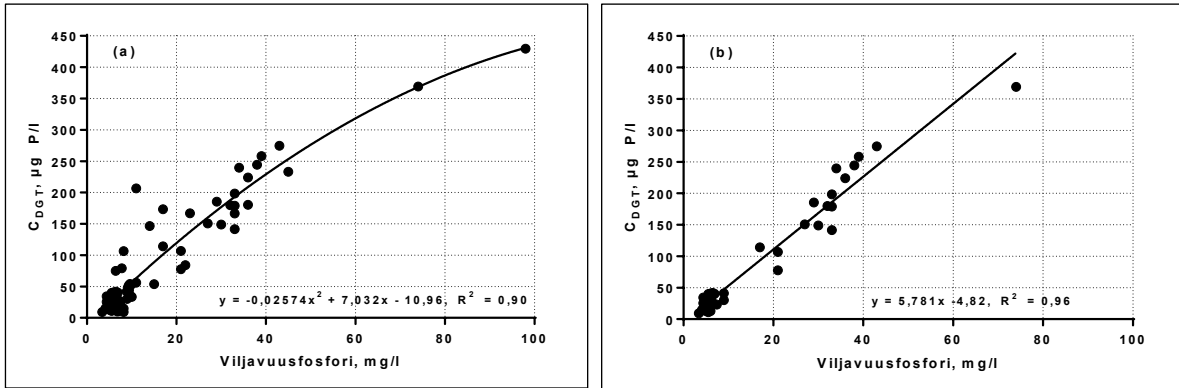
Kuva 9. Fosforilannoituksen satovasteet tilakokeissa, joita toteutettiin eri viljavuusluokkien mailla ja eri kasveilla (lanttu, sipuli ja keräkaali). Virhejanat näyttävät keskivirheen (SEM) pääasiassa kolmen rinnakkaisen lannoitusruudun välillä. Kokeiden maalajit on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Sadon määrä, fosforin otto ja peltotase tilakokeissa. Määrät ovat rinnakkaisten ruutujen keskiarvoja.

Vuosi	Kasvi	Maalaji/ fosforiluokka	P-li- säys (kg/ha)	Sato (1000 kg/ha)	Sadon fosforin otto (kg/ha)	Pelto- tase (kg/ha)
2018	sipuli	Mm/välttävä	0	43	17	-17
			32	45	18	14
			36	47	22	14
	keräkaali	HtMr/tyydyttävä	0	78	22	-24
			5	87	27	-22
			25	77	27	-2
	lanttu	HtMr/tyydyttävä	0	58	26	-26
			32	54	23	9
	lanttu	KHt/hyvä	0	54	18	-18
			23	49	17	6
2019	sipuli	HtS/välttävä	0	53	16	-16
			4	52	16	-11
			32	50	17	15
			36	44	13	23
	keräkaali	HtMr/korkea	0	106	32	-32
			15	104	35	-20
			40	104	33	7
	lanttu	HtMr/välttävä	0	60	20	-20
			15	61	23	-8
			40	59	24	16
2020	sipuli	Ct/tyydyttävä	0	61	19	-19
			3	58	18	-15
			23	55	17	6
			26	57	18	8
	keräkaali	sHtMr/arv.korkea	0	86	29	-29
			15	86	28	-13
			38	81	27	11
	lanttu	HeS/tyydyttävä	0	61	26	-26
			15	65	34	-19
			32	70	36	-4
	lanttu	HeS/tyydyttävä	0	77	25	-25
			15	77	27	-12
			40	64	27	14

Maa-analyysit

DGT-menetelmän on useissa tutkimuksissa todettu kuvaavan hyvin kasveille käyttökelpoista fosforipitoisuutta. Tässä tutkimuksessa DGT-menetelmällä analysoitu maan fosforipitoisuus korreloi hyvin viljavuusfosforiluvun kanssa (kuva 10). Suurin osa analysoiduista koemaista olivat savimaita, ja korrelaatio ainoastaan savimaiden DGT- ja viljavuusfosforilukujen kesken (kuva 10) oli hieman parempi kuin jos mukaan otetaan kaikki analysoidut maanäytteet.



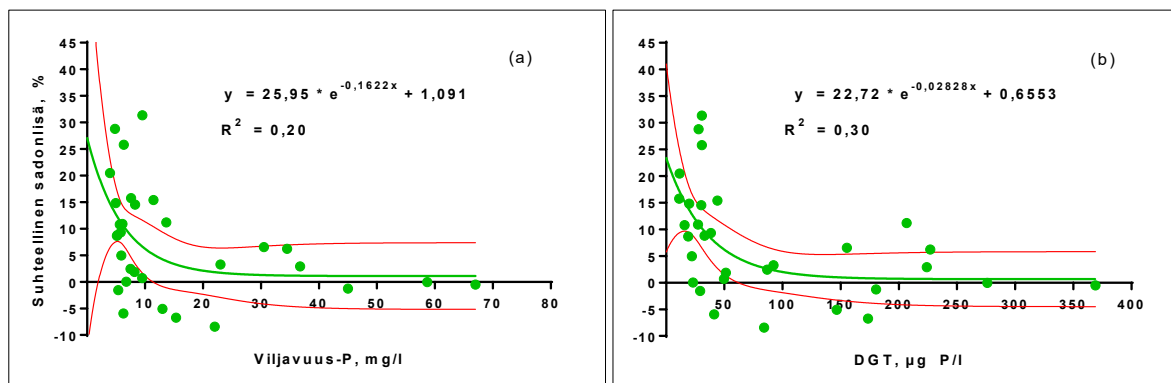
Kuva 10. Viljavuusfosforiluvun ja DGT-arvojen välinen korrelaatio koko maanäyteaineistossa (a) ja ainoastaan savimaissa (b).

Termiä kriittinen fosforiluku, tai maan kriittinen fosforipitoisuus, käytetään maasta uutetusta fosforipitoisuudesta, jota suuremmissa pitoisuuksissa sadonlisät fosforilannoituksen seurauksena muuttuvat epätodennäköisiksi. Kriittinen fosforiluku vaihtelee erityyppisillä kasveilla. Fosforin suhteen vaateliaammilla kasveilla kriittinen pitoisuus on korkeampi kuin tehokkaammin fosforia hyödyntävillä kasveilla.

Tässä tutkimuksessa peltokokeet pyrittiin perustamaan sellaisille maille, joilla arvioitiin maan fosforiluvun perusteella saatavan fosforilannoitusvasteita tutkittavilla koekasveilla. Savimaille kriittisen viljavuusfosforiluvun on todettu olevan viljoilla ja nurmilla 6 mg/l (Valkama ym. 2011, 2015). Tässä tutkimuksessa tehdyn viljavuusanalyysin ja DGT-menetelmän vertailussa (kuva 10) savimaiden viljavuusfosforiluku 6 mg/l vastasi DGT-arvoa 30 µg/l. Euroopassa tehtyjen pitkäaikaisten fosforilannoituskokeiden maiden analysoinnissa keskimääräiseksi kriittiseksi DGT-arvoksi, jolla saavutettiin 95 % maksimisadosta, on määritetty 27–38 µg/l (Nawara ym. 2017). Kyseisessä tutkimuksessa koekasveina oli suurimmaksi osaksi viljoja (vehnä, ohra, maissi).

Vihanneksilla kriittisten fosforilukujen oletetaan olevan korkeampia kuin viljoilla, mutta vihanneksille ei löydy laajoihin kokeisiin perustuvia arvioita kriittisestä maan fosforipitoisuudesta. Tässä hankkeessa kriittisiä fosforipitoisuuksia määritettiin yhdistelemällä eri vihannesten (kaali, kurkku, sipuli, lanttu, porkkana) satotuloksia koemaista määritettyihin viljavuus- ja DGT-arvoihin. Yhdistettyjen koetulosten perusteella fosforilannoituksen suhteellisen sadonlisän teoreettinen maksimiarvo oli noin 27 %, joka on aineistoon sovitetulla käyrällä (kuva 11) y-akselin leikkauspiste, jossa maan viljavuus- ja DGT-analyysien perustuvat tulokset eivät ole täysin vertailtavissa, sillä kaikille tilakokeiden rinnakkaisille maanäytteille vuosina 2018–2020 ei tehty DGT-analyysia, vaan maan DGT-fosforin pitoisuus perustuu ainoastaan yhden rinnakkaisen analysointiin, kun taas viljavuusanalyysi tehtiin kaikille kolmelle rinnakkaiselle koeruudulle. Viljavuustulokset olivat kuitenkin lähellä toisiaan rinnakkaisnäytteissä, jotka oli otettu samalta peltolohkolta.

Kuvasta 11 tarkasteltuna fosforilannoituksella saatavat sadonlisät tarkastelluilla vihanneksilla ovat todennäköisiä, kun maan viljavuusfosforiluku on korkeintaan 11 mg/l. Vastaava arvo DGT-menetelmällä määritettynä on 60 µg P/l, mikä vastaa viljavuusfosforilukua 10 mg/l. Viljavuus-analyysin ja DGT-menetelmän tulokset korreloivat hyvin keskenään, mikä antaa mahdollisuuden muuntaa Suomessa käytettävään happamaan ammoniumasetaattiin perustuvan viljavuuden tuloksia DGT-pitoisuuksiksi. Tämä parantaa tulosten vertailtavuutta myös muualla tehtyihin kokeisiin, joissa on määritetty maan DGT-fosfori.



Kuva 11. Tässä hankkeessa sekä vuosien 2015–2016 PuutarhaNP-hankkeen kaali-, kurkku-, sipuli- ja porkkanakokeissa saavutetut suhteelliset sadonlisät (fosforilannoitteen antama suurin sadonlisä suhteessa ilman fosforia kasvatettuun satoon) suhteessa (a) peltolohkojen viljavuus-analyysin ja (b) DGT-menetelmällä määritettyyn liukoiseen P-pitoisuuteen. Punaiset viivat kuvaavat käyrän sovituksen 95 % luottamusvälejä.

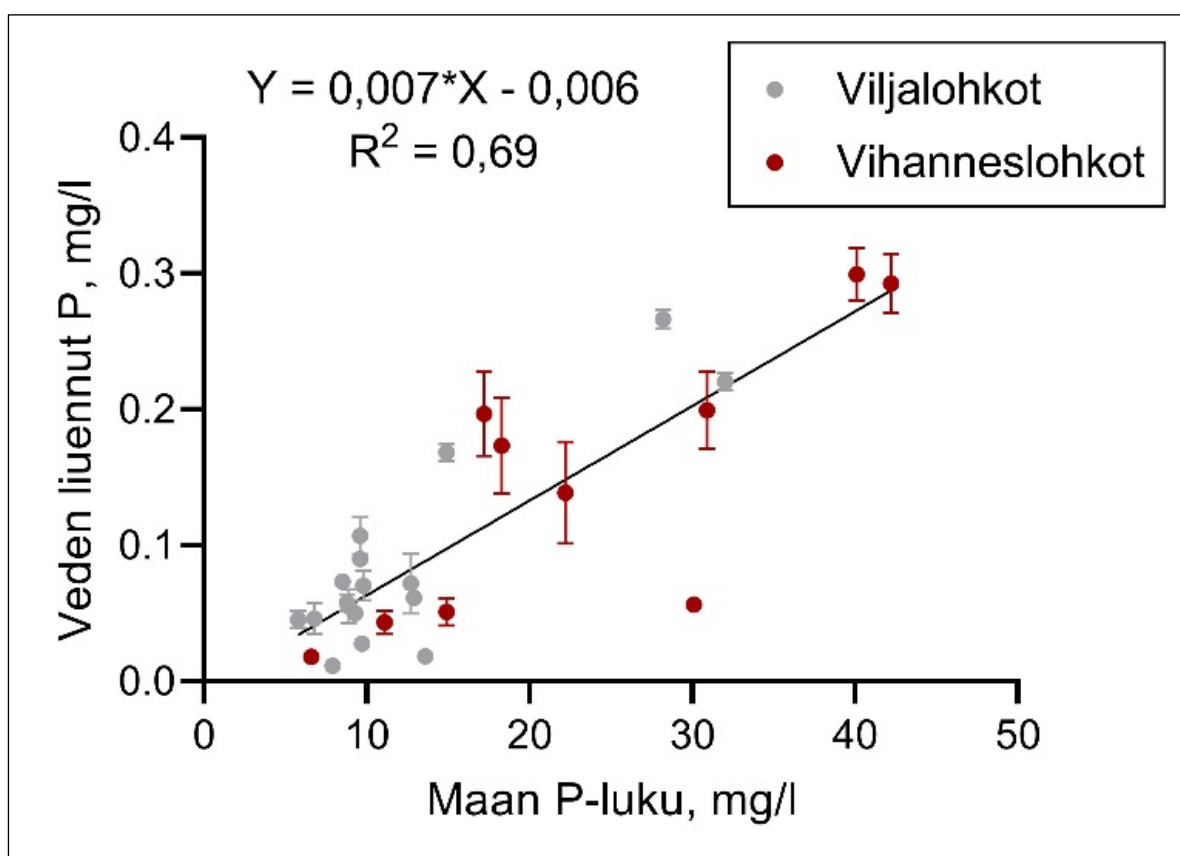
Lannoitusvasteiden aikaansaamiseksi koalueiksi pyrittiin valikoimaan fosforipitoisuudeltaan alhaisia peltolohkoja, minkä takia suuri osa kuvan 11 pistejoukosta, varsinkin Luken toimipaikoilla suoritetuista kokeista, oli lähes samanlaisessa viljavuusfosforiluokassa. Tiloilla tehdyt kokeet toivat tarkasteluun enemmän fosforiluokaltaan toisistaan poikkeavia peltolohkoja, myös korkeammassa viljavuusluokassa, jolloin voidaan tarkemmin määrittää vihanneksille kriittinen maan fosforipitoisuus. Kriittisen fosforipitoisuuden tarkentamiseksi tarvittaisiin kuitenkin laajempi otanta viljavuudeltaan erilaisia peltolohkoja. On myös otettava huomioon, että fosforilannoitus selittää vain pienen osan kokeissa mitatusta satovaihtelusta, koska vuosittaisiin sato-vasteisiin vaikuttavat muutkin kasvutekijät kuin maan fosforitila. Tämä tuli hyvin esille muun muassa Piikkiössä tehdyissä kurkkukokeissa. Kuitenkin hankkeen melko pienen aineiston tulosten perusteella maan kriittiset fosforipitoisuudet näyttäisivät olevan vihanneviljelyssä hieman korkeampia kuin viljoilla tai nurmilla. Viljanviljelyyn verrattuna vihannesten hehtaarikohtaiset sadot ovat lisäksi huomattavasti suurempia, jolloin jo muutaman prosentin sadonlisä saattaa kattaa lannoitekustannuksen lisääntymisen maksimisatomäärää lähestyttäessä.

2.2. Sadesimulaatiokokeet ja fosforiluvun muutoksen mallinnus

Sadesimulaatiokokeissa aineistona oli yhteistyötiloilta kerätyt maanäytteet, jotka pakattiin sadetuslieriöihin ja sadetettiin 5 mm/h intensiteetillä 3 tuntia. Maan läpi valuneen veden liuenneen fosforin pitoisuus suhteutettiin maan P-lukuun, ja veden fosforipitoisuuden ja P-luvun välinen yhteys sovitettiin lineaariseen malliin. Kuvassa 12 näytetään tämän ja aiempien hankkeiden tulokset; aiemmin näytteitä on otettu pitkän aikaa viljantuotannossa olleilta lohkoilta.

Tilastoanalyysin mukaan tässä hankkeessa vihanne lohkojen näytteistä sadetuksissa kerättyyn veteen liunneen fosforin ja maan P-luvun välinen yhteys oli sama kuin aiemmin viljalohkoilla

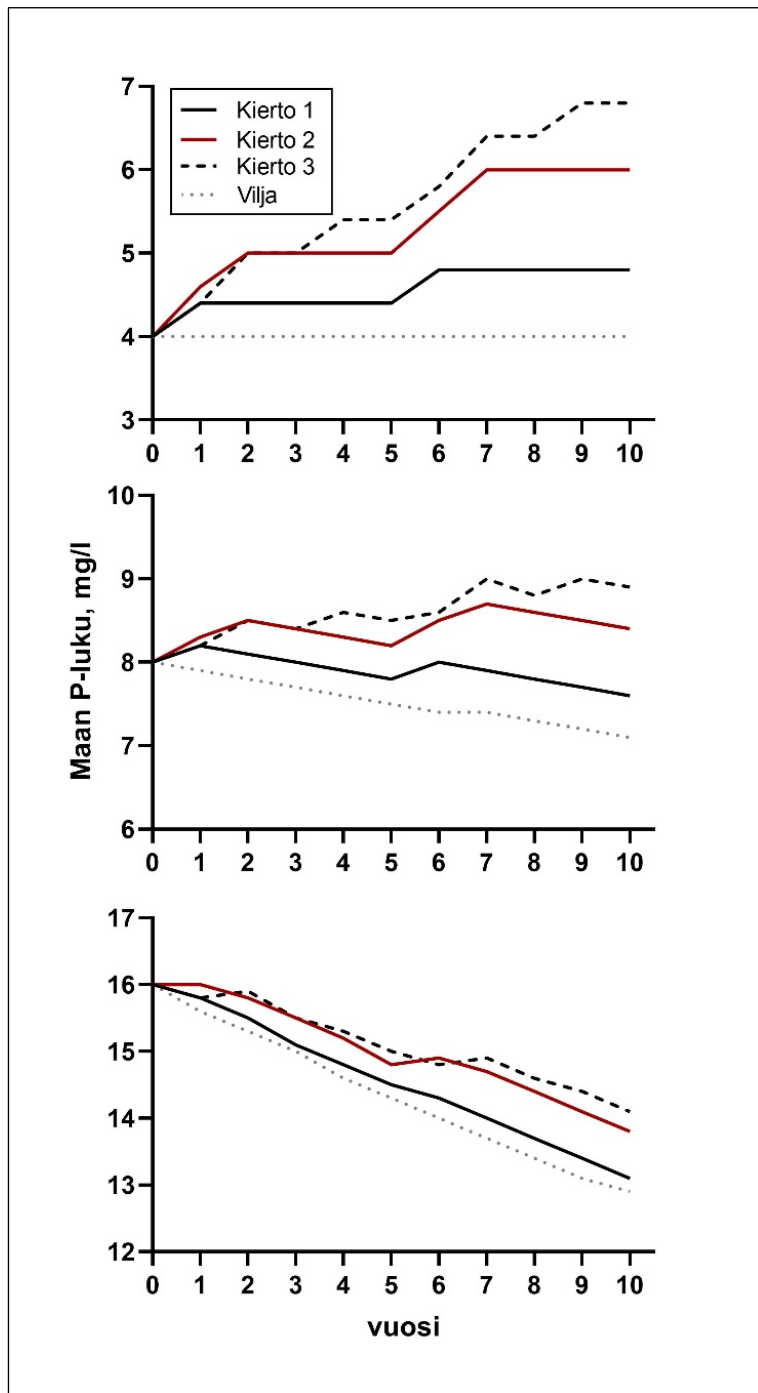
on havaittu, ja koko aineistolle laskettiin yksi mainittua yhteyttä kuvaava yhtälö. Yhtälön mukaan yhteys on suoraviivainen, ja yhden yksikön muutos maan P-luvussa vastaa 7 µg/l muutosta valumaveden liuenneen fosforin pitoisuudessa. Aiemmin peltosalaojavesiä käsittävässä aineistossa on mitattu fosforipitoisuuden kasvun (kuvan 12 kulmakertoimen) olleen jopa 2–3 kertaa suurempaa kuin tässä hankkeessa mitattu muutos (Puustinen ym. 2019). Ero johtuu erityyppisten näytteiden käytöstä eri tutkimuksissa. Tässä hankkeessa käytettiin lieriöihin siirrettyjä sekoitettuja maanäytteitä, mikä on omiaan pienentämään maan kanssa tasapainottuvan veden liuenneen fosforin pitoisuutta. Oleellista kuitenkin on, että maan P-luvun ja valumaveden fosforipitoisuuden yhteys on suoraviivainen. Tämä tarkoittaa sitä, että riski liuenneen fosforin huuhtoutumiseen kasvaa aina saman verran maan P-luvun kasvaessa yhden yksikön, eikä ole näytettävissä mitään kynnysarvoa, jonka alapuolella huuhtoumariski olisi olemattoman pieni. Kun maan P-luku on tarpeettoman korkea kasvien tarpeeseen nähden, huuhtoumariskiä voi vähentää antamalla P-luvun laskea alijäämäisten peltotaseiden avulla.



Kuva 12. Sadesimulaatioissa intensiteetillä 5 mm/h tehdyn sateen maasta vapauttaman liuenneen fosforin pitoisuus vihannes- ja viljalohkojen maanäytteistä. Sadetusta varten näytteet on pakattu noin 10 cm:n kerrokseksi halkaisijaltaan 15 cm kokoiseen lieriöön, jonka pohjasta kerättiin vesinäyte.

Kun liukoisen fosforin huuhtoumariski on suoraan riippuvainen maan P-luvusta, on lannoituksen ja P-luvun muutoksen välinen yhteys oleellinen fosforikuormituksen kehityksen arvioimisessa. Tässä hankkeessa fosforiluvun muutosta mallinnettiin suomalaisista kenttäkokeista kerättyyn aineistoon perustuvalla matemaattisella mallilla (Uusitalo ym. 2016). Mallinnus tehtiin multavalle savimaalle, jonka P-luvun lähtötasoiksi asetettiin 4, 8, tai 16 mg/l (”välttävä”, ”tyyydyttävä” tai ”hyvä” fosforiluokka); muut oletukset on annettu aiemmin taulukossa 4. Mallinnuksessa käytettiin kolmea kiertoa, joiden aikana vihanneksia (lanttu, sipuli, keräkaali) oli viiden vuoden jaksossa kerran, kahdesti tai kolme kertaa. Väli vuosina viljeltiin viljaa, jonka satotasoksi

oletettiin 4 000 kg/ha. Vertailun vuoksi mallinnus tehtiin myös puhtaalle viljakierrolle. Mallinnuksen lannoitusmäärät otettiin ympäristökorvauksen taulukoista, ja vihannesten satotasot ja sadon fosforin otto asetettiin tämän hankkeen tulosaineiston keskimääristä tilannetta vastaaviksi. Mallinnus tehtiin kahdelle viiden vuoden kierrolle eli kymmenen vuoden jaksolle.



Kuva 13. Maan fosforiluvun muutoksen mallinnus, jossa on oletettu kolme kiertoa, joissa vihanneksia viljellään viiden vuoden jaksoissa kerran (Kierto 1), kahdesti (Kierto 2) tai kolme kertaa (Kierto 3). Viljan monokulttuuri, jossa fosforitaseet ovat lähellä nollaa tai negatiivisia, on esitetty vertailutilanteena. Fosforiluokka on ylimmässä kuvassa "välttävä", keskimmaisessä kuvassa "tydyttävä" ja alimmaisessa kuvassa "hyvä". Mallinnuksessa käytetyt fosforilannoitus ja peltotaseet on annettu taulukossa 4.

Fosforin peltotase oli kaikkein alhaisin viljan monikulttuurissa, jonka kymmenen vuoden taseen summa oli "välttävä"-luokassa +20, "tydyttävässä" luokassa -40 ja "hyvässä" P-tilassa olevalla pellolla -90 kg/ha. Lisättäessä viiden vuoden viljelykiertoon yksi lanttuvuosi (Kierto 1), taseet muuttuivat siten, että "välttävän" pellon 10-vuotiseksi fosforitaseeksi tuli +108, "tydyttävän" +18 ja ainoastaan "hyvän" pellon tase oli alijäämäinen, -62 kg/ha. Kierto 2 (viljan lisäksi sipuli ja keräkaali) kasvatti taseita kymmenen vuoden summana tasolle +230 (välttävä), +114 (tydyttävä) ja +4 kg/ha (hyvä). Ympäristökorvauksen taulukoiden mukaan lannoitettaessa kolme vihannesvuotta (Kierto 3; keräkaali, sipuli ja lanttu sekä kaksi viljavuotta) lisäsi taseyli jäämien kymmenen vuoden summiksi +316 (välttävä), +172 (tydyttävä), +32 kg/ha (hyvä).

Näistä taseista malli ennusti kuvan 13 mukaisia P-lukuja kymmenen vuoden jaksolle. "Välttävän" fosforiluokan ylijäämäiset taseet pyrkivät nostamaan P-lukua kaikkien kiertojen aikana, pelkkää viljaa viljeltäessä vain aavistuksen, mutta eniten taseyli jäämiä sisältävän Kierron 3 seurauksena noin 2,5 yksikköä. "Tydyttävässä" viljavuustilassa olevalla pellolla viljavuosien lievästi alijäämäinen fosforitase laski mallin ennustamia P-lukuja maltillisesti, jos vihanneksia oli korkeintaan kerran viiden vuoden kierron aikana, kun taas useampaan vihannesvuoteen liittyvät suuremmat taseyli jäämät nostivat mallinnettua P-lukuja, tosin alle 1 mg/l. "Hyvän" P-tilan maalla maltillinen taseyli jäämä (mallinnuksessa maksimissaan +32 kg/ha fosforitaseen summa kymmenen vuoden aikana) ei mallin mukaan riitä pitämään yllä suhteellisen korkeaksi nostettua P-lukua. Tällöin helppoliukoista fosforia siirtyy myös jonkin verran ylijäämäisellä fosforitaseella hitaammin kasveille käyttökelpoiseen muotoon, jota viljavuustutkimuksen uuttoliuos ei uuta maasta. Korkeintaan yhden vihannesvuoden sisältävien kiertojen viljavuusluokka olisi mallin mukaan laskenut kymmenen vuoden kuluttua P-luvusta 16 tasolle 13 mg/l, jolloin mallinnuksessa käytetty pelto siirtyisi "hyvästä" "tydyttävään" fosforiluokkaan ja sillä käytettäviä fosforimääriä voitaisiin ympäristökorvauksen raja-arvojen mukaan lisätä.

Eri viljelykiertojen ja maan P-lukujen vaikutusta liuenneen fosforin huuhtoumariskiin voi havainnollistaa yhdistämällä P-luvun muutokset sadetuksissa saatuun yhtälöön P-luvun ja liuenneen fosforin pitoisuuden yhteydestä. Jos P-luvun yhden yksikön muutos lisää liuenneen fosforin pitoisuutta valumavesissä keskimäärin 7 µg/l, aiheuttaisi kuvassa 13 esitetyt P-luvun muutokset taulukon 7 mukaiset potentiaaliset kuormitussummat 10 vuoden jaksolla. Kun peltoolosuhteissa savimailta tulevaksi vuotiseksi fosforin kokonaiskuormaksi on mitattu tyypillisesti noin 1,5 kg/ha, jossa liuenneen fosforin osuus on 10–15 % (esim. Puustinen ym. 2019), vastaavat taulukon 7 laskelmat melko hyvin aiemmissä tutkimuksissa liuenneen fosforin huuhtoumasta mitattuja arvoja.

Laskelman mukaan kuormitusriski olisi vähäisin pelkkää viljaa viljeltäessä, koska viljojen fosforilannoitus on vihanneksia vähäisempää ja siten P-taseet aina selvästi pienempiä kuin vihanneksilla. Suhteellinen ero viljakierron ja vihannesvuosia sisältävien kiertojen välillä on suurin alhaisen P-luvun mailla, joilla vihannesvuosien taseyli jäämät ovat merkittävän suuria. Toisaalta maan P-luvun lähtötason erot, joiden takana on aiempien vuosien fosforitaseiden vaikutukset, aiheuttavat kuormitusriskin kannalta vielä suuremman eron kuin kiertojen väliset erot kussakin viljavuusluokassa. Ympäristökorvauksen lannoitusrajat on tämän vuoksi asetettu niin, että korkeilla P-luvuilla taseyli jäämät jäävät pieniksi tai alijäämäisiksi. Tämä johtaa korkeiden maan P-lukujen laskuun ajan myötä. Kun korkeammassa P-luvuissa sadonlisät ovat harvinaisia, fosforitaseiden alijäämään johtavat rajoitukset ovat perusteltuja ja hyödyllisiä vesiensuojelun kannalta, ilman että ne aiheuttavat taloudellisia tappioita viljelijälle.

Taulukko 7. Kuvan 12 mallinnuksiin liittyvien viljelykiertojen ja maan P-luvun lähtötilan vaikutukset liuenneen fosforin potentiaaliseen huuhtoumaan 10 vuoden summina. Laskennassa on käytetty eri fosforitaseen antaville viljelykierroille mallinnettuja P-lukuja, jotka on kerrottu sadetuskokeessa mitatun valumaveden liuenneen fosforin pitoisuuden ja maan P-luvun välisen yhteyden kulmakertoimella (7 µg/l). Lisäksi on oletettu, että noin kolmannes sadesummasta, vuosittain 2 000 m³ vettä, poistuu pelloilta valumavesinä.

	P-luku 4 alussa mg/l	P-luku alussa 8 mg/l	P-luku alussa 16 mg/l
	Valumavesiin liuenneen fosforin 10 vuoden huuhtouman summa, g/ha		
Viljaa viljan perään	560	1 120	2 240
Kierto 1	702	1 214	2 244
Kierto 2	811	1 294	2 313
Kierto 3	857	1 323	2 328

2.3. Johtopäätökset fosforilannoituskokeista

Pitkäaikaisten kenttäkokeiden yhteenvedon mukaan viljoilla ja nurmilla voidaan odottaa satovasteita useimpina vuosina, kun maan P-luvut ovat savimailla korkeintaan 6 mg/l ja karkeamilla mineraalimailla 10 mg/l (Valkama ym. 2011, 2015). Tämän hankkeen Lukessa toteutettujen vihanneskokeiden koealoilla maan P-luvut olivat suunnilleen näiden raja-arvojen kohdalla. Oletuksena olikin, että koska avomaankurkkua ja lantua pidetään fosforin saannin suhteen vaativampina kuin viljoja, fosforilannoitus olisi tuottanut niillä sadonlisää.

Satovasteita mitattiinkin, mutta kurkulla sadonlisät olivat selkeitä ainoastaan yhtenä koivuotena kolmesta. Lantulla fosforilannoituksen tuottamat sadonlisät olivat yhdenmukaisempia ja yleensä 5–10 %, poikkeuksena yhtenä koivuotena suurimmalla fosforilisäyksellä saatu 28 %:n sadonlisä. Hietamaalla, jonka P-luku oli hieman alle 10 mg/l, satovasteita ei havaittu, mutta kokeita tällä hietamaalla tehtiin vain yhtenä vuonna. Satotulosten perusteella kurkun tai lantun ei voida sanoa olleen huomattavasti vaativampia maan P-luvun suhteen kuin viljat tai nurmet. Nämä tulokset olivat hyvin samanlaisia kuin Lukessa aiemmin sipulilla ja keräkaalilla tehtyjen kokeiden tulokset (Suojala-Ahlfors 2017). Myös tilayhteistyönä tehdyissä kokeissa yleiskuva oli, että fosforilannoituksella ei saatu johdonmukaisesti merkittävää sadonlisää eivätkä kasvit kärsineet fosforin puutteesta.

Kun ylijäämäisellä fosforilannoituksella ei saada sadonlisää, mutta taseen ylijäämä aiheuttaa liuenneen fosforin kuormitusriskin kasvua, fosforilannoitusta voitaisiin pienentää ilman todennettua taloudellista riskiä viljelijälle. Erityisesti jos samalla peltolohkolla viljellään viiden vuoden jaksolla vähintään kahtena vuotena vihanneksia, maan P-lukujen voidaan mallinnuksen perusteella olettaa kasvavan alhaisissa fosforin viljavuusluokissa melko voimakkaasti ja laskevan hitaammin korkeissa viljavuusluokissa verrattuna kiertoihin, joissa vihanneksia viljellään vain satunnaisesti. Fosforiluvun muutoksen ennustamisessa käytetty malli perustuu pitkäaikaisissa kenttäkokeissa tehtyihin mittauksiin, ja sen toimivuus on tarkistettu mallin kehityksestä riippumattomilla havainnoilla (Uusitalo ym. 2016).

3. Typpilannoituksen tarkentaminen vihannestuotannossa

Tapio Salo ja Terhi Suojala-Ahlfors

Tämän työpaketin tavoitteina oli löytää menetelmiä kasvukauden aikaisen typpilannoituksen tarkentamiseen. Erityisesti tarkasteltiin typpimallien hyödyntämismahdollisuuksia vihannestuotannossa typpilannoituksen kokonaismäärän ja ajoituksen määrittämisessä.

3.1. Kenttäkokeet

Luken Piikkiön toimipaikalla toteutettiin vuosina 2018 ja 2019 kenttäkokeet kolmella vihannelajilla, jotka olivat keräkaali, sipuli ja porkkana. Jokaista kasvia viljeltiin kolmella eri typpilannoitustasolla, jotka olivat suositusten mukainen typpilannoitusmäärä sekä 10 ja 70 % suosituksesta (taulukko 8). Kokeet toteutettiin samalla peltolohkolla kahden vuoden viljelykierrolla siten, että vuoden 2018 kaalikokeen paikalla viljeltiin seuraavana vuonna sipulia, sipulin jälkeen porkkanaa ja porkkanan jälkeen kaalia. Vuonna 2017 lohkoilla kasvoi ohraa). Tämän järjestelyn avulla saatiin tietoa vihannesten esikasviarvosta.

Koealueen maalaji oli multava hietamoreeni, pH 6,5. Koeruutujen koko oli 2,4 m x 7,2 m. Kukin käsittely toistettiin kolmessa lohossa satunnaistettujen täydellisten lohkojen koemallin mukaisesti. Lannoituskäsittelyt toistuivat samoissa koeruuduissa peräkkäisinä vuosina, mutta koekasvit vaihtuivat edellä esitetyn mukaisesti (kuva 14).



Kuva 14. Typpilannoituskokeet sijaitsivat samalla peltolohkolla ja samoilla koeruuduilla vuosina 2018 ja 2019, mutta kasvilajit vaihtoivat paikkaa vuosien välillä. Keräkaali viljeltiin hyönteisverkon alla ja porkkanakasvusto oli peitetty harsolla kylvön jälkeen parin viikon ajan. Kuva: Terhi Suojala-Ahlfors.

Kevätlannoituksessa käytettiin YaraMila HEVI 3-lannoitetta, jota annosteltiin eri käsittelyissä eri määriä tavoitellun typpimäärän mukaan. Tätä täydennettiin kaliumsulfaatilla ja superfosfaatilla, jotta saatiin tasattua kaliumin ja fosforin annostelu samaksi eri käsittelyissä. Lisäksi koealueille levitettiin sivu- ja hivenravinteita (mm. Kalsiumravinne, Mangaaniravinne, Hivenravinneseos)

viljavuustietojen ja kasvien ravinnetarpeen mukaan. Lisätyppilannoitus kasvukaudella annettiin YaraBela Suomensalpietarina.

Vuoden 2018 sipulikokeessa oli kaksi lisäkäsittelyä, joissa tutkittiin orgaanisten lannoitevalmisteiden typpilannoitusvaikutusta osana Maatalouden orgaanisilla sivuvirroilla kasvua -hanketta. Näiden antamat tulokset on julkaistu muualla (Keskinen ym. 2020).

Kokeet perustettiin molempina vuosina toukokuun puolivälissä. Käytetty sipulilajike oli 'Setton', porkkanalajike 'Maestro' ja keräkaalilajike 'Lennox'. Riviväli oli sipulikokeessa 30 cm (neljän rivin jälkeen käytävä 60 cm), porkkanakokeessa 50 cm ja kaalikokeessa 60 cm. Taimiväli rivissä oli sipulilla 6 cm ja kaalilla 60 cm. Porkkanan kylvötiheys oli 100 siementä rivimetrillä. Sipulin istukkaat ja kaalin taimet istutettiin käsin, porkkana kylvettiin Gaspardo-kylvökoneella.

Sipulin sadonkorjuu ajoittui elokuun lopulle ja porkkanan ja kaalin sadonkorjuu syyskuun loppuun. Kasvuajkojen pituus on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Typpilannoitusmäärät eri käsittelyissä ja kasveilla.

Kasvi	Käsittely	N-lannoitus keväällä (kg/ha)	N-lannoitus kesällä (kg/ha)	N-lannoitus yhteensä (kg/ha)	Kasvu aika v. 2018 ja 2019, pv
Keräkaali	N1	100	50+50+30	230	130, 136
	N0,7	100	30+30	160	
	N0,1	23	-	23	
Sipuli	N1	70	30	100	101, 102
	N0,7	70	-	70	
	N0,1	10	-	10	
Porkkana	N1	60	30	90	128, 127
	N0,7	60	-	60	
	N0,1	9	-	9	

Havainnot ja mittaukset

Koealueilta otettiin ennen kevään lannoitusta maanäytteet, joista analysoitiin mineraalityypen määrä. Kasvukaudella otettiin maanäytteitä mineraalityypen analyysiin kahden viikon välein ajanjaksolla, jonka arvioitiin olevan kiivainta typenoton aikaa eri kasveilla. Sipulikokeista näytteitä otettiin täten kolme kertaa juhannuksen ja heinäkuun lopun välisenä aikana, kaalikokeista neljä kertaa juhannuksen ja elokuun alun välillä ja porkkanakokeista neljä kertaa heinäkuun puolivälin ja elokuun lopun välillä.

Kasvustosta kerättiin näytteet kasvun seurantaan ja typpianalyysiin kaksi kertaa kasvukauden aikaan sekä sadonkorjuun yhteydessä. Näistä mitattiin tuore- ja kuivamassan paino pinta-alaa kohti ja typpipitoisuus.

Sadonkorjuuvaiheessa mitattiin kokonais- ja kauppakelpoinen sato jokaisesta koeruudusta näytealalta, jonka koko oli 4–6 m² kasvin mukaan. Sipuli- ja porkkanakokeissa satonäytteet vietiin myös varastointikokeeseen, ja näytteiden säilyvyys arvioitiin kahdesti talven aikana.

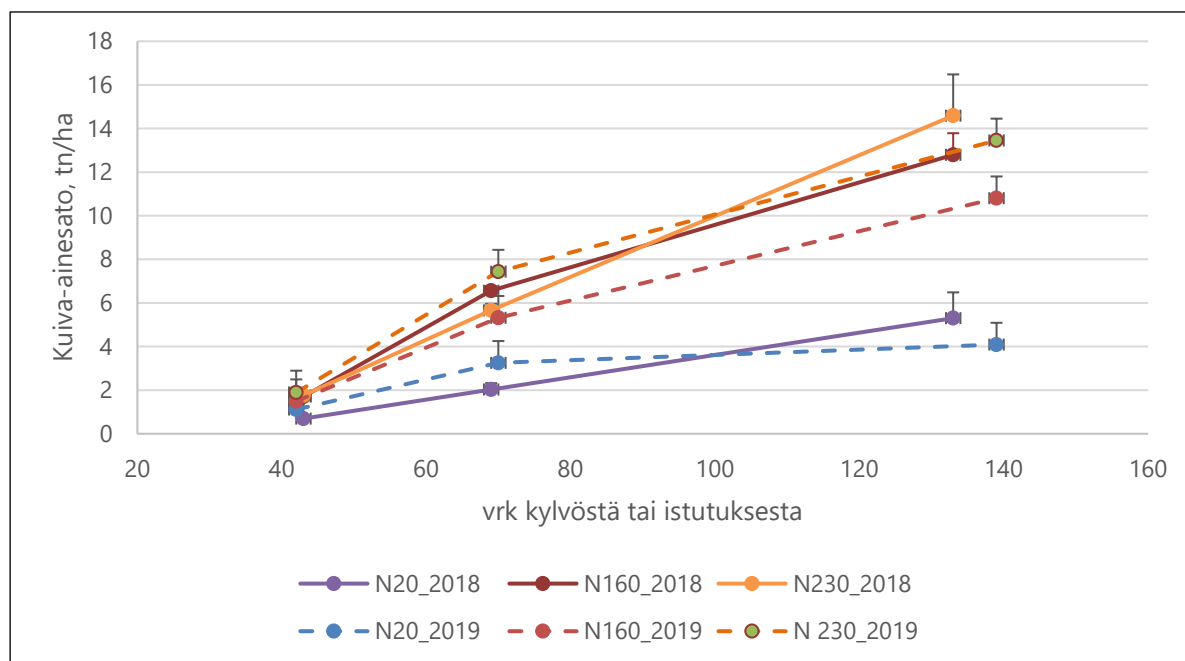
3.2. Mallinnus

Kenttäkokeiden tuottama aineisto sovitettiin EU-Rotate-N-malliin (Rahn ym. 2010). Mallinnuksen tuloksia hyödynnettiin kastelutarkastelussa (luku 4). Mallin soveltamismahdollisuuksia typpilannoituksen tarkentamiseen arvioidaan myöhemmin julkaistavassa artikkelissa.

3.3. Tulokset

Keräkaali

Keräkaalin maanpäälliset kuiva-ainesadot (kuva 15) olivat suurimmillaan 13–14 tn/ha molempina koevuosina. Korkein typpilannoitus, 230 kg/ha, lisäsi kuiva-ainesatoa molempina vuosina verrattuna typpilannoitustasoon 160 kg/ha.

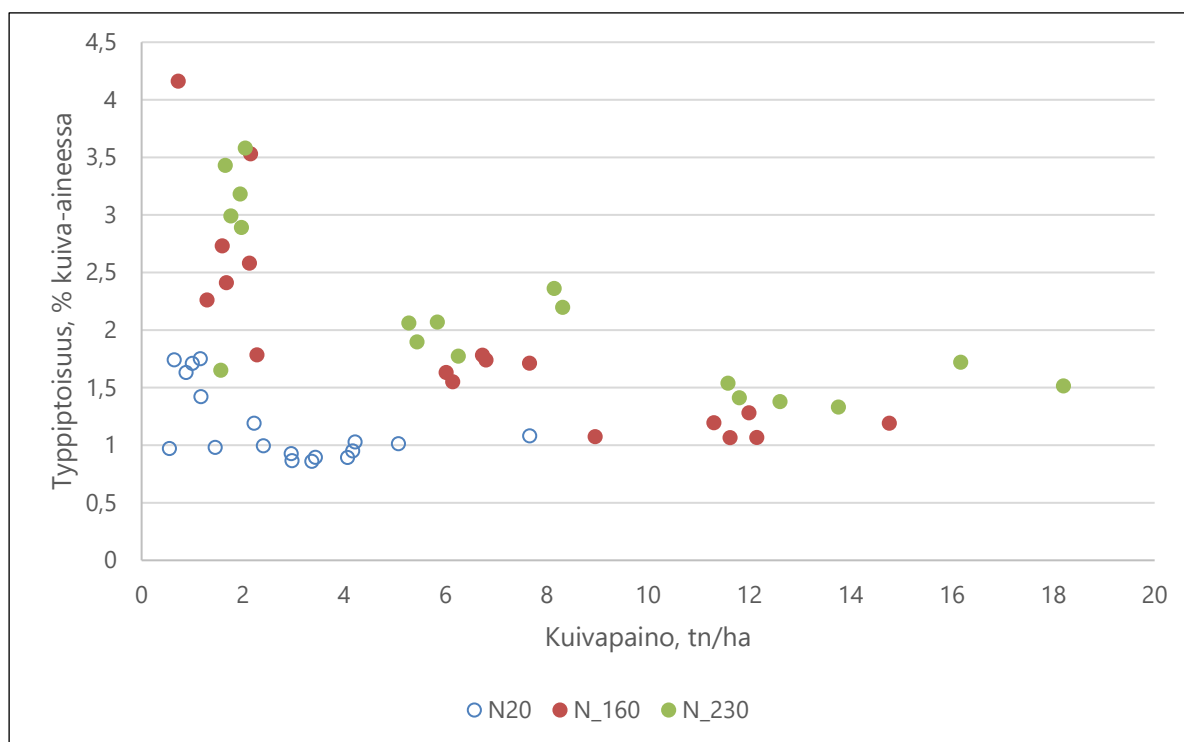


Kuva 15. Keräkaalin kuiva-ainesadon kehitys 2018 ja 2019. Virhepalkki kuvaa keskiarvon keskivirhettä (n=3).

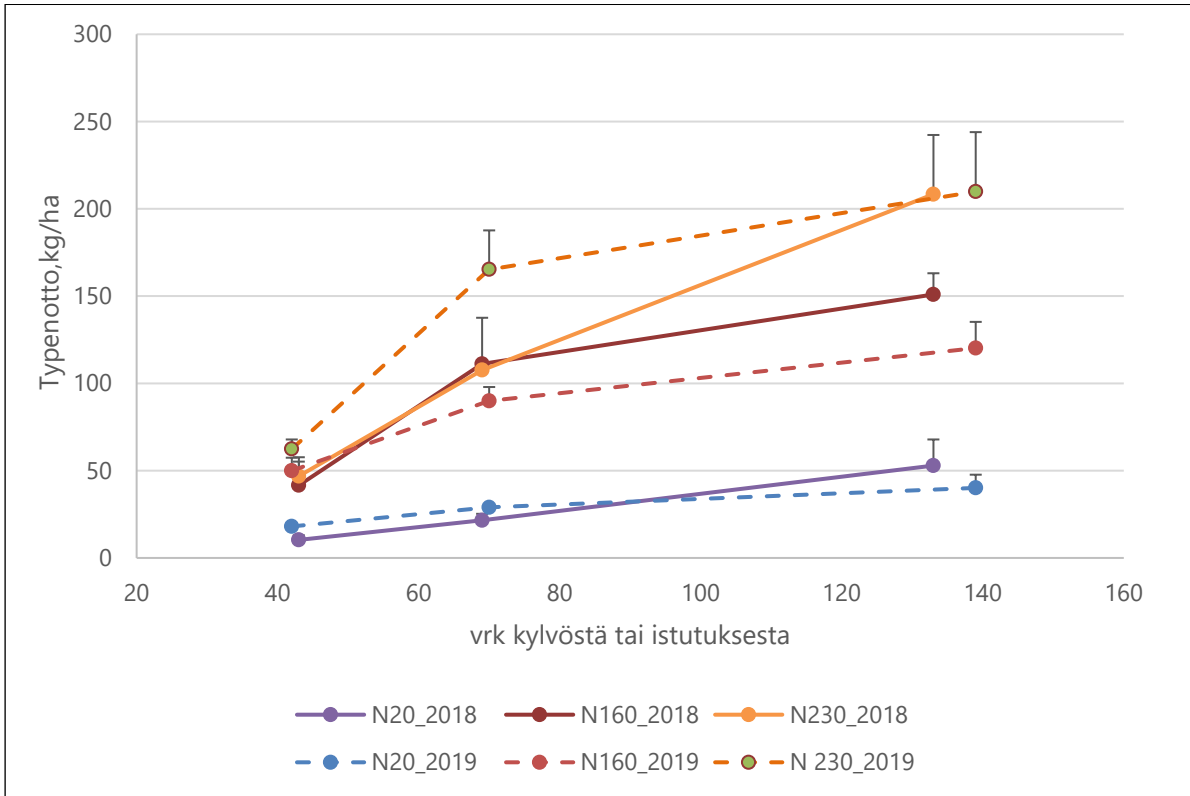


Kuva 16. Heinäkuun alkupuolella pienimmällä typpilannoituksella viljellyt kaalit ovat jääneet kasvussa muista jälkeen ja lehdistö on alkanut punertaa. Kuva: Terhi Suojala-Ahlfors.

Kasvulle kriittinen typpipitoisuus pienenee kasvun edetessä ja kuvasta 17 nähdään, miten keräkaalin typpipitoisuus oli pienissä kasveissa 3–4 % kuiva-aineesta ja pieneni 1–2 %:iin sadonmuodostuksen edetessä.

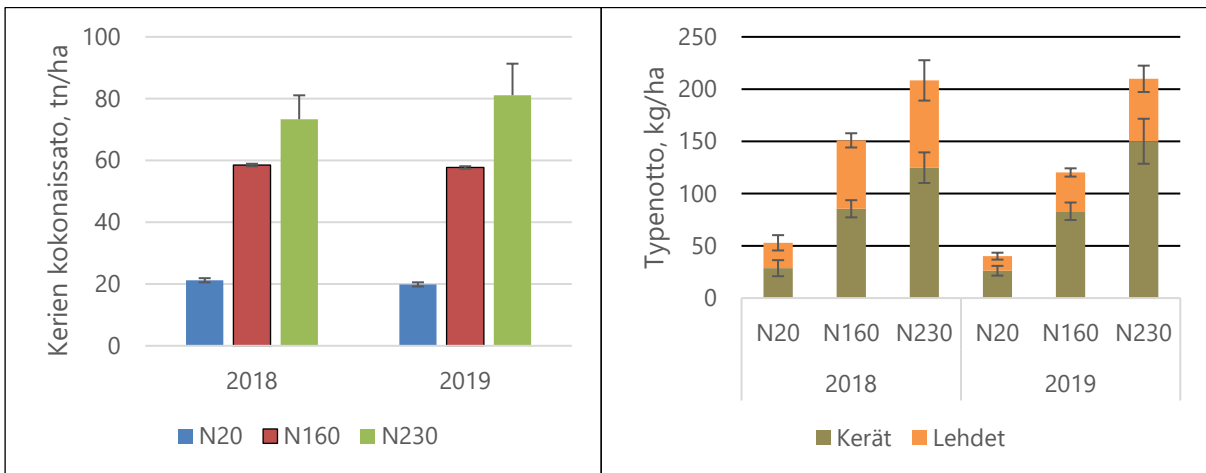


Kuva 17. Keräkaalin typpipitoisuus suhteessa kuivapainoon ruuduittain kaikissa kolmessa näytteenotossa 2018 ja 2019.



Kuva 18. Keräkaalin typpilannoitustasojen typenotto 2018 ja 2019. Virhepalkki kuvaa keskiarvon keskivirhettä (n=3).

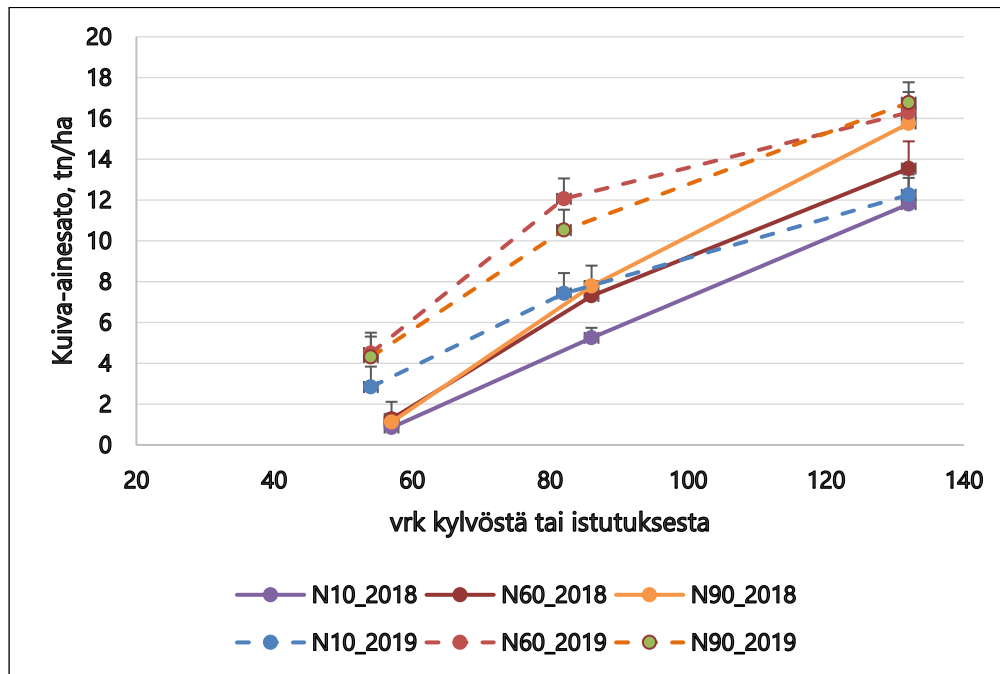
Keräkaalikasvuston kokonaistypenotto oli suurimmilla lannoitustasoilla noin 200 kg/ha (kuva 18). Typpilannoitustasojen N 160 ja N 230 kg/ha erot olivat typenotossa suuremmat kuin kuiva-ainesadossa. Typeä vain 20 kg/ha saaneiden kasvustojen kokonaistypenotto oli matala, noin 50 kg/ha. Kerien tuoresadot olivat molempina koevuosina suurimmat, kun typpilannoitus oli 230 kg/ha (kuva 19). Typen kokonaisotosta noin 30–40 % oli peltoon jäävissä ulkolehdissä.



Kuva 19. Keräkaalin satotasot ja typenoton jakautuminen sadossa keriin ja ulkolehtiin. Virhetermi on keskiarvon keskivirhe (n=3).

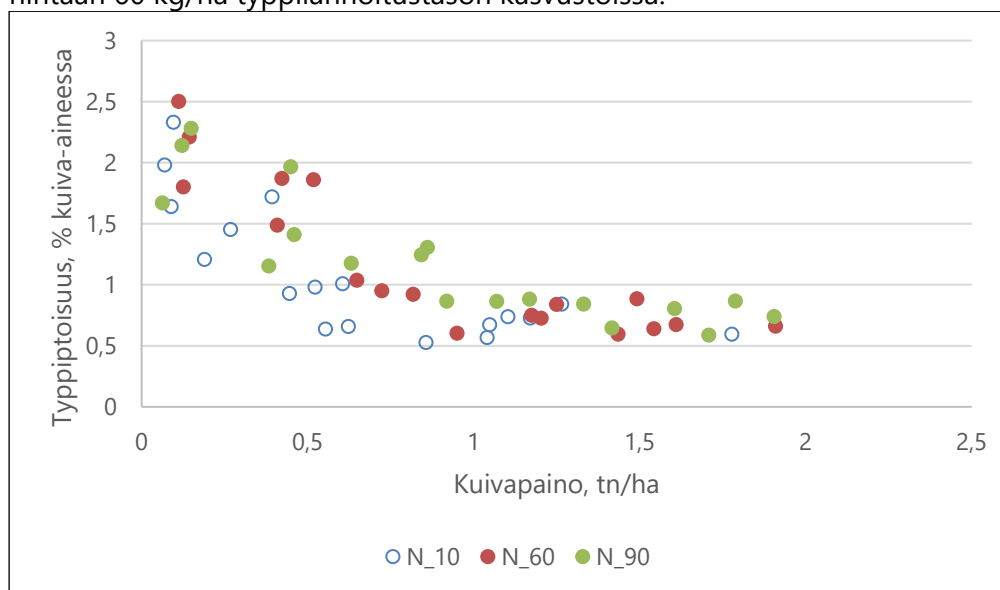
Porkkana

Porkkanan maanpäälliset kuiva-ainesadot (kuva 20) olivat suurimmillaan noin 16 tn/ha molempina koevuosina. Typpilannoitus lisäsi molempina vuosina kuiva-ainesatoa verrattuna pieneen typpilannoituksen (N 10 kg/ha). Typpilannoitus N 60 kg/ha tuotti vuonna 2019 esikasvina olleen sipulin jälkeen saman sadon kuin N 90 kg/ha lannoitus.

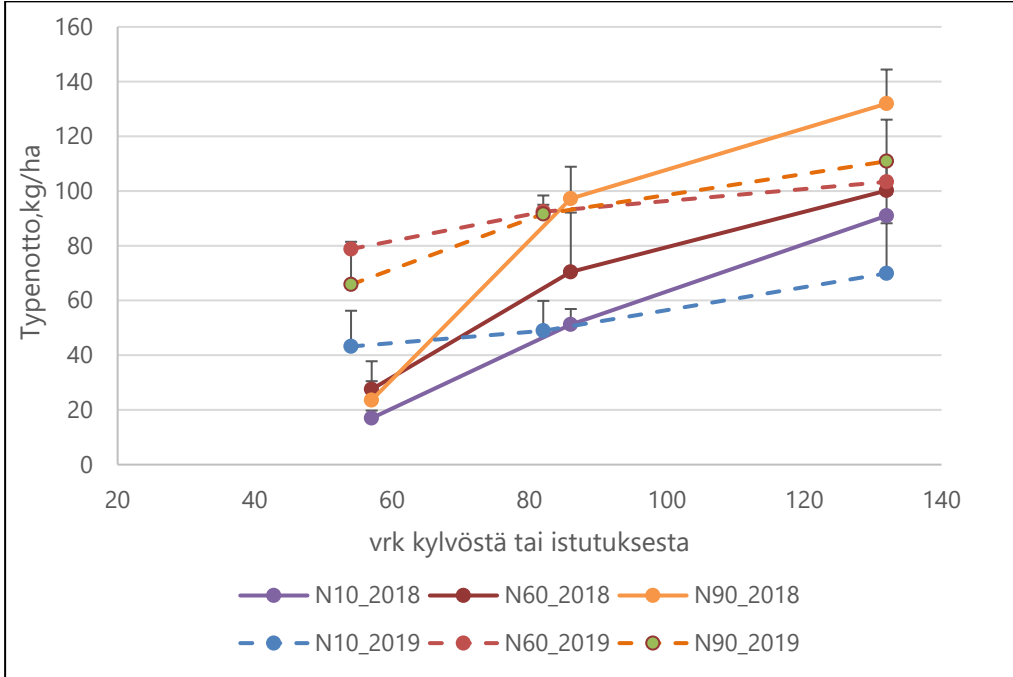


Kuva 20. Porkkanan kuiva-ainesadon kehitys 2018 ja 2019. Virhepalkki kuvaa keskiarvon keskivirhettä (n=3).

Porkkanan kasvu krittinen typpipitoisuus väheni kasvun edetessä 2,5 %:sta alle 1 %:iin (kuva 21). Pienen typpilannoituksen kasvustoissa typpipitoisuus oli selvästi alempana kuin vähintään 60 kg/ha typpilannoitustason kasvustoissa.

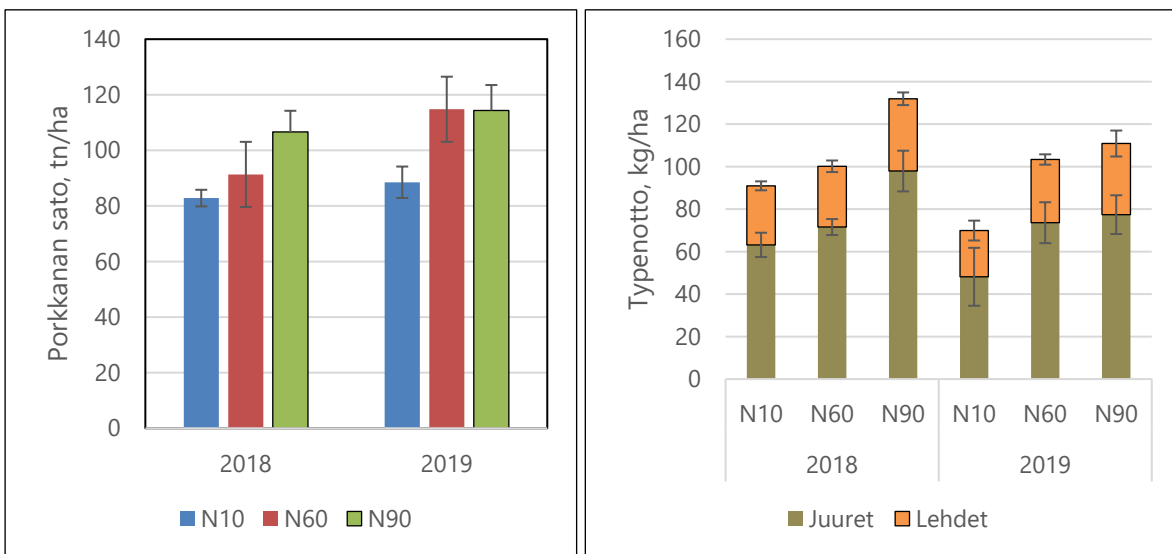


Kuva 21. Porkkanan typpipitoisuus suhteessa kuivapainoon ruuduittain kaikissa kolmessa näytteenotossa 2018 ja 2019.



Kuva 22. Porkkanan typpilannoitustasojen typenotto 2018 ja 2019. Virhepalkki kuvaa keskiarvon keskivirhettä (n=3).

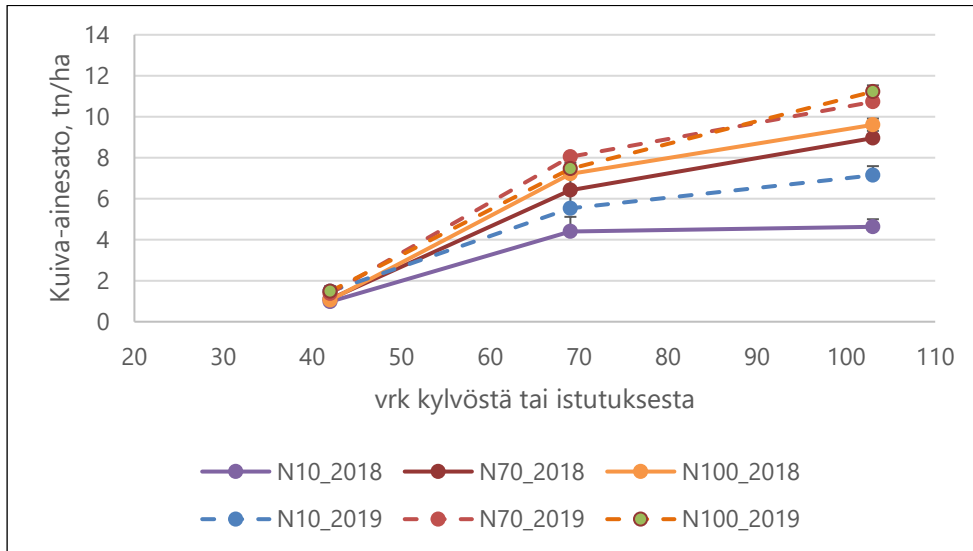
Porkkanakasvuston kokonaistypenotto oli suurimmilla lannoitustasoilla hieman yli 100 kg/ha (kuva 22). Vain muiden lannoitteiden mukana 10 kg/ha typpeä saaneiden kasvustojen kokonaistypenotto oli korkea, 70–90 kg/ha, verrattuna keräkaaliin ja sipuliin. Porkkanan tuoesadot olivat molempina koevuosina suurimmat, kun typpilannoitus oli 90 kg/ha (kuva 23), mutta vuonna 2019 myös N 60 kg/ha riitti korkeimpaan saavutettuun satotasoon. Typen kokonaisotosta 25–30 % oli porkkanan naateissa.



Kuva 23. Porkkanan satotasot ja typenoton jakautuminen sadossa juurekseen ja lehtiin. Virhetermi on keskiarvon keskivirhe (n=3).

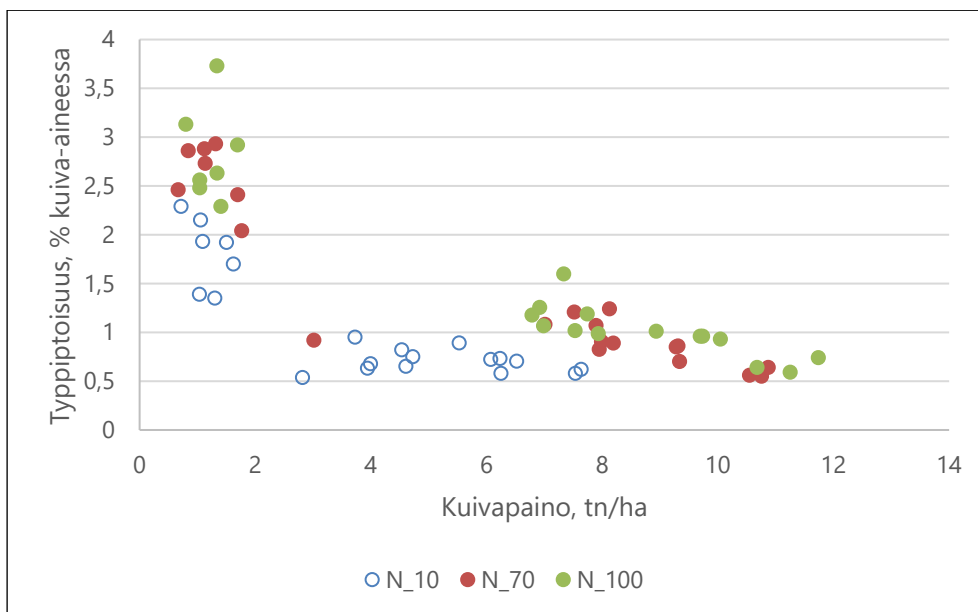
Sipuli

Sipulin maanpäälliset kuiva-ainesadot (Kuva 24) olivat suurimmillaan noin 10 tn/ha 2018 ja noin 11 tn/ha 2019. Typpilannoitus lisäsi molempina vuosina kuiva-ainesatoa selvästi verrattuna pienen typpilannoituksen (N 10 kg/ha). Typpilannoitus N 70 kg/ha tuotti molempina vuosina lähes saman kuiva-ainesadon kuin N 100 kg/ha lannoitus.

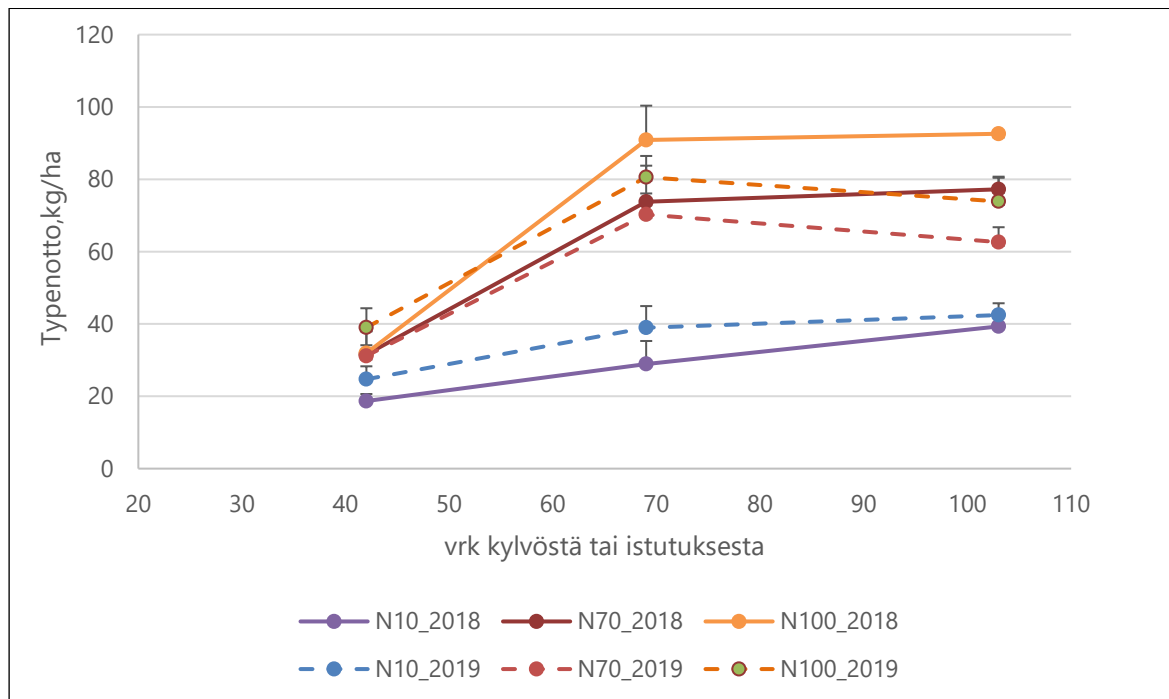


Kuva 24. Sipulin kuiva-ainesadon kehitys 2018 ja 2019. Virhepalkki kuvaa keskiarvon keskivirhettä (2018: n=4 ja 2019: n=3).

Sipulin kasvulle kriittinen typpipitoisuus väheni kasvun edetessä 3 %:sta alle 1 %:iin (kuva 25). Pienen typpilannoituksen kasvustoissa typpipitoisuus oli selvästi alempana kuin vähintään 70 kg/ha typpilannoitustason kasvustoissa.

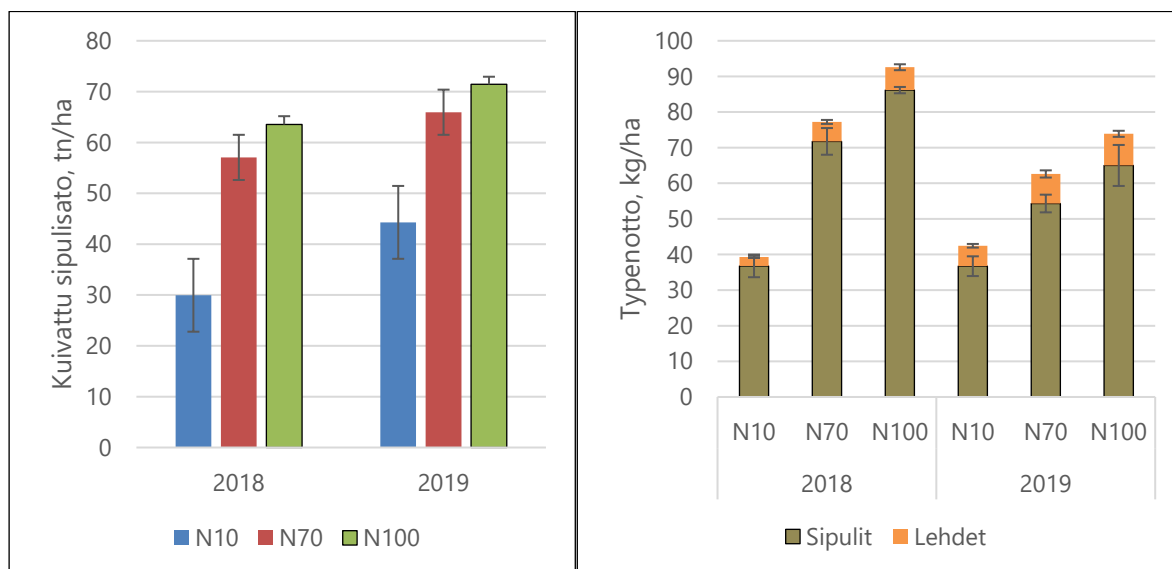


Kuva 25. Sipulin typpipitoisuus suhteessa kuivapainoon ruuduittain kaikissa kolmessa näytteenotossa 2018 ja 2019.



Kuva 26. Sipulin typpilannoitustasojen typenotto 2018 ja 2019. Virhepalkki kuvaa keskiarvon keskivirhettä (2018: n=4 ja 2019: n=3).

Sipulikasvuston kokonaistypenotto oli suurimmilla lannoitustasoilla 80–90 kg/ha (kuva 26). Vain muiden lannoitteiden mukana 10 kg/ha typpeä saaneiden kasvustojen kokonaistypenotto oli 40 kg/ha. Sipulin tuoesadot olivat molempina koevuosina suurimmat, kun typpilannoitus oli 100 kg/ha (kuva 27), mutta N-lannoitus 70 kg/ha tuotti lähes yhtä suuren sadon. Typen kokonaistotosta alle 15 % oli sipulin kuivissa lehdeissä.



Kuva 27. Sipulin satotasot kuivattuna ja typenoton jakautuminen sadossa sipuliin ja lehtiin. Virhetermi on keskiarvon keskivirhe (2018: n=4, 2019: n=3).

3.4. Johtopäätökset

Kaksivuotisissa typpilannoituskokeissa vertailtiin kolmea typpilannoitustasoa keräkaalin, sipulin ja porkkanan viljelyssä samoilla koeruuduilla siten, että toisena vuonna viljeltiin kaalin jälkeen sipulia, sipulin jälkeen porkkanaa ja porkkanan jälkeen kaalia. Kaikkien vihannesten korkeimmat typpilannoitustasot tuottivat suuren ja todennäköisesti korkeimman saavutettavissa olevan saotason. Keräkaalin osalta 70 % arvioidusta optimityppilannoituksesta tuotti myös hyvän sadon, mutta se oli selvästi matalampi kuin optimilannoitukseksi arvioitu N 230 kg/ha. Porkkanalla ja sipulilla 70 % arvioidusta optimilannoituksesta tuotti lähes saman sadon kuin korkein lannoitustaso. Porkkana- ja sipulikasvustojen typenotot olivat korkealla typpilannoituksella yleensä suurempia kuin 70 % typpilannoitustasoilla.

Porkkana on tunnetusti tehokas ravinteiden hyödyntäjä, ja vaikka tässä kokeessa sadonmuodostus hyötyi lannoituksesta, porkkana otti alimmalla typpilannoitustasolla (10 % arvioidusta optimista) ensimmäisenä koevuonna typpeä 91 kg/ha ja seuraavana vuonna lannoittamattoman sipulin jälkeen vielä 70 kg/ha. Porkkanan ja keräkaalin typenotto pienellä typpilannoituksella vähentyi toisena koevuonna, kun edellisvuoden vihannes oli viljelty niukalla typellä. Sen sijaan sipulin typenotto alimmalla typpilannoituksella oli molempina vuosina samaa tasoa. Tämä johtuu esikasvina olleesta keräkaalista, jonka niukalla typpilannoituksellakin viljellystä kasvustosta (kerän ulkopuoliset lehdet) jäi typpeä maahan 25 kg/ha. Typpikokeiden mallinnustulokset julkaistaan tarkemmin myöhemmin.

4. Kastelun taloudellisuus

Anu Koivisto ja Tapio Salo

Kasvukauden aikaiset kuivat jaksot alentavat satoa vedenpuutteen vuoksi, mutta myös sen vuoksi, että kasvit eivät pysty hyödyntämään annettua typpilannoitusta täysimääräisesti kuivuuden takia. Sadonalennuksen lisäksi käyttämättä jääneestä typpilannoituksesta muodostuu ympäristöhaittaa valumien muodossa. Investoimalla kastelulaitteisiin voidaan estää kuivuuden aiheuttamat sadonalennukset sekä tehostaa annetun typpilannoituksen käyttöä.

Tässä osiossa on tarkasteltu sitä, mitkä ovat kastelun kustannukset suhteessa kastelusta saataisiin hyötyihin sään luoma epävarmuus huomioon ottaen. Tarkastelu on tehty kolmella esimerkkikasvilla, jotka ovat keräkaali, sipuli ja porkkana, ja kahdella maalajityypillä. Saatavat satohyödyt perustuvat kasvumallinnuksen tuottamiin tuloksiin. Kasvumallinnuksen pohjana on 30 vuoden sääaineisto, jonka perusteella on laskettu tarvittava kastelumäärä sadon tuoton optimoimiseksi. Pitkän aikavälin tarkastelun lisäksi huomioidaan ilmaston muutoksen tuoma vaikutus, minkä vuoksi investoinnin kannattavuutta tarkastellaan myös lyhyemmällä ajanjaksoilla.

4.1. Kasvumallinnukset

Taloustarkastelua varten tuotettiin aineisto (taulukko 9), jossa keräkaalin, porkkanan ja sipulin satovaihtelua mallinnettiin kolmenkymmenen vuoden ajanjaksolla 1990–2019 hyödyntäen EU-Rotate-N-mallia (Rahn ym. 2010). Mallinnukseen käytettiin Kokemäen sääaseman havaintoja, ja mikäli mallin tarvitsemia tietoja, kuten kokonaissäteily, ei ollut saatavilla, käytettiin Jokioisten observatorion havaintoja. Mallin käyttämiä säähavaintoja olivat ilman keskilämpötilan, suhteellisen kosteuden, tuulen nopeuden ja kokonaissäteilyn vuorokausikeskiarvot, vuorokauden mini- ja maksimilämpötila sekä sadanta. Vesistressin kerrointa käytetään laskettaessa kuiva-aineentuoton alentuminen seuraavasti:

Alentuminen = vesistressin kerroin * mahdollinen transpiraatio / potentiaalinen transpiraatio

Transpiraatio = kasvin kautta tapahtuva veden haihtuminen

Taulukko 9. Mallinnuksen kasvikohtaiset lähtötiedot.

	Keräkaali	Porkkana	Sipuli
Peruslannoitus (N), kg/ha	100	70	70
Istutus/kylvö	21.5.	16.5.	16.5.
Kasvutiheys, kpl/ha	27 800	1 000 000	566 700
Lisälannoitus (N), kg/ha	50+50+30	30	30
Kuiva-ainesadon tavoite, t/ha	15,5	15,5	12
Satoindeksi	0,65	0,83	0,75
Sadonkorjuu	28.9.	25.9.	27.8.
Vesistressin kerroin	1,00	0,75	0,75

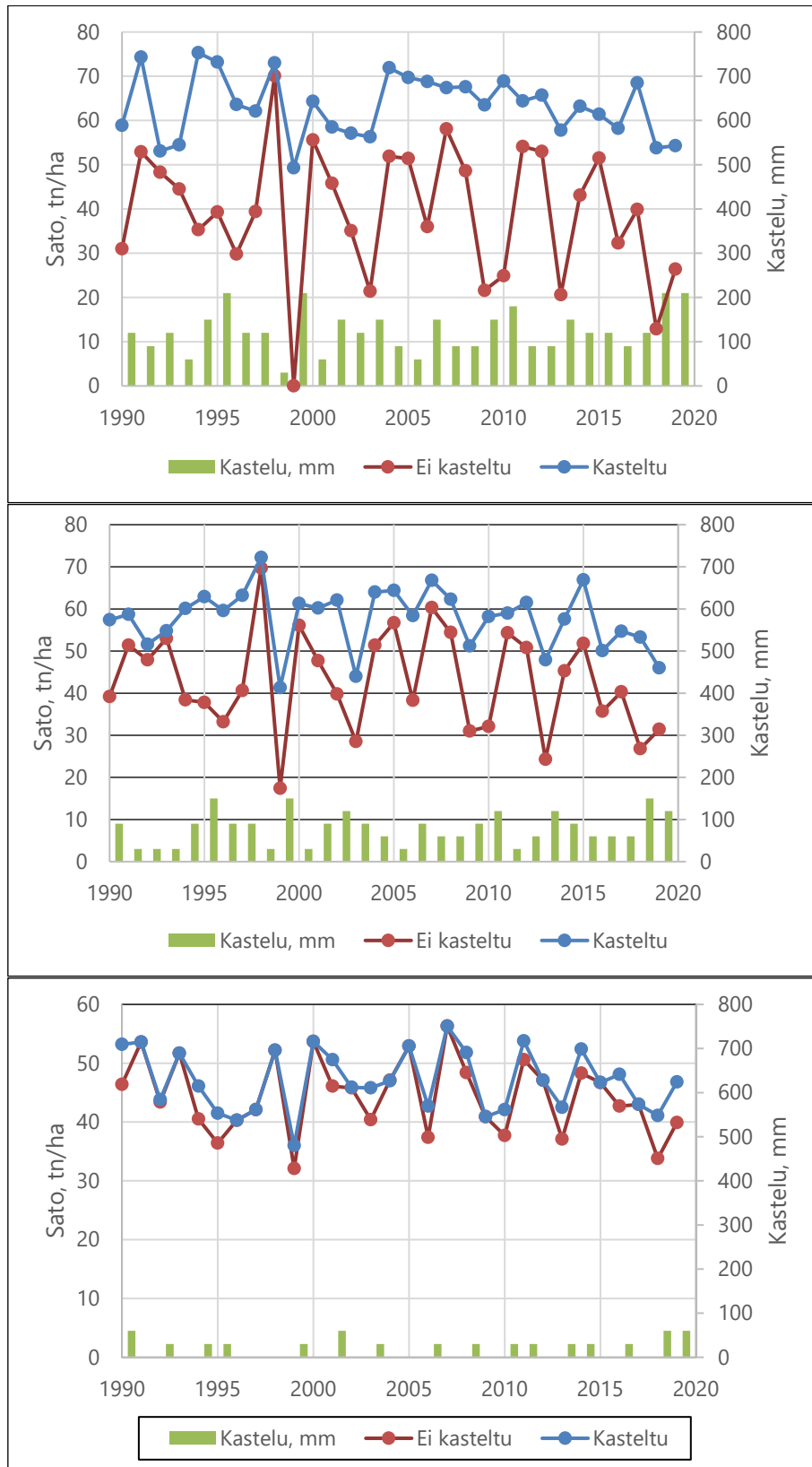
EU-Rotate-N malliin määriteltiin kaksi erilaista maalajia (taulukko 10), joiden kyky varastoida vettä ja luovuttaa sitä kasvien käyttöön ovat erilaiset. Veden puutteesta helposti kärsivässä maalajissa kasvin juuriston syvyys on matalampi (40 cm), ja vettä varastoiva hyötykapasiteetti 10 % eli 10 cm maakerros voi sisältää kasvien käyttöön 10 mm vesimäärän. Viljelykasville runsaammin vettä tarjoavassa maalajissa juuristo pystyy ottamaan vettä 60 cm syvyyteen asti, ja maan vettä varastoiva hyötykapasiteetti on 20 % eli 10 cm maakerros voi sisältää 20 mm kasvien käytettävissä olevaa vettä.

Taulukko 10. Mallinnuksessa käytetyt maalajit.

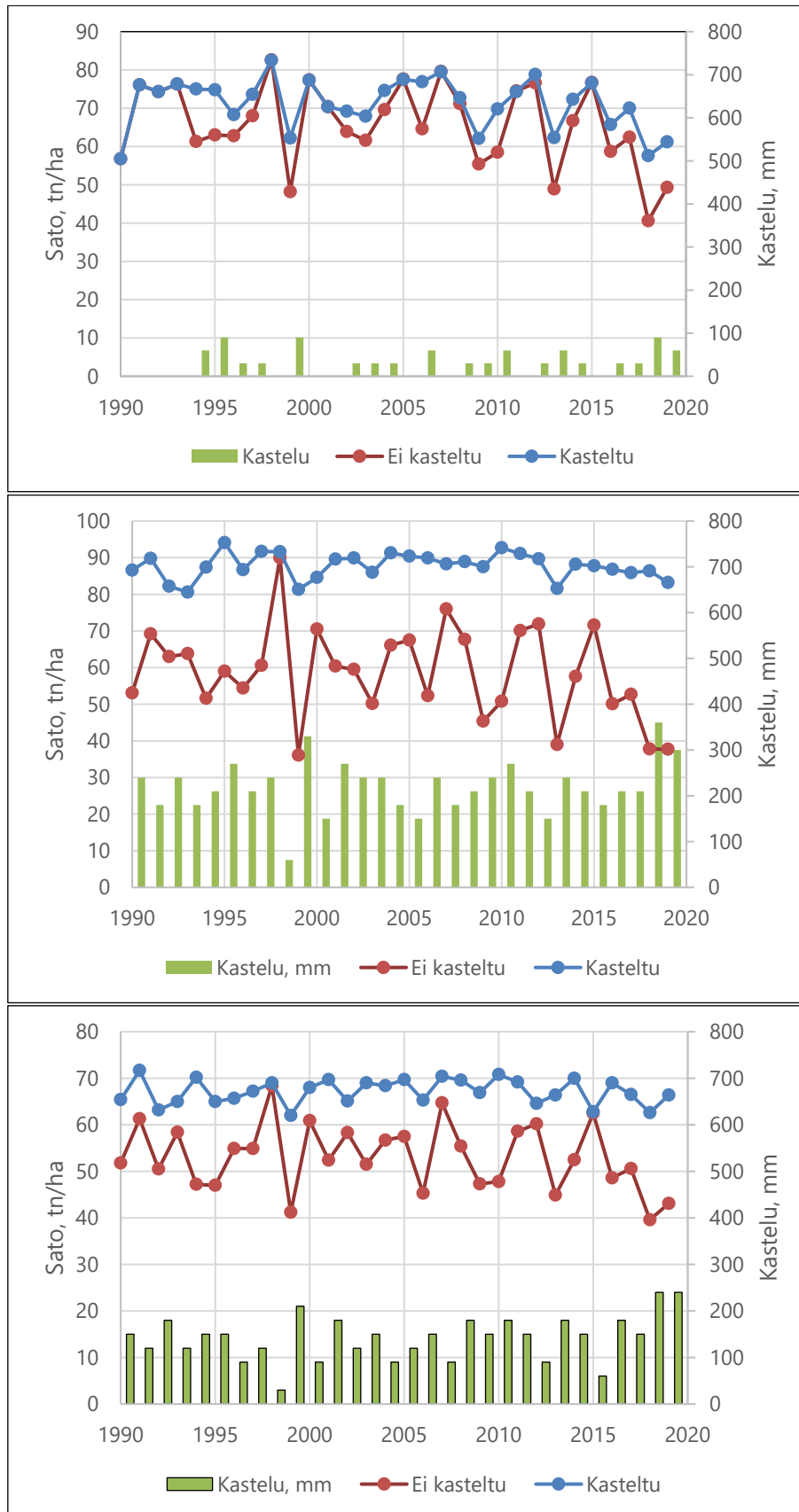
Ominaisuus	Niukat vesivarat	Runsaat vesivarat
Juuriston maksimisyvyys, cm	40	60
Lakastumisraja (pF 4,2), %	11	11
Kenttäkapasiteetti (pF 2), %	21	31
Vedellä kyllästynyt maa, %	31	41
Veden vajuus, mm, josta seuraa kastelupäätös		
Keräkaali	30	90
Porkkana ja sipuli	30	30
Veden vajaukseen laskettu kerros, cm		
Keräkaali		
Porkkana ja sipuli	40	60
	40	40
Vedestä käytetty kastelun alkaessa 40 cm kerroksessa, %		
Keräkaali	75	75
Porkkana ja sipuli	75	37,5
Kertakastelun määrä, mm	30	30

Luonnonsateiden varassa mallinnetut kuiva-aineen tuotto ja satotasot vaihtelivat toivotulla tavalla ja tuottivat eroja kasvilajien ja kasvukausien sateisuuden vaikutuksesta maassa, jonka vesivarat ovat niukat (kuva 28). Keräkaalin ja sipulin kuiva-ainetuotanto sekä satotaso nousivat selvästi kastelun vaikutuksesta. Sipulin satoerot olivat kuitenkin pienet, koska sipulin matala juuristo kulutti vettä niin vähän, että maa ei kuivunut mallissa säädetyllä kastelurajalle.

Kun maan luontaiset vesivarat olivat runsaat, kasvien välillä erottui erilaisen kastelustrategian vaikutus sekä kastelutarpeeseen että sadonmuodostukseen. Keräkaalin kastelutarve oli vähäinen (kuva 29), kun maan vesivarat olivat hyvät ja kastelua annettiin vasta 60 cm juuristokerroksen saavutettua 75 %:n veden vajauksen. Porkkanan ja sipulin kastelun raja oli mallinnuksessa määritelty matalaksi, koska porkkanan hidas alkukehitys vaatii hyvää kosteutta maan pintakerrokseen ja sipulin juuristosityvyys on matala. Porkkanalla ja sipulilla kastelua annettiin hyvin vettä varastoivalla maalajilla usein, ja runsas kastelu nosti selvästi porkkanan ja sipulin satotasoja (kuva 29). Porkkanalla suuret kastelumäärät lisäsivät kuitenkin typen huuhtoutumista.



Kuva 28. Keräkaalin, porkkanan ja sipulin mallinnetut satotasot ilman kastelua tai kasteltuna maassa, jonka vesivarat ovat niukat. Sadot on kuvattu pisteinä (vasen y-akseli) ja pylväät ovat vuosittaiset kastelumäärät (oikeanpuoleinen y-akseli).



Kuva 29. Keräkaalin, porkkanan ja sipulin mallinnetut satotasot ilman kastelua tai kasteltuna maassa, jonka vesivarat ovat runsaat. Sadot on kuvattu pisteinä (vasen y-akseli) ja pylväät ovat vuosittaiset kastelumäärät (oikeanpuoleinen y-akseli).

4.2. Kastelun kustannukset ja tuotot

4.2.1. Kastelun kustannukset

Kastelun taloudellisuuden tarkastelussa kastelumenetelmänä käytettiin kevytsadetinjärjestelmää, joka soveltuu vihanneksille hyvin. Kastelulaitteisto on pitkävaikutteinen investointi, mikä tarkoittaa, että sitä käytetään usean vuoden ajan. Pitkävaikutteisissa investoinneissa vuotuis-kustannukset eli kiinteät kustannukset lasketaan poiston, koron, korjaus- ja kunnossapito- ja vakuutuskustannusten muodossa. Lisäksi kastelusta aiheutuu muuttuvia kustannuksia työ- ja energiakustannusten muodossa.

Poistokustannus laskettiin tasapoistona:

$$\frac{\text{Hankinta-arvo} - \text{Jäännösarvo}}{\text{Poistoaika}} = \text{Poistokustannus}$$

Jäännösarvona käytettiin 0 € ja poistoaikana viittä vuotta.

Korkokustannus laskettiin:

$$\begin{aligned} &(\text{Hankinta-arvo} + \text{Jäännösarvo}) / 2 = \text{Keskimääräinen arvo} \\ &\text{Keskimääräinen arvo} * \text{Korkoprosentti} = \text{Korkokustannus} \end{aligned}$$

Korkoprosenttina käytettiin viittä prosenttia.

Korjaus- ja kunnossapitokustannus laskettiin:

$$\text{Hankinta-arvo} * \text{Korkoprosentti} = \text{Korjaus- ja kunnossapitokustannus}$$

Korkoprosenttina käytettiin kolmea prosenttia.

Vakuutuskustannus laskettiin seuraavanlaisesti:

$$\text{Hankinta-arvo} * \text{Korkoprosentti} = \text{Vakuutuskustannus}$$

Korkoprosenttina käytettiin 0,2 prosenttia.

Sadetinjärjestelmiä on eri hintaisia, minkä vuoksi taloustarkasteluissa tarkasteltiin eri hintaisten sadetuslaitteistojen vaikutusta sadetusinvestoinnin kannattavuuteen. Taulukossa 11 on sadetuslaitteistojen investointikustannus hehtaaria kohden sekä investoinnin aiheuttamat kiinteät kustannukset per vuosi.

Taulukko 11. Kasteluinvestointi ja sen kiinteät kustannukset.

Hankinta-arvo, €/ha	Kiinteät kustannukset, €/vuosi
6 000	1 542
7 000	1 799
8 000	2 056
9 000	2 313
10 000	2 570
14 000	3 598

Kiinteiden kustannusten lisäksi kastelusta aiheutuu muuttuvia kustannuksia. Tarkastelussa muuttuvista kustannuksista on huomioitu kastelutyöstä aiheutuvat kustannukset sekä kastelupumpun pyörittämisestä aiheutuvat energiakustannukset. Kastelukertojen määrä saatiin kasvumallinnuksesta, ja sadetustarpeen lähtökohtana oli maan kosteus. Talousmallinnuksessa on käytössä samat kaksi vesivaroiltaan erilaista maalajityyppiä kuin kasvumallinnuksessa. Näistä eri maalajityypeistä on ominaisuuksien perusteella käytetty termejä "niukka" ja "runsas" (taulukko 10). Sadetuskertojen määrä eri ajanjaksoilla on taulukossa 12. Yhden kastelukerran arviointiin kestävän kolme tuntia. Lisäksi arvioitiin, että kastelulaitteiston asennukseen ja purkuun kuluu vuodessa 10 tuntia. Työtunnin hintana käytettiin 16 €/h. Työtunnin hinta sisältää palkan lisäksi sosiaalikulut. Taulukossa 13 on kastelun muuttuvat kustannukset. Tarkastelujaksona on käytetty "Viimeiset 5 vuotta".

Taulukko 12. Keskimääräiset kastelukerrat vuodessa eri tarkastelujaksoilla vesivaroiltaan erilaisilla maalajityypeillä.

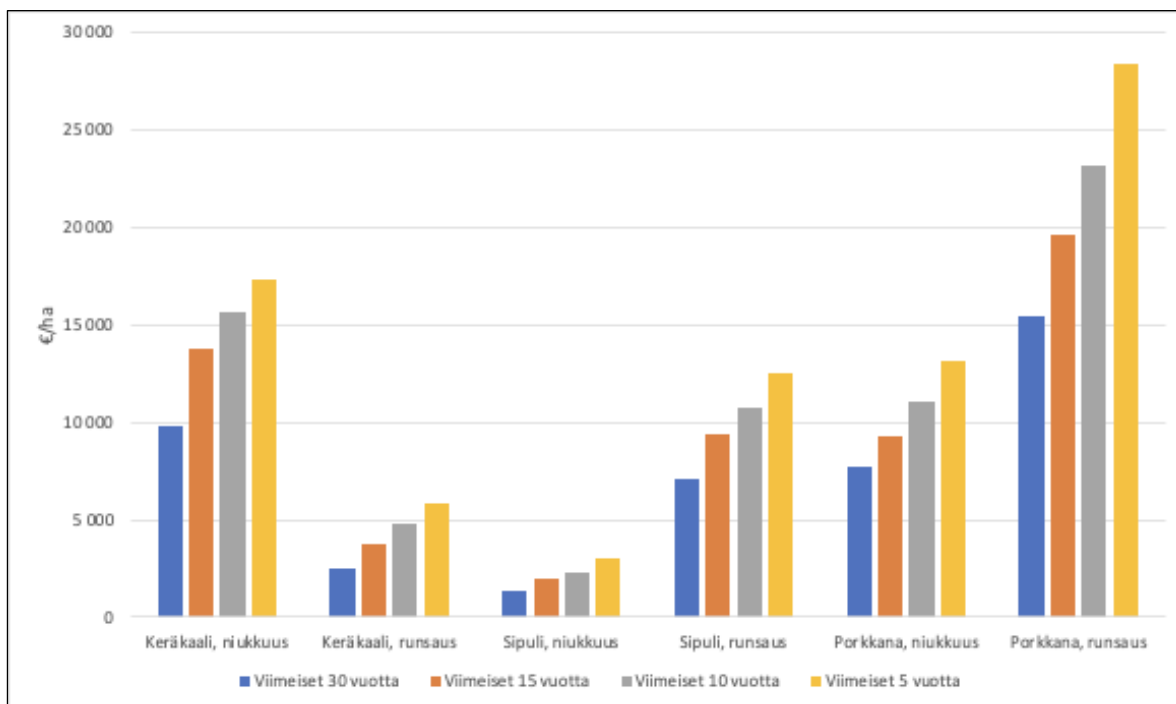
Kastelukerrat	30 vuoden tarkastelujakso	Viimeiset 15 vuotta	Viimeiset 10 vuotta	Viimeiset 5 vuotta
Keräkaali, niukka	4,1	4,3	4,6	5,0
Keräkaali, runsas	1,0	1,1	1,3	1,8
Sipuli, niukka	0,7	0,7	0,9	1,0
Sipuli, runsas	4,7	5,1	5,4	5,8
Porkkana, niukka	2,6	2,7	2,9	3,0
Porkkana, runsas	7,3	7,5	7,8	8,2

Taulukko 13. Kastelun muuttuvat kustannukset tarkastelujaksolla "Viimeiset 5 vuotta" vesivaeroiltaan erilaisilla maalajityypeillä.

	Kastelukertojen määrä, kpl	Sadetus-kerran kesto, h	Työkustannukset, €/ha	Energia-kustannukset, €/ha	Kustannukset yhteensä, €/ha
Keräkaali, niukka	5	3	240	120	360
Keräkaali, runsas	2	3	84	42	126
Sipuli, niukka	1	3	48	24	72
Sipuli, runsas	6	3	278	139	418
Porkkana, niukka	3	3	144	72	216
Porkkana, runsas	8	3	392	196	588

4.2.2. Kastelusta saatavat tuotot

Kastelusta saatavat taloudellisia hyödyt määritettiin kasvumallinnuksen simuloimilla eroina saadoissa kastellun ja ei-kastellun mallin välillä. Mahdollinen kastelulla saatu sadonlisä arvotettiin kunkin vuoden kyseisen vihanneksen kesimääräisen arvonlisäverottomalla tuottajahinnalla. Kuvassa 30 on sadonlisä euromääräinen arvo kullakin tarkastelujaksolla. Arvo on nimellisarvo.



Kuva 30. Sadelisän arvo (€/ha) kullakin vihanneksella ja maalajityypillä.

Sekä kastelukertojen (taulukko 12) sekä sadonlisätarkastelun (kuva 30) perusteella huomataan, että kastelun merkitys on kasvanut viime vuosina. Kastelukertojen määrä on kasvanut kaikilla

vihanneksilla nykyhetkeä lähestyttäessä. Myös kastelulla saatava sadonlisä on kasvanut kaikilla vihanneksilla sen mukaan, mitä lähempänä nykyhetkeä tarkastelu-aika on.

Mallinnuksen tavoitteena oli saada kasvukausien välisiin satoihin voimakasta vaihtelua, jota kastelun avulla voitaisiin tasata. Ennako-oletuksena oli, että enemmän vettä varastoivalla maalajityypillä vihannesten sato ei alentuisi kuivuuden takia yhtä herkästi kuin niukkojen vesivarojen maalajityypillä niukka. Keräkaalilla malli toimii ennako-odotusten mukaan, ja kastelulla saatava sadonlisä näyttäisi olevan selvästi suurempi sellaisilla maalajeilla, jotka pystyvät varastoimaan vettä niukemmin. Sipulin ja porkkanan kohdalla mallin muut määritelmät vaikuttivat enemmän kastelumääriin ja sadonmuodostumiseen. Sipulin kohdalla vesivaroiltaan niukalla maalajityypillä kastelun raja-arvo ei täytynyt helposti, jolloin kastelumäärät ja saavutettu lisä-sato jäivät pieniksi. Tällainen tilanne voi myös esiintyä, kun tilan kastelukapasiteetti on rajallinen ja kastelua ei voida tehdä riittävästi. Porkkanan ja sipulin viljelyssä vesivaroiltaan runsailla maalajityypeillä kastelupäätös puolestaan tehtiin pienessä vedenpuutoksessa, ja satotasot nousivat korkeiksi samalla, kun kastelumäärät olivat myös suuria. Nämä mallinnukset kuvaavat tilanetta, jossa kastelun toteutus on helppoa ja vettä on saatavissa lähes rajattomasti kasvukaudesta riippumatta.

4.2.3. Kastelun kannattavuus

Kastelun kannattavuutta tarkasteltiin vertaamalla sadonlisän arvoa suhteessa kastelun kustannuksiin. Kustannuksissa ovat mukaan sekä kiinteät että muuttuvat kustannukset. Mikäli sadonlisän arvo on tarkastelujaksolla keskimäärin suurempi kuin kustannukset, kasteluinvestointi on taloudellisesti järkevä.

Taulukoista 14–16 huomataan, että kasteluinvestoinnin kannattavuus ei ole herkkä investointikustannukselle. Ainoastaan sipulilla vesivaroiltaan niukalla maalla investointikustannuksen nousu vaikutti siihen, ettei kastelulaiteinvestointi ollut kannattava edes viimeisen viiden aikana, jolloin kastelu tarve olisi mallin mukaan ollut suurin.

Taulukko 14. Osuus, kuinka monena vuonna tarkastelujaksolla tuotot ovat kustannuksia suuremmat, kun sadetusinvestoinnin kustannus on **8 000 €/ha**.

Kasvi ja vesivarat	30 vuoden tarkastelujakso	Viimeisen 10 vuoden tarkastelujakso	Viimeisen 5 vuoden tarkastelujakso
Keräkaali, niukka	90 %	100 %	100 %
Keräkaali, runsas	45 %	70 %	80 %
Sipuli, niukka	28 %	60 %	60 %
Sipuli, runsas	93 %	90 %	80 %
Porkkana, niukka	90 %	100 %	100 %
Porkkana, runsas	100 %	100 %	100 %

Taulukko 15. Osuus, kuinka monena vuonna tarkastelujaksolla tuotot ovat kustannuksia suuremmat, kun sadetusinvestoinnin kustannus on **10 000 €/ha**.

Kasvi ja vesivarat	30 vuoden tarkastelujakso	Viimeisen 10 vuoden tarkastelujakso	Viimeisen 5 vuoden tarkastelujakso
Keräkaali, niukka	86 %	100 %	100 %
Keräkaali, runsas	38 %	70 %	80 %
Sipuli, niukka	14 %	40 %	60 %
Sipuli, runsas	90 %	80 %	80 %
Porkkana, niukka	86 %	90 %	100 %
Porkkana, runsas	100 %	100 %	100 %

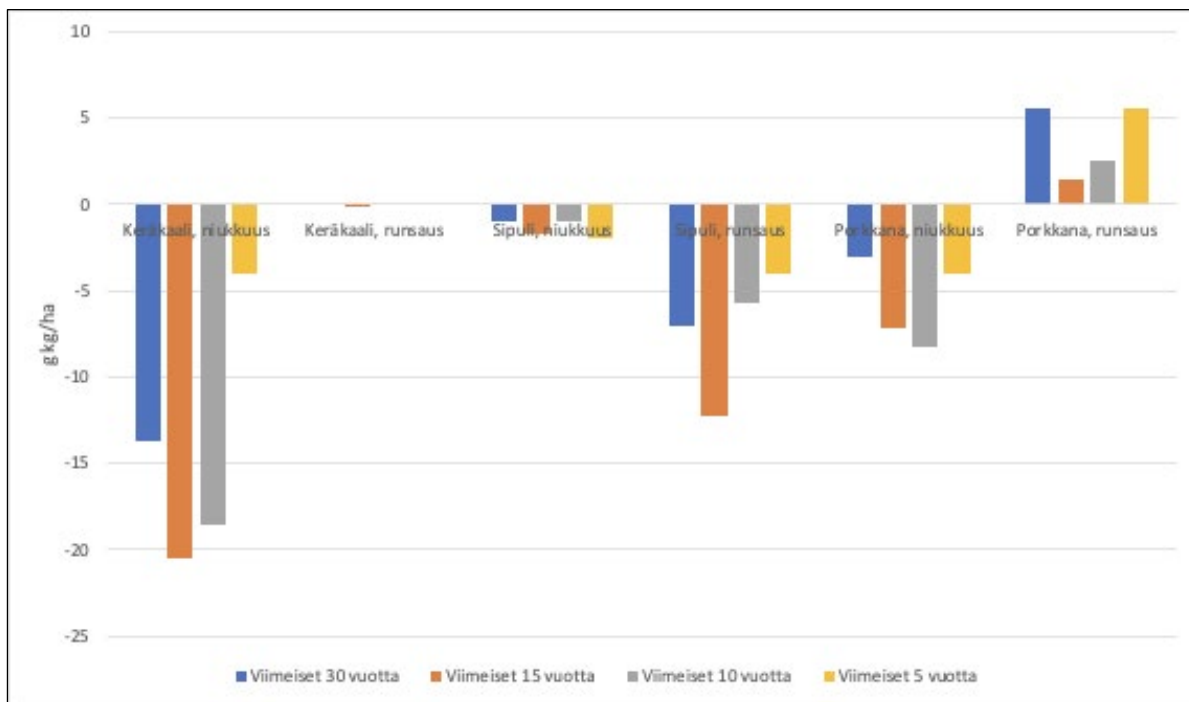
Taulukko 16. Osuus, kuinka monena vuonna tarkastelujaksolla tuotot ovat kustannuksia suuremmat, kun sadetusinvestoinnin kustannus on **12 000 €/ha**.

Kasvi ja vesivarat	30 vuoden tarkastelujakso	Viimeisen 10 vuoden tarkastelujakso	Viimeisen 5 vuoden tarkastelujakso
Keräkaali, niukka	86 %	100 %	100 %
Keräkaali, runsas	24 %	60 %	80 %
Sipuli, niukka	7 %	20 %	40 %
Sipuli, runsas	69 %	80 %	80 %
Porkkana, niukka	72 %	90 %	100 %
Porkkana, runsas	100 %	100 %	100 %

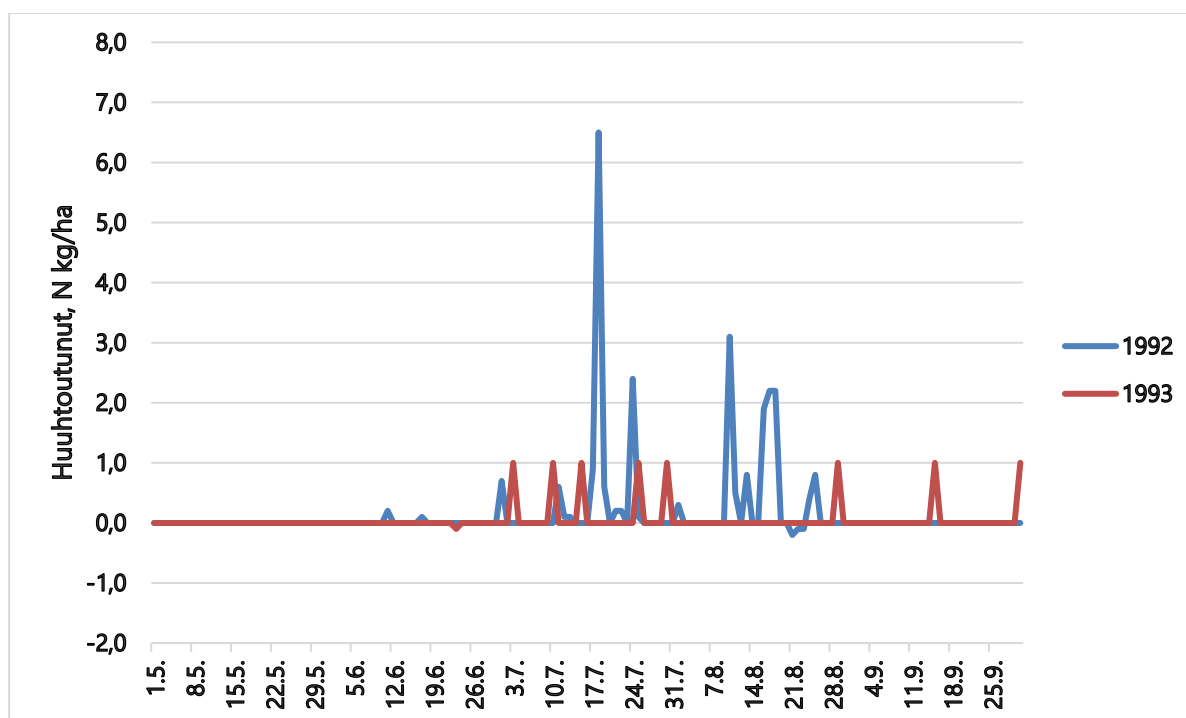
4.3. Typen huuhtoutuminen

Typen huuhtoutumista tarkasteltiin kasvumallinnuksen avulla. Oletuksena oli, että kastelun avulla kasvi käyttää annetun typen tehokkaammin, eikä typpeä jää kuivana vuonna käyttämättä. Laskelmissa oletettiin, että kasvilta ylijäänyt typpi huuhtoutuu.

Kasvumallin tuottamat muutokset typen huuhtoumissa ovat kuvassa 31. Muilla tarkastelluilla kasveilla kastelu tuotti ennakoitun muutoksen huuhtoumien vähentymisessä lukuun ottamatta porkkanaa vesivaroiltaan runsaassa maalajityypissä. Vaikka sadonlisä porkkanalla poudankes-tävällä maalla oli huomattava, kastelu aiheutti kasvukauden aikana typen huuhtoutumista (kuva 32).



Kuva 31. Muutos tyyppi huuhtoutumisesta kastelun seurauksena.



Kuva 32. Huuhtoutumisen jakautuminen porkkanan runsaasti vettä käytettävissä olevassa maassa kasvukauden aikana. Huuhtoutunut tyyppi on erotus kastellun ja kastelemattoman mallinnuksen välillä vuosilta 1992 ja 1993.

4.4. Johtopäätökset

Kastelun taloudellisuutta tarkasteltiin teoreettisesti kasvumallinnuksen avulla. Vaikka mallinnuksessa on aina jonkin verran epävarmuutta, osoittavat tulokset sen, että kastelu on taloudellisesti kannattavaa kaikilla vihanneksilla. Kastelun merkitys on vain kasvanut viime vuosina, sillä kastelun antaman sadonlisän arvon on vain kasvanut mitä lähemmäs nykyhetkeä tullaan. Kastelun mallinnus pohjautuu sääaineistoihin.

Toinen tärkeä havainto, että kasteluinvestoinnin kannattavuus ei ole herkkä kastelun investointikustannukselle. Tulos kertoo kastelusta saatava sadonlisän olevan niin suuri, että muutaman tuhannen euron ero investointikustannuksesta hehtaaria kohden ei muuta kasteluinvestointia kannattamattomaksi.

Kasvumallinnuksen perusteella tarpeen mukainen kastelu näyttäisi myös vähentävän huuhtoumia, kun annettu lannoitus pystytään hyödyntämään tehokkaammin myös kuivina jaksoina.

Taloustarkastelu ei ota huomioon kastelun vaikutuksia sadon laatuun, vaan oletuksena on, että saatu sato on myyntikelpoista. Todennäköisesti kastelu parantaa myös sadon laatua ja tasalaa-tuisuutta, ja siten lisää kastelulla saatavia tuottoja.

5. Vihannestuotannon vesistövaikutukset ja niiden hallinta

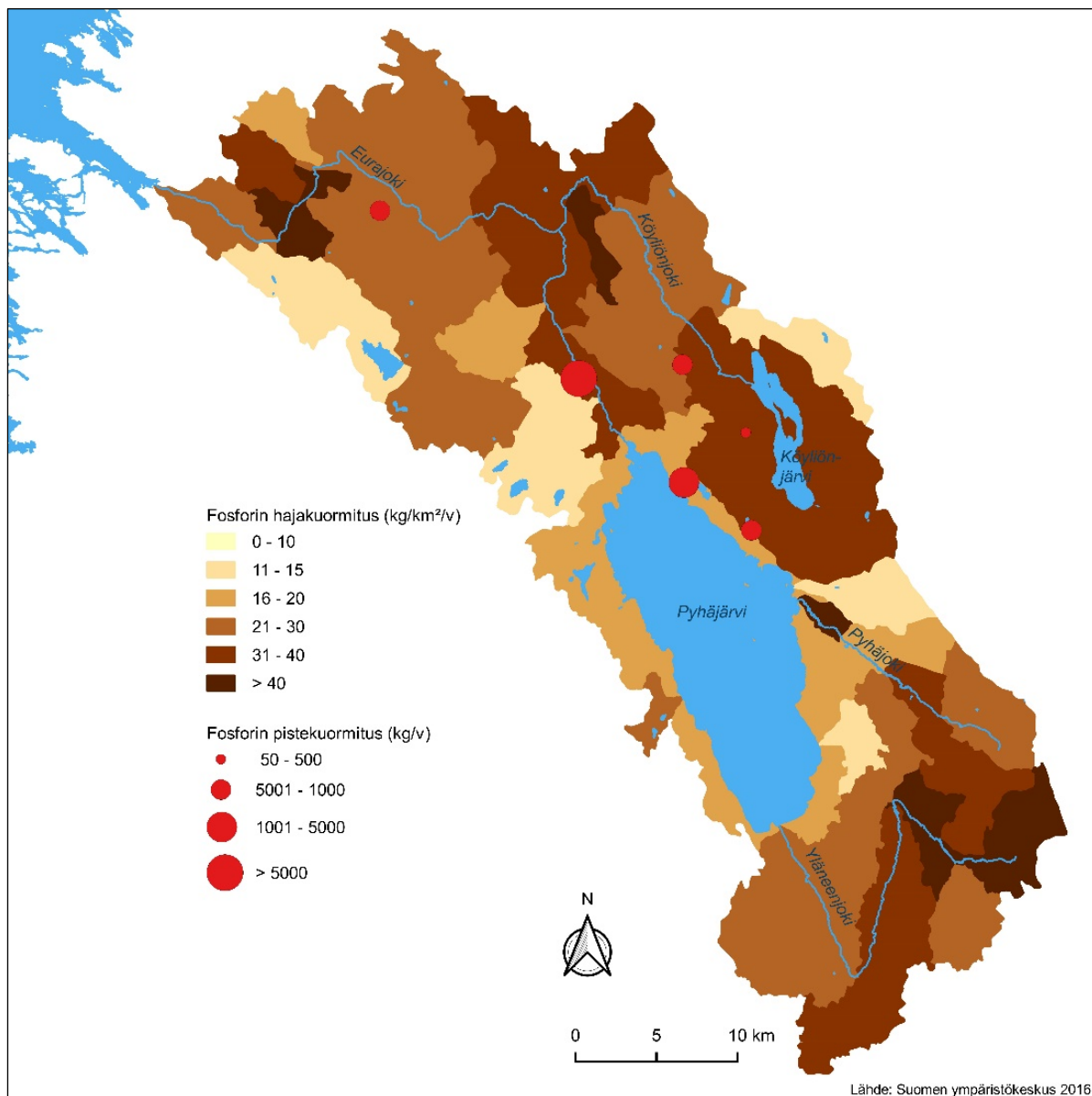
Päivi Laine, Anne-Mari Ventelä, Teija Kirkkala, Johanna Pihala ja Sauli Jaakkola

5.1. Lounais-Suomen vesistöjen tila ja ravinnekuormitus

Lounais-Suomessa suuri osa pintavesistä suuri osa on hyvää heikommassa ekologisessa tilassa. Vesistöjen merkittävin ongelma on rehevöityminen, jota erityisesti aiheuttaa voimakas haja-kuormitus. Valmisteilla olevassa alueen vesienhoidon toimenpideohjelmassa (kevät 2021) on arvioitu, että Varsinais-Suomen ja Satakunnan alueella maatalouden aiheuttama pintavesien tilaa heikentävä paine kohdistuu 91 prosenttiin alueen jokimuodostumista ja 51 prosenttiin alueen järvimuodostumista. Toimenpideohjelmassa käytetyn mallinnuksen mukaan ihmistoinnasta aiheutuvaa vuosittaista fosforikuormaa tulisi vähentää 30–70 % nykytasosta vesien hyvän tilan saavuttamiseksi.

Alueella vesistöjen kuormitusriskiä kasvattaa viljeltyjen alueiden eroosioherkkyys maalajien tai peltojen kaltevuuden vuoksi, peltojen savisuus ja pitkäaikaisen viljelyn aiheuttama maaperän korkea fosforitila. Esimerkiksi Eurajoen vesistöalueella fosforin hajakuormituksen taso vaihtelee osavaluma-alueittain, ja korkea hajakuormitusta on arvioitu esiintyvän mm. eroosioherkillä Yläneenjoen valuma-alueilla ja erikoistuneen kasvinviljelyn alueilla (kuva 33, Eurajoen vesistöalueen kuormituskartta 2006-2011, aineistolähde SYKE Vesienhoidon toimenpidesuunnitelma).

Erikoiskasviljely tuotantosuuntana on ollut lannoitusintensiivistä. Kun viljelykasvien kasvuunsa käyttämä ravinne määrä on pitkään ollut pienempi kuin peltoon annettu fosforiravinne-lisäys, on erikoiskasviljelyssä olleeseen peltoon viljelyhistorian aikana usein kertynyt huomattavaa fosforivarantoa. Toimenpideohjelman mukaan Varsinais-Suomen ja Satakunnan erikoiskasvien viljelyalueilla on runsaasti peltoja, joiden viljavuusluku on korkea tai jopa arveluttavan korkea. Vesien rehevöitymistä edistävä fosfori kulkeutuu pellolta valuma- ja salaojavesien kautta vesistöihin liukoisena tai hiukkasmaisena. Maan viljavuusfosforin taso korreloi sen valumavesissä esiintyvän liuennan fosforin määrän kanssa, joten korkean P-luvun pelloilta päätyy vesistöihin enemmän suoraan leville käyttökelpoista fosforia kuin alemman viljavuusluokan mailta. Lisäksi P-luku vaikuttaa siihen, paljonko valumavesien hiukkasmaisesta fosforista, joka ei vesistöihin päätyessään ole suoraan perustuotannon käytettävissä. Hiukkasmaisesta fosforista osa kuitenkin vapautuu leville käyttökelpoiseen muotoon. Vesistökuormituksen hallinta on tärkeää erityisesti korkean tai arveluttavan korkean P-tason pelloilla.



Kuva 33. Eurajoen vesistöalueen mallinnettu fosforikuormitus (Vemala, 2002–2012 aineisto). Aineistolähde Suomen ympäristökeskus 2016.

5.2. Keinoja ravinnekuormituksen hallintaan

Ravinnekuormitusta on helpoin vähentää sen alkulähteellä. Peltöjen fosforivarannon alentaminen negatiivisen fosforitaseen kautta on hyvin hidasta, joten tarvitaan keinoja, joilla voidaan edistää ravinteiden päätymistä mahdollisimman tehokkaasti viljelykasvien käyttöön. Kasvukauden aikana lannoituksen ajoitus ja tarpeenmukaisuus ovat tässä merkittävässä asemassa; oikeassa muodossa ja oikeaan aikaan annettu ravinnelisäys päätyy suoraan kasvien käyttöön. Lisäksi kasvua edistävien, suotuisien kasvuolosuhteiden luomisessa avaintekijöitä ovat maan rakenne ja vesitalous. Kasvukauden ulkopuolella ei tapahdu ravinteiden sitoutumista kasvuun, joten pellon ravinnevaranto tulisi saada pysymään peltomaassa. Ravinnepoistuma tapahtuu veden mukana huuhtomana, joten kasvukauden ulkopuolella vedenhallintaan ja veden aiheuttaman eroosion vähentämiseen tähtäävät toimet ovat avainasemassa. Ohjaillemalla pellolla veden virtailuja ja hidastamalla virtauksen nopeutta esimerkiksi pellon pinnan muotoilun, oji-

tuksen ja kasvipeitteisyyden avulla voidaan edistää veden suotautumista ja varastoitumista maaperään. Maaperän lajitekoostumus, joka on suhteellisen muuttumaton, määrää pitkälti veden pidätyskyvyn, mutta vaikuttamalla maan rakenteeseen voidaan edistää pellon vesitaloutta. Huono maan vesitalous pilaa rakenteen ja huono maan rakenne pilaa vesitalouden.

Maan kestävä ja sopivasti oikeankokoisia huokosia sisältävä rakenne, jossa ei ole tiivistymiä, mahdollistaa kasvien veden ja ravinteiden oton mahdollisimman suuresta maatilavuudesta. Vesitalous vaikuttaa myös satotasoon, sillä kasvukauden sademäärä jää yleensä niin alhaiseksi, että kasvu tapahtuu pääosin maassa jo ennestään olevalla tai kasteluvvedellä.

Pintamaan rakenteeseen pystyy suhteellisen nopeasti vaikuttamaan viljelyteknisillä keinoilla, kuten sovittamalla koneiden käyttö pellon kantavuuteen tiivistymien ehkäisemiseksi ja ajoittamalla muokkaus optimaaliseen aikaan. Salaojituksen ja sen laskuaukkojen toimivuus vähentää seisovan veden aiheuttamia ongelmia: maan liettymistä, heikentyntä muokkautuvuutta, kohonnutta tiivistymisriskiä ja kaasunvaihdon heikentymistä tiivistyneessä peltomaassa.

Maan mururakenne on merkittävässä osassa maan vesitaloudessa ja ravinnevalumien ehkäisyssä. Mururakenne vaikuttaa maan eroosioherkkyyteen, veden pystysuuntaisiin liikkeisiin, maan muokkautumisominaisuuksiin ja huokoskokojakaumaan. Mururakenteen vahvistamisen avulla voidaan vähentää pintamaan eroosioriskiä ja maahiukkasten mukana vesistöihin päätyvän fosforin määrä. Orgaanisen aineksen määrän lisäys vahvistaa muruja, sillä mikrobiologiassa hajotuksessa syntyy liima-aineita, jotka stabiloivat mururakennetta. Hyvä mururakenne edistää veden kulkeutumista syvempiin kerroksiin ja varastoitumista kasveille käyttökelpoisena, pintavalunnan sijaan. Samalla edistetään kaasunvaihtoa. Orgaanisen aineksen lisäys kohentaa mikrobiologisen hajotuksen edellytyksiä ja vaikuttaa vesitalouteen pesusienimäisesti, varastoiden äkillisiä suurempia sademääriä.

Mururakenteen vahvistamiseen ja sitä kautta eroosion ja ravinnehuuhtoumien vähentämiseen voidaan savimailla käyttää rakennekalkkia (menetelmän soveltavuuteen vaikuttaa maan savespitoisuus, johtoluku, pH ja Ca/Mg-suhde). Rakennekalkki saa savihiukkaset kiinnittymään tiukemmin toisiinsa ja muodostamaan muruja tai estämään mururakenteen hajoamista. Myös kipsikäsittelyllä (ei sovellu maille, joilla on korkea Ca/Mg-suhde) voidaan vahvistaa mururakennetta, minkä lisäksi kipsikäsittely saa fosforin pidättymään tiukemmin maahiukkasiin. Kipsilisäys ei kuitenkaan sovellu käytettäväksi järvien valuma-alueilla, koska kipsin sisältämä sulfaatti lisää rehevöitymisriskiä. Molempia menetelmiä tutkitaan valuma-aluemittakaavassa ja niille soveltuvista käyttökohteista saadaan lisää tutkittua tietoa tulevien vuosien aikana.

Pellon eroosioon voidaan vaikuttaa myös ohjailemalla veden liikkeitä pellon pinnalla. Tasamalla kohoumia ja painanteita edistetään veden tasaista imeytymistä maahan. Veden varastoituminen peltoon on tärkeää sekä vesienhallinnan että kasvuedellytysten turvaamisen vuoksi. Vihannesviljelyssä kastelulla varmennetaan veden saatavuutta, mutta yleisesti ottaen varastoitunut tai kapillaarisesti nouseva vesi on merkittävin tekijä peltoviljelykasvien sadonmuodostuksessa. Maan huokoisuus (ilman ja veden tilavuuden suhde suhteessa maan kokonaistilavuuteen) ja huokosten koko, muoto, jatkuvuus ja mutkikkuus vaikuttavat maan kykyyn varata ja kuljettaa vettä. Kasveille käyttökelpoinen vesi sijaitsee maassa 0,0002–0,03 mm huokosissa, mutta lisäksi yli 0,03 mm huokosia tarvitaan kuljettamaan ylimääräinen vesi pois. Maan huokosominaisuuteen vaikuttaa pellon lajitekoostumus mutta siihen voidaan vaikuttaa orgaanisen aineksen lisäyksellä.

Pellon eroosioherkkyyteen ja veden varastoitumisominaisuuksiin vaikuttaa myös maan rakenne, jota voidaan edistää mekaanisella tai biologisella kuohkeutuksella. Biologis-mekaaninen syväkuohkeutus ei ole perusmuokkausta, vaan sen avulla synnytetään maahan rakennetta, joka

antaa lisää tilaa vedelle ja kaasuille. Rakenne syntyy yhdessä kasvien kanssa, sillä kasvien juuret stabiloivat mekaanisella käsittelyllä synnytetyn rakenteen.

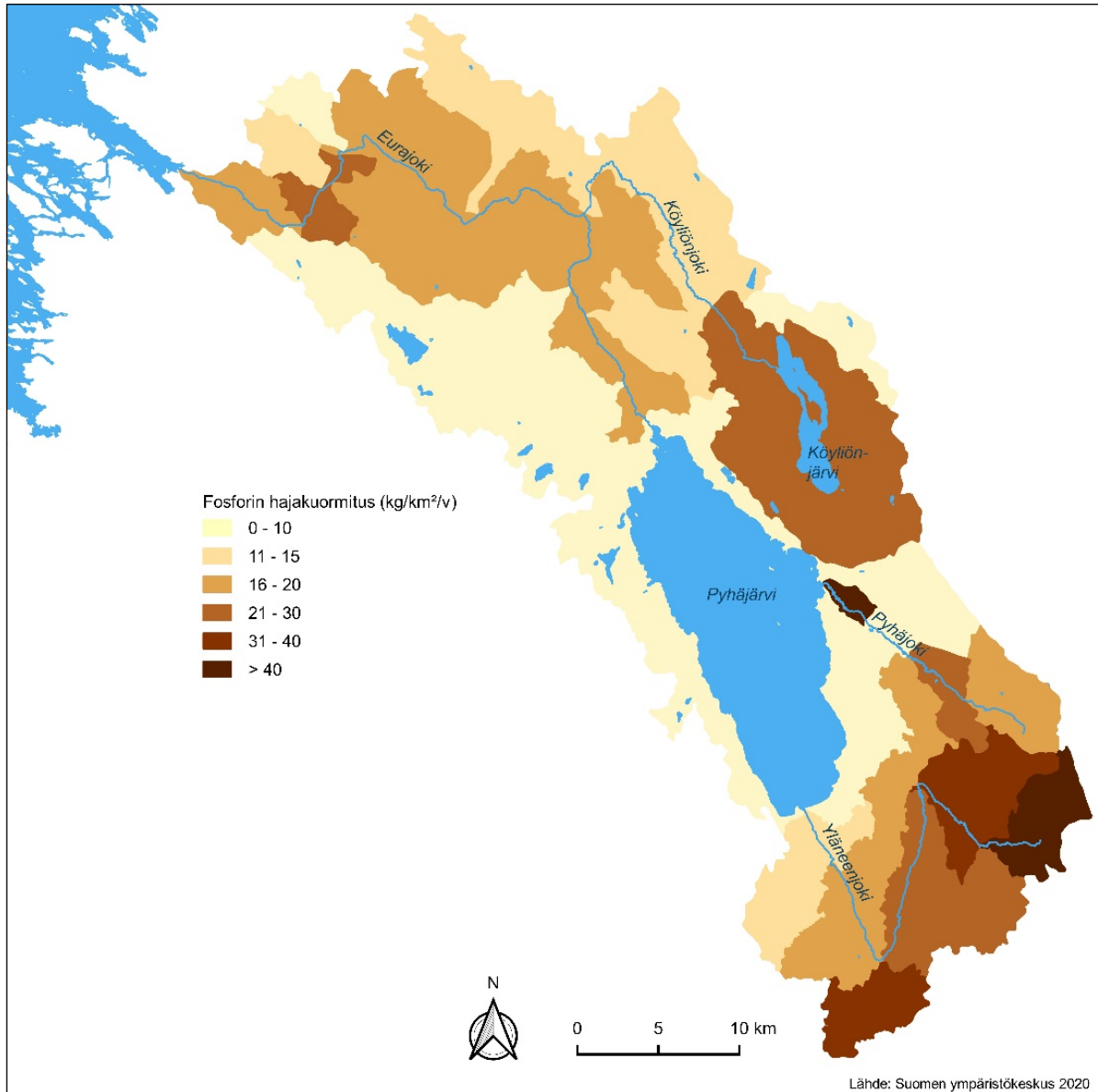
Maan rakennetta voidaan ylläpitää ja parantaa myös sopivan kasvillisuuden avulla. Kasvipeitteen maksimointi estää kiintoaineksen eroosiota ja suojaa maan pintaa veden vaikutuksilta. Syväjuuriset kasvit edistävät huokosrakennetta juurikanavillaan ja niillä on murustava ja muruja vahvistava vaikutus, mikä lisää veden varastoitumista ja vähentää ravinnehuuhtoumia.

Muita keinoja ravinnehuuhtoumien hallintaan ovat esimerkiksi kerääjäkasvin käyttö satokasvin jälkeen. Kerääjäkasvikasvusto sitoo ravinteita ja haihduttaa ylimääräistä vettä. Vihannesten myöhäinen sadonkorjuu tosin tuo haasteita kerääjäkasvuston perustamiseen. Rivinvälejä voisi olla mahdollista käyttää kerääjäkasvien kasvualustana, mutta se vaatii koneistuksen kehittelyä. Muiden toimien lisäksi lannoituskäytännöillä voidaan saada sekä taloudellisia että ympäristöhyötyjä; sopiva lannoitteen jako ja tyyppi sekä biologinen typensidonta kumppanuuskasvien ja viherlannoituskasvustojen avulla voivat vähentää vesistökuormitusta.

Vesistökuormituksen hallintaan tarvitaan ajantasaista tietoa pellon ravinnevarannon tilanteesta ja pellon kasvukunnosta. Kuormituksen hallinnassa voidaan käyttää ja tarvitaan monenlaisia toimia, jotka on harkittava lohkokohtaisesti sen ominaisuuksien perusteella. Toimia ei välttämättä pysty toteuttamaan joka vuosi, osa menetelmistä tuottaa tuloksia nopeasti ja osa vaikutuksista näkyy vasta vuosien kuluttua, joten ravinnekuormituksen vähentäminen on jatkuvaa pitkän aikavälin toimintaa.

5.3. Valumavesien seuranta ja vesianalyysitulokset

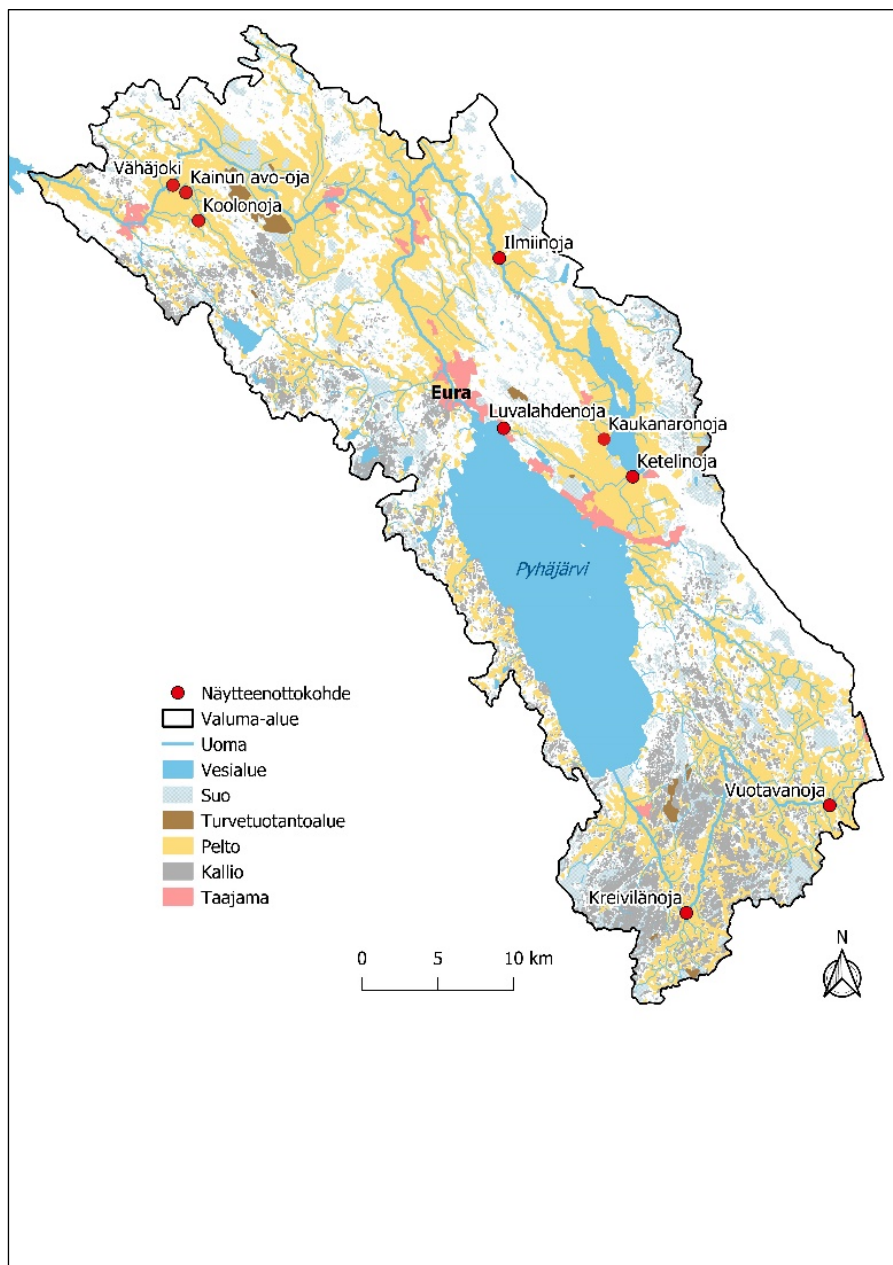
Eurajoen vesistöalueen eri alueet ja osavaluma-alueet ovat kuormitusriskin suhteen hyvin erilaisia (kuva 34). Alueella viljeltyjen alueiden maalajit vaihtelevat hienojakoisista hieta- ja savi- maista karkeampiin hiesu- ja hiekkamaihin. Happamien sulfaattimaiden esiintyminen Eurajoen ylä- ja keskiosassa lisää erityisesti typen huuhtoutumisen riskiä. Vesistöjen läheiset korkeuserot ja kaltevuudet ovat suurimmillaan alueen eteläosassa Yläneenjoen valuma-alueella, mutta toisaalta Eurajoen keskiosassa maan alavuus ja alueen tulvaherkkyys nostavat kuormitusriskiä. Rusle-eroosiomallinnus osoittaa korkeaa eroosioriskiä jokien reuna-alueille lähes koko vesistöalueella. Myös maankäytössä on eroja. Laajimmin viljeltyt alueet sijaitsevat Pyhäjärven ja Köyliönjärven välisellä alueella ja Köyliönjoen ja Eurajoen jokilaaksossa ja erikoiskasvinviljelyä sijoittuu erityisesti Pyhäjärven ja Köyliönjärven ympäristöön. Uusimpaan aineistoon perustuvan Vemala-kuormitusmallinnuksen tulosten perustella tehty ihmisperäisen fosforin hajakuormitusta esittävä karttakuva osoittaa suurimman kuormitusriskin jakautuvan nimenomaan Yläneenjoen eroosioherkille alueille ja perinteisen vihannesviljelyn alueelle Köyliönjärven läheisyyteen.



Kuva 34. Eurajoen vesistöalueen mallinnettu ihmisperäinen fosforin hajakuormitus (Vemala) 2013–2020 aineiston perusteella. Karttaesityksen aineistolähde Suomen ympäristökeskus (Vemala) 2020.

Pyhäjärvi-instituutti on seurannut vuodesta 2017 merkittävimpien Köyliönjokeen ja Eurajokeen ja jo aiemmin Pyhäjokeen ja Yläneenjokeen laskevien ojien tilaa ja ravinnepitoisuuksia Eurajoen vesistöalueella.

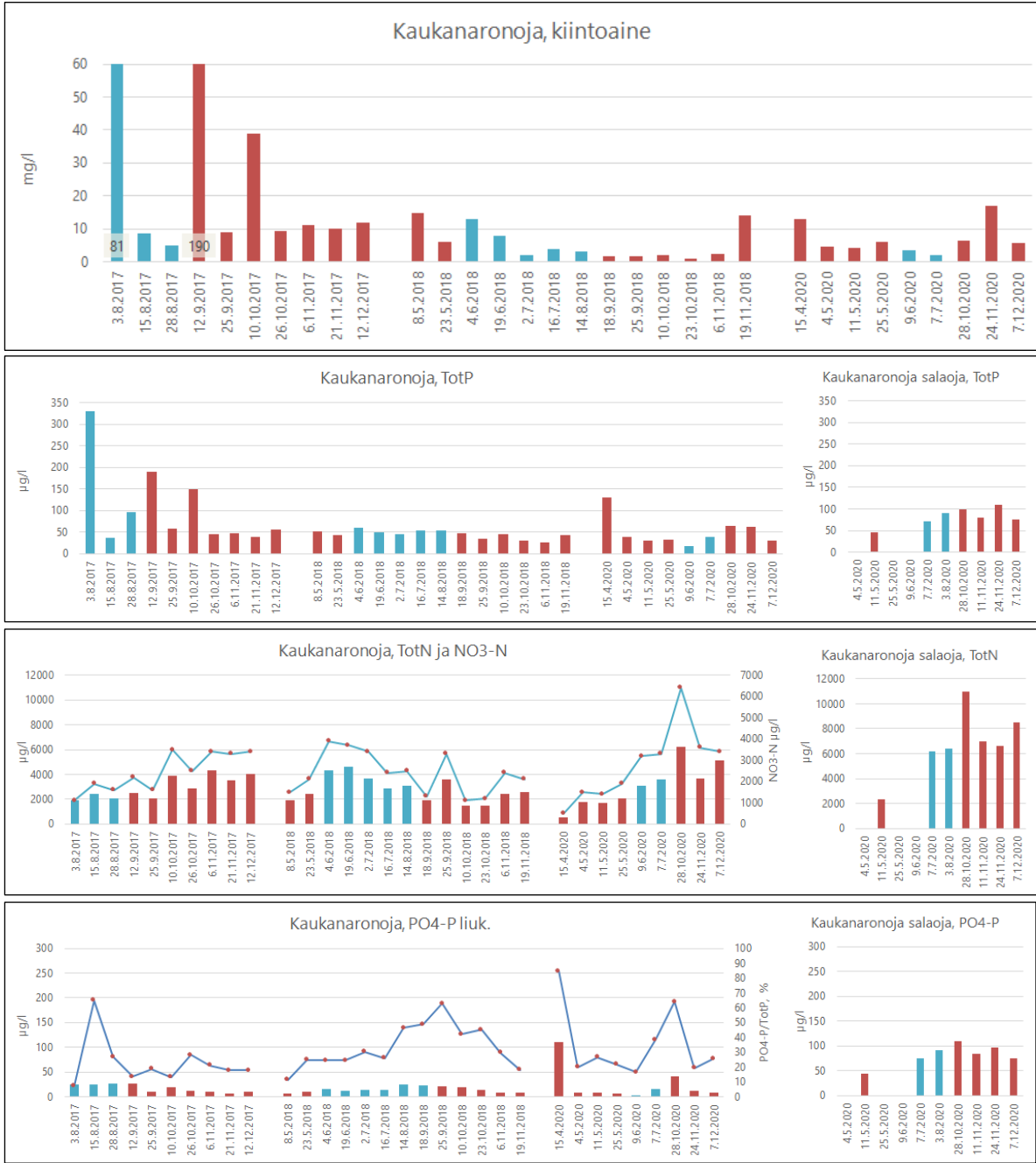
Vihannestuotannon kestävä ravinnehuolto -hankkeessa tehtiin vuosina 2018-2020 ojavesien vedenlaadun seuranta kaikkiaan 12 kohteessa, joista pääosa oli passiivinäytteenottimen testauskohteita (kuva 35).



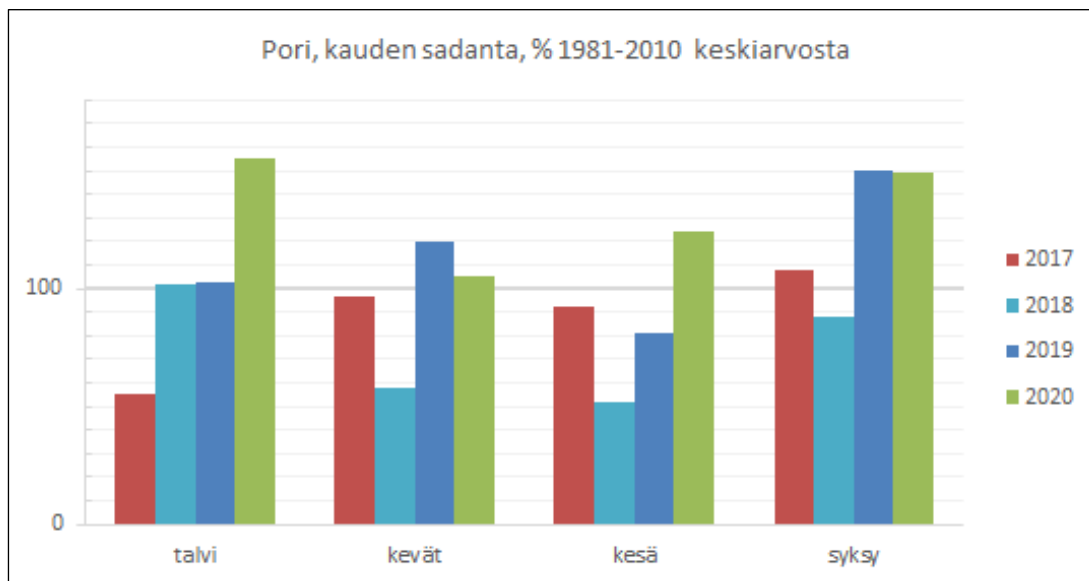
Kuva 35. Vedenlaadun seurannan näytteenottokohteet Eurajoen vesistöalueella.

Vesianalyysyjä varten vesinäytteet otettiin manuaalisesti käsinoutimella näytepulloon. Laboratoriossa näytteistä analysoitiin sameus, pH ja sähkönjohtavuus sekä kiintoaine-, kokonaisfosfori-, kokonaistyyppi-, nitraattityppi- ja ammoniumtyppipitoisuudet sekä liukoisen fosfaattifosforin pitoisuus. Vesinäytteenottoa tehtiin pääosin kahden viikon välein, mutta vähäsaiteisella kesäkaudella ojien virtaamat heikkenivät niin pieneksi, ettei näytteiden saaminen ollut mahdollista.

Hankkeessa seurattiin intensiivisimmin pitkään vihannesviljelyssä olleiden peltojen halki virtaavan Kaukanarönojan tilaa ja vuonna 2020 näytteenottoa tehtiin myös sen läheisistä salaojavesistä (kuvat 36 ja 37). Kaukanarönojan valuma-alueesta 26 % on peltoa ja peltojen vallitsevat maalajit ovat hieta ja hiesu. Kaukanarönoja on esimerkki erikoiskasvinviljelyalueen ojasta, jossa vesiensuojelu on huomioitu. Alueen vedenlaatua on seurattu vuodesta 2015 lähtien ja vuonna 2017 ojaan rakennettiin kaksitasouoma, jolla pyritään vähentämään ojan kiintoaine- ja ravinkuormitusta (kuva 37).



Kuva 36. Kaukanaronojan vedenlaadun seurannan tuloksia hankkeen toteutusajalta 2018–2020, taustatietona vuoden 2017 seurannan tulokset (kiintoaine, kokonaisfosfori, kokonaisytyppi ja nitraattityppi, sekä liukoinen fosfaattifosfori ja sen prosenttiosuus kokonaisfosforipitoisuudesta). Kesä-elokuun tuloksia kuvaavat pylväät erotettu korostusvärillä. Oikeanpuoleisessa kaaviossa Kaukanaronojaan laskevan salaojaveden vedenlaatu vuonna 2020; laskuaukot ovat Kaukanaronojan kaksitasouoman ylävirran puolella.



Kuva 37. Kausittainen sadannan poikkeama jakson 1981–2020 keskiarvosta Porissa (aineistolähde Ilmatieteen laitos, säähavainnot, avoin data).

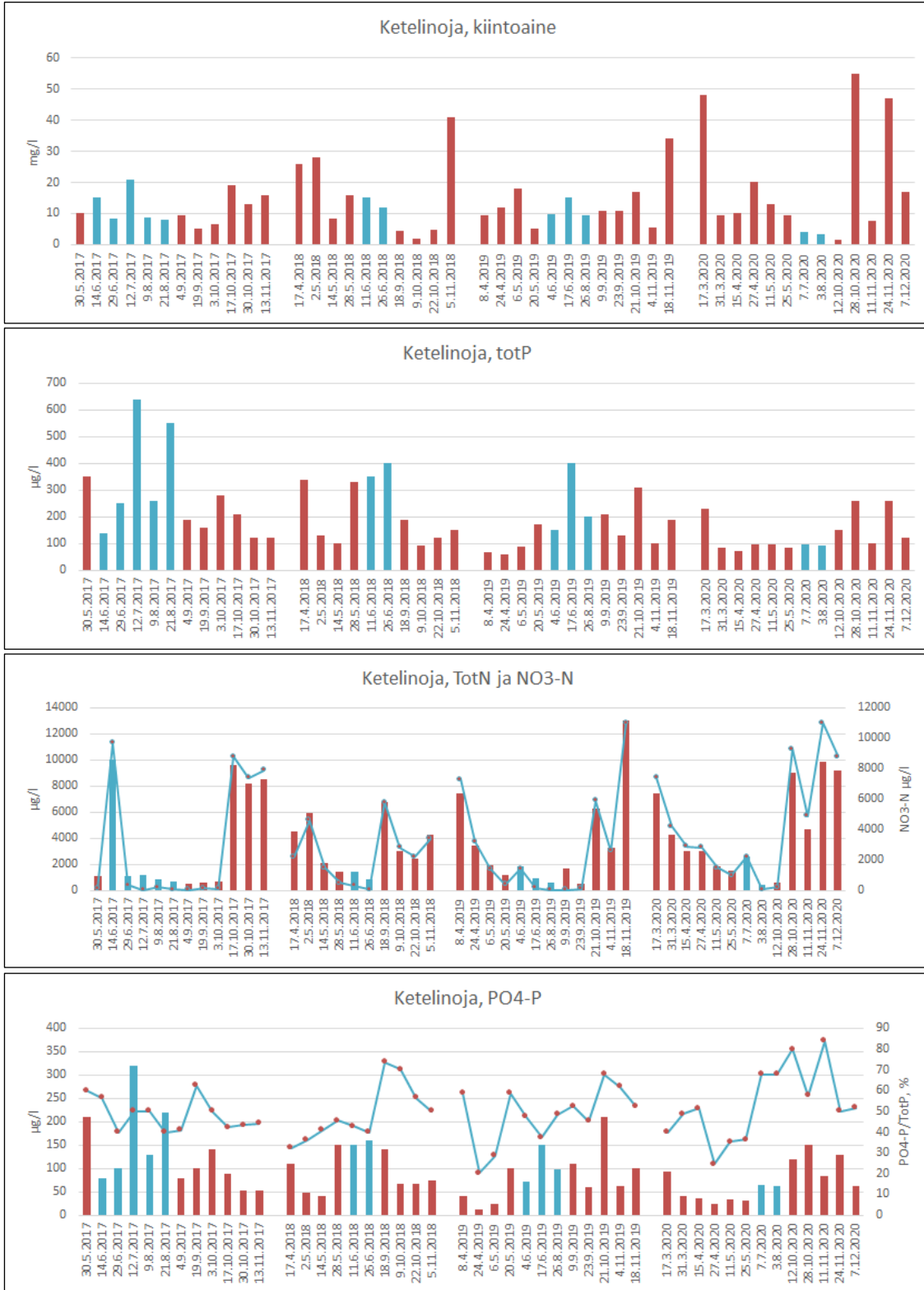
Kaukanaronojan vedenlaadun seurannan tuloksissa näkyy kiintoainepitoisuuden aleneminen kaksitasouoman rakentamisen jälkeen. Toteutettu vesiensuojelutoimenpide on jossain määrin näkynyt myös ravinnepitoisuuksissa. Kokonaisfosforin ja kokonaistypen pitoisuus ojavedessä noudattaa salaojaveden pitoisuuskehitystä vuoden aikana, vaikka pitoisuudet ovat ojavedessä alhaisemmat mm. sen suuremman vesivolyymin, ja todennäköisesti myös kaksitasouoman pidätyskyvyn, vuoksi. Typen ja liukoisen fosforin pitoisuuden kehitys vaihtelee vuosittain. Vä-häsateisena vuonna 2018 kokonaistypen pitoisuus oli suurin kasvukauden alussa, kun taas vuosina 2017 ja 2020 pitoisuus kasvoi syksyä kohti. Seurantatulokset osoittavat, että ravinteiden kulkeutuminen jaksottuu eri vuosina eri tavoin. Seurantajaksolle tosin sijoittuu kaksi hyvin vä-häsateista kesäkautta.



Kuva 38. Kaukanaronojan kaksitasouoman tulvasanteen kasvillisuutta keväällä 2019. Kuva: Pyhäjärvi-instituutti.

Toisena erikoiskasvinviljelyalueen esimerkkinä esitettävän Ketelinojan kiintoainepitoisuudet ovat hieman korkeammat kuin Kaukanaranojassa ja ravinnepitoisuudet ovat korkeammalla tasolla (kuva 39). Ketelinojan valuma-alueella vallitsevat maalajit ovat hiekka (36 %), savi (21 %) ja hiesu (15 %) ja valuma-alueen peltoprosentti on 42.

Kiintoainepitoisuudet ovat suurimmillaan kasvukauden ulkopuolella. Kokonaisfosforin pitoisuus on ollut korkeimmillaan kasvukaudella, mutta vuonna 2020 pitoisuus nousi syksyä kohti. Typpipitoisuus on alimmillaan kasvukauden lopulla ja nousee korkealle tasolle syysateiden aikaan. Liukoisen fosfaattifosforin osuus kokonaisfosforista on mittausjaksojen aikana suurimmillaan syksyn keskivaiheilla. Pitoisuus näyttää vuosina 2019 ja 2020 nousseen vuoden loppua kohti, kun taas aiempina vuosina korkeimmat pitoisuudet ovat olleet kasvukauden aikana. Vesiensuojelutoimina Ketelinojan kahteen sivuhaaraan on rakennettu vuonna 2020 ojanpohjasuodattimet ja valuma-alueella on tehty myös rakennekalkitusta keväällä 2020 ja syksyllä 2019.



Kuva 39. Ketelinojan vedenlaadun seurannan tuloksia hankkeen toteutusajalta 2018–2020 ja taustatietona vuoden 2017 seurannan tulokset (kiintoaine, kokonaisfosfori, kokonaistyyppi ja nitraattityppi, sekä liukoinen fosfaattifosfori PO4-P ja sen prosenttiosuus kokonais-fosforipitoisuudesta). Kesä-elokuun tuloksia kuvaavat pylväät erotettu korostusväriä.

Passiivinäytteenottimen testaus

Perinteisen vesinäytteseuranan lisäksi hankkeessa testattiin SorbiCell-passiivinäytteenotinta kuluessa (kuvat40–42), joka kerää tietoa veden ravinnepitoisuudesta pidemmän (1–3 viikkoa) ajan. Näytteenotin toimii ilman sähköä ja pumppuja. Sitä on käytetty pintavesien lisäksi pohjavesien ja hulevesien seurantaan (Eurofins, 2018).

SorbiCell-keräin on 75 mm pitkä ja halkaisijaltaan 11 mm. SorbiCell-keräin koostuu kolmesta osiosta, jotka ovat adsorbentti, merkkiaine (suola) sekä inertti täyttömateriaali. Veden virratessa keräimen läpi tutkittavat yhdisteet sitoutuvat adsorbenttiin. Samanaikaisesti merkkiaineena toimiva suola, jonka liukoisuus tunnetaan (kalsiumsitraatti), liukenee läpivirtaavaan veteen. Poistuneen suolan määrän avulla voidaan arvioida keräimen läpi mennyt vesimäärä. SorbiCell-keräimessä ravinteet sitoutuvat vastaanottavaan materiaaliin, joka valitaan tutkittavien yhdisteiden mukaan. Keräimien avulla voidaan tutkia mm. PAH-, PCB- ja VOC-yhdisteitä, torjunta-aineita, metalleja, öljyhiilivetyjä, ammonium- ja nitraattityyppiä, ortofosfaattia sekä sulfaattia. Tässä hankkeessa tutkittiin typen eri muotoja (ammoniakki, ammonium, nitraatti, nitriitti), sulfaattia ja fosfaattifosforia. Sekä näytteenottimet että analyysit hankittiin Eurofinsilta, joka on Suomessa ainoa tätä palvelua tarjoava toimija.

SorbiCell-mittauksia suoritettiin 25.10.–16.11.2018 ja 20.11.–16.12.2019. Haasteena oli, että näytteenoton vaatimuksena oli noin 50 cm:n vesipatsas tutkittavassa ojassa. Vuosi 2018 oli äärimmäisen kuiva, ja pelto-ojat olivat kuivia koko kesän. Vasta syksyllä vettä oli riittävästi. Sama toistui vuonna 2019.



Kuva 40. SorbiCell-keräin odottamassa asennusta. Kuva: Pyhäjärvi-instituutti.




Kuva 41. SorbiCell-keräimen asennus. Kuva: Pyhäjärvi-instituutti.



Kuva 42. SorbiCell-passiivinäytteenotin toiminnassa. Kohteessa on oltava riittävä vedenkorkeus koko käyttöjakson ajan. Kuva: Pyhäjärvi-instituutti.

Mittauspaikkoina olivat vuonna 2018 Pyhäjärven Kauttualla laskeva Luvalahdenoja, Ilmiinjärven laskeva Ilmiinoja, Köyliönjärven laskeva Ketelinoja sekä Yläneenjokeen laskevat Kreivilänoja ja Vuotavanoja. Vuonna 2019 kohteena olivat Eurajokeen laskevat Vähäjoki, Koolonoja ja Kylänpäänoja. Kaikista ojista on olemassa pitempiäaikainen mittausaineisto. SorbiCellien avulla määritetyt ravinnepitoisuudet olivat hyvin linjassa vesinäytteiden avulla määritettyjen pitoisuuksien kanssa (kuva 43).

 Sorbicell-tulos 25.10-16.11.2018



Kuva 43. Esimerkkejä SorbiCell-mittauksista vuodelta 2018

SorbiCellien asentaminen oli etenkin alussa melko työlästä ja aikaa vievää. Toisaalta mittauksen aikana (jopa 4 viikkoa) maastokäyntejä ei tarvittu. SorbiCell voisikin olla käyttökelpoinen silloin, kun mitattavasta suuresta halutaan pitemmän jakson arvio, mutta käytössä ei ole henkilöresursseja maastokäynteihin. Tämän tutkimuksen perusteella yhden SorbiCell-analyysin hinnalla saisi noin kuusi normaalia vesinäytettä, jos vesinäytteiden muita kustannuksia ei huomioitu. Jos vesinäytteisiin liittyvät maastotyöt ja esim. näytteiden laboratorioon lähettämiseen kuluva aika huomioidaan, yhden näytteen hinta on suunnilleen sama vesinäytteillä ja SorbiCell-menetelmällä.

6. Yhteenveto

Vihannesten typpi- ja fosforilannoituksen optimointi on tärkeää, jotta sadon määrä ja laatu saadaan turvattua, lannoitus on taloudellisesti järkevää ja ravinteiden pääsyä vesistöihin voidaan rajoittaa. Tässä raportissa on käsitelty lannoituksen määrän tarkentamista ja esitelty muita keinoja ravinnepäästöjen hallintaan.

Vihanneslajien fosforilannoitustarpeesta erilaisilla mailla on ollut niukasti tietoa, sillä Suomessa tutkimus aiheesta aloitettiin vasta 2010-luvulla. Kahden aiemman ja tämän hankkeen tuottamien tulosten mukaan vihannekset eivät vaikuta olevan selvästi vaativampia maan P-luvun suhteen kuin viljat tai nurmet, joiden satovasteista on tehty huomattavasti enemmän tutkimusta vuosikymmenten aikana. Pitkäaikaisten kenttäkokeiden yhteenvedon mukaan viljoilla ja nurmilla voidaan odottaa satovasteita useimpina vuosina, kun maan P-luvut ovat savimailla korkeintaan 6 mg/l ja karkeammilla mineraalimailla P-lukujen ollessa alle 10 mg/l (Valkama 2011, 2015). Tässä hankkeessa toteutettiin Lukessa kenttäkokeita pääosin välttävän P-luokan lohkoilla. Lantulla satovasteet fosforilannoitukseen olivat yleensä 5–10 %, mutta yhdessä kokeessa neljästä enimmillään 28 %. Avomaankurkulla tehdyissä kokeissa fosforilannoituksen satovaikutukset jäivät vielä vähäisemmiksi.

Hankkeessa tehtiin yhteistyössä viiden tilan kanssa 11 koetta eri maalajeilla ja vaihtelevissa maan fosforiluokissa. Koekasveina olivat lanttu, keräkaali ja sipuli. Vain kahdessa kokeessa korkein fosforilisäystaso tuotti suuremman sadon kuin ilman fosforilannoitusta viljelty sato, mutta erot eivät näissäkään tapauksissa olleet tilastollisen analyysin mukaan merkitseviä. Vähäiset satovasteet osoittavat, etteivät kasvit yleisesti kärsineet fosforin puutteesta koepaikoilla. Toisaalta sadon fosforin otto oli niin suurta, että suuria fosforilylijäämiä ei esiintynyt korkeimmilla lisäysmäärilläkään. Ainoastaan yhdessä tilakokeessa maahan jäi käyttämätöntä fosforia yli 20 kg/ha.

Tämän ja aiempien vihannesten fosforilannoituskokeiden tulosten perusteella suuret, kymmenien kilojen hehtaariohtaiset taseylijäämät eivät ole perusteltuja sadontuoton kannalta edes "välttävän" fosforitilan mailla. "Tyydyttävän" fosforiluokan mailla maan fosforivarannot riittivät samaan sadontuottoon ilman fosforia kuin fosforilisäyksen kanssa viljeltäessä, eikä sadon laatuakaan parantunut fosforilannoituksella. Fosforin "tyydyttävä" viljavuusluokka näyttää näiden tulosten perusteella turvaavan riittävän fosforinsaannin myös vihannesviljelyssä ja silloin tasapainoinen peltotase riittäisi maan viljavuuden ylläpitoon. Korkeammissa viljavuusluokissa fosforitaseiden ylijäämistä kertyy viljelijöille vain kustannuksia, sen lisäksi että taseylijäämät hidas-tavat maan P-lukujen laskua ja vaikuttavat siten fosforin huuhtoumariskiin.

Kaksivuotisissa typpilannoituskokeissa vertailtiin kolmea typpilannoitustasoa keräkaalin, sipulin ja porkkanan viljelyssä samoilla koeruuduilla siten, että toisena vuonna viljeltiin kaalin jälkeen sipulia, sipulin jälkeen porkkanaa ja porkkanan jälkeen kaalia. Optimilannoitukseksi arvioitu korkein lannoitustaso tuotti hyvän sadon kaikilla kasveilla. Keräkaalilla alempi lannoitus, 70 % arvioidusta optimista, tuotti selvästi matalamman sadon, mutta porkkanalla ja sipulilla tämä typpimäärä tuotti lähes saman sadon kuin korkein lannoitustaso. Porkkana on tunnetusti tehokas ravinteiden hyödyntäjä, ja kasvi pystyi ottamaan maasta runsaasti typpeä myös alimmassa typpilannoituskäsittelyssä, joka oli 10 % arvioidusta optimilannoituksesta. Porkkanan ja keräkaalin typenotto pienellä typpilannoituksella (10 % arvioidusta optimista) vähentyi toisena koevuonna, jolloin esikasvina ollut vihannes oli viljelty niukalla typpellä. Sen sijaan sipulin typenotto alimmalla typpilannoituksella oli molempina vuosina samaa tasoa. Tämä johtuu esikasvina olleesta keräkaalista, jonka niukalla typpilannoituksellakin viljellystä kasvustosta (kerän ulkopuoliset lehdet) jäi typpeä maahan. Typpikokeiden mallinnustulokset julkaistaan tarkemmin myöhemmin.

Kastelun taloudellisuutta tarkasteltiin tässä hankkeessa teoreettisesti kasvumallinnuksen avulla ja 30 vuoden sääaineistoa hyödyntäen. Tulosten mukaan kastelu on taloudellisesti kannattavaa ja sen merkitys on vain kasvanut viime vuosina. Kasteluinvestoinnin kannattavuus ei ole herkkä kastelun investointikustannukselle. Mallinnuksen perusteella tarpeen mukainen kastelu näyttäisi vähentävän typen huuhtoumia, kun annettu lannoitus pystytään hyödyntämään tehokkaammin myös kuivina jaksoina. Todennäköisesti kastelu parantaa myös sadon laatua ja tasalaatuisuutta ja siten lisää kastelulla saatavia tuottoja.

Hankkeessa tehtiin myös veden laadun seuranta Eurajoen vesistöalueella, joka on merkittävää erikoiskasvien viljelyseutua. Tuloksia yhdistettiin aiempiin mittaustuloksiin samoista seuranta-kohteista. Tulokset osoittavat, että vuotuisen vaihtelun lisäksi ravinteiden kulkeutuminen oja-vesiin jaksottuu eri vuosina eri tavoin. Toisessa seuranta-kohteessa, Kaukanaranojalla, voitiin havaita veden kiintoainepitoisuuden ja jossain määrin myös ravinnepitoisuuksien alentuneen vesiensuojelutoimena toteutetun kaksitasouoman rakentamisen jälkeen.

Nykytiedon valossa erikoiskasvien, kuten vihannesten, tuotannossa on tarpeen kiinnittää huomiota keinoihin, joilla vesistökuormitusta voidaan vähentää ja viljelyn taloudellinen kannattavuus varmistaa. Nämä tavoitteet eivät useinkaan ole ristiriidassa, sillä monet ympäristön varjelmiseen tähtäävät keinot parantavat peltojen kasvukuntoa ja satovarmuutta ja tuovat taloudellista hyötyä etenkin pidemmällä aikavälillä. Keskeisimpiä keinoja ravinnekuormituksen vähentämisessä ovat:

- Tarpeenmukainen lannoitus ja sen oikea ajoittaminen
- Maan rakenteen ja vesitalouden kohentaminen
- Peltojen talviaikaisen kasvipeitteisyyden lisääminen
- Kasvin tarpeen mukainen kastelu.

Lisätoimia eroosion ja ravinnehuuhtoumien vähentämiseen voivat olla mm. rakennekalkin ja kipsin levitys, mutta nämä toimet eivät kuitenkaan sovi kaikille peltomaille. Kuormituksen hallinnassa on hyvä hyödyntää monia eri toimia ja yhdistää niitä sopivasti peltolohkojen ominaisuuksien mukaan.

Viitteet

- Aura, E. 1985. Avomaan vihannesten veden ja typen tarve. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 7/85. 61 s. Saatavissa internetistä: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2014042925035>.
- Bechmann, M. & Falk Øgaard, A. 2010. Critical source areas of nutrient losses from agriculture in Norway. *Acta Horticulturae* 852: 63–72.
- Keskinen, R., Suojala-Ahlfors, T., Sarvi, M., Hagner, M., Kaseva, J., Salo, T., Uusitalo, R. & Rasa, K. 2020. Granulated broiler manure based organic fertilizers as sources of plant available nitrogen. *Environmental Technology & Innovation* 18. Saatavissa internetistä: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100734>.
- Laakso, J., Uusitalo, R., Leppänen, J. & Yli-Halla, M. 2017. Sediment from Agricultural Constructed Wetland Immobilizes Soil Phosphorus. *Journal of Environmental Quality* 46: 356–363. Saatavissa internetistä: <https://doi.org/10.2134/jeq2016.09.0336>.
- Nawara, S., Van Dael, T., Merckx, R., Amery, F., Elsen, A., Odeurs, W., Vandendriessche, H., McGrath, S., Roisin, C., Jouany, C., Pellerin, S., Denoroy, P., Eichler-Löbermann, B., Börjesson, G., Goos, P., Akkermans, W. & Smolders, E. 2017. A comparison of soil tests for available phosphorus in long-term field experiments in Europe. *European Journal of Soil Science* 68: 873–885. Saatavissa internetistä: <https://doi.org/10.1111/ejss.12486>.
- Puustinen, M., Tattari, S., Väisänen, S., Virkajärvi, P., Rätty, M., Järvenranta, K., Koskiahho, J., Röman, E., Sammalkorpi, I., Uusitalo, R., Lemola, R., Uusi-Kämppe, J., Lepistö, A., Hjerppe, T., Riihimäki, J. & Ruuhijärvi, J. 2019. Ravinteiden kierrätys alkutuotannossa ja sen vaikutukset vesien tilaan. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 22. 142 s. Saatavissa internetistä: <http://hdl.handle.net/10138/304956>.
- Rahn, C.R., Zhang, K., Lillywhite, R., Ramos, C., Doltra, J., De Pas, J.M., Riley, H., Fink, M., Nendel, C., Thorup-Kristensen, K., Pedersen, A., Piro, F., Venezia, A., Firth, C., Schmutz, U., Rayns, F. & Strohmeier, K. 2010. EU-Rotate_N - a decision support system - to predict environmental and economic consequences of the management of nitrogen fertiliser in crop rotations. *European Journal of Horticultural Science*, vol. 75: 20–32. Saatavissa internetistä: <http://redivia.gva.es/handle/20.500.11939/6419>.
- Riley, H., Stubhaug, E., Kristoffersen, A.Ø., Krogstad, T., Guren, G. & Tajet, T. 2012. P-gjødsling til grønnsaker: Evaluering og nye anbefalinger. *Bioforsk Rapport Vol. 7, Nr. 68*.
- Salo, T. 1999. Effects of band placement and nitrogen rate on dry matter accumulation, yield and nitrogen uptake of cabbage, carrot and onion. *Agricultural and Food Science in Finland* 8: 157–232. Saatavissa internetistä: <https://journal.fi/afs/article/view/5624/4823>.
- Salo, T., Turtola, E., Virkajärvi, P., Saarijärvi, K., Kuisma, P., Tuomisto, J., Muurinen, S. & Turakainen, M. 2013. Nitrogen fertilizer rates, N balances and their related risk of N leaching in Finnish agriculture. *MTT report* 102. 39 s. Saatavissa internetistä: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-541-7>.
- Salo, T., Suojala-Ahlfors, T., Kivijärvi, P. & Kapuinen, P. 2017. Vihannesten typpilannoitustutkimus. Julkaisussa: Suojala-Ahlfors, T. (toim.) Vihannesten ja mansikan tasapainoinen fosfori- ja typpilannoitus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 44/2017. 84 s. Saatavissa internetistä: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-435-9>.

- Suojala, T., Hoppula, K., Kankaanhuhta, K., Karhula, T., Muuttomaa, E., Outa, P., Peltonen, M., Pulkkinen, J., Tikanmäki, E. & Salo, T. 2004. Puutarhakasvien tihkukastelu ja kastelulan-
noitus avomaalla : Viljely, teknologia ja talous. Maa- ja elintarviketalous 46. 134 s. Saa-
tavissa internetistä: <http://urn.fi/URN:ISBN:951-729-850-1>.
- Suojala-Ahlfors, Terhi (toim.) 2017. Vihannesten ja mansikan tasapainoinen fosfori- ja typpilan-
noitus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 44/2017. 84 s. Saatavissa internetistä:
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-435-9>.
- Suojala-Ahlfors, T., Lumme, I., Salo, T., Uusitalo, R., Kivijärvi, P., Kallela, M., Inkeroinen, H. &
Tuononen, M. 2020. Kasvinravinteet avomaanvihannesten tuotannossa: Tuloksia Resurs-
sitehokas vihannestuotanto -hankkeesta v. 2016-2018. Luonnonvara- ja biotalouden
tutkimus 79/2020. 89 s. Saatavissa internetistä: [http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-
076-2](http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-
076-2).
- Tahvonen, R., Suojala, T. & Sironen, L. (toim.) 2001. Kasvukauden oloihin sopeutuva puutarha-
viljely. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 91. 79 s. Saatavissa interne-
tistä: <http://urn.fi/URN:ISBN:951-729-596-0>.
- Turtola, E. & R. Lemola (toim.) 2008. Maatalouden ympäristötuen vaikutukset vesistökuormi-
tukseen, satoon ja viljelyn talouteen v. 2000–2006 (MYTVAS 2). Maa- ja elintarviketalous
120. 103 s. Saatavissa internetistä: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-168-6>.
- Uusitalo, R., Hyväluoma, J., Valkama, E., Ketoja, E., Vaahtoranta, A., Virkajärvi, P., Grönroos, J.,
Lemola, R., Ylivainio, K., Rasa, K. & Turtola, E. 2016. A simple dynamic model of soil test
phosphorus responses to phosphorus balances. Journal of Environmental Quality 45:
977–983. Saatavissa internetistä: <https://doi.org/10.2134/jeq2015.09.0463>.
- Valkama, E., Uusitalo, R. & Turtola, E. 2011. Yield response models to phosphorus application:
a research synthesis of Finnish field trials to optimize fertiliser P use of cereals. Nutrient
Cycling in Agroecosystems 91 (1): 1–15.
- Valkama, E., Virkajärvi, P., Uusitalo, R., Ylivainio, K. & Turtola, E. 2015. Meta-analysis of grass ley
response to phosphorus fertilisation in Finland. Grass and Forage Science 71: 36–53.
- Westberg, V., Bonde, A., Haldin, L., Koivisto, A-M., Mäensivu, M., Mäkinen, M. & Teppo, A. 2015.
Vesien tila hyväksi yhdessä. Kokemäenjoen-Selkämeren-Saaristomeren vesienhoito-
suunnitelma vuosiksi 2016–2021. Etelä-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristö-
keskus. Raportteja 101/2015. 238 s. Saatavissa internetistä: [http://urn.fi/URN:ISBN:978-
952-314-339-5](http://urn.fi/URN:ISBN:978-
952-314-339-5).
- Ylivainio, K., Lehti, A., Sarvi, M. & Turtola, E. 2017. Report on P availability according to Hedley
fractionation and DGT-method. BONUS deliverable 3.4, 20 s. Saatavissa internetistä:
[https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt_en/projects/promise/Publications/Re-
port%20on%20P%20availability%20according%20to%20Hedley%20fractiona-
tion%20and%20DGT-method.pdf](https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt_en/projects/promise/Publications/Re-
port%20on%20P%20availability%20according%20to%20Hedley%20fractiona-
tion%20and%20DGT-method.pdf).



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000