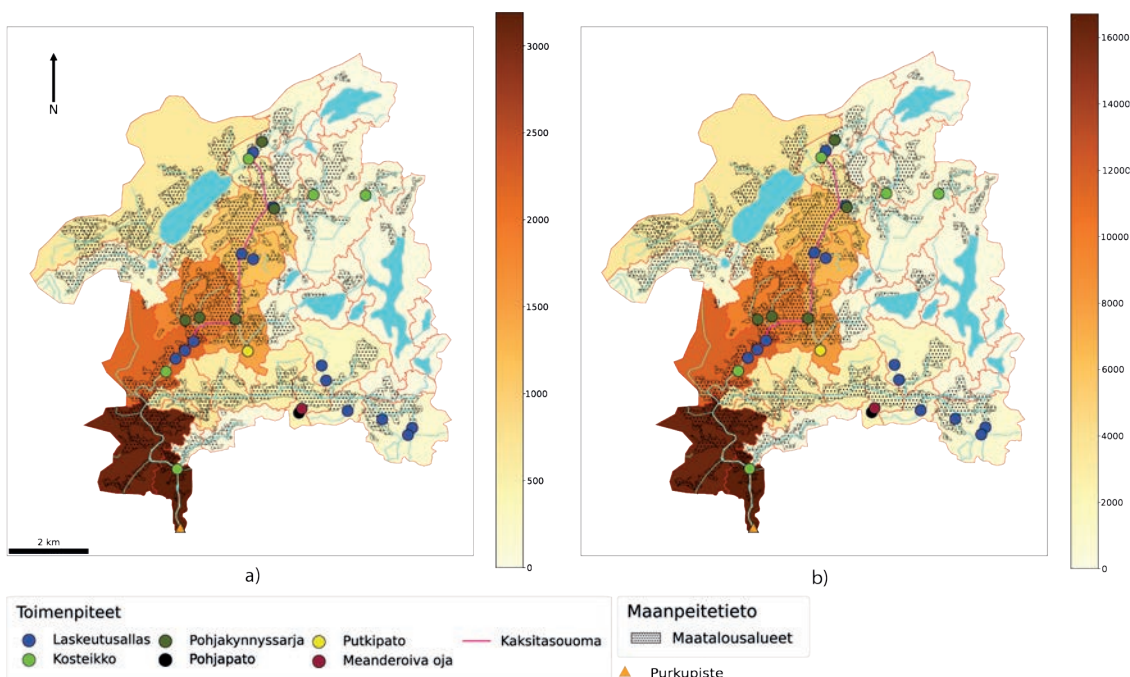




Vesitalouden hallinta maatalousvaltaisilla valuma-alueilla (VESIMA)

Loppuraportti 2025

Olle Häggblom, Julia Ijäs, Noora Manninen, Minna Mäkelä, Jyrki Nurminen,
Anna Rieskaniemi, Sadia Suchi, Saana Keskinen, Harri Koivusalo,
Ville Lindgren, Kaisa Västilä, Merja Myllys, Hanne Laine-Kaulio

Vesitalouden hallinta maatalousvaltaisilla valuma-alueilla (VESIMA)

Loppuraportti 2025

Salaoituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 38

Vesitalouden hallinta maatalousvaltaisilla valuma-alueilla (VESIMA)

Loppuraportti 2025

Olle Häggblom, Julia Ijäs, Noora Manninen, Minna Mäkelä, Jyrki Nurminen,
Anna Rieskaniemi, Sadia Suchi, Saana Keskinen, Harri Koivusalo, Ville Lindgren,
Kaisa Västilä, Merja Myllys, Hanne Laine-Kaulio

Salaoituksen tutkimusyhdistys ry

Simonkatu 12 A 11

00100 Helsinki

puh. 0400 882 136

Päätoimittaja Olle Häggblom

Kansikuva Kuva 3.2. Vesimuodostumaan tuleva kokonaisfosforin ja -typen kuormitusta.

Taitto Paula Heiäng

Web www.salaojayhdistys.fi/julkaisut

ISBN 978-952-5345-60-5

Sisällysluettelo

Esipuhe.....	5
Tiivistelmä.....	6
Sammandrag.....	8
Abstract.....	10
1 JOHDANTO.....	12
1.1 Tavoitteet.....	13
2 TUTKIMUSMENETELMÄT.....	15
2.1 Raaseporinjoen valuma-alue.....	15
2.1.1 Maatalouden vesienhallinnan ohjeistukset ja työkalut sekä toimenpiteiden vaikuttavuus.....	15
2.1.2 Tapaustutkimus: Raaseporinjoen vesienhallinta.....	17
2.2 Sievin säätösalaojituskenttä.....	18
2.3 Korvenojan padotuskoe.....	20
2.4 Nummelan salaojakenttä.....	22
2.5 Gårdskullan peltolohkot.....	24
3 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU.....	28
3.1 Raaseporinjoen valuma-alueen tulokset.....	28
3.1.1 Maatalouden vesienhallinnan toimenpiteiden vaikuttavuus.....	28
3.1.2 Monitavoitteista vesienhallintaa tukevat suunnitteluoppaat ja -työkalut sekä niiden tietoaукот ja haasteet.....	31
3.1.3 Tapaustutkimus Raaseporinjoella.....	32
3.2 Sievin säätösalaojakentän tulokset.....	34
3.2.1 Sääolosuhteet Sievissä.....	34
3.2.2 Pohjavedenpinnan keskimääräiset syvyydet koekentällä.....	35
3.2.3 Pohjavedenpinnan syvyydet eri etäisyyksillä salaojasta.....	36
3.2.4 Salaojavalunta ja kuormitus.....	37
3.2.5 Sato.....	40
3.2.6 Kasvihuonekaasuemissiot.....	42
3.3 Korvenojan peruskuivatusuoman tulokset.....	45
3.3.1 Padotuksen vaikutukset yläpuolisten peltoalueiden hydrologiaan.....	45
3.4 Nummelan koekentän tulokset.....	48
3.4.1 Kuohkeutuskoe.....	48
3.4.2 Fosforin porraskoe.....	57

3.5	Gårdskullan peltolohkojen tulokset.....	60
3.5.1	Maaperän ominaisuudet	60
3.5.2	Kiintoaines-, typpi- ja fosforikuormat	62
3.5.3	Vesistökuormitukset pitkäaikaisten mittausten ja VEMALA-mallin perusteella	66

4	JOHTOPÄÄTÖKSET	69
4.1	Raaseporinjoen valuma-alue	69
4.2	Sievin säätösalaajakenttä: Säätösalaajitus ja salaajakastelu	69
4.3	Sievin Korvenoja: valtaojan padotus.....	70
4.4	Nummela: täydennysojitus, maan biologinen ja mekaaninen kuohkeutus ja fosforilannoitus	70
4.5	Gårdskulla.....	71
4.6	Jatkotutkimustarpeet.....	72
	Kirjallisuusviitteet.....	74
	Liitteet	77
	Liite 1. Sievin säätökentän viljelytoimenpiteet 2022–24	77
	Liite 2. Sievin säätösalaajituskoe.....	78
	Liite 3. Gårdskullan lohkokoe	81
	Liite 4. Vesienhallinnan suunnittelun ohjeistukset ja työkalut.....	82

Esipuhe

Tässä loppuraportissa esitetään tutkimushankkeen *Vesitalouden hallinta maatalousvaltaisilla valuma-alueilla (VESIMA)* tausta, tavoitteet, käytetyt tutkimusmenetelmät sekä tulokset ja johtopäätökset. Hankkeen tutkimuksen kohteena olleiden koekenttien (Sievi, Korvenoja, Gårdskulla ja Nummela) tutkimushistoriasta löytyy lisää tietoa tätä hanketta edeltäneiden hankkeiden (mm. *Vesitalouden hallinta vesiensuojelussa – VesiHave* ja *VesiHave 2*, sekä *Tuotantosuunnan muutoksen vaikutus savipelloilta tulevaan ravinne- ja kiintoainekuormitukseen*) loppuraporteista (Äijö ym., 2021; Äijö ym., 2023; Nurminen ym. 2018).

Hanke toteutettiin yhteistutkimushankkeena, ja siitä vastasi Salaojituksen tutkimusyhdistys ry. Hankkeen vastuullisena johtajana toimi Olle Häggblom (Salaojituksen tutkimusyhdistys ry, Salaojayhdistys ry). Tutkijaryhmän muut jäsenet olivat Minna Mäkelä, Julia Ijäs, Noora Manninen, Anna Rieskaniemi ja Sadia Suchi (Salaojayhdistys ry), Jyrki Nurminen (Salaojituksen tutkimusyhdistys ry), Harri Koivusalo, Saana Keskinen, Ville Lindgren ja Yingxin Deng (Aalto-yliopisto), Kaisa Västilä (Aalto-yliopisto, Suomen ympäristökeskus), Merja Myllys (Luonnonvarakeskus) ja Hanne Laine-Kaulio (Sven Hallinin tutkimussäätiö sr). Työryhmän ulkopuolisina asiantuntijoina toimivat Laura Alakukku (Helsingin yliopisto) ja Jari Koskiahho (Suomen ympäristökeskus). Laitteita ja niiden käyttöön ja huoltoon liittyviä tukipalveluita ostettiin seuraavilta yrityksiltä: Maveplan Oy (Markus Sikkilä), Profimeas Oy, Soil Scout Oy, Luode Consulting Oy, Agrolink Ab, Pythagoras Oy, Masinotek Oy ja Caproc Oy.

Hankkeen ohjausryhmään kuuluivat Antton Keto (pj) ja Johanna Helkimo (ympäristöministeriö), Anne-Mari Rytönen ja Henri Vaarala (Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus), Essi Hillgren ja Anni Karhunen (Varsinais-Suomen ELY-keskus), Sari Peltonen (ProAgria Keskusten Liitto), Airi Kulmala ja Juha Lappalainen (Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto), Seija Virtanen (Salaojituksen Tukisäätiö sr), Minna Maasilta (Maa- ja vesitekniikan tuki ry) ja Seppo Hihnala (Maveplan Oy).

Hanketta rahoittivat ympäristöministeriö ja Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus (Vesien-suojelun tehostamisohjelma, Maa- ja metsätalouden vesienhallinnan avustukset), Salaojituksen Tukisäätiö sr, Maa- ja vesitekniikan tuki ry sekä hankkeeseen osallistuneet tahot: Salaojituksen tutkimusyhdistys ry, Salaojayhdistys ry, Luonnonvarakeskus, Aalto-yliopisto ja Sven Hallinin tutkimussäätiö sr.

Kiitämme lämpimästi hankkeen rahoittajia, hankkeen tutkimusryhmää ja ohjausryhmää, sekä kaikkia muita, jotka ovat vaikuttaneet hankkeen toteuttamiseen.

Tiivistelmä

VESIMA-hanke toteutettiin vuosina 2022–2024 yhteistutkimushankkeena (Salaojituksen tutkimusyhdistys ry, Salaojayhdistys ry, Luonnonvarakeskus, Aalto-yliopisto ja Sven Hållinin tutkimussäätiö sr). Hankkeessa kehitettiin valuma-alueen vesitalouden suunnittelun tueksi käytännön ohjeistuksia ja tutkittiin vesitaloudellisten toimenpiteiden vaikutuksia sadontuotantoon ja ympäristöön. Tarkasteltuihin toimenpiteisiin lukeutuivat säätösala-ojitus, salaojakastelu, täydennysojitus sekä maan kuohkeutus, jotka voivat parantaa peltoviljelyn tuottavuutta, vähentää vesistökuormitusta ja edistää kestävä maataloutta. Hanke oli jatkoa aiemmille *Vesitalouden hallinta vesiensuojelussa* -hankkeille (*VesiHave*, 2018–2020 ja *VesiHave2*, 2021–2022).

VESIMA-hanke koostui viidestä osahankkeesta:

Osahankkeessa 1 koottiin valuma-alueen suunnittelun tueksi käytännön suunnitteluohjeistus sekä selvitettiin vesitaloudellisten toimenpiteiden vaikutuksia sadontuotantoon ja ympäristöön. Selvitys osoitti, että monet vesienhallintatoimenpiteet voivat samanaikaisesti vähentää ympäristölle ja alkutuotannolle aiheutuvia haittoja. Toimenpiteiden tehokkuus riippui alueen erityispiirteistä ja niiden koosta. Pitkäaikaisseuranta eri toimenpiteiden toiminnan varmistamiseksi ja vaikutusten todentamiseksi eri olosuhteissa todettiin tarpeelliseksi.

Osahankkeessa 2 tutkittiin peltoviljelyn tuottavuuden parantamista ja vesistökuormituksen vähentämistä säätösala-ojituksella ja salaojakastelulla. Osahankkeessa jatkettiin vuonna 2019 Sievin salaojakoekentällä Pohjois-Pohjanmaalla aloitettuja mittauksia sekä mittaustulosten analysointia. Säätösala-ojitus ja salaojakastelu mahdollistivat pohjaveden pinnan pitämisen tavanomaista korkeammalla kasvukauden aikana. Samalla ravinnekuormitus väheni ja sato kasvoi. Kasvihuonekaasuemissiot olivat osassa havaintoja pienemmät säätösala-ojitetulta ja kastellulta alueelta kuin verrokkialueelta, mutta erot havaintokertojen välillä olivat suuremmat kuin koealueiden välillä.

Osahanke 3 selvitti valtaojan padotuksen vaikutusta pohjaveden pinnankorkeuteen. Kohdealueena oli Korvenoja Järvikylässä Sievissä, jossa jatkettiin syksyllä 2019 aloitettuja mittauksia. Vedenpinta pysyi pääosin padotuskorkeudessa, mutta padotuksen vaikutusta pohjaveden korkeuteen oli vaikea arvioida kentän vaihtelevan maalajin ja siitä aiheutuneen vaihtelevan vedenjohtavuuden vuoksi.

Osahanke 4 tutki peltoviljelyn tuottavuuden parantamista ja vesistökuormituksen vähentämistä täydennysojituksella sekä maan biologisella ja mekaanisella kuohkeutuksella. Kohdealueena oli Nummelan salaojakoekenttä Jokioissa, erityisesti sen märkyydestä kärsinyt lohko. Biologinen ja mekaaninen kuohkeutus paransivat maan ominaisuuksia, mutta suuren hajonnan vuoksi erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Biologinen kuohkeutus vaikutti lisäävän maan huokoisuutta, kun taas mekaaninen kuohkeutus vähensi jankon mekaanista vastusta tehokkaammin. Koekentällä tutkittiin myös pitkäaikaisen märkyyden

aiheuttaman huonon fosforiluvun nostamista fosforilannoituksella. Tulosten perusteella huonoksi päässyt maan fosforiluku nousee hitaasti ja vaatii suuria lannoitemääriä.

Osahankkeessa 5 tutkittiin viljely- ja sääolosuhteiden vaikutusta maatalousmaiden vesistökuormitukseen pitkäaikaisten mittausten (2007-) perusteella. Kohdealueena oli Gårdskullan kartanon kaksi peltolohkoa Siuntion Kirkkojoen valuma-alueella. Viljelytavan muuttuminen, kuten siirtyminen tavanomaisesta viljan viljelystä luomunurmen viljelyyn tai karjanlaidunnukseen, vaikuttivat enemmän ravinnekuormitukseen kuin vuosittaiset erot eri vuodenaikojen hydrologisissa olosuhteissa. Muutokset vaikuttivat erityisesti typpikuormitukseen: muutosten vaikutus typpikuormitukseen oli suurimmillaan yli nelinkertainen verrattuna niiden vaikutukseen fosforikuormituksessa.

VESIMA-hankkeen tulokset osoittavat, että vesitaloustoimenpiteiden avulla on mahdollista saavuttaa hyötyjä pellon tuottavuuteen samanaikaisesti vähentäen ravinnekuormitusta. Vesienhallintatoimet, kuten kuivatus ja kastelu, voivat vaikuttaa maan mikrobitoimintaan, ja sitä kautta kasvihuonekaasupäästöihin, mutta tässä hankkeessa tutkituilla tavanomaisilla (ei happamilla sulfaattimailla), viljelyssä olevilla kivennäismailla ei havaittu merkitsevää, systemaattista eroa kasvihuonekaasupäästöissä eri vesienhallintatoimilla.

Hankkeen tulokset ovat laajasti sovellettavissa peltoalueiden kuivatusjärjestelmien parantamiseen käytännössä sekä eri ojitusratkaisujen vaikutusten arviointiin maatalouden vesiensuojelussa. Hankkeen tulokset ovat myös hyödynnettävissä maatalouden ympäristönsuojelun ja tuotannollisten investointien tukien kehittämisessä. Tuloksia on viety käytäntöön tiedottamalla niistä hallinnolle, viljelijöille, suunnittelijoille, urakoitsijoille ja maatalousneuvojille. Mittaustoiminta jatkuu useimmilla koekentillä uusien tutkimushankkeiden puitteissa.

Sammandrag

VESIMA-projektet genomfördes under åren 2022–2024 som ett gemensamt forskningsprojekt (Forskningsföreningen för täckdikning rf, Täckdikningsföreningen rf, Naturresursinstitutet, Aalto-universitetet och Sven Hallins forskningsstiftelse sr). Projektet utvecklade praktiska riktlinjer för planering av vattenhushållning på avrinningsområdesnivå och undersökte effekterna av vattenhushållningsåtgärder på skörd och miljö. De åtgärder som granskades omfattade reglerad dränering, underbevattning, kompletterande dränering samt jordluckring, vilka kan förbättra produktiviteten inom åkerbruket, minska belastningen på vattendrag och främja ett hållbart jordbruk. Projektet var en fortsättning på de tidigare ”*Vesitalouden hallinta vesiensuojelussa*”-projekten (fritt översatt: Vattenhushållning för vattenvård) (*VesiHave*, 2018–2020 och *VesiHave2*, 2021–2022).

VESIMA-projektet bestod av fem delprojekt:

Delprojekt 1 sammanställde praktiska planeringsanvisningar för avrinningsområdesbaserad planering och utredde effekterna av vattenhushållningsåtgärder på skörd och miljö. Utredningen visade att många vattenhanteringsåtgärder samtidigt kan minska de negativa effekterna på miljön och på primärproduktionen. Åtgärdernas effektivitet berodde på områdets särdrag och storlek. Långtidsuppföljning ansågs nödvändig för att säkerställa funktion och verifiera effekter under olika förhållanden.

Delprojekt 2 undersökte hur reglerad dränering och underbevattning kan förbättra produktiviteten och minska belastningen på vattendrag. Delprojektet fortsatte de mätningar som inleddes år 2019 på försöksfältet i Sievi i Norra Österbotten samt analysen av mätresultaten. Reglerad dränering och underbevattning möjliggjorde att grundvattennivån hölls högre under växtsäsongen, vilket minskade näringsbelastningen och ökade skörden. Växthusgasutsläppen var i vissa observationer lägre på reglerade och bevattnade området än på referensområdet, men variationen mellan olika observationstillfällen var större än mellan försöksområden.

Delprojekt 3 utredde effekten av dämning i utfallsdiken på grundvattennivån. Studien utfördes i Korvenoja, Järvikylä i Sievi, där mätningar inleddes hösten 2019. Vattennivån hölls mestadels vid dämningshöjden, men effekten på grundvattennivån var svår att bedöma på grund av varierande jordarter och därmed varierande vattenledningsförmåga.

Delprojekt 4 undersökte hur kompletterande dränering samt biologisk och mekanisk jordluckring påverkar produktivitet och näringsbelastning. Studien utfördes vid Nummela försöksfält i Jockis, särskilt på den mest vattensjuka delen. Både biologisk och mekanisk luckring förbättrade jordens egenskaper, men skillnaderna var inte statistiskt signifikanta på grund av stor variation. Biologisk luckring ökade jordens porositet, medan mekanisk luckring mer effektivt minskade motståndet i alven. På försöksfältet undersöktes även hur fosforhalten, som försämrats på grund av dåligt fungerande dränering under en lång tid, kan höjas genom fosforgödslning. Resultaten visade att fosfortalet stiger långsamt och kräver stora gödselmängder.

Delprojekt 5 studerade hur odlings- och väderförhållanden påverkar näringsbelastningen från jordbruksmark baserat på långtidsmätningar (sedan 2007). Studien utfördes på två åkerblock vid Gårdskulla gård i Sjundeå, inom Kyrkåns avrinningsområde. Förändringar i odlingsmetoder, såsom övergång från spannmålsodling till ekologisk vall eller betesmark, hade större effekt på näringsbelastningen än årliga variationer i hydrologiska förhållanden. Effekten var störst för kvävebelastningen, som kunde vara mer än fyra gånger större än effekten på fosforbelastningen.

VESIMA-projektets resultat visar att vattenhushållningsåtgärder kan förbättra åkerns produktivitet samtidigt som näringsbelastningen minskar. Åtgärder som dränering och bevattning kan påverka jordens mikrobiella aktivitet och därigenom växthusgasutsläpp, men på de mineraljordar som studerades (ej sura sulfatjordar) observerades inga signifikanta, systematiska skillnader i utsläpp mellan olika vattenhushållningsåtgärder.

Resultaten är brett tillämpbara för att förbättra dräneringssystem i praktiken och för att bedöma effekterna av olika dräneringslösningar inom jordbrukets vattenvård. Projektets resultat kan även utnyttjas vid utvecklingen av jordbrukets stödpolitik. Resultaten har spridits till myndigheter, odlare, planerare, entreprenörer och rådgivare. Mätningarna fortsätter på de flesta försöksfält inom ramen för nya forskningsprojekt.

Abstract

The *VESIMA* project was carried out between 2022 and 2024 as a collaborative research initiative (Drainage Research Association, Finnish Field Drainage Association, Natural Resources Institute Finland, Aalto University, and Sven Hallin Research Foundation). The project developed practical guidelines to support water management planning at the catchment scale and studied the effects of water management measures on crop production and the environment. The measures examined included controlled drainage, subirrigation, supplementary drainage, and soil loosening, all of which can improve agricultural productivity, reduce nutrient loading to water bodies, and promote sustainable farming. The project continued earlier initiatives on water management for water protection (*VesiHave*, 2018–2020 and *VesiHave2*, 2021–2022).

The *VESIMA* project consisted of five work packages:

Work package 1 compiled practical planning guidelines for catchment-based water management and assessed the impacts of water management measures on crop production and the environment. The study showed that many water management measures can simultaneously benefit both the environment and primary production. The effectiveness of these measures depended on local characteristics and scale. Long-term monitoring was deemed necessary to verify functionality and impacts under varying conditions.

Work package 2 focused on improving crop productivity and reducing nutrient loading through controlled drainage and subsurface irrigation. Measurements and data analysis continued at the Sievi controlled drainage test field in Northern Ostrobothnia, where monitoring began in 2019. Controlled drainage and irrigation allowed groundwater levels to remain higher than usual during the growing season, reducing nutrient loading and increasing yields. Greenhouse gas emissions were sometimes lower in controlled and irrigated plots compared to reference plots, but differences between observation times were greater than differences between test areas.

Work package 3 examined the effect of main ditch damming on groundwater levels. The study area was Korvenoja in Järvikylä, Sievi, where measurements started in autumn 2019. Water levels generally remained at the damming height, but assessing the impact on groundwater was challenging due to variable soil types and resulting differences in hydraulic conductivity.

Work package 4 investigated improving crop productivity and reducing nutrient loading through supplementary drainage and biological and mechanical soil loosening. The study area was the Nummela drainage test field in Jokioinen, particularly its wettest section. Both biological and mechanical loosening improved soil properties, but differences were not statistically significant due to high variability. Biological loosening appeared to increase soil porosity, while mechanical loosening more effectively reduced subsoil resistance. The test field also examined raising low phosphorus levels caused by prolonged wetness through phosphorus fertilization. Results indicated that restoring phosphorus levels is slow and requires large amounts of fertilizer.

Work package 5 studied the effects of cultivation and weather conditions on nutrient loading from agricultural soils based on long-term measurements (since 2007). The study area consisted of two field plots at Gårdskulla estate within the Siuntio Kirkkojoki catchment. Changes in cultivation practices, such as shifting from conventional cereal production to organic grass or cattle grazing, had a greater impact on nutrient loading than annual hydrological variations. Changes particularly affected nitrogen loading, which was up to four times more influenced than the phosphorus loading.

The results of the *VESIMA* project show that water management measures can simultaneously improve field productivity and reduce nutrient loading. Drainage and irrigation practices can influence soil microbial activity and, consequently, greenhouse gas emissions, but on the mineral soils studied (not acid sulfate soils), no significant systematic differences in emissions were observed between different water management measures.

The findings are widely applicable for improving field drainage systems and assessing the impacts of different drainage solutions in agricultural water protection. The results of the project can also be utilized in the development of support schemes for environmental protection and investment subsidies in agriculture. Results have been disseminated to authorities, farmers, planners, contractors, and agricultural advisors. Measurement activities continue at most experimental fields within the framework of new research projects.

1 JOHDANTO

Tausta

Maataloudesta aiheutuvan vesistökuormituksen vähentäminen on keskeistä Suomen sisävesien ja merialueiden tilan parantamiseksi, ja lisäksi maataloussektoriin kohdistuu paineita myös kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen. Samanaikaisesti ympäristökuormituksen minimoimisen kanssa maatalouden tulisi lisätä tuottavuuttaan huoltovarmuuden ja ruokaturvan takaamiseksi sekä elinkeinon kannattavuuden edistämiseksi. Pellon vesitaloudella on keskeinen merkitys sadon määrään ja laatuun, pellolta tulevaan vesistökuormitukseen sekä maan kantavuuteen ja rakenteeseen. Lisäksi peltojen vesitalous vaikuttaa hiilen sidontaan, kasvihuonekaasupäästöihin ja luonnon monimuotoisuuteen. Vesienhallinnan tavoitteena on satopotentiaalin hyödyntäminen, optimoidut ravinnetaseet, pienet ravinnehuuhtoumat ja kasvihuonekaasujen nettopäästöjen vähentäminen sekä luonnon monimuotoisuuden turvaaminen.

Vesitalouden hallinnalla tarkoitetaan tässä julkaisussa kuivatusta, kastelua, tulvasuojelua ja veden varastointia sekä niiden optimaalista ohjausta. Maatalousvaltaisilla valuma-alueilla keskeisin vesitaloudellinen toimenpide on perus- ja paikalliskuivatus, jonka lisäksi vesitaloutta hallitaan yhä enemmän myös sääätosalaojituksella, kastelulla ja peruskuivatusuomia padottamalla. Ilmastomuutos äärevöityvine sääilmiöineen lisää entisestään vesitalouden säädön tarvetta peltoalueilla. Vesitalouden hallinnassa yhä tärkeämpää on luonnonmukaisen vesirakennuksen monipuolinen hyödyntäminen. Nykyistä tehokkaampi vesienhallinta edellyttää monitavoitteista valuma-alueelähtöistä lähestymistapaa, jossa yhteensovitetään vesien käytön ja ympäristön tarpeet mahdollisimman hyvin. Valuma-alueelähtöisessä lähestymistavassa on tarpeen tuntee perus- ja paikalliskuivatuksen toiminta ja vuorovaikutukset erilaisissa maaperä- ja sääolosuhteissa. Lisäksi tarvitaan luotettavaa tietoa eri vesitaloudellisten toimenpiteiden toteuttamisedellytyksistä ja vaikutuksista. Käytännön suunnittelua varten tarvitaan ohjeistusta, jotta suunnitteluprosessi olisi mahdollisimman systemaattinen ja prosessissa hyödynnettäisiin olemassa olevia aineistoja ja työkaluja.

Suomen noin 2,3 miljoonan hehtaarin kokonaispeltoalasta on salaojitettu arviolta 60 %. Avo-ojitettuna on noin 25 % peltopinta-alasta, ja noin 15 % peltopinta-alasta voidaan viljellä ilman ojitusta (Paasonen-Kivekäs ym. 2016). Kuivatusuomia on arviolta 1,5 miljoonaa kilometriä. Tilakoon kasvu ja tuotannon tehostamisen tarve lisäävät kuivatuksen ja kastelun tarvetta. Maankuivatuksen kunnostamisen tarvetta, kuten salaojitusten kunnostus- ja täydennystarvetta, on arvioitu ympäristötuen Peltomaan laatutesti -kyselyaineiston perusteella (Ovaska ym. 2021) olevan noin 200 000 peltihehtaarilla. Sääätosalaojitettua peltoa on noin 5 % salaojitetusta peltoalasta eli 77 000 hehtaaria, pääosin Pohjanmaalla (Luke 2013). Sääätosalaojitukseen kaltevuudeltaan soveltuvaa peltomaata on arvioitu olevan kaikkiaan 600 000 hehtaaria, eli noin neljännes Suomen peltopinta-alasta. Sääätosalaojituksen yhteydessä on mahdollista käyttää myös salaojakastelua. Viljelijän on mahdollista saada valtion investointitukea salaojitus-, sääätosalaojitus- ja peruskuivatushankkeille. Säätös-

alaojitukselle, salaojakastelulle ja valumavesien kierrätykselle voidaan lisäksi myöntää ympäristökorvausta, jos pelto sijaitsee happamalla sulfaattimaalla tai turvemaalla.

Valuma-alueelähtöisestä lähestymistavasta maa- ja metsätalouden vesitalouden hallinnassa on toistaiseksi vähän käytännön kokemusta ja ohjeistusta. Säättösalaajituksen toimivuudesta ja hyödyistä on suhteellisen vähän kokeellista tutkimustietoa Suomen olosuhteissa, etenkin kivennäismailla. Valumavesien viivyttäminen valtaojassa padottamalla hyödyttää suurempaa peltoaluetta kuin yksittäisen salaojaston säätö, mutta sen käytöstä on niukasti kokemuksia ja tutkimustietoa Suomen olosuhteissa. Aiempi tutkimus (esim. Äijö ym. 2017, 2021) on osoittanut, että täydennysojitus on tarpeen märkyydestä kärsivän pellon satotason nostamiseksi, mutta se ei yksinään välttämättä riitä, jos maan rakenne ja viljavuus ovat huonot. Pellon satopotentialin hyödyntäminen edellyttää kaikkien siihen vaikuttavien tekijöiden hallintaa. Maatalouden vesistökuormituksen arviointi ja sen vähentäminen edellyttävät veden ja aineiden kulkureittien ja maassa tapahtuvien prosessien tuntemista erilaisissa maaperä- ja sääolosuhteissa. Vesienhallinta edellyttää sekä pitkäaikaista kokeellista tutkimusta että matemaattisten mallien hyödyntämistä niin peltolohkon kuin valuma-alueen mittakaavassa.

1.1 Tavoitteet

VESIMA-hankkeen tavoite oli tuottaa tietoa valuma-alueelähtöisen vesitalouden hallinnan tueksi. Hankkeessa jatkettiin jo olemassa olevien koealojen – Sievin säättösalaajakentän (2015–), Nummelan salaajakentän (2007–), Gårdskullan peltolohkojen (2007–) ja Korvenojan peruskuivatusuoman (2019–) seurantaa ja laskennallista tutkimusta. Hankkeessa tehtiin käytännön ohjeistus maatalousvaltaisen valuma-alueen vesitalouden suunnittelua varten sekä tutkittiin eri vesitaloudellisten toimenpiteiden vaikutuksia kasvintuotantoon ja ympäristöön. Vesitaloudellisista toimenpiteistä tutkittiin paikalliskuivatuksen osalta salaajituksen, täydennysojituksen, säättösalaajituksen/salaojakastelun vaikutuksia peltoalueiden hydrologiaan, vesistökuormitukseen, kasvihuonekaasupäästöihin ja satotasoon. Peruskuivatuksen osalta selvitettiin valtaojan padotuksen vaikutuksia pellon pohjaveden tasoon. Lisäksi hankkeessa tutkittiin maan biologisen ja mekaanisen kuohkeutuksen (syväjuurisat kasvit ja jankkurointi) vaikutusta pellon tuottokykyyn ja ympäristökuormitukseen, sekä fosforilannoituksen vaikutusta satoon.

Hanke koostui viidestä osahankkeesta, joiden yksityiskohtaisemmat tavoitteet olivat:

1. Laatia systemaattinen lähestymistapa ja suunnitteluohjeet maatalousvaltaisen valuma-alueen vesitaloudellista suunnittelua varten. Tapaustutkimuskohteena tarkasteltiin Raaseporinjoen valuma-aluetta.
2. Selvittää, miten säättösalaajitus ja salaojakastelu vaikuttavat pellon vesitaseen komponentteihin ja pohjavedenpinnan korkeuteen, satoon ja vesistökuormitukseen peltoalueen mittakaavassa tavanomaisella kivennäismaalla. Lisäksi tutkittiin kasvihuonekaasupäästöjä maan eri kosteustiloissa. Kohdealueena oli Sievin salaajituskoekenttä. Tuloksia hyödynnettiin osahankkeessa 1.
3. Selvittää, miten valtaojan padotus vaikuttaa pohjavedenpinnan korkeuteen padon yläpuolisilla peltoalueilla. Kohdealueena oli Korvenoja Järvikylässä Sievissä. Tuloksia hyödynnettiin osahankkeessa 1.

4. Selvittää, miten täydennyssalaoitus ja sen jälkeen tehtävä maan biologinen ja mekaaninen kuohkeutus vaikuttavat pellon tuottokykyyn, vesistökuormitukseen ja maan rakenteeseen. Lisäksi tutkittiin märkyyden aiheuttaman huonon fosforitilan parantamista ja sen vaikutusta satoon. Kohdealueena oli Nummelan koekentän täydennysojitettu peltoalue Jokioisissa.
5. Arvioida viljely- ja sääolosuhteisiin liittyvää maatalousmaiden vesistökuormitusta Gårdskullan kartanon kahdella peltolohkolla tehtyjen pitkäaikaisten (2007-) valunta-, kiintoaine- ja ravinnepitoisuusmittausten perusteella. Mittausajanjakso käsitti eri pituisia jaksoja tavanomaista viljanviljelyä, luomuviljelyä (nurmi, apilanurmi ja vilja) sekä karjanlaidunnusta.

2 TUTKIMUSMENETELMÄT

2.1 Raaseporinjoen valuma-alue

Osahankkeen 1 vastuutahona oli Aalto-yliopisto (Insinööritieteiden korkeakoulu, Rakennetun ympäristön laitos). Osahankkeessa 1 koottiin maatalouden vesienhallinnan suunnittelun ohjeistuksia ja työkaluja, sekä selvitettiin vesienhallinnan toimenpiteiden vaikuttavuutta. Ohjeistusten ja työkalujen koonnin tarkoitus oli tukea alan asiantuntijoita ja suunnittelijoita, jotta suunnitteluun tarvittavat tiedot ja työkalut löytyvät yhdestä paikasta. Lisäksi kootuista ohjeistuksista ja työkaluista selvitettiin tietoaaukkoja. Maatalouden vesienhallinnan toimenpiteiden vaikuttavuutta selvitettiin tarkastelemalla niiden vaikutuksia ravinnekuormitukseen, eroosioon, tulvien ja kuivuuden hallintaan sekä luonnon monimuotoisuuteen. Lisäksi selvitettiin, tuovatko toimenpiteet hyötyä alkutuotannolle. Tarkasteltavat toimenpiteet olivat salaojitus, säätösalaajitus, kaksitasouoma, pohjapadot ja -kynnykset, kosteikot, laskeutusaltaat ja suojavyöhykkeet. Toimenpiteiden vaikuttavuutta selvitettiin kirjallisuustutkimuksen ja asiantuntijoiden haastatteluiden avulla, joiden perusteella koottiin vaikuttavuustaulukko, jossa käytettiin asteikkoa arvioimaan toimenpiteiden positiivisia ja negatiivisia vaikutuksia verrattuna referenssitoimenpiteisiin. Tieto toimenpiteiden vaikuttavuuksista ja niihin vaikuttavista tekijöistä auttavat sopivien vesienhallinnan toimenpiteiden valinnassa ja kohdentamisessa valuma-alueilla.

Lisäksi osahankkeessa 1 tarkasteltiin tapaustutkimuskohteena Uudellamaalla sijaitsevaa Raaseporinjoen valuma-aluetta, jossa toteutettiin vuosien 2018–2023 aikana laaja-alainen valuma-aluelähtöinen vesienhallinnan toimenpidekokonaisuus Raaseporinjokihankkeen toimesta. Hanketta toteuttaa Raaseporin ympäristötoimi. Hanke on saanut lisärahoitusta vuoden 2025 kesään asti. Valuma-alueelta kartoitettiin toteutetut toimenpiteet ja selvitettiin, onko niitä kohdennettu alueille, joilla maataloudesta syntyvä ravinnekuormitus on merkittävää. Toimenpiteiden kohdentamista arvioitiin hyödyntämällä WSFS-Vemalan tuottamaa paikkatietoaineistoa ravinnekuormituksesta ja mittaustietoa joen vedenlaadusta vuodelta 2019. Toimenpiteiden kohdentaminen kuormittavimmille alueille on kustannustehokkain tapa vähentää kiintoaine- ja ravinnekuormitusta valuma-alueella.

2.1.1 Maatalouden vesienhallinnan ohjeistukset ja työkalut sekä toimenpiteiden vaikuttavuus

Suunnitteluoppaita ja -työkaluja koottiin sekä niiden tietoaaukkoja ja toimenpiteiden vaikuttavuutta selvitettiin kirjallisuustutkimuksen ja asiantuntijoiden haastatteluiden avulla. Haastatteluissa saatiin vastauksia yhteensä viideltä alan asiantuntijalta ja toimijalta.

Maatalouden vesienhallinnan toimenpiteiden vaikuttavuutta selvitettiin keskittyen Suomea vastaaviin olosuhteisiin (boreaalinen ilmasto, kuivatustarve). Toimenpiteiden vaikuttavuutta ravinnekuormituksen hallintaan selvitettiin tarkastelemalla sitä, kuinka

toimet vaikuttavat kokonaistypen ja -fosforin, fosfaatin, nitraatin ja nitriitin huuhtoutumiseen. Eroosion hallinnan osalta arvioitiin toimenpiteiden kykyä pidättää kiintoainesta ja vähentää eroosiota. Toimenpiteiden vaikuttavuutta tulvien hallinnassa arvioitiin selvittämällä, miten ne vaikuttavat tulvien hillitsemiseen, esimerkiksi vähentämällä tulvien laajuutta. Kuivuuden hallinnan näkökulmasta selvitettiin, miten toimenpiteet vaikuttavat joko maataloudelliseen tai hydrologiseen kuivuuteen. Maataloudellinen kuivuus tarkoittaa tilannetta, jossa maaperän kosteustaso on niin alhainen, että se vaikuttaa haitallisesti kasvien kasvuun ja maataloustuotantoon. Hydrologinen kuivuus tarkoittaa tilannetta, jossa vesistöjen, kuten purojen, veden määrä on huomattavasti normaalia vähäisempi. Kirjallisuutta toimien vaikutuksista monimuotoisuuteen löytyi suppeasti, joten tarkasteltavista eliöryhmistä ei tehty tarkempaa rajausta. Toimien hyötyjä alkutuotannolle tarkasteltiin sen perusteella, miten toimenpide vaikuttaa vesi- ja ravinnetalouteen, peltopinta-alaan tai satotasoon.

Kirjallisuuden määrä eri toimenpiteistä on koottuna taulukkoon 2.1 Tuloksista muodostettiin vaikuttavuustaulukko. Vaikuttavuustaulukko koottiin pääasiassa kirjallisuustutkimuksen pohjalta, mutta jos tutkimuksia aiheesta ei ollut tai niihin liittyi paljon epävarmuuksia, hyödynnettiin asiantuntijoiden arvioita. Toimenpiteiden vaikuttavuus arvioitiin vertailemalla eri tutkimuksista koottua tietoa. Arviointiasteikkona käytettiin seuraavaa luokitusta: lievä positiivinen tai negatiivinen vaikutus (+/-), positiivinen tai negatiivinen vaikutus (++)/--), tai merkittävä positiivinen tai negatiivinen vaikutus (+++)--). Toimien vaikuttavuutta verrattiin referenssitoimenpiteisiin tai -tilanteisiin. Salaojitusta ja säätösalaajitusta verrattiin perinteisesti ojitettuihin avouomiin. Kaksitasouomia verrattiin perinteisesti perattuihin uomiin, joissa ei ole tulvatasanteita. Pohjapatoja, kosteikkoja, laskeutusaltaita ja suojavyöhykkeitä verrattiin tilanteeseen ennen toimien rakentamista tai verrokkialueeseen, jossa kyseisiä toimia ei ole.

Taulukko 2.1. Tutkimusjulkaisujen lukumäärä, johon kirjallisuuskatsauksessa on viitattu eri toimenpiteiden vaikuttavuuden selvittämisessä. "T" tarkoittaa tieteellisiä julkaisuja yhteensä ja "K" sitä, kuinka moni näistä julkaisuista oli kirjallisuuskatsauksia tai meta-analyseja.

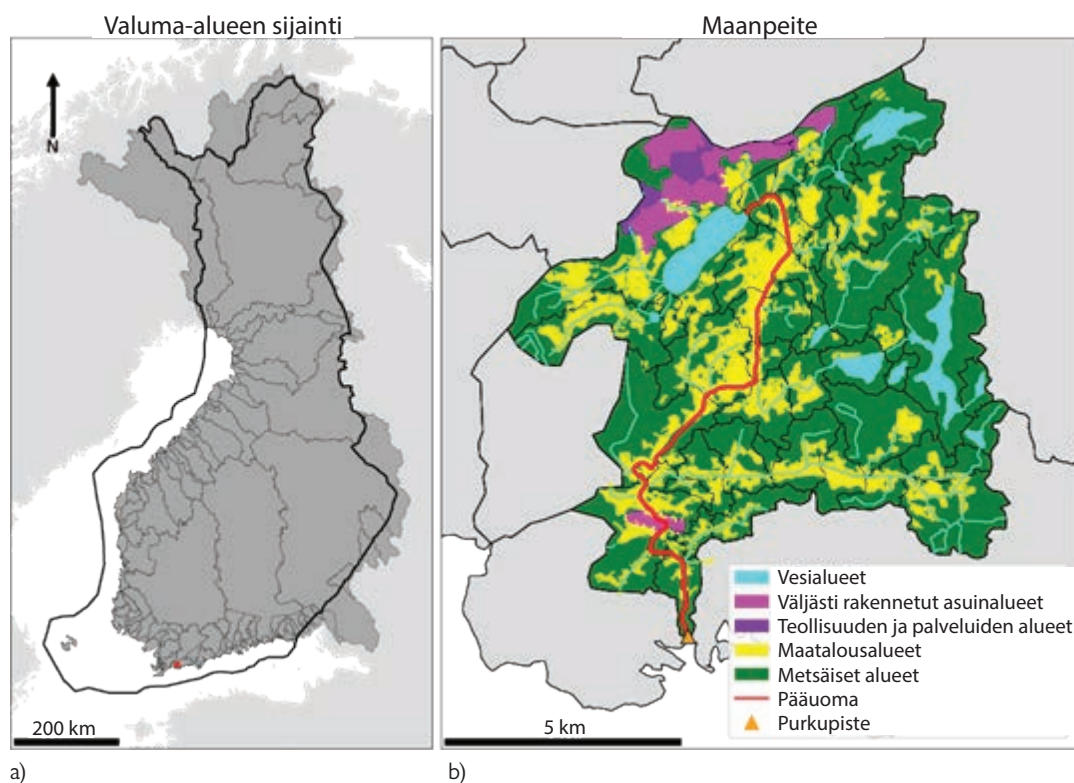
	Ravinne- kuormitus		Eroosio		Tulva- suojelu		Kuivuus		Moni- muotoisuus		Alku- tuotanto	
	T	K	T	K	T	K	T	K	T	K	T	K
Salaojitus	7	3	2	2	4	1	2	-	2	1	2	1
Säätösalaajitus	6	1	-	-	5	-	3	-	2	1	5	-
Kaksitasouoma	5	1	3	-	2	-	-	-	4	-	2	-
Pohjapadot ja -kynnykset	5	1	3	1	2	1	3	1	1	-	3	-
Kosteikko	6	1	5	-	3	2	-	1	5	1	-	-
Laskeutusallas	4	1	5	-	3	-	2	-	2	-	-	-
Suojavyöhyke	5	5	3	1	2	1	2	1	3	2	-	-
Yhteensä	38	13	21	5	21	5	12	3	19	5	12	1

2.1.2 Tapaustutkimus: Raaseporinjoen vesienhallinta

Pieneksi savimaiden joeksi luokitellun Raaseporinjoen pääuoman varrella on runsaasti maataloutta (kuva 2.1). Raaseporinjoen valuma-alue on 71 km² ja alueen päämaalaji on eroosioherkkä liejusavi, mikä on näkynyt alueella uomien luiskasortumina. Lisäksi alueella esiintyy myös happamia sulfaattimaita. Raaseporinjoen valuma-alue on tasaista, ja Lepinjärvestä alkavan joen ja sen purkupisteen, Barösundin merialueen, välinen korkeusero on vain 5,3 m (Raaseporin kaupunki, 2020). Raaseporinjoen pääuoman pellot ovat kärsineet tulvista, mikä on hankaloittanut viljelyä. Raaseporinjoen ja sen purkupisteen jälkeisen Barösundin merialueen ekologinen tila on arvioitu välttäväksi 3. vesienhoitokaudella (2022–2027).

Raaseporinjoen valuma-alueella tehtyjen toimien kohdentamista kuormittavimmille alueille tarkasteltiin Suomen ympäristökeskuksen tuottaman avoimen WSFS-Vemala kuormitustietoaineiston (SYKE, 2023) ja alueella tehtyjen vedenlaatumittausten avulla. Lisäksi osahankkeen 1 toimenpiteiden vaikuttavuuden tuloksia käytettiin tarkasteltaessa, ovatko valitut toimenpiteet tehokkaita ravinnekuormituksen hallinnassa ja onko ne mitoitettu riittävän suuriksi, jotta merkittäviä hyötyjä voidaan saavuttaa.

WSFS-Vemala kuormitustietoaineiston ravinnekuormittavimpien alueiden visualisointiin käytettiin QGIS-ohjelmistoa ja Python-ohjelmointikieltä. WSFS-Vemalan kuormitustietoaineisto kuvastaa tilannetta ennen toimenpiteiden toteuttamista alueella. Aineiston avulla arvioitiin, kuinka paljon peltoviljelystä syntyy kokonaisfosforin ja -typen



Kuva 2.1. Raaseporinjoen valuma-alueen sijainti (a) sekä alueen maankäyttömuodot, pääuoma ja Raaseporinjoen purkupiste (b).

kuormitusta ja kuinka paljon tästä kuormituksesta päätyy vesistöihin. Raaseporinjoen pääuomasta ja sivuomista on tehty vedenlaatumittauksia kahdeksasta eri mittauspisteestä, ja lisäksi kolmesta pisteestä Barösundin merialueelta. Vedenlaatumittauksia tarkasteltiin vuodelta 2019 ennen toimien rakentamista alueelle. Lisäksi tarkasteltiin kuormituspitouksia sekä toimien rakentamisen aikana että niiden päätyttyä, jotta voitiin selvittää, miten toimenpiteet ovat vaikuttaneet vedenlaatuun lyhyellä aikavälillä.

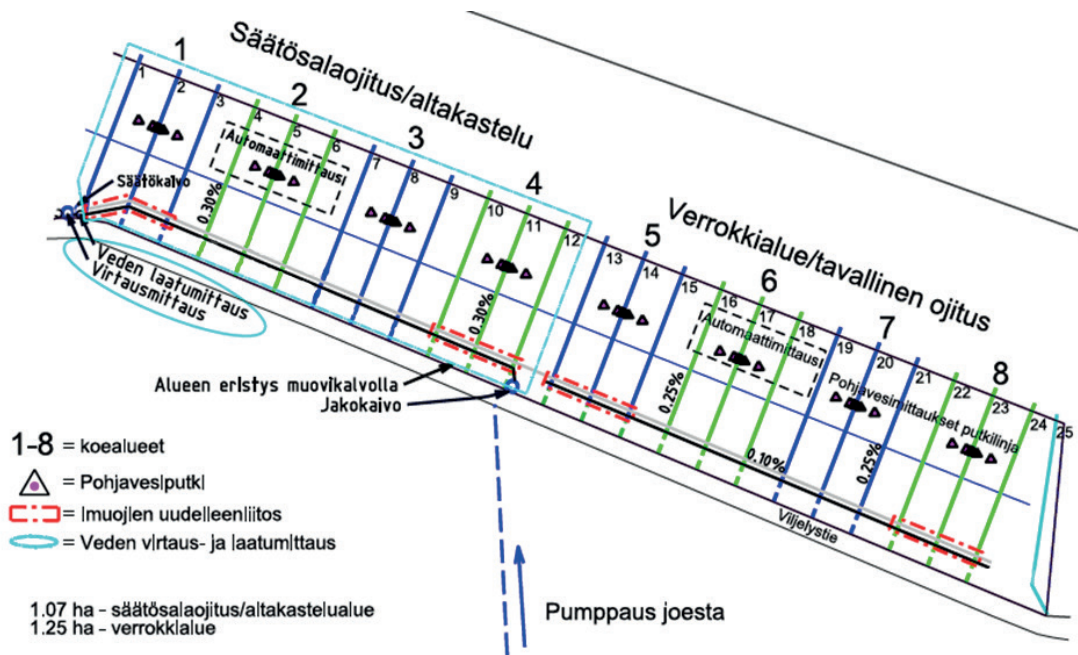
2.2 Sievin säätösalaajituskenttä

VESIMA-hankkeessa hyödynnettiin kahta Sievissä Pohjois-Pohjanmaalla sijaitsevaa koe- paikkaa – Sievin säätösalaajitus- ja salaajakastelukoe kenttää (säätökenttää) (osahanke 2) sekä Korvenojan padotuskokeen (osahanke 3) peltoaluetta Sievin Järvikylässä (kuva 2.2). Sievin säätökentällä selvitettiin eri salaajakoneilla tehtyjen ojitusten toimivuutta vuosina 2015–2018 (Äijö ym. 2017 ja 2018; Salo ym., 2019), kunnes keväällä 2019 osalle 3,2 hehtaarin peltoalueesta asennettiin säätösalaajitusjärjestelmä (1,07 ha) (”säätöalue”) ja osa (1,25 ha) jätettiin tavanomaiseksi salaajituksiksi (”verrokkialue”) (kuva 2.3 (Äijö ym. 2021). Säätöaluetta kasteltiin vuodesta 2021 alkaen kesäisin ohjaamalla vettä läheisestä joesta salaajien kautta aurinkoenergialla toimivalla pumpulla. Maalaji vaihteli salaajasyvyyydessä hiedan (Ht) ja hiukeen (He) välillä. Pintamaasta pelto on runsasmultaista hietaa (rmHt). Maalajinsa ja tasaisuutensa (keskimääräinen kaltevuus 0,1 %) puolesta peltoalue soveltuu hyvin säätösalaajitukseen. Korvenojan padotusalue sijaitsi 2,1 km² kattavalla valuma- alueella, jonka keskimääräinen maan kaltevuus on alle 0,5 %.

Osahankkeessa 2 tutkittiin peltoviljelyn tuottavuuden parantamista ja vesistökuormituksen vähentämistä säätösalaajituksella ja salaajakastelulla. Sen vastuutahona toimi



Kuva 2.2. Pohjois-Pohjanmaalla sijaitsevien Sievin säätösalaajituskokeen koe kenttä (”säätökenttä”) ja valtaojan padotuskokeen (Korvenoja, Järvikylä) sijainti kartalla.



Kuva 2.3. Sievin säätökoekentän kartta.

Salaojayhdistys ry ja hankkeen kokeellinen osa toteutettiin Sievin säätökentällä. Sievin säätökentällä kasvoi kesällä 2023 monivuotinen siemennurmi (timotei), jota oli siemen- viljelty kesästä 2021 alkaen. Syyskuussa 2023 maa muokattiin ja nurmen tilalle kylvettiin syysvehnä (liite 1).

VESIMA-hankkeessa 2023–2024 jatkettiin Sievin säätökentällä vuonna 2019 aloitettuja mittauksia (sadanta, pohjavedenpinnan syvyys, salaojavalunnan määrä ja ravinne- ja kiintoainepitoisuudet, sadon määrä ja laatu) sekä vuodesta 2020 aloitettuja manuaalisia kasvihuonekaasujen kammiomittauksia. Lisäksi hyödynnettiin pohjavedenpinnan syvyyksistä ja satotasosta koekentällä tehtyjä mittauksia vuosilta 2015–2019, ennen säätösalaajitusta. Tilastollisia menetelmiä käyttäen selvitettiin säätösalaajituksen ja sala- ojakastelun vaikutuksia pellon hydrologiaan, ravinne- ja kasvihuonekaasupäästöihin sekä satotasoon. Kesällä 2022 koekentän maasta tehtiin maalajikuvaus World reference base for Soil resources (WRB) -menetelmällä. Kuvauksen mukaan maa on Endogleyic Umbrisol, jonka karkea suomenkielinen tulkinta on multamaa, jonka pohjamaa salaojasyvyyden yläpuolella on ajoittain veden kyllästämä ja pelkistynyt.

Pohjavedenpinnan syvyyttä mitattiin käsin säätö- ja verrokkialueen pohjavesiputkista, jotka oli asennettu salaojien välittömään läheisyyteen (etäisyys 0,2 m) sekä molemmin puolin salaojia kolmelle etäisyydelle (0,6 m; 2,5 m; 7,5 m). Kunakin päivänä tehdystä seitsemästä mittauksesta laskettiin mediaanien keskiarvo kullekin etäisyydelle. Mittauk- sia tehtiin vuoden 2023 aikana keskimäärin 9 päivän välein (vaihteluväli 2–42 pv, n=47) ja vuonna 2024 keskimäärin 7 päivän välein (vaihteluväli 5–13 pv, n=27). Säätökaivossa padotus oli asennettu 0,5 m etäisyydelle maanpinnasta.

Salaojavaluntaa mitattiin jatkuvatoimisesti. Sekä säätö- että verrokkialueen kokooja- ojat liittyivät mittauskaivoon, jossa salaojavalunnan määrää mitattiin ultraäänivesimit-

tareilla. Salaojaveden laatua tutkittiin 23.5.2023 alkaen valunnan suhteen kerätyistä kokoomanäytteistä, joista määritettiin ravinne- ja kiintoainespitoisuudet laboratorioanalyysin. Ravinteista mitattiin liukoista (orgaanista ja epäorgaanista) kokonaistyyppiä (KOK-N), epäorgaanista nitriitti- ja nitraattityyppiä ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3\text{-N}$), epäorgaanista ammoniumtyyppiä ($\text{NH}_4\text{-N}$), orgaanista ja epäorgaanista kokonaisfosforia (KOK-P) sekä epäorgaanista fosfaattifosforia ($\text{PO}_4\text{-P}$). Kiintoainespitoisuus määritettiin suodattamalla vesinäyte 1,2 µm silmäkokoluokan (Whatman GF/C) suodatinpaperin läpi. Pitoisuuksien ja salaojavalunnan määrien perusteella laskettiin salaojavalunnan aiheuttama vesistökuormitus molemmilta koealueilta.

Kastelu toteutettiin vuonna 2023 9.6.–31.8. niin, että 31.7.–15.8. kastelussa oli taukoa pumpun ollessa huollossa. Vuonna 2024 kasteltiin 7.6.–23.9., taukoa kastelussa oli 14.–17.6. sekä 25.7.–14.8. Kasteluun käytetyn veden määrää mitattiin jatkuvatoimisesti rullalaskurilla ja etäluentamoduulilla varustetulla vesimittarilla.

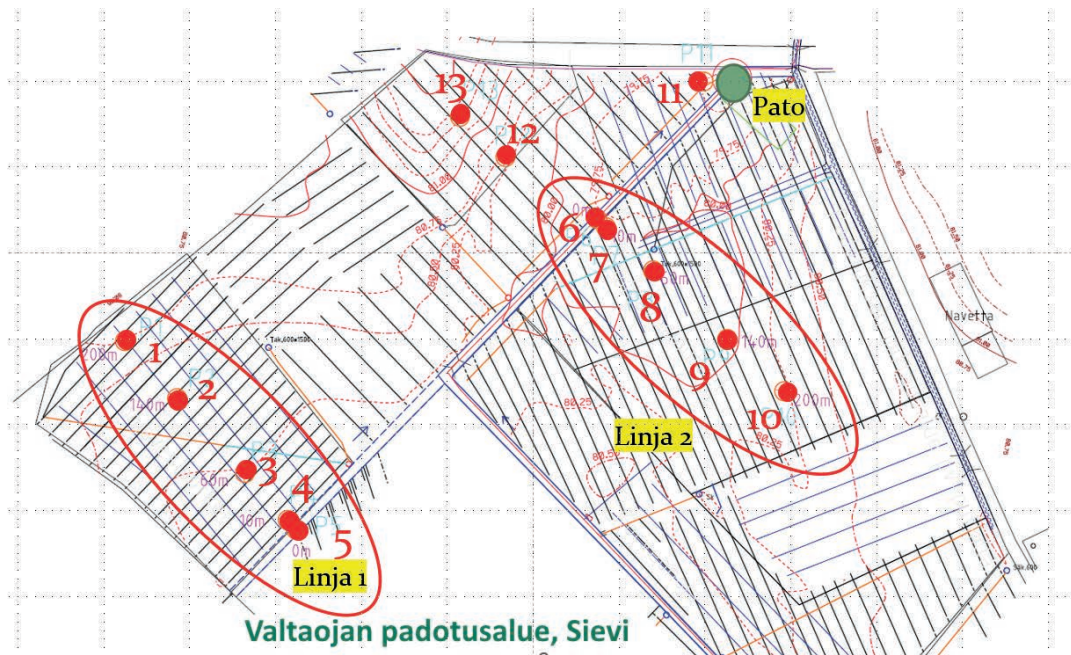
Koealueiden sadon määrä mitattiin keräämällä kaikki maanpäällinen nurmibiomas- sa tai viljan jyväsato 0,25 m² alalta. Näytteet kerättiin kuutena rinnakkaisena salaojien kohdalta ja puolivälistä molemmilta koealueilta. Satonäytteistä määritettiin tuore- ja kuivapaino.

Kasvihuonekaasunäytteitä kerättiin käsin kammionmittausmenetelmällä molemmilla koealueilla vuoden 2023 aikana kesäkuussa (viitenä peräkkäisenä päivänä) sekä elokuussa ja syyskuussa (kolmena peräkkäisenä päivänä), ja lisäksi heinäkuussa 2024 (kolmena peräkkäisenä päivänä). Kaasunäytteet lähetettiin Luonnonvarakeskukseen Jokioisille, jossa niistä mitattiin kaasukromatografilla hiilidioksidin (CO_2), dityppioksidin (N_2O) ja metaanin (CH_4) pitoisuudet. Pitoisuuksien perusteella laskettiin kunkin kaasun keskimääräinen vuo tunnissa ja vuorokaudessa sekä arvioitiin vuosittaiset hehtaariohittaiset päästöt. Kasvihuonekaasupäästöjen eroja säätö- ja verrokkialueen välillä sekä eri vuosien välillä tarkasteltiin tilastollisesti (Mann-Whitney U-testi tai Kruskal-Wallis test, merkitsevyyden taso $p=0,05$). Lisäksi kasvihuonekaasujen riippuvuuksia keskenään sekä pohjavedenpinnan syvyyden, maaperän ja salaojaveden ominaisuuksien, ilman lämpötilan ja sadannan kanssa tarkasteltiin korrelaation ja regressioanalyysin avulla (merkitsevyyden taso $p=0,05$; ei-parametrisia testejä käytettiin, jos parametristen testien käyttöedellytykset eivät toteutuneet).

2.3 Korvenojan padotuskoe

Osahankkeessa 3 selvitettiin miten valtaojan padotus vaikuttaa pohjavedenpinnan korkeuteen padon yläpuolisilla peltoalueilla. Vastuutahona toimi Salaojayhdistys ry, ja osahankkeessa jatkettiin Korvenojassa vuonna 2019 *VesiHave*-hankkeessa aloitettua tutkimusta. Paikkatietoikkunan (<https://kartta.paikkatietoikkuna.fi/>, Karttataso: Pintavesien virtausmalli: Yläpuolinen valuma-alue, ha) pintavesien virtausmallin mukaan padon valuma-alue on noin 70 ha.

VESIMA-hankkeen aikana valtaojaan asennetulla säädettävällä settipadolla mitattiin vedenpinnan korkeutta jatkuvatoimisella automaattianturilla vuorokauden ympäri 30 minuutin välein 19.5.–17.11.2023 ja 31.5.–20.11.2024. Lisäksi valtaojan vedenpinnan korkeutta mitattiin käsin kahden valtaojaan nähden kohtisuoraan valitun linjan kohdalta (linja 1 kauempana patoa ja linja 2 lähempänä patoa, kuva 2.4), samalla kun peltoalueilla mitattiin



Kuva 2.4. Korvenojan padotusalue Sievin Järvikylällä, Pohjois-Pohjanmaalla. Padolla oleva automaattinen vedenpinnan korkeuden mittauspiste on merkitty karttaan sinisellä ympyrällä. Pohjavedenpinnan korkeutta eri etäisyyksillä valtaojasta (10, 60, 140 ja 200 m) mitattiin käsin paikoissa 1–4 ja 7–10.

pohjavedenpinnan korkeutta eri etäisyyksiltä valtaojasta (10, 60, 140 ja 200 m) 27 kertaa 2023 ja 25 kertaa 2024. Maanpinta linjan 1 kohdalla on noin puoli metriä linjan 2 maanpintaa korkeammalla, mutta maan kaltevuus on kummallakin linjalla sama. Peltoalueella laiduntavat lehmät rikkoivat maanpäälliset osat pohjavesiputkista, joten ne uudistettiin maantasaisiksi 2023 ja 2024.

Korvenojan padotusalueen peltolohkoilta otettiin maanäytteitä 12.6.2024 valtaojan molemmiin puolin neljästä näytteenottopisteestä molemmilta vedenpinnan korkeuden mittauslinjoilta. Näytteenottopisteiksi valittiin linjan 1 ja 2 varrelta 10 m ja 200 m päässä Korvenojasta sijaitsevat paikat (paikka 1, 4, 7 ja 10, kuva 2.4). Maanäytteenottopisteiden suurpiirteiset sijainnit on merkitty [kartalle](#). Maanäytteet kerättiin kustakin paikasta kolmesta eri syvyydestä niin, että näytteitä tuli otetuksi muokauskerroksesta (noin 0–20 cm syvyydestä), sen alapuolisesta jankosta (noin 20–30 cm syvyydestä) ja pohjamaasta (noin 70 cm alkaen). Rinnakkaisnäytteitä otettiin enemmän ylemmistä maakerroksista kuin syvemmältä, koska maan ominaisuuksien oletettiin vaihtelevan enemmän lähempänä maan pintaa (taulukko 2.2.). Näytteenottopäivän sääolosuhteet vaihtelivat puolipilvisestä lyhyisiin sadekuuroihin ja päivälämpötila oli yli 20 C. Toukokuu 2024 oli ollut pitkään kuiva ja sateita saatiin vasta kesäkuun alkupuolella. Laboratoriossa maanäytteistä määritettiin maan orgaanisen aineksen pitoisuus (gravimetrisesti, 550 C), vedenjohtavuus KSAT-vedenläpäisymittarilla (Eijkelkamp) ja vedenpidätyskykyä kuvaava pF-käyrä (pF-pisteet 1–3,4) sekä mineraaliaineksen partikkelikokojakauma hydrometrilla (<0,2 mm hieno aines) ja kuivaseulontana (>0,2 mm karkea aines). Maakerrokset, joissa orgaanisen aineksen pitoisuus oli 40 % tai enemmän luokiteltiin eloperäisiksi, ja siten niistä ei määritetty partikkelikokojakaumaa.

Taulukko 2.2. Korvenojan padotusalueen peltolohkoilta kesällä 2024 otetut maanäytteet.

Näytteen- ottopiste	Sijainti	Peltolohko (nro; ala)	Muokkauskerros:	maanäyte		Jankko:	maanäyte		Pohjamaa:	maanäyte	
			havainnot	syvyys	kpl	syvyys	syvyys	kpl	havainnot	syvyys	kpl
Linja 1, putki 1	63°54'06.1"N 24°35'04.5"E	lohko 62; 3,42 ha	Pinnasta n. 20 cm asti, turpeeseen sekoittunutta kivennäismaata	8 cm	5	n. 20–30 cm, kivennäismaata, ruostepintoja mutta vähemmän rautapillejä, liuskoittunutta turvetta ei ollenkaan	30 cm	4	kivennäis- maa n. 70 cm alapain, hyvin kuivaa, savista, ruostepintoja näkyvissä	70 cm	3
Linja 1, putki 4	63°54'02.5"N 24°35'14.0"E	lohko 62; 3,42 ha	Pinnasta n. 20 cm asti, pelkkää turvetta	8 cm	5	n. 20–30 cm, voimakkaasti liuskoittunutta turvetta	30 cm	4	kivennäismaa n. 70 cm alapain, vain vähän savista, ruostepintoja näkyvissä	70 cm	3
Linja 2, putki 7	63°54'09.7"N 24°35'31.3"E	lohko 64; 3,23 ha	Pinnasta n. 20 cm asti, todella löyhää ja kuivaa, turvetta ja paljon kasvijätteitä/ juuripaakkuja	8 cm	5	n. 20–30 cm, kuivaa, turveliuskoja, kivennäismaa alkoi n. 40 cm kohdalla	30 cm	4	kivennäismaa n. 70 cm alapain, kuivaa, ei kovin savista, ensin ruostepintoja ja syvemmällä rautapillejä, n. 100 cm syvyys- dessä plastista savea	70 cm	3
Linja 2, putki 10	63°54'06.2"N 24°35'39.9"E	lohko 66; 2,68 ha	Pinnasta n. 20 cm asti, löyhää ja kuivaa, turvetta mutta vähemmän kasvijätteitä kuin putki 7 paikassa	8 cm	5	n. 20–30 cm, kuivaa, kivennäismaata ja ruostepintoja	30 cm	4	kivennäismaa n. 70 cm alkaan, kuivaa, savista, paljon rauta-pillejä joissa osittain hajonneita juuria	70 cm	3

^a Ylivieskan lentokentän havaintoasema; ^b Ylivieskan Vähäkankaan ja Toholammin Oravalan havaintoasemat.

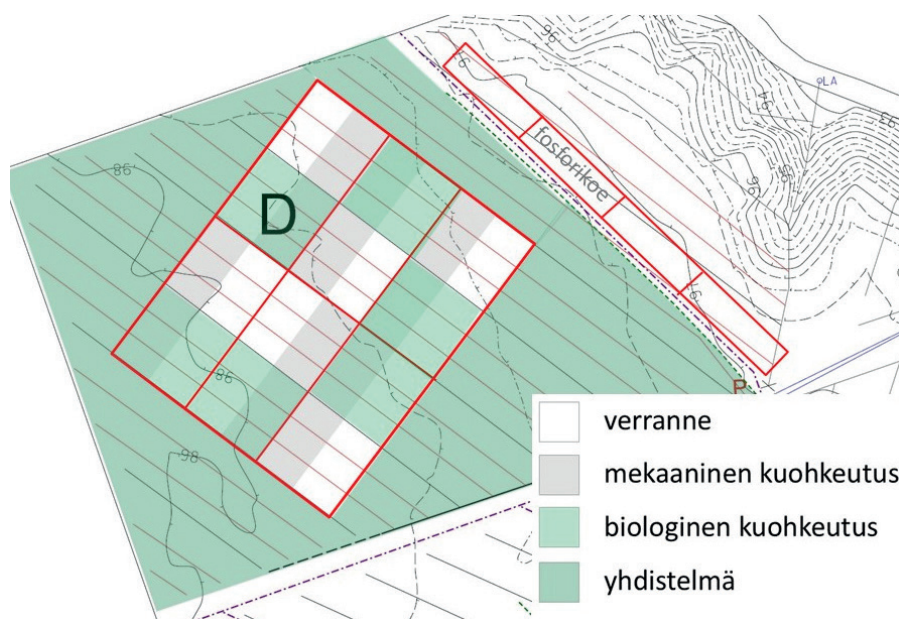
2.4 Nummellan salaojakenttä

Osahankkeessa 4 tutkittiin, miten täydennyssalaojitus ja sen jälkeen tehtävä maan biologinen ja mekaaninen kuohkeutus vaikuttavat pellon tuottokykyyn, vesistökuormitukseen ja maan rakenteeseen. Vastuutahona toimi Luonnonvarakeskus ja kohdealueena oli Nummellan salaojakenttä Jokioisissa (kuva 2.5). Peltoalue (9 ha) on osittain tasainen, osittain lievästi viettävä, ja maa on lähes kauttaaltaan aitosavea. Nummellan koekenttä on perustettu salaojatutkimusta varten vuosina 2006–2007 (Vakkilainen ym. 2010; Äijö ym. 2014, 2017, 2021), ja se koostuu neljästä eri tavoin salaojitusta alueesta (alueet A, B, C ja D). Alueilla A, B ja C oli alkujaan (1950-luvulta lähtien) 16 metrin ojaväli ja alueella D 32 metrin ojaväli. Alue D oli kärsinyt märkyydestä harvan ojavälin takia. Alue C täydennysojitettiin (ojaväli 16 m -> 8 m) kesäkuussa 2008, ja märkyydestä kärsinyt alue D (ojaväli 32 m -> 10,7 m) kesäkuussa 2014. Alue A uusintaojitettiin keväällä 2008 kuuden metrin ojavälillä. Alue B (ojaväli 16 m) jätettiin vertailualueeksi. Koekentän yksityiskohtainen kuvaus on esitetty Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedotteessa nro 37 (Äijö ym., 2023).

VESIMA-hankkeessa saatettiin loppuun vuonna 2019 perustettu maan kuohkeutus-koe, jossa selvitettiin maan rakenteen parantamista biologisella (syväjuurinen nurmi) ja mekaanisella (jankkurointi) kuohkeutuksella ja niiden yhdistelmällä. Koe sijaitsi kentän koealueella D, joka oli kärsinyt märkyydestä vuosikymmeniä ja jonka maan rakenne ja fosforitila olivat huonommat kuin muiden koealueiden (Vakkilainen ym. 2010).



Kuva 2.5. Nummelan koekentän sijainti kartalla.



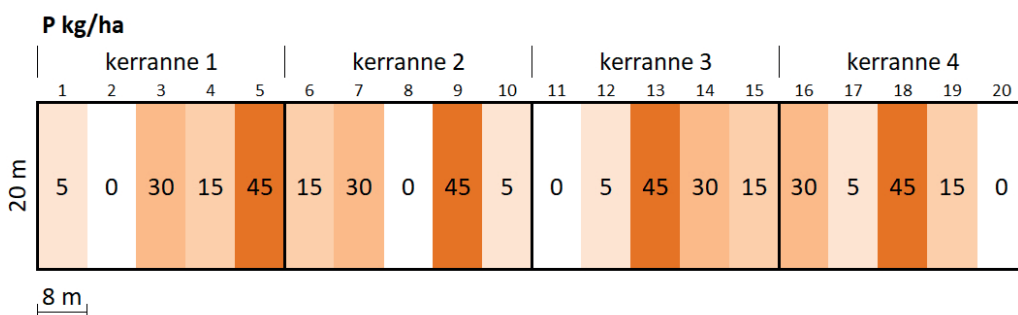
Kuva 2.6. Kuohkeutus- ja fosforikokeen kenttäkartta. Ruutukokeen ympärillä olevalle alueelle kylvettiin nurmi samaan aikaan kuin koeruuillekin, ja ympäristä jankkuroitiin samaan aikaan kuin koeruuutkin.

Koe toteutettiin ruutukokeena, joka sisälsi neljä eri käsittelyä kuutena kerranteena (kuva 2.6). Käsittelyt olivat 1) verranne; vilja, ei jankkurointiä 2) mekaaninen kuohkeutus; vilja ja jankkurointi, 3) biologinen kuohkeutus; syväjuurinen nurmi, ei jankkurointiä, 4) mekaanisen ja biologisen kuohkeutuksen yhdistelmä; syväjuurinen nurmi ja jankkurointi. Nurmiseoksessa oli sinimailasta ja ruokonataa ja talvehtimisen varmistamiseksi myös rehumailasta ja timoteitä. Syväjuurinen nurmi kylvettiin vuonna 2019. Sinimailasen huonon talvehtimisen takia vuonna 2020 tehtiin täydennyskylvöjä. Jankkurointi tehtiin heinäkuussa 2022, kun syväjuurisen nurmen juuristo oli ehtinyt kehittyä vahvaksi ja maa oli kuivaa (kosteus 10–30 cm:n syvyydessä 25–30 tilavuus-% ja 40–50 cm:n syvyydessä 35–40 tilavuus-%). Jankkurointi ulottui 35–40 cm:n syvyyteen. Vuonna 2023 kaikille koeruuille kylvettiin timoteinurminatanurmi yhtäläisten olosuhteiden aikaansaamiseksi vertailua varten. Vuonna 2024 tehtiin ruutujenväliset satovertailut sekä maan ominaisuuksien vertailu ottamalla maanäytteitä kolmelta syvyydeltä (15–20 cm, 25–30 cm ja 35–40 cm).

Maanäytteistä määritettiin maan irtotiheys, huokoskokojakauma, vedenpidätyskäyrä, hiilipitoisuus (orgaanisen aineksen määrä) sekä juurikanavien ja lieronreikien määrä. Lisäksi koeruuduilla mitattiin maan mekaanista vastusta, kasvihuonekaasupäästöjä sekä roudan ja lumen syvyyttä.

Kuohkeutuskokeen koeruutujen ympärillä olevalle alueelle tehtiin samat kuohkeutustoimet kuin koeruuduillekin. Näin suurin osa alueen D pinta-alasta tuli käsitellyksi kuohkeutustoimilla, ja niiden vaikutuksista voitiin tehdä päätelmiä vertaamalla aluetta D verrannealueeseen B tai kaikkiin muihin alueisiin (A-C). Vertailuja tehtiin sadon määrästä, ravinnehuuhtoumista, pohjaveden käyttäytymisestä ja maan fosforipitoisuuksista, joita on mitattu kaikilla alueilla vuodesta 2007 alkaen (Vakkilainen ym. 2010; Äijö ym. 2014, 2017, 2021).

Kuohkeutuskokeen viereen märkyydestä kärsineelle alueelle, mutta alueen D ulkopuolelle, perustettiin samanaikaisesti kuohkeutuskokeen kanssa fosforilannoituksen porraskoe (kuva 2.6). Kokeessa selvitettiin, miltä osin märkyydestä kärsineen alueen huonot sadot johtuivat huonosta fosforiluvusta sekä tutkittiin fosforiluvun nostomahdollisuuksia fosforilannoituksella. Koe toteutettiin satunnaistettujen täydellisten lohkojen kokeena neljänä kerranteena porrastetuilla lannoitemäärillä P 0, 5, 15, 30 ja 45 kg ha⁻¹ (kuva 2.7). Kokeessa seurattiin lannoituksen vaikutusta maan fosforilukuun ja sadon määrään sekä laskettiin fosforitase.



Kuva 2.7. Fosforikokeen lohkot ja käsittelyt.

2.5 Gårdskullan peltolohkot

Osahankkeessa 5 tarkasteltiin viljely- ja sääolosuhteiden vaikutusta maatalousmaiden vesistökuormitukseen Siuntiossa sijaitsevan Gårdskullan kartanon kahden peltolohkon pitkäaikaisten havaintoaineistojen perusteella. Vastuutahoina toimivat Aalto-yliopisto (Insinööritieteiden korkeakoulu, Rakennetun ympäristön laitos), Salaojituksen tutkimusyhdistys ry sekä Sven Hallinin tutkimussäätiö sr. Gårdskullan kartanon tutkimusalue Kirkkojoen valuma-alueella (kuva 2.8) on perustettu vuonna 2007 maatalouden vesistökuormituksen pitkäaikaista seuranta varten (Vakkilainen ym., 2010; Nurminen ym., 2018). Kirkkojoen valuma-alue on kooltaan noin 148 km², josta 31 % on maatalousmaata, 68 % metsää ja loput 1 % vesistöjä.

VESIMA-hankkeessa hyödynnettiin vuosien 2008–2022 aikana kerättyjä mittaustuloksia valunnan muodostumisen sekä ravinteiden ja kiintoaineen huuhtoutumisen selvittä-



Kuva 2.8. Karttakuva Gårdskullan a) koelohkoista (Nurminen ym., 2018) ja b) tutkimusalueen sijainnista Suomessa.

miseksi kahdella salaojitetulla peltolohkolla (lohkot 1 ja 2, kuva 2.8). Lohko 1 oli vuosina 2008–2011 ja lohko 2 vuosina 2008–2010 tavanomaisessa viljanviljelyssä (syys- ja kevätvehnä, mallasohra), jossa lohkot saivat NPK-lannoitteen (taulukko 2.3). Lohko 1 siirtyi luonnonmukaiseen nurmenviljelyyn 2012 ja lohko 2 siirtyi luonnonmukaisen lihakarjan laidunnukseen 2011. Vuonna 2020 lohkolle 1 viljeltiin poikkeuksellisesti yksi vuosi ruista ilman lannoitteiden käyttöä, minkä jälkeen lohkon viljely jatkui apilanurmena. Lohkolle 2 laidunnus loppui syksyllä 2019, minkä jälkeen myös tällä lohkolle siirryttiin luonnonmukaiseen nurmiviljelyyn. Tutkimusalueen maaperä on pääosin savimaata. Lohko 1 on kooltaan 5,7 ha ja kaltevuudeltaan 1 %. Lohko 2 on hieman pienempi, 4,7 ha, ja kaltevampi, 5 %. Nurminen ym. (2018) on esittänyt Gårdskullan peltolohkojen yksityiskohtaisen kuvauksen.

Koealueelta otettiin maanäytteitä toukokuussa 2024 maalajin, kyllästyneen tilan vedenjohtavuuden ja vedenpidätyskäyrän määrittämistä varten. Pintamaasta otettiin viisi, jankosta neljä ja pohjamaasta kolme näytettä lohkolle 1. Lohkolle 2 näytteenotto oli muutoin samanlainen, mutta pohjamaasta otettiin vain yksi näyte. Näytteenotto keskitettiin ylempiin maakerroksiin niiden rakenteen heterogeenisyyden vuoksi. Maalaji määritettiin

Aalto-yliopiston vesilaboratoriossa ISO 17892-2016 -standardin mukaisella menetelmällä (International Organization for Standardization, 2016), kylläisen maan vedenjohtavuus määritettiin Eijkelkampin 09.02 Laboratory Permeameter -laitteistolla (Eijkelkamp, 2013) käyttäen sekä constant head että falling head -menetelmiä näytteestä riippuen, ja vedenpidätyskäyrä määritettiin Eijkelkampin 08.01 -hiekkapetilaitteistolla pF-pisteille 0-2 (Eijkelkamp, 2022a) sekä Eijkelkampin 08.03 -paineammioilaitteistolla pF-pisteille 3-4.2 (Eijkelkamp, 2022b).

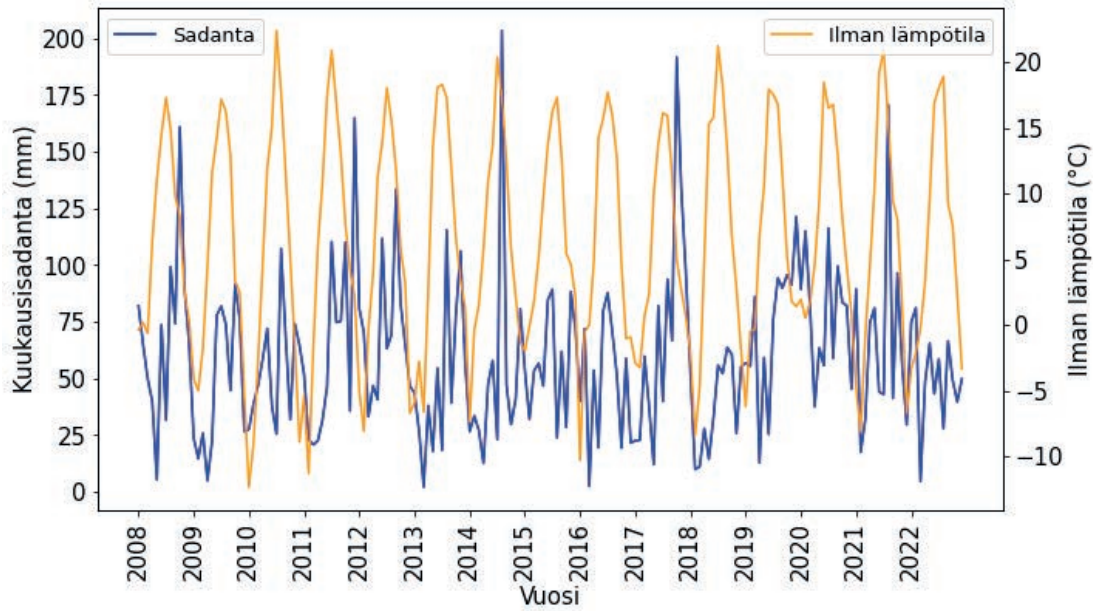
Koelueilta oli saatavilla mittausaikasarjat sadannasta (Ilmatieteen laitos, 2024), pohjaveden pinnankorkeudesta, pintakerros- ja salaojavalunnasta sekä niiden kiintoaine- ja ravinnepitoisuuksista (kokonaisfosfori, fosfaattifosfori, kokonaistyyppi, nitraatti-nitriittityppi, ammonium-tyyppi). VESIMA-hankkeen aikana aineistosta laskettiin kuukausittainen kumulatiivinen kertymä kullekin muuttujalle (sadanta mm/kk, kiintoaine- ja ravinnekuormitus kg/ha/kk), ja tuotantosuunnan, viljelytapojen ja -toimien vaikutuksia valunnan, ravinteiden ja kiintoaineksen kuormiin analysoitiin ryhmiteltyjen aineistojen eroja mittaavan Mann-Whitneyn U-testin avulla (merkitsevyystaso $p=0,05$). Lisäksi sääolosuhteiden ja ravinne- ja kiintoainekuormien muutoksia analysoitiin Mann-Kendallin -trenditestillä (merkitsevyystaso $p=0,05$). Tilastollinen testaus toteutettiin Python-ohjelmointiympäristössä hyödyntäen mm. Scipy-kirjastoa (Deng, 2024).

Gårdskullan peltolohkojen mittauksista laskettuja tuloksia verrattiin myös Suomen ympäristökeskuksen VEMALA-mallilla (Huttunen et al., 2014; Sundholm, 2021) arvioituihin, koko Kirkkojoen valuma-alueen kattaviin tuloksiin kokonaisvalunnan, kokonaisfosforin ja kokonaistypen osalta. Peltolohkojen kuormitusarvioiden perusteella tarkasteltiin maatalouden kuormituksen merkitystä Kirkkojoen valuma-alueen tasolla suhteessa VEMALA-mallin tuloksiin.

Taulukko 2.3. Peltolohkoille lannoitteena lisätyt typen (N), fosforin (P) and kaliumin (K) määrät.

	Lohko 1			Lohko 2		
	P (kg ha ⁻¹)	N (kg ha ⁻¹)	K (kg ha ⁻¹)	P (kg ha ⁻¹)	N (kg ha ⁻¹)	K (kg ha ⁻¹)
2008	0	135	0	14	165	0
2009	11	130	9	0	150	0
2010	0	110	0	8	80	6
2011	0	135	0	0	0	0

Alueen kuukauden keskimääräisen päivälämpötilan ja kuukausisadannan vaihtelu tutkimusjakson aikana on esitetty kuvassa 2.9. Alueen vuotuinen sademäärä oli havaintojaksolla keskimäärin 711 mm, keskimääräinen vuoden keskilämpötila oli 6,4 °C ja vuotuinen valunta peltoalueilta oli 387 mm (Ilmatieteenlaitos, 2024; Deng, 2024).



Kuva 2.9. Kuukauden keskimääräisen päivälämpötilan ja kuukausisadannan vaihtelu Gårdskullan tutkimusalueella 2008–2023. Muokattu Dengin (2024) kuvan 6 mukaan.

3 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

3.1 Raaseporinjoen valuma-alueen tulokset

3.1.1 Maatalouden vesienhallinnan toimenpiteiden vaikuttavuus

Vesienhallinnan toimet, kuten kaksitasouomat ja kosteikot, voivat samanaikaisesti lieventää useita ympäristöön ja alkutuotantoon kohdistuvia haitallisia vaikutuksia (taulukko 3.1). Kirjallisuustutkimus paljasti, että boreaalisella vyöhykkeellä on toistaiseksi tehty varsin vähän tutkimuksia toimien tehokkuudesta ja niiden moninaisista vaikutuksista. Tämän vuoksi joidenkin toimien vaikuttavuutta arvioitiin nojautuen alan asiantuntijoiden ja toimijoiden näkemyksiin. Haastateltavien näkemykset olivat lähes yhteneväisiä sekä toistensa että kirjallisuustutkimuksen kanssa siinä, oliko toimenpiteiden vaikutus tarkasteltuun muuttujaan positiivinen vai negatiivinen. Eroja oli siinä, kuinka merkittäväksi he arvioivat toimenpiteiden vaikuttavuuden tiettyyn muuttujaan.

Vaikuttavuus riippuu alueen ominaispiirteistä, esimerkiksi alueen maalaji ja topografia vaikuttavat toimien tehokkuuteen. Lisäksi myös toimien toteutustavalla ja koolla on merkitystä. Toimenpiteet on mitoitettava riittävän suuriksi, jotta niillä saavutetaan merkittäviä hyötyjä. Vaihtelevat tutkimusolosuhteet ja erilaiset rakennustavat vaikeuttivat yksiselitteisten johtopäätösten tekemistä vaikuttavuudesta, mikä näkyi toimien vaikuttavuuden vaihteluna vaikuttavuustaulukossa.

Lähes kaikilla tarkastelluilla toimilla on positiivinen vaikutus ravinnekuormituksen ja eroosion hallintaan. Salaojituksen kuitenkin on todettu lisäävän nitraattityypen kuormitusta, sillä salaojavesi ohittaa suojavyöhykkeet ja -kaistat, joissa merkittävä osa dentrifikaatiosta tapahtuu. Ravinne- ja kiintoainekuormituksen hallinnassa erityisen tehokkaaksi osoittautuivat kosteikot ja suojavyöhykkeet. Suojavyöhykkeet soveltuvat erityisesti kalteville pelloille, jossa ravinne- ja eroosion huuhtoutumisen riski on suurempi. Suojavyöhykkeen leveyden on oltava riittävä, jotta tehokasta kuormituksen hallintaan voi tapahtua. Lind ym. (2019) arvioivat, että keskimääräinen vyöhykkeen leveys, joka tarvitaan sedimentin ja ravinteiden pidättämiseen ≥ 75 % tehokkuudella, on 9–11 metriä. Kosteikkojen kuormituksen hallinnan tehokkuuteen vaikuttaa paljon kosteikon pinta-alan suhde valuma-alueen yläpuoliseen pinta-alaan. Kosteikon ja yläpuolisen valuma-alueen optimaalinen suhde vaihteli tutkimuksissa 1–8 % välillä, jolloin on mahdollista saavuttaa typen tai fosforin yli 40 % poistuma (Keskinen, 2024). Vihdissä sijaitsevan Hovin kosteikon pinta-ala on 5 % yläpuolisesta valuma-alueesta, ja 10 vuoden jälkeen valmistumisesta se pidatti fosforia 58 %, typpeä 54 % ja kiintoainesta 74 % (Koskiahho & Puustinen ym., 2019). Kuitenkin vaikka kosteikon pinta-ala ylittäisi 1 % valuma-alueesta, merkittäviä kuormituksen hallinnan hyötyjä ei silti aina saavuteta. Sopivien paikkojen löytäminen riittävän suurille kosteikoille on haastavaa, mikä usein johtaa siihen, että kosteikot jäävät alle 1 % valuma-alueen pinta-alasta. Pienten kosteikkojen ravinteiden hallintaa voidaan tehostaa varmistamalla, että niihin kehittyy runsas kasvipeitteisyys. Kosteikoilla, kuten myös muilla tarkastelluilla luonnonmukaisen peruskuivatuksen menetelmillä, ravinne-

Taulukko 3.1. Yhteenveto vesienhallinnan toimenpiteiden vaikuttavuuksista. Taulukko perustuu pääasiassa kirjallisuuskatsaukseen. Kohdissa, joissa tutkimuksia ei löytynyt (N/A) tai tutkimuksia oli vähän ja niihin liittyi epävarmuuksia (?), taulukon täyttämässä hyödynnettiin asiantuntijoiden arvioita, jotka saatiin haastatteluissa.

	Ravinne- kuormituksen hallinta			Eroosion hallinta	Tulvasuojelu	Kuivuuden hallinta		Monimuo- toisuus	Hyödyt alku- tuotannolle	
Paikalliskuivatuksen menetelmät										
Salaojitus ¹⁾	–	0	**/* ++	++	+	++	*	*/?	–	++
Säätösalojitus ²⁾	++		**/*	++	+	++	*/?	+	++	– +++
Luonnonmukaiset peruskuivatuksen menetelmät										
Kaksitasouoma ³⁾	0	+	**/*/* ++	+	++	*/?	++	0	+	*/N/A ++
Pohjapadot ja -kynnykset ⁴⁾	0	+	**/*/* ++	+	++	*/?	+	?	++	?
Kosteikko ⁵⁾	+	++	**/* +++	+	++	*	++	++	+++	– N/A +
Laskeutusallas ⁶⁾	**/* +			+	++	*	++	++	+	++ – N/A +
Suojavyöhyke ⁷⁾	++	**/* +++		++	+++	*	0	+	?	0 +

+++	Merkittävä positiivinen vaikutus
++	Positiivinen vaikutus
+	Lievä positiivinen vaikutus
0	Ei vaikutusta
–	Lievä negatiivinen vaikutus
--	Negatiivinen vaikutus
---	Merkittävä negatiivinen vaikutus

* = Kohderiippuvainen
 ** = Riippuu tarkasteltavasta ravinteesta
 N/A = Ei tutkimuksia
 ? = Monia epävarmuustekijöitä/vähän tutkimustietoon perustuvaa tietoa

1) Salaojitus verrattuna perinteiseen avo-ojitukseen.
2) Säätösalojitus verrattuna perinteiseen avo-ojitukseen.
3) Kaksitasouoma verrattuna perinteisesti perattuun avouomaan, jossa ei ole tulvatasanteita.
4) Pohjapadot ja -kynnykset verrattuna padottamattomaan uomaan.
5) Kosteikko verrattuna tilanteeseen ennen kosteikkoa.
6) Laskeutusallas verrattuna tilanteeseen ennen laskeutusallasta.
7) Suojavyöhyke verrattuna tilanteeseen, jossa ei ole suojavyöhykeitä.

ja kiintoainekuormitus kasvavat alussa ja vaikutukset näkyvät vasta pitkällä aikavälillä kasvillisuuden ja pohjan asetuttua.

Kaikilla tarkastelluilla toimilla voidaan saavuttaa positiivisia vaikutuksia tulvien hallintaan. Salaojitus ja säätösalojitus lisäävät peltojen maan ylempien kerrosten vedenvarastointikapasiteettia. Kaksitasouomien ansiosta tulvavesi nousee tulvatasanteille eikä pelloille. Laskeutusallat ja kosteikot toimivat tulvaveden varastoina, kun taas pohjapadot ja

-kynnykset hillitsevät alajuoksun tulvatapahtumia hidastamalla veden virtausta uomassa. Suojavyöhykkeet hidastavat veden virtausta maalta vastaanottaviin vesistöihin lisäämällä infiltraatiota, vähentämällä virtausnopeutta ja tarjoamalla tilapäistä veden varastointia. Toimien vaikuttavuus riippuu muun muassa toimenpiteen koosta, jonka on oltava riittävä veden pidättämiseksi ja varastoimiseksi tulvien aikana. Suomessa esimerkiksi kosteikot ja laskeutusaltaat ovat mitoitukseltaan pieniä, mikä heikentää niiden kykyä hallita kuorimitusta, varastoida tulvavesiä ja toimia kasteluveden varastoina. Lisäksi kapasiteettiin vaikuttavat tulvatapahtumaa edeltävä vedenkorkeus ja valunnan määrä. Tutkimuksia erityisesti luonnonmukaisten peruskuivatusmenetelmien kyvystä hillitä tulvia on tehty vähän. Haastatteluissa asiantuntijat arvioivat, että oikein mitoitettut kaksitasouomat ja kosteikot voivat tarjota merkittäviä hyötyjä tulvasuojelussa. Sen sijaan he eivät nähneet suojavyöhykkeillä ja salaojituksella olevan juurikaan vaikutusta tulvien hallintaan.

Toimenpiteet vaikuttavat positiivisesti joko hydrologisen tai maataloudellisen kuivuuden hallintaan. Salaojituksella voi kuitenkin olla negatiivinen vaikutus kuivuuden hallintaan, sillä erityisesti kuivina ja helteisinä jaksoina se voi lisätä kuivuusstressiä tehokkaan veden poisjohtamisen vuoksi. Kuivuuden negatiivisista vaikutuksista kärsivillä alueilla, kuten happamilla sulfaattimailla, säätösalaojituksen ja siihen asennettavan salaojakastelu-järjestelmän avulla voidaan parantaa veden esiintymistä maaperässä. Ilmastonmuutoksen ennustetaan lisäävän kuivuusjaksoja Suomessa, minkä vuoksi erityisesti kastelun ja veden varastoinnin tarve korostuu maatalousalueilla tulevaisuudessa (Ahopelto ym., 2023). Tämän vuoksi hyvinä toimina kuivuuden hallintaan nousivat laskeutusaltaat ja kosteikot, joita voidaan käyttää kasteluveden varastoina. Haastatteluissa ilmaistiin, että Suomessa rakennetut laskeutusaltaat ovat usein mitoitukseltaan liian pieniä kasteluveden varastoiksi. Salo ym. (2021) laskivat, että 10 hehtaarin kasteltavalle alueelle, jossa varaudutaan 60 mm kastelumäärään, tarvitaan noin 3000 m² kokoinen ja kaksi metriä syvä allas, jotta kasteluvettä olisi riittävästi.

Kaksitasouomat, pohjapadot- ja kynnykset, kosteikot, laskeutusaltaat ja suojavyöhykkeet parantavat luonnon monimuotoisuutta. Sen sijaan salaojitus ja säätösalaojitus voivat vähentää luonnon monimuotoisuutta, kun avouomien tarjoamat elinympäristöt poistetaan. Kirjallisuusselvityksen mukaan monimuotoisuutta edistävät erityisesti suojavyöhykkeet ja kosteikot, ja samoihin arvioihin päädyttiin myös alan toimijoiden haastatteluissa. Tutkimukset vesienhallinnan toimien vaikutuksista monimuotoisuuteen kohdistuvat usein vain yhteen tai muutamaaan taksonomiseen ryhmään, ja laajempi kokonaiskuva toimien vaikutuksista monimuotoisuuteen on vielä varsin suppea. Vaikka toimenpiteitä tarkasteltiin tässä osahankkeessa yksinään, tuli monissa artikkeleissa esiin kokonaisvaltaisempi toimien yhteensovittaminen, jolla usein päästään tehokkaampiin lopputuloksiin. Esimerkiksi luonnon monimuotoisuuden lisäämiseksi eri toimien yhdistämisellä, kuten kosteikkojen ja suojavyöhykkeiden yhteensovittamisella, voidaan lisätä alueen heterogeenisyyttä, ekologisia käytäviä ja eri lajien määrää.

Toimien avulla voidaan saavuttaa hyötyjä alkutuotannolle, mutta tutkimuksia erityisesti luonnonmukaisista peruskuivatuksen menetelmien vaikutuksista alkutuotantoon ei juuri löytynyt. Tämän vuoksi alkutuotannolle saatujen hyötyjen arviointi perustui pääosin asiantuntijoiden näkemyksiin. Luonnonmukaisista peruskuivatusmenetelmistä tulvatasanteet, kosteikot, laskeutusaltaat ja suojavyöhykkeet voivat pienentää tuottavaa peltopinta-alaa. Toimet voivat kuitenkin tuoda hyötyjä esimerkiksi alueen parantuneen

vesitalouden myötä. Lisäksi luonnonmukaisemmat uomat suojavyöhykkeiden, pohjapatojen ja kaksitasouomien ansiosta vähentävät aineksen huuhtoutumista, mikä vähentää uomien liettymistä ja siten niiden kunnossapitotarvetta. Erinomaisesti toimivan pelto-ojituksen on todettu tuottavan 7–16 % korkeampia satoja ja kestävän paremmin kesäkuun märkyypuden ilman satotappioita verrattuna huonosti toimiviksi arvioituihin ojituksiin (Ovaska ym., 2021).

Salaojituksen ja säätösalaajituksen vaikutuksista alkutuotantoon löytyi tutkimuksia. Salaojitus ja säätösalaajitus lisäävät peltopinta-alaa avouomien poistamisen myötä. Erityisesti säätösalaajitus parantaa maan kosteutta ja vähentää ravinteiden huuhtoutumista, luoden optimaaliset olosuhteet kasvien kasvuille. Säätösalaajitus voi nostaa satotasoa jopa 18 % verrattuna perinteiseen salaojitukseen, mutta kaikki tutkimukset eivät ole osoittaneet selviä satotason hyötyjä.

3.1.2 Monitavoitteista vesienhallintaa tukevat suunnitteluoppaat ja työkalut sekä niiden tietoaукот ja haasteet

Kootut oppaat ja suunnittelun työkalut löytyvät liitteestä 4. Suunnittelussa voidaan hyödyntää erilaisia työkaluja, kuten paikkatietoaineistoja ja malleja, joiden avulla saadaan kokonaiskuva alueesta. Paikkatiedolla voidaan muun muassa määrittää alueella olevien peltojen pinta-ala ja maalaji, kuormittavimmat alueet, maanpinnan korkeudet ja kaltevuudet, arvokkaat elinympäristöt, arvioida vesiensuojelurakenteiden tarve sekä suunnitella niiden sijainti ja mitoitus. Kootut karttaselaimet tarjoavat visuaalisen esitystavan monenlaiselle ympäristöaineistolle ja mahdollistavat valuma-alueen nopean tarkastelun, koska ne on usein suunniteltu niin, että niiden käyttö ei edellytä erityistä asiantuntemusta. Karttaselaimia on muun muassa luotu eroosioherkkien alueiden, happamien sulfaattimaiden ja suojavyöhykesitoumukseen soveltuvien peltolohkojen tarkasteluun.

Paikkatietoon liittyy kuitenkin haasteita. Yhtenä haasteena on se, ettei arviointi- ja suunnittelutyökalut aina vastaa eri suunnittelutasojen mittakaavoja (Rytkönen ym., 2024). Avoimet aineistot voivat olla liian karkeita tarkan toimenpidesuunnitelman laatimiseksi. Tämän vuoksi olisi tärkeää integroida avoimesti saatavilla oleva tieto paikallistietoon yhteistyössä maanomistajien ja muiden sidosryhmien kanssa. Lisäksi tarvitaan maastokäyntejä ja mahdollisesti systemaattisempaa maastotutkimusta.

Alan asiantuntijoiden haastatteluissa korostui erityisesti tarve kehittää ja lisätä valuma-alueen suunnittelun ohjeistuksia, sillä tähän liittyy yhä merkittäviä haasteita. Yksi keskeinen ongelma on toimialueen laajuus. Esimerkiksi toimenpiteet alavirralla voivat jäädä tehottomiksi, jos ylävirran kuormitusta ei hallita samanaikaisesti. Suunnittelussa on huomioitava eri sektorit, kuten metsätalous, maatalous ja taajamat. Tämä vaatii yhteistyötä kaikkien maanomistajien kesken. Osapuolten näkökulmien huomioiminen ja kompromissien löytäminen vaativat edelleen työtä. Rahoituksen hankkiminen valuma-alueen suunnittelulle voi olla haastavaa, sillä se vaatii useiden eri rahoituslähteiden hyödyntämistä eri sektoreille. Myös tukien epäselvyys ja niissä usein tapahtuvat muutokset vaikeuttavat toimintaa ja vähentävät motivaatiota erityisesti maanomistajien keskuudessa.

Valuma-alue suunnittelun haasteiden ratkaisemiseksi tarvitaan selkeää koordinaatiota ja resurssien allokointia, jotta valuma-alueen suunnittelu ja toteutus voidaan tehdä

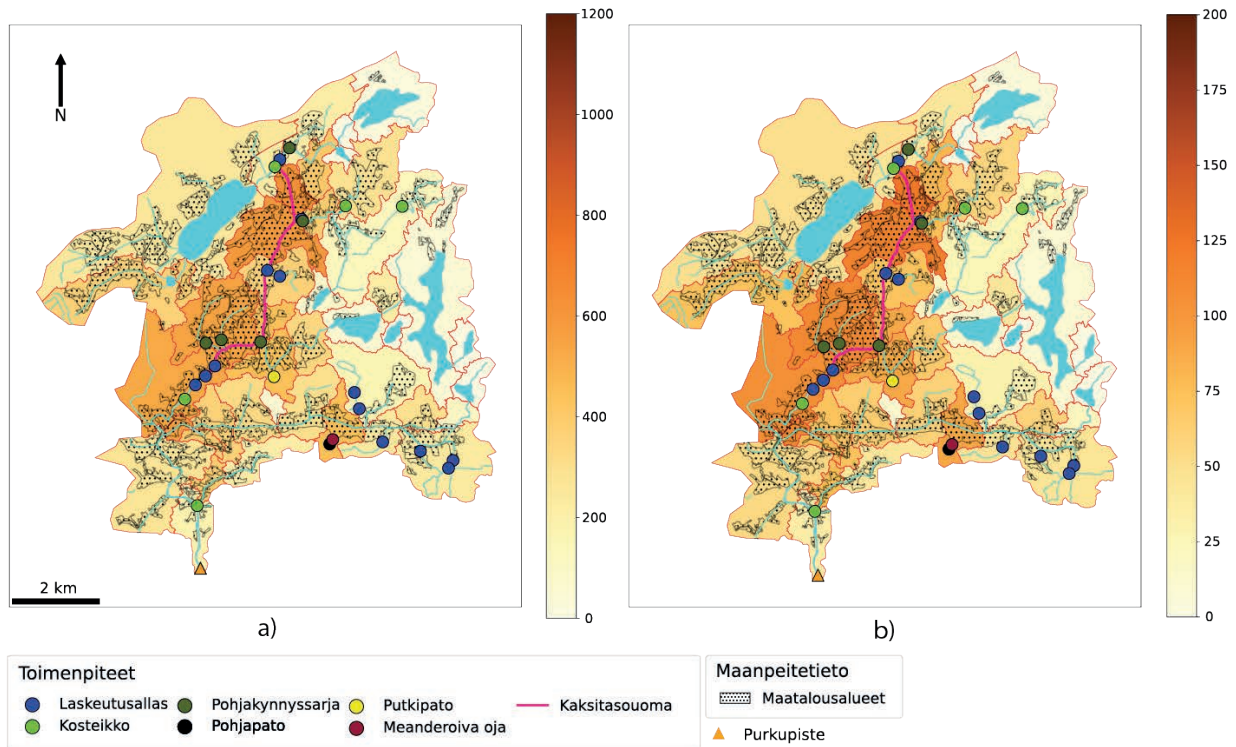
johdonmukaisesti ja tehokkaasti. Sektorien ja toimijoiden välistä vuoropuhelua tulisi edistää. Suunnittelijoiden osaamisen vahvistaminen ja riittävän koulutuksen tarjoaminen valuma-alueen suunnittelusta on keskeistä, jotta suunnittelutyö perustuu ajantasaiseen ja kattavaan tietoon. Lainsäädäntöä tulisi uudistaa siten, että se paremmin tukisi valuma-alueen suunnittelua. Kannustimien, tukiehtojen ja rahoitusmallien lisääminen ja selkeyttäminen parantavat eri toimijoiden motivaatiota osallistua suunnitteluprosessiin. Lisäksi tarvitaan avoimia ja helposti saatavilla olevia suunnittelutyökaluja ja paikkatietoaineistoja, jotka palvelevat erilaisia käyttäjäryhmiä. Tämä mahdollistaisi paremman tiedon jakamisen ja tukisi päätöksentekoa.

Valuma-alueen haasteita on käsitelty myös hiljattain julkaistuissa raporteissa (esim. Linnamaa ym., 2023; Rytönen ym., 2024), joissa on tunnistettu samoja ongelmia. Marttunen ym. (2024) käsitelivät valuma-alueen suunnittelun periaatteita, esittelivät tutkimus-, kehitys- ja pilottihankkeita sekä arvioivat paikkatietotuotteiden ja -menetelmien hyödyllisyyttä. Lisäksi heidän raporttinsa sisältää ohjeita ja oppaita vesienhallinnasta ja valuma-alue-suunnittelusta, jotka täydentävät tähän raporttiin koottuja ohjeita ja työkaluja. Rytönen ym. (2024) laativat valuma-alue-suunnittelun tiekartan, joka kuvaa nykytilaa, tulevaisuuden suuntaviivoja sekä tavoitteita pitkäjänteisen valuma-alue-suunnittelun edistämiseksi. Vesi.fi:n sivuilla on julkaistu ”asiantuntijan työpöytä” – sivusto, jossa on koottua tietoa valuma-alue-suunnittelun suosituimmista työkaluista, ohjeista ja oppaista sekä laeista ja asetuksista.

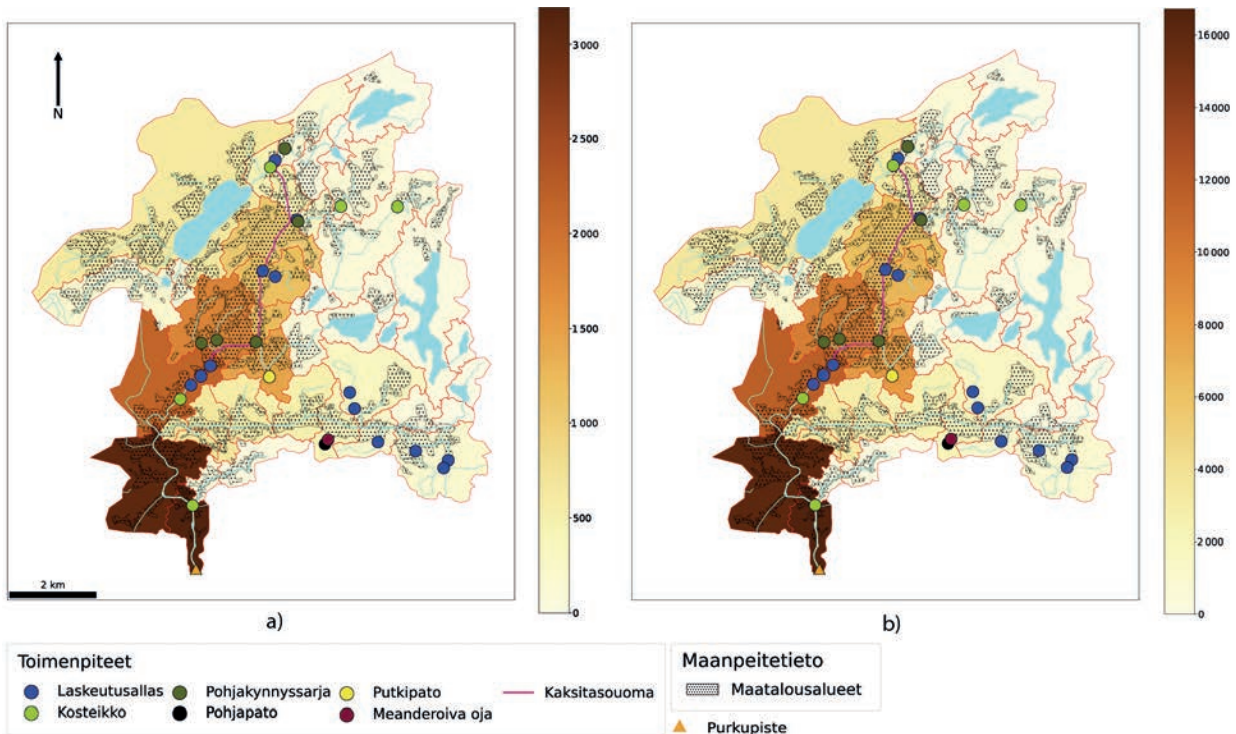
3.1.3 Tapaustutkimus Raaseporinjoella

WSFS-Vemala kuormitustietoaineiston (SYKE, 2023) ja vedenlaatu seurannan tulosten perusteella toimia tarvitaan laajalti Raaseporinjoen valuma-alueella. WSFS-Vemalan kuormitustietoaineiston tulokset osoittivat ravinnekuormituksen olevan merkittävin erityisesti Raaseporinjoen pääuoman varren osavalmu-alueilla, jonka varrelle toimia on toteutettu kattavasti (kuva 3.1). Myös vedenlaatu seurannan tulokset vahvistavat kuormituksen olevan merkittävää koko pääuoman varrella. Raaseporinjokeen tuleva kokonaistypen ja -fosforin kuormitus maataloudesta kasvaa jokea alaspäin mentäessä (kuva 3.2). Itäisellä valuma-alueella maataloudesta syntyvä kuormitus on vähäisempää, minkä vuoksi esimerkiksi Idäbäckenin alueelle metsätalouden vesiensuojelutoimenpiteinä rakennetut laskeutusaltaat eivät välttämättä merkittävästi vähennä maanviljelystä syntyvää ravinnekuormaa vesistöihin.

Ravinnekuormittavimmille alueille Raaseporinjoen pääuomaan ja sen läheisiin sivu-uomiin on rakennettu useita vesienhallinnan rakenteita, kuten 5 km pitkä kaksitasouoma, pohjakynnyssarjoja, kosteikoita ja laskeutusaltaita. Valuma-alueelle rakennettujen vesienhallintaratkaisujen vaikuttavuuden voidaan kirjallisuuskatsauksen pohjalta katsoa olevan valuma-alueen vesistöjen ja Itämeren kannalta suotuisia. Erityisesti kaksitasouoma osoittautui tehokkaaksi menetelmäksi ravinnekuormituksen hallintaan, sillä se on suunniteltu alueelle tarpeeksi mittavaksi, jotta selkeitä ravinnekuormituksen hallinnan vaikutuksia voi tapahtua. Uomaan rakennettu kaksitasouoma on 37 % koko uoman pituudesta, joka ylittää Västilän ym. (2021) mainitseman 10–20 % rajan, jonka jälkeen kaksitasouoman todettiin antavan selkeitä hyötyjä Sipoon Ritobäckeniin rakennetussa kaksitasouomassa. Tulvatasanteiden on mahdollista pidättää ravinteita 1–50 %.



Kuva 3.1. Maataloudesta syntyvä kokonaistypen (a) ja -fosforin (b) kuormitus Raaseporinjoen valuma-alueella WSFS-Vemala kuormitustietoaineiston perusteella. Kuormitus on suhteutettuna osavaluma-alueiden pinta-alaan ($\text{kg}/\text{km}^2/\text{v}$).



Kuva 3.2. Vesimuodostumaan peltoviljelystä tuleva kokonaisfosforin (a) ja kokonaistypen (b) kuormitus (kg/v). Kuva esittää sitä, kuinka paljon ravinteita päätyy vesimuodostumiin kunkin osavaluma-alueen kautta. Osavaluma-alueen vesimuodostuma vastaanottaa kuormituksen yläpuolisilta osavaluma-alueilta.

Myös alueelle rakennetut pohjakynnsyrakenteet auttavat vakauttamaan uomaa ja vähentämään kuormitusta.

Kosteikot olivat kirjallisuuden mukaan tehokkaita toimia vähentämään ravinnekuormaa, jos kosteikon pinta-ala on vähintään 1 % yläpuolisesta valuma-alueesta. Useita kosteikkoja on rakennettu Raaseporinjoen pääuoman läheisyyteen. Valuma-alueelle rakennettu suurin Huskvarnträsketin kosteikko jää kuitenkin alle 1 % yläpuolisesta valuma-alueesta. Huskvarnträsketin alueen haasteena on sen laaja valuma-alue. Kosteikon eteen rakennetut peräkkäiset laskeutusaltaat kuitenkin parantavat kuormituksen hallintaa, erityisesti kiintoaineen pidättymistä.

Raaseporinjoen valuma-alueella tehtyjen toimien vaikutus näkyy alueen vesistöissä pitkällä aikavälillä. Kaksitasouoman rakentamisvaiheen aikana huhtikuussa ja elokuussa 2023 otetuissa vesinäytteissä ravinnepitoisuudet, kiintoainepitoisuus ja sameus kasvoivat verrattuna rakennusvaihetta edeltäneisiin pitoisuuksiin. Huhtikuussa 2024 kuormitus-tasot olivat laskeneet vuotta 2023 edeltäneelle tasolle, joka vallitsi ennen kaksitasouoman rakentamista. Lisäksi kokonaisfosforin pitoisuudessa on havaittavissa laskua verrattuna huhtikuun 2023 mittauksiin. Raaseporinjoella tehdään jatkuvatoimista valunta- ja vedenlaatureurantaa, jonka avulla saadaan selville kuinka paljon toimet, erityisesti tulvatasanteet, pidättävät kuormitusta. Muita positiivisia vaikutuksia on kuitenkin jo nyt havaittu, sillä maanomistajien mukaan esimerkiksi tulvatasanteiden myötä pellot eivät ole tulvineet yhtä herkästi, ja luonnonmukaiset toimet, kuten kosteikot, ovat tuoneet maisemallisia hyötyjä. Lisäksi myös uusia kala- ja lintulajihavaintoja on saatu luonnonmukaisempien rakenteiden myötä.

3.2 Sievin säätösalaojakentän tulokset

3.2.1 Sääolosuhteet Sievissä

Sievin säätökoekentällä ja Korvenojan padotuskokeen alueella ei ollut omaa säähavaintoasemaa, mutta Ilmatieteen laitoksen havaintojen mukaan lähialueiden (Ylivieskan lentokenttä ja Vähäkangas sekä Toholammin Oravala) talvilämpötilat 2023 vaihtelivat keskimäärin -1°C ja -12°C välillä ja sateet (319 mm) tulivat pääosin lumena sekä alku- että loppuvuodesta (liite 2, kuva 2.A). Kevät 2023 eteni nopeasti (32 pv), ja oli melko lämmin ja sateinen (keskimäärin $2,4^{\circ}\text{C}$, 60–70 mm). Koko kasvukausi 2023 pysyi lämpimänä ja sateisena (keskimäärin $7\text{--}20^{\circ}\text{C}$, 380–390 mm). Syksyllä 2023 (16 pv) sää viileni hyvin nopeasti alle 0°C :een ja syyssateet jäivät vähäisiksi (76–85 mm). Alkuvuosi 2024 oli edellisvuotta kylmempi ja lunta tuli paikoin runsaasti (keskimäärin -4°C välillä -13°C välillä, 120–160 mm). Kevät 2024 eteni nopeasti (34 p) ja oli edellisvuotta kuivempi (keskimäärin 2°C , 30–40 mm).

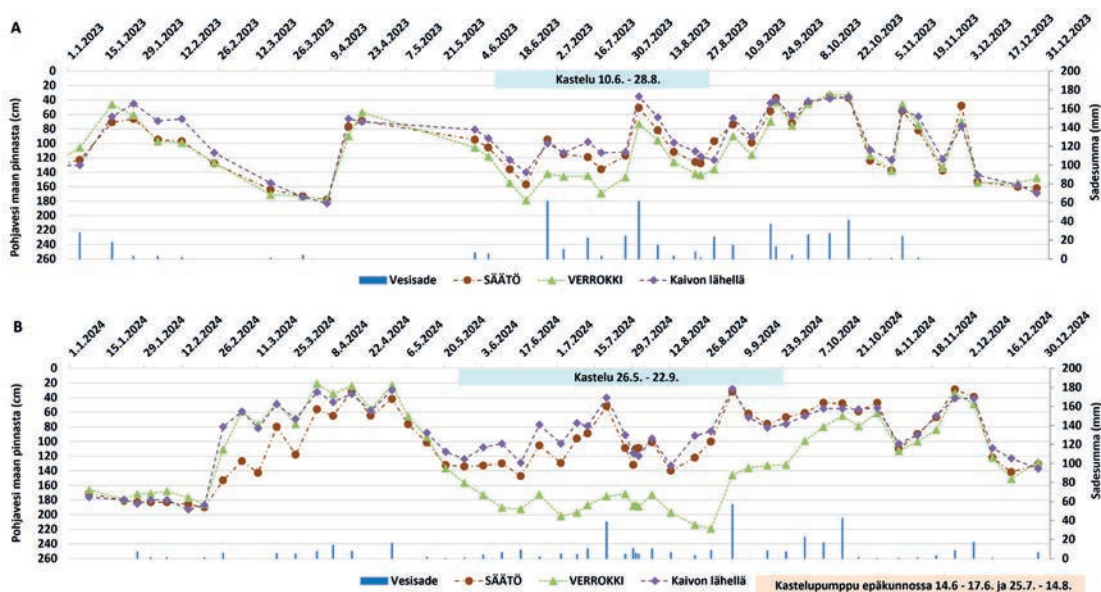
Termisen kasvukauden pituus oli 150 päivää 2023 ja 166 päivää 2024 (taulukko 3.2). Vuoden 2023 kasvukauden tehoisa lämpösumma ja sadanta vastasivat hyvin kahden edellisen vuoden havaintoja alueelta (Äijö ym., 2023; Ilmatieteen laitos, 2024). Ilmatieteen laitoksen pitkäaikaismittausten (1981–2010) perusteella vuosi 2023 (3°C) oli hieman tavanomaista ($1\text{--}2^{\circ}\text{C}$) lämpimämpi, ja koko vuoden 2023 sadanta (taulukko 3.2) tavanomaista selvästi suurempi (550–600 mm) (Ilmatieteen laitos, 2024).

Taulukko 3.2. Termisen kasvukauden alku- ja loppupäivät, tehoisa lämpösumma sekä sadanta 2023–2024. Lähteinä on käytetty Ilmatieteen laitoksen Toholammin ja Ylivieskan a havaintoasemien mittaustietoja (Ilmatieteen laitos, 2025).

Vuosi	Termisen kasvukauden alku	Termisen kasvukauden loppu	Kasvukauden tehoisa lämpösumma, °Cvrk	Touko-elokuun sadantaa b, mm	Koko vuoden sadantaa b, mm
2023	7.5.	4.10.	1291	279–303	709–766
2024	11.5.	23.10.	1395	274–290	646–667

3.2.2 Pohjavedenpinnan keskimääräiset syvyydet koekentällä

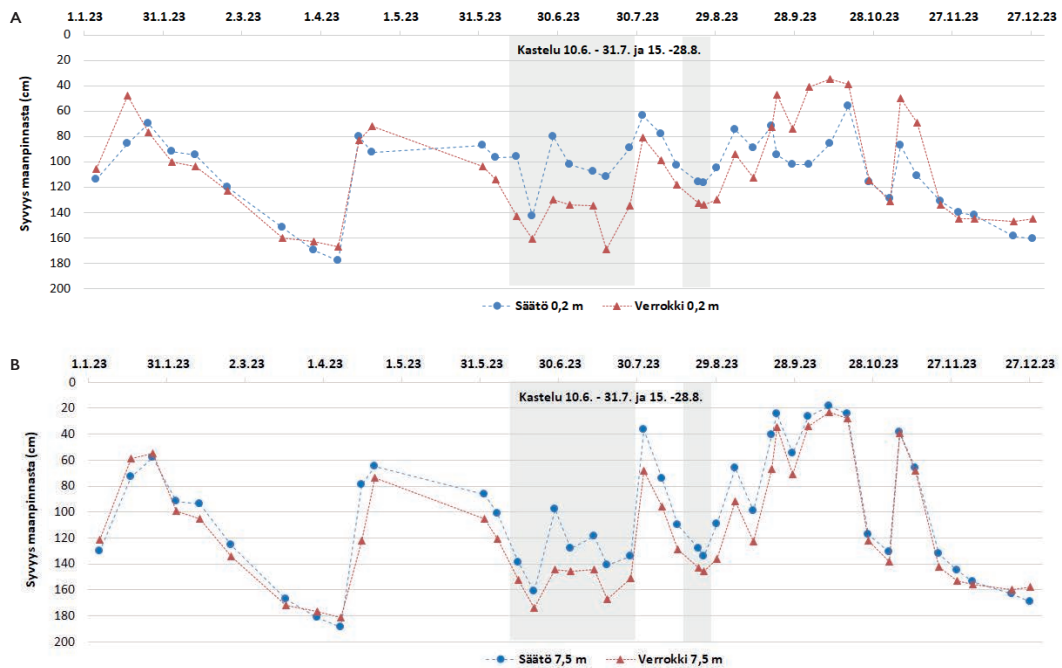
Talven ja kevään 2023 aikana pohjavedenpinta oli säätösalaojitetulla alueella ja tavanomaisesti ojitetulla verrokkialueella samalla tasolla, joskin alkuvuodesta 2023 pohjavesi oli kummallakin alueella hieman syvemmällä kuin säätökaivon läheisyydessä (kuva 3.3A). Kasvukauden aikana pohjavedenpinta nousi padotuksen ja kastelun seurauksena säätöalueella korkeammalle (keskimäärin 21 cm) kuin verrokkialueella. Kevät-talvella 2024 säätöalueen pohjavedenpinnan taso jäi puolestaan huomattavasti matalammalle (keskimäärin 23,5 cm) kuin verrokkialueella, jossa pohjavedenpinta pysyi samalla tasolla kuin kaivon läheisyydessä (kuva 3.3B). Ero tasoittui huhtikuun puoliväliin mennessä, ja kesällä pohjavedenpinta säätöalueella nousi jälleen padotuksen ja kastelun seurauksena korkeammalle (keskimäärin 77 cm) kuin verrokkialueella, jossa pohjavesi oli huomattavan matalalla kuivan alkukesän takia.



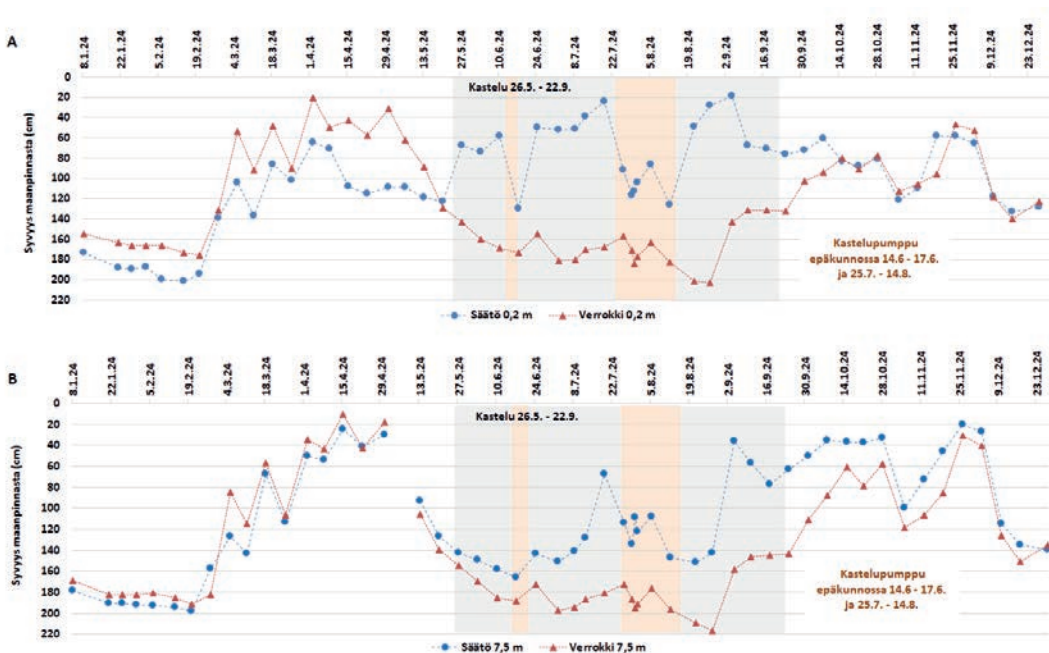
Kuva 3.3. Pohjaveden pinnan syvyydet (mediaanien keskiarvot) säätösalaojitetulla ja tavanomaisesti ojitetulla alueella sekä koekentän 7 vrk:n sadesummat A) 1.1.–31.12.2023 ja B) 1.1.–27.12.2024. Säätösalaojitetulle alueelle pumpattiin kasveluvettä 10.6.–28.8.2023 sekä 26.5.–22.9.2024.

3.2.3 Pohjavedenpinnan syvyydet eri etäisyyksillä salaojasta

Padotuksen ja salaojakastelun vaikutus näkyi jopa 7,5 m päässä salaojasta molempina vuosina (kuva 3.4 ja kuva 3.5), mutta selvin ero oli nähtävissä lähellä salaojaa (0,2 m etäisyydellä), jossa säätösalojitetun koelan pohjavedenpinta oli kastelun aikana keskimäärin 30 cm (2023) ja 103 cm (2024) verrokkialaa korkeammalla.



Kuva 3.4. Pohjavedenpinnan syvyydet (mediaani) A) 0,2 metrin sekä B) 7,5 metrin etäisyydellä salaojista säätösalojitetulla ja tavanomaisesti ojitetulla alueella 1.1.–31.12.2023.



Kuva 3.5. Pohjavedenpinnan syvyydet (mediaani) A) 0,2 metrin sekä B) 7,5 metrin etäisyydellä salaojista säätösalojitetulla ja tavanomaisesti ojitetulla alueella 1.1.–31.12.2024.

Pellon karkeahkosta maalajista ja syivistä, hyvin vettä läpäisevistä kerroksista johtuen pohjavedenpinta laski nopeasti lumen sulamisen ja sadannan jälkeen, mikä on huomattu myös muissa vastaavissa tutkimuksissa (mm. Äijö ym., 2023; Yli-Halla ym., 2020; Bärlund ym., 2004; Paasonen-Kivekäs ym., 2000).

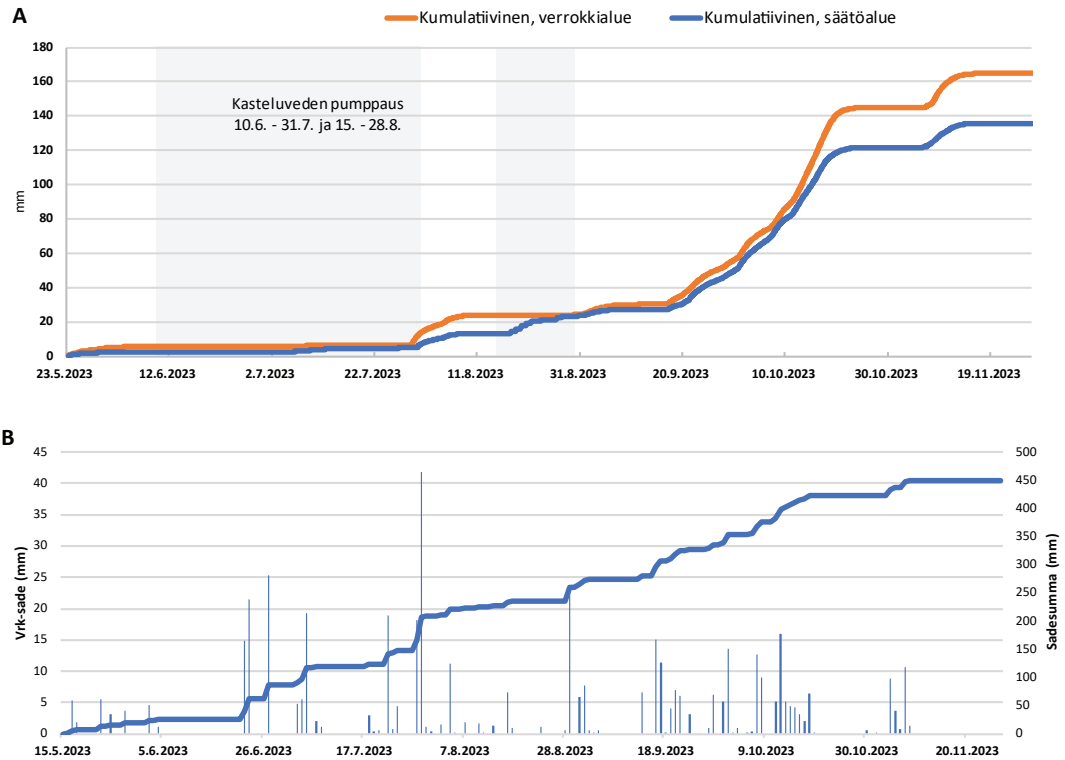
3.2.4 Salaojavalunta ja kuormitus

Sievin säätösalaajakokeen alueella satoi vettä vuoden 2023 aikana noin 540 mm ja vuoden 2024 aikana noin 400 mm. Kumulatiivinen salaojavalunta oli vuoden 2023 loppuun mennessä noin 140 mm säätösalaajitetulta alueelta ja noin 160 mm tavanomaisesti ojitetulta alueelta (kuva 3.6). Vuoden 2024 aikana ero valuntamäärissä kasvoi, kun säätösalaajitetulta alueelta tuli lokakuun loppuun mennessä noin 330 mm valuntaa, ja verrokkialueen valunta oli noin 220 mm (kuva 3.7). Vuoden 2024 runsaampi kastelu aiheutti noin 185 mm vastaavan määrän valuntaa. Säätösalaajitetulle alueelle pumpattiin kasteluvettä 15.8.–21.8.2023 ja 26.5.–22.9.2024 välisinä aikoina. Vuonna 2023 säätösalaajitetulle alueelle pumpattiin kasteluvettä noin 22 mm ja vuonna 2024 noin 240 mm vastaava määrä.

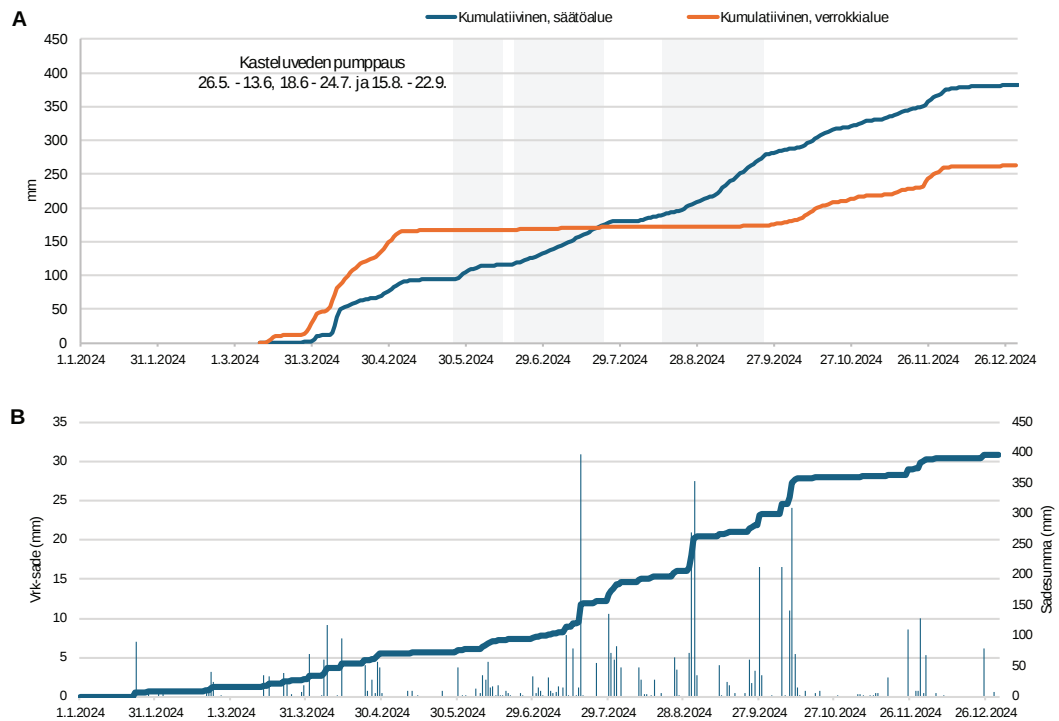
Kiintoaines- ja ravinnepitoisuudet olivat vuoden 2023 aikana molemmilla alueilla samansuuruisia, lukuun ottamatta typen pitoisuuksia, jotka olivat jatkuvasti suuremmat verrokki- kuin säätöalueella. Yleisesti ottaen kiintoaineksen ja ravinteiden vuosikuormat 2022–23 molempien koealueiden salaojavalunnassa ovat olleet joko samansuuruisia tai pienempiä kuin vuosikuormat 2020–21, mikä todennäköisesti johtuu pellon viljelykierron vaiheesta, kun vuonna 2020 pellolle kylvettiin monivuotinen nurmi. Säätösalaajitetun alueen kumulatiiviset kiintoaines- ja kokonaistyyppikuormat olivat vuonna 2023 pienemmät verrattuna verrokkialueeseen. Vuonna 2024 kiintoaine- ja ravinnekuormitus olivat säätö- ja verrokkialueelta noin samansuuruiset, kun säätöalueen kuormitus kasvoi kastelun vaikutuksesta verrokkialueen tasolle.

Kiintoainespitoisuudet vaihtelivat pääosin 10 ja 44 mg l⁻¹ (n=9–11) välillä, mikä vastasi hyvin samanaikaisesti jokivedestä mitattuja pitoisuuksia (22–40 mg l⁻¹, n=3), joskin verrokkialueen salaojavalunnassa mitattiin kerran jopa 120 mg l⁻¹ pitoisuus. Säätösalaajitetun alueen kumulatiiviset kiintoainekuormat olivat vuonna 2023 pienemmät verrokkialueeseen verrattuna (kuva 3.8A), mutta vuonna 2024 suuremmat (kuva 3.9A) runsaamman kastelun takia.

Liukoisen kokonaistypen (KOK-N) pitoisuudet säätösalaajitetun/salaojakastellun alueen salaojavalunnassa (1,0–2,3 mg KOK-N l⁻¹, n=11) olivat vuonna 2023 noin puolet verrokkialueen pitoisuuksista (2,4–4,1 mg KOK-N l⁻¹). Säätösalaajitetulla alueella nitriitti- ja nitraattitypen (NO₂+NO₃-N) osuudet kokonaistypestä (3–48%; 0,05–1 mg NO₂+NO₃-N l⁻¹) olivat huomattavasti pienempiä verrokkialueeseen verrattuna (32–75%; 1–3 mg NO₂+NO₃-N l⁻¹). Ammoniumtypen (NH₄-N) pitoisuudet erosivat puolestaan päinvastoin vertailtavien alueiden välillä, mutta niiden osuudet kokonaistypestä oli häviävän pieniä (säätösalaajitetulla alueella ≤0,01 %; 6–160 µg NH₄-N l⁻¹, verrokkialueella ≤0,001 %; 4–36 µg NH₄-N l⁻¹). Vuonna 2024 koealueiden väliset erot olivat vähäisiä, lukuun ottamatta syksyä, jolloin verrokkialueen salaojavalunnan tyyppipitoisuudet lähtivät nousuun, mutta säätöalueen eivät. Säätöalueen salaojavalunnan tyyppipitoisuudet olivat koko tarkastelujakson ajan samansuuruiset kuin samaan aikaan havainnoidut jokiveden pitoisuudet, mutta verrokkialueen vastaavat pitoisuudet olivat jopa moninkertaiset jokiveteen verrattuna.



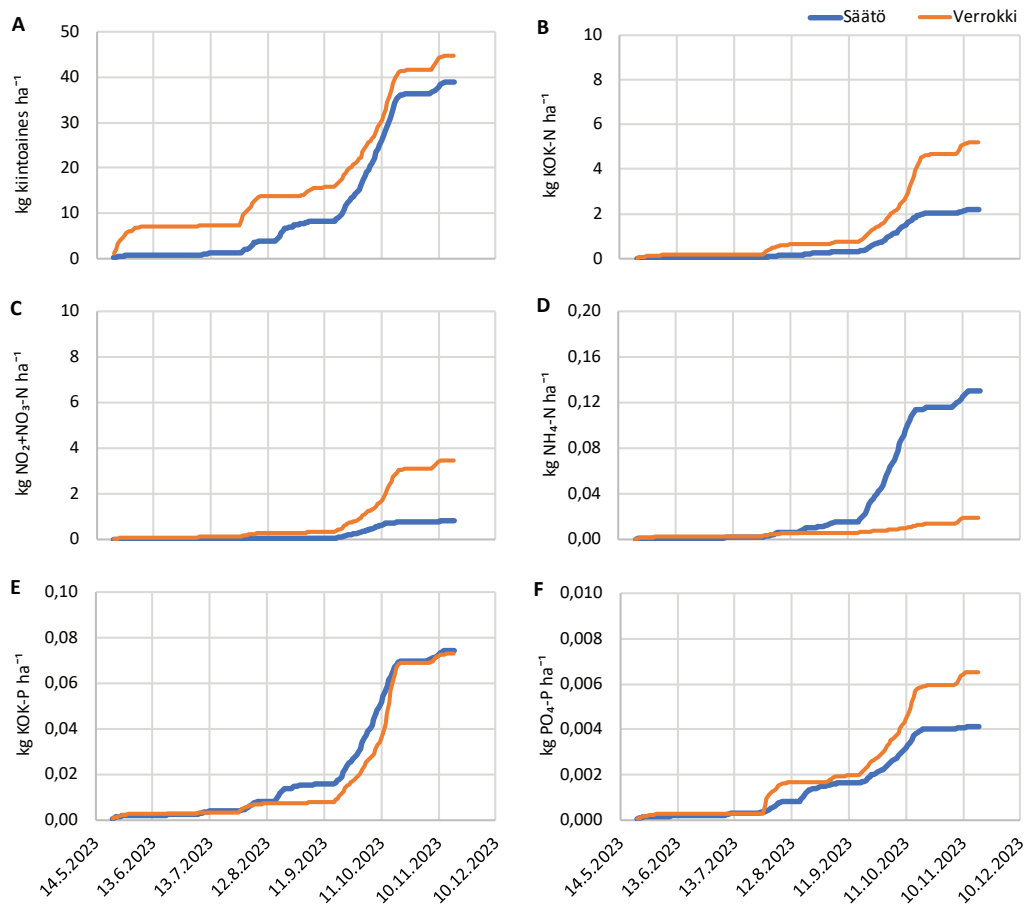
Kuva 3.6. A) Kumulatiivinen salaojavalunta (mm) 2023 Sievin säätösalojitetulta (salaojakastelu) ja tavanomaisesti salaojitetulta (verrokki) alueelta, sekä sijainnin B) vuorokautinen vesisade ja kumulatiivinen sadesumma (mm) samalta ajanjaksolta.



Kuva 3.7. A) Kumulatiivinen salaojavalunta (mm) 2024 Sievin säätösalojitetulta (salaojakastelu) ja tavanomaisesti salaojitetulta (verrokki) alueelta, sekä sijainnin B) vuorokautinen vesisade ja kumulatiivinen sadesumma (mm) samalta ajanjaksolta.

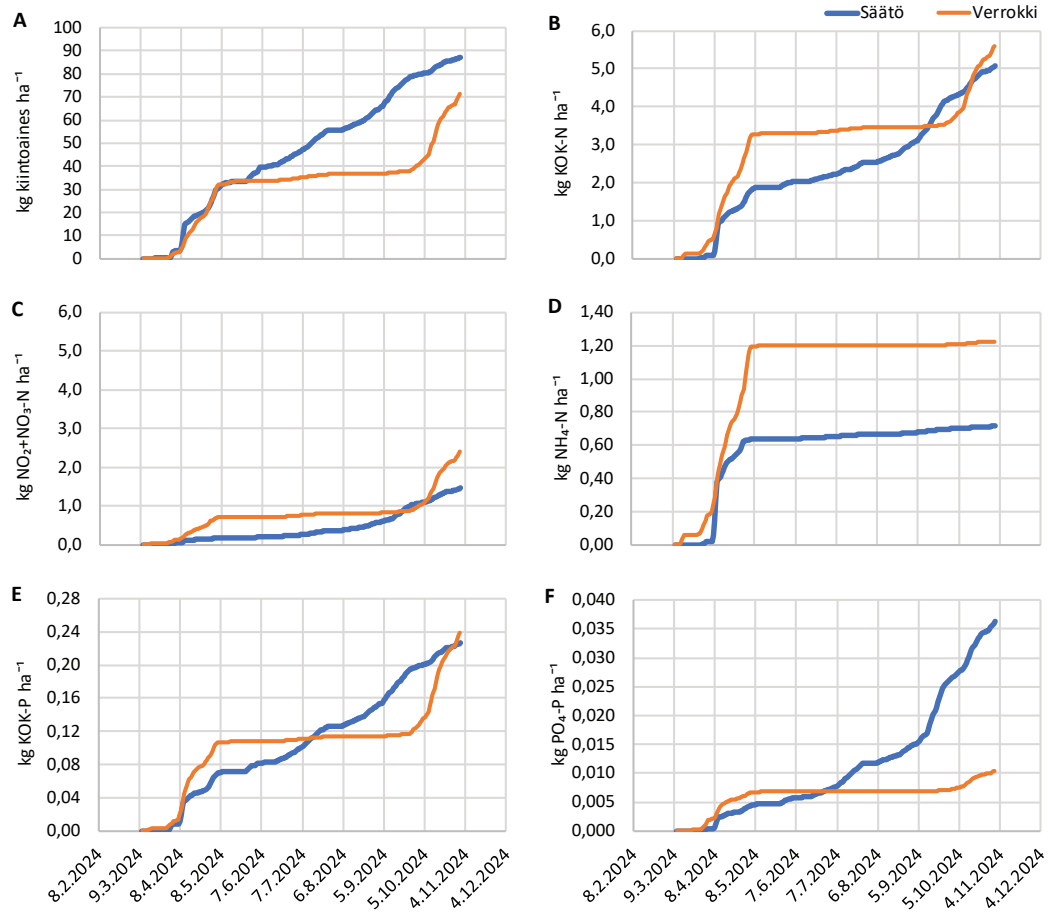
Samansuuntaiset erot koealueiden välillä näkyivät myös kumulatiivisissa typpikuormissa (kuva 3.9B–D). Laskennalliset liukoisen orgaanisen typen (Org-N) pitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa (800–1450 mg Org-N l⁻¹) kummankin koealueen salaojavalunnassa, mutta säätösalojitetulla alueella Org-N osuus kokonaistypestä (52–97 %) oli selvästi suurempi kuin verrokkialueella (25–68 %). Koealueiden salaojavalunnan typpipitoisuudet olivat jopa moninkertaiset vertailukohtana mitattuun jokiveteen, jossa orgaanisen typen osuus oli huomattava, verrattuna (490–1000 KOK-N l⁻¹; 81–99 % Org-N). Koealueiden liukoisen typen vuosikuormat 2023 pysyivät kuitenkin yhtä pieninä kuin edellisvuoden kuormat (Äijö ym., 2023), ollen vähäisemmät säätösalojitetulta kuin tavanomaisesti salaojitetulta alueelta (2 ja 5 kg KOK-N ha⁻¹ vuonna 2023 ja 5 ja 5,5 kg KOK-N ha⁻¹ vuonna 2024).

Liukoisen kokonaisfosforin (KOK-P) pitoisuudet salaojavalunnassa olivat pääasiassa pieniä (11–110 µg KOK-P l⁻¹; n=59) koko tarkastelujakson ajan molemmilla koealueilla, lukuun ottamatta kahta suurempaa havaintoa (150 ja 280 µg KOK-P l⁻¹) verrokkialueella syksyllä 2024. Epäorgaanisen fosfaattifosforin (PO₄-P) osuus vaihteli 4 % ja 39 % välillä (2,3–8,8 µg PO₄-P l⁻¹; n=59) molemmilla koealueilla. Pitoisuudet salaojavalunnoissa vastasivat hyvin samanaikaisesti jokivedestä mitattuja pitoisuuksia (46–70 µg KOK-P l⁻¹;



Kuva 3.8. A) Kiintoaineksen sekä liukoisen B) orgaanisen ja epäorgaanisen kokonaistypen (KOK-N), C) epäorgaanisen nitriitti- ja nitraattitypen (NO₂+NO₃-N), D) epäorgaanisen ammonium-typen (NH₄-N), E) orgaanisen ja epäorgaanisen kokonaisfosforin (KOK-P), ja F) epäorgaanisen fosfaattifosforin (PO₄-P) kumulatiiviset kuormat salaojavalunnassa Sievin säätökoekentän säätösalojitetulta-salaojakastellulta (säätö) sekä tavanomaisesti salaojitetulta (verrokki) alueelta 23.5.–18.11.2023.

3,8–8,1 $\mu\text{g PO}_4\text{-P l}^{-1}$; $n=8$). Myös kumulatiiviset vuosikuormat jäivät pieniksi (0,07–0,24 kg KOK-P ha^{-1} ; $\leq 0,01 \text{ kg PO}_4\text{-P ha}^{-1}$ vuonna 2023 ja verrokkialueella vuonna 2024, 0,035 $\text{kg PO}_4\text{-P ha}^{-1}$ säätökentällä 2024) (kuva 3.8 ja 3.9E–F), ollen samaa suuruusluokkaa kuin aiemmin samalla kentällä havaitut kuormat (Äijö ym., 2023).



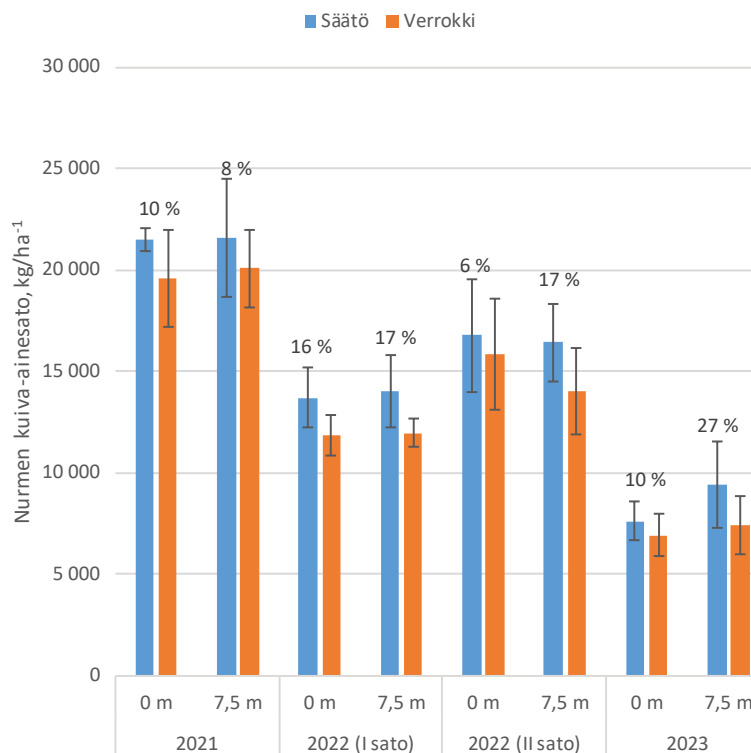
Kuva 3.9. A) Kiintoaineksen sekä liukoisen B) orgaanisen ja epäorgaanisen kokonaistypen (KOK-N), C) epäorgaanisen nitriitti- ja nitraattityypen (NO₂+NO₃-N), D) epäorgaanisen ammonium-typen (NH₄-N), E) orgaanisen ja epäorgaanisen kokonaisfosforin (KOK-P), ja F) epäorgaanisen fosfaattifosforin (PO₄-P) kumulatiiviset kuormat salaojavalunnassa Sievin säätökoekentän säätösalaojitetulta-salaojakastellulta (säätö) sekä tavanomaisesti salaojitetulta (verrokki) alueelta 11.3.–31.10.2024.

3.2.5 Sato

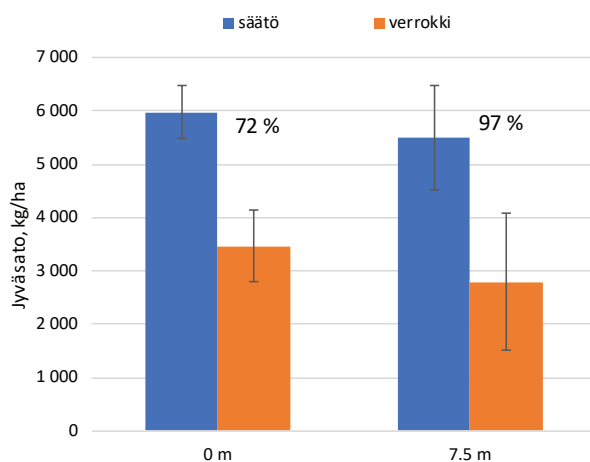
Koko maanpäällistä biomassaa kuvaavat keskimääräiset nurmisadot jäivät molemmilla koealueilla vuonna 2023 (6900–9500 kg ha^{-1}) reiluun kolmannekseen edellisen vuoden sadoista (12 000–14 000 kg ha^{-1}) sekä alle puoleen ensimmäisen vuoden sadosta (20 000–21 500 kg ha^{-1}) (kuva 3.10). Vuosien 2021–2022 nurmisadot on esitetty tarkemmin Salaojituksen Tutkimusyhdistyksen aiemmassa hankeraportissa (Äijö ym., 2023). Satotasot olivat likimain yhtä suuret salaojien kohdalta (0 m) ja puolivälistä (7,5 m) mitattuna jokaisena vuonna. Säätösalaojituksen avulla tehdyllä pellon kuivatuksella ja salaojakastelulla saavutettiin vuosittain keskimäärin 6–27 % sadonlisä tavanomaiseen ojitukseen verrattuna

(kuva 3.10), ja säätösalaojituksella vaikutti olevan suhteessa hieman suurempi merkitys pienemmillä nurmisadoilla.

Vuonna 2024 koealueella viljeltiin syysvehnää, ja säätösalaojituksella saavutettiin tämän koekentän tutkimuksien suurin sadonlisä: yli 70 % salaojien kohdalta havainnointuna ja 97 % salaojien puolivälistä (kuva 3.11). Vuoden 2024 satotulokset tukevat myös tämän koekentän aiempia havaintoja, joissa sadonlisä oli sitä suurempi, mitä huonompi satotaso oli.



Kuva 3.10. Keskimääräinen nurmisato vuosien 2021–2023 aikana (kg kuiva-ainetta ha⁻¹ +/- keskihajonta) säätösalaojitetulla ja tavanomaisesti ojitetulla alueella kerättyä salaojien kohdalta (0 m) ja puolivälistä (7,5 m). Prosenttiosuudet kertovat säätösalaojituksella (kuivatus tai salaojakastelu) saavutetun sadonlisäyksen suhteessa verrokkiin.



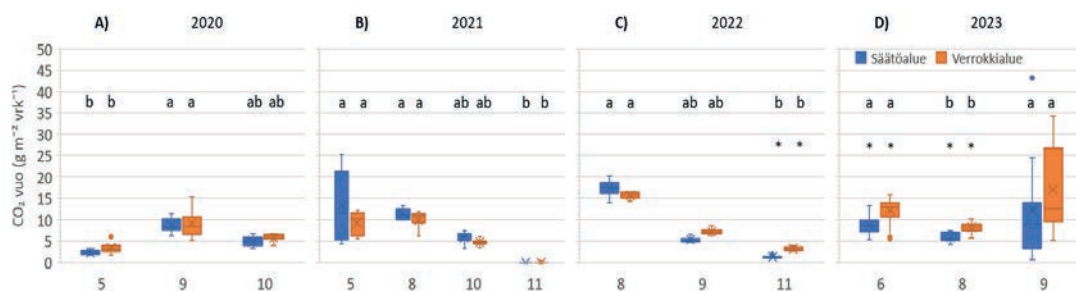
Kuva 3.11. Keskimääräinen jyväsato vuonna 2024 (kg kuiva-ainetta ha⁻¹ +/- keskihajonta) säätösalaojitetulla ja tavanomaisesti ojitetulla alueella kerättyä salaojien kohdalta (0 m) ja puolivälistä (7,5 m). Prosenttiosuudet kertovat säätösalaojituksella (kuivatus tai salaojakastelu) saavutetun sadonlisäyksen suhteessa verrokkiin.

3.2.6 Kasvihuonekaasuemissiot

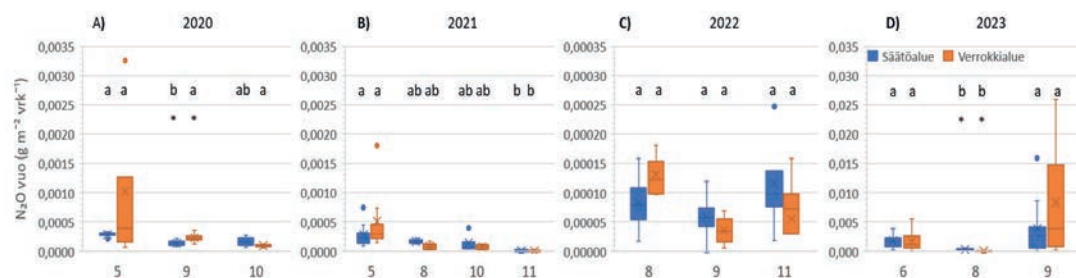
Kasvihuonekaasujen päästöjä muodostui 2023–2024 sekä säätö- että verrokkialueella. Kummankin koealueen maaperä toimi selkeästi hiilidioksidin (CO_2) ja dityppioksidin (N_2O) lähteenä, mutta toisinaan myös sitoi metaania (CH_4). Kesällä 2023 havaitut keskimääräiset CO_2 -vuot ($6\text{--}17 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ vrk}^{-1}$) olivat samaa suuruusluokkaa kuin aiempina vuosina (Äijö ym., 2023). Verrokkialueen CO_2 -vuot olivat säätöaluetta merkitsevästi suuremmat kesä- ja elokuussa 2023 sekä marraskuussa 2022 (kuva 3.12, liite 2 taulukko 2.A). Vuorokauden keskimääräiset N_2O -vuot vaihtelivat paljon ja elokuussa 2023 N_2O -vuo oli merkitsevästi suurempi säätöalueelta kuin verrokkialueelta, kun taas syyskuussa 2020 ero oli päinvastainen (kuva 3.13, liite 2 taulukko 2.B). Syyskuussa 2023 sekä keskimääräiset CO_2 - että N_2O -vuot olivat merkitsevästi korkeampia ja vaihtelu oli huomattavaa elokuun havaintoihin verrattuna, oletettavasti koska maanmuokkaus ja kylvö ajoittui näiden mittauskampanjoiden väliin. Vuoden 2024 kolmena mittausajankohtana sekä hiilidioksidin että dityppioksidin emissiot olivat samaa suuruusluokkaa kuin aiempina vuosina. Hiilidioksidiemissio oli jokaisena havaintokertana pienempi säätöalueella verrokkialueeseen verrattuna, mutta hajonta oli suurta. Dityppioksidin emissio oli hyvin vaihteleva.

Metaanin osalta vuorokauden keskimääräiset vuot ($-0,6\text{--}0,1 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ vrk}^{-1}$) kesällä 2023 olivat pääosin negatiivisia (kuva 3.14, liite 2 taulukko 2.C), mikä kertoo metaanin sitoutumisesta maaperään, ja suuruusluokaltaan samanlaisia kuin aiempina vuosina (Äijö ym., 2023). Tilastollisesti merkitseviä eroja säätö- ja verrokkialueen CH_4 -voissa ei havaittu muulloin kuin kesäkuussa 2023, jolloin säätöalueen maaperä sitoi metaania ilmasta keskimäärin $0,3 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ vrk}^{-1}$, kun taas verrokkialueella syntyi maaperän metaanipäästöjä keskimäärin $0,1 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ vrk}^{-1}$. Vuonna 2024 kaikki havainnot lukuun ottamatta yhtä säätöalueen havaintoa olivat negatiivisia.

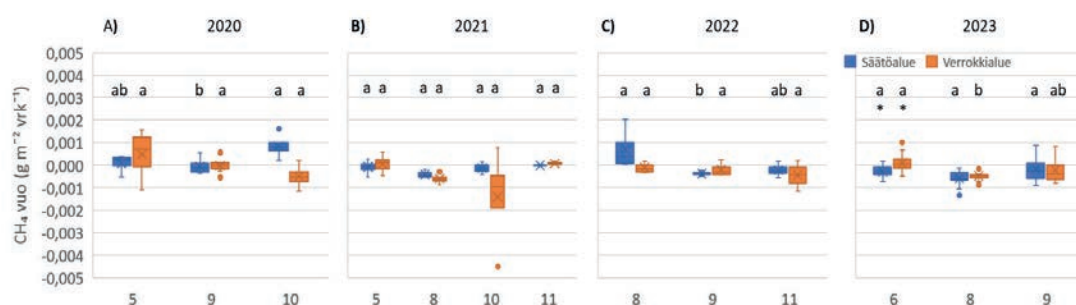
Kasvihuonekaasunäytteiden keräyksen aikaan mitatut pohjavedenpinnan syvyydet vaihtelivat vain vähän kummallakin koealalla (säätöalue $108 \pm 44 \text{ cm}$; verrokkialue $153 \pm 40 \text{ cm}$) vuosien 2020–2023 aikana. Pohjavedenpinnan syvyys korreloi positiivisesti vuorokauden keskimääräisen CO_2 -vuon kanssa (Spearman $\rho=0,268$; $p<0,001$; $n=184$), mutta selitti huonosti päästöjen suuruutta. Sen sijaan vuorokauden N_2O - ja CO_2 -voilla havaittiin merkittävä keskinäinen yhteys (Spearman $\rho=0,363$; $p<0,001$; $n=184$; 2-asteen polynomifunktion $R^2=0,515$) (kuva 3.15). Myös vuorokausittainen ilman keskilämpötila korreloi positiivisesti keskimääräisen CO_2 -vuon kanssa (Spearman $\rho=0,612$; $p<0,001$; $n=184$) ja selitti päästöjen vaihtelua hyvin vuosina 2020–2022 (2-asteen polynomifunktion $R^2=0,484\text{--}0,943$), mutta heikosti vuonna 2023 (kuva 3.16). Vuorokauden keskimääräisellä N_2O -vuolla havaittiin tilastollisesti merkitsevä yhteys syvempien maakerrosten lämpötilan kanssa 40 cm:n syvyydessä (Spearman $\rho=0,609$; $p\leq 0,001$; $n=28$) ja 70 cm:n syvyydessä (Spearman $\rho=0,781$; $p<0,001$; $n=52$). Vastaavasti vuorokauden keskimääräisen CH_4 -vuon yhteys maan lämpötilan kanssa 40 cm:n syvyydessä oli tilastollisesti merkitsevä ($\rho=0,618$; $p<0,001$; $n=28$). Vuoden 2023 aikana, jolloin kasvihuonekaasumittauksia tehtiin eniten, maan lämpötila 70 cm:n syvyydessä selitti parhaiten N_2O -vuon vaihtelua (2-asteen polynomifunktion $R^2=0,688$), kun taas maan lämpötila 40 cm:n syvyydessä selitti parhaiten CH_4 -vuon vaihtelua (2-asteen polynomifunktion $R^2=0,523$) vuorokausikeskiarvoina tarkasteltuna (kuva 3.15).



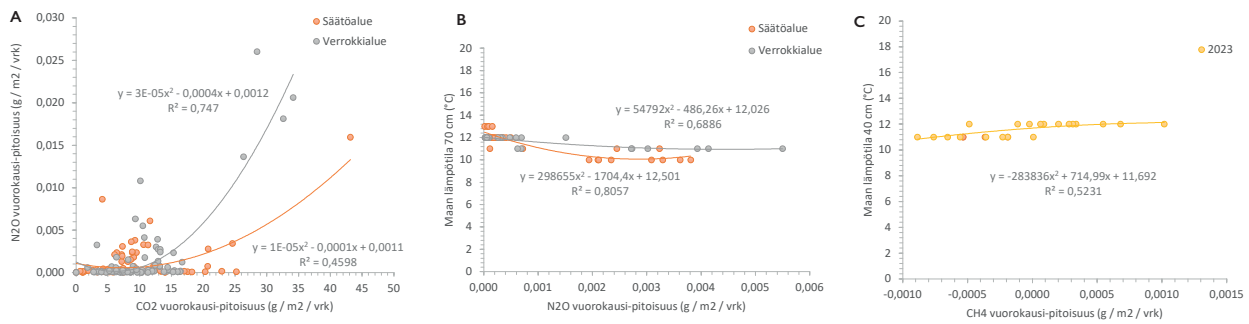
Kuva 3.12. Keskimääräiset vuorokausikohtaiset hiilidioksidin (CO_2) vuot ($\text{g m}^{-2} \text{vrk}^{-1}$) säätö- ja verrokkikoealueella vuosina A) 2020, B) 2021, C) 2022 ja D) 2023 kunkin mittauskampanjan aikana (5=toukokuu, 6=kesäkuu, 8=elokuu, 9=syyskuu, 10=lokakuu, 11=marraskuu). Laatikko ilmaisee arvot ensimmäisen ja kolmannen kvartaalin välillä, laatikon sisällä olevat vaakaviivat ilmaisee mediaanin ja raksi keskiarvon, palkkien pystyviivat (viikset) kuvaavat keskivirhettä, yksittäisiä pisteitä viiksien ylä- tai alapuolella pidetään poikkeavina. Tilastollisesti merkitsevät erot säätö- ja verrokkialueen välillä kunakin ajankohtana on merkitty *-symbolilla. Tilastollisesti merkitsevät erot säätö- ja verrokkialueella kunkin vuoden kampanja-ajankohdan (kuukauden) välillä on merkitty eri kirjaimin.



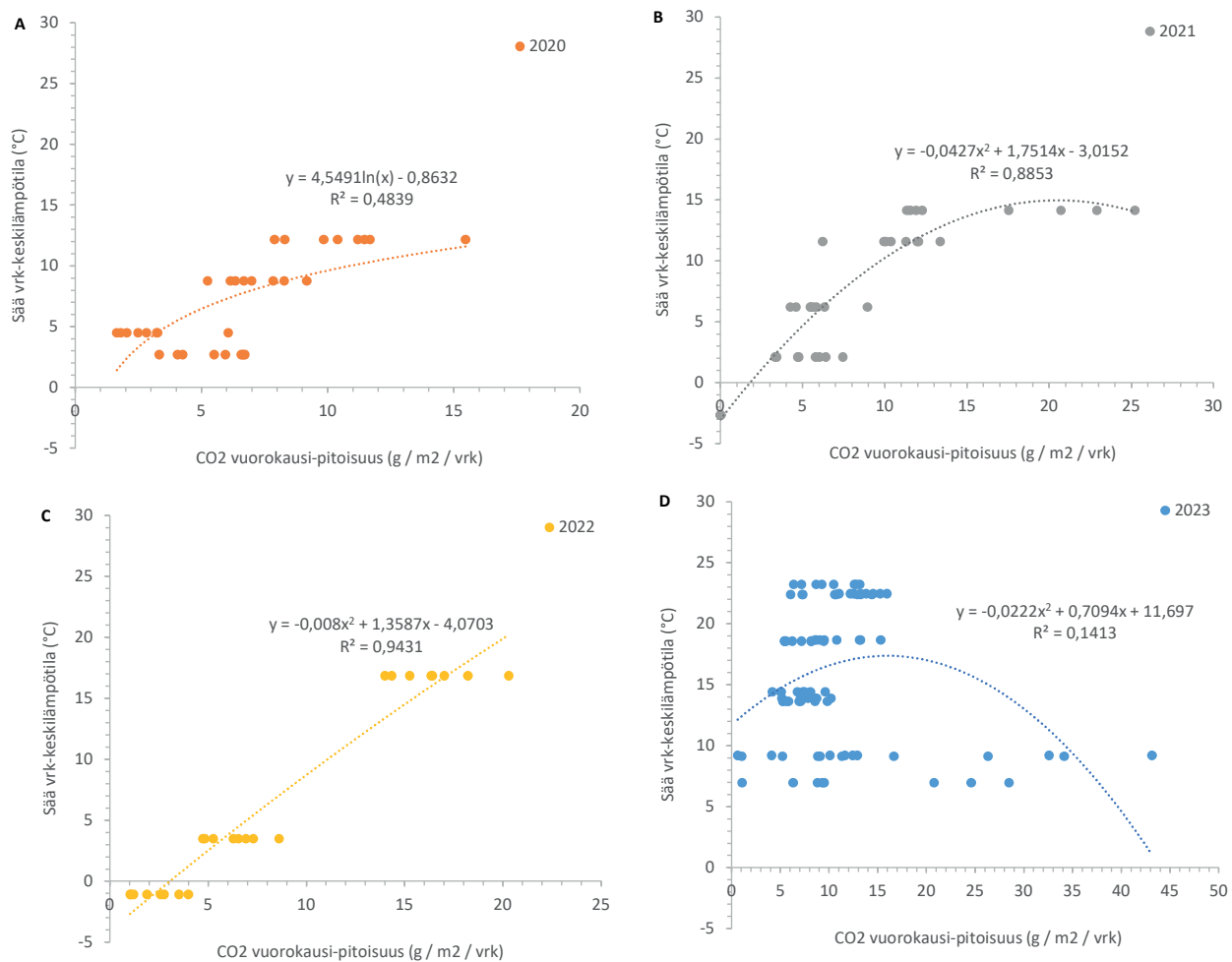
Kuva 3.13. Keskimääräiset vuorokausikohtaiset hiilidioksidin (N_2O) vuot ($\text{g m}^{-2} \text{vrk}^{-1}$) säätö- ja verrokkikoealueella vuosina A) 2020, B) 2021, C) 2022 ja D) 2023 kunkin mittauskampanjan aikana (5=toukokuu, 6=kesäkuu, 8=elokuu, 9=syyskuu, 10=lokakuu, 11=marraskuu). Laatikko ilmaisee arvot ensimmäisen ja kolmannen kvartaalin välillä, laatikon sisällä olevat vaakaviivat ilmaisee mediaanin ja raksi keskiarvon, palkkien pystyviivat (viikset) kuvaavat keskivirhettä, yksittäisiä pisteitä viiksien ylä- tai alapuolella pidetään poikkeavina. Tilastollisesti merkitsevät erot säätö- ja verrokkialueen välillä kunakin ajankohtana on merkitty *-symbolilla. Tilastollisesti merkitsevät erot säätö- ja verrokkialueella kunkin vuoden kampanja-ajankohdan (kuukauden) välillä on merkitty eri kirjaimin.



Kuva 3.14. Keskimääräiset vuorokausikohtaiset metaanin (CH_4) vuot ($\text{g m}^{-2} \text{vrk}^{-1}$) säätö- ja verrokkikoealueella vuosina A) 2020, B) 2021, C) 2022 ja D) 2023 kunkin mittauskampanjan aikana (5=toukokuu, 6=kesäkuu, 8=elokuu, 9=syyskuu, 10=lokakuu, 11=marraskuu). Negatiiviset arvot kuvaavat CH_4 :n sitoutumista maaperään ja positiiviset arvot kuvaavat CH_4 -päästöjä maaperästä. Laatikko ilmaisee arvot ensimmäisen ja kolmannen kvartaalin välillä, laatikon sisällä olevat vaakaviivat ilmaisee mediaanin ja raksi keskiarvon, palkkien pystyviivat (viikset) kuvaavat keskivirhettä, yksittäisiä pisteitä viiksien ylä- tai alapuolella pidetään poikkeavina. Tilastollisesti merkitsevät erot säätö- ja verrokkialueen välillä kunakin ajankohtana on merkitty *-symbolilla. Tilastollisesti merkitsevät erot säätö- ja verrokkialueella kunkin vuoden kampanja-ajankohdan (kuukauden) välillä on merkitty eri kirjaimin.



Kuva 3.15. A) Vuorokausikohtaisten keskimääräisten hiilidioksidin (CO₂) ja dityppioksidin (N₂O) nettoemissioiden (g m⁻² vrk⁻¹) välinen suhde 2020–2023, B) N₂O-pitoisuuksien (g m⁻² vrk⁻¹) ja maan lämpötilan (70 cm syvyydessä) välinen suhde 2020–2023, sekä C) CH₄-pitoisuuksien (g m⁻² vrk⁻¹) ja maan lämpötilan (40 cm syvyydessä) välinen suhde 2023 säästö- ja verrokkikoealueelta.



Kuva 3.16. Vuorokausikohtaisten keskimääräisten hiilidioksidin (CO₂) pitoisuuksien (g m⁻² vrk⁻¹) ja ilman keskilämpötilan välinen suhde vuosina A) 2020, B) 2021, C) 2022 ja D) 2023 (säästö- ja verrokkikoealueiden mittaukset yhdistettynä).

3.3 Korvenojan peruskuivatusuoman tulokset

3.3.1 Padotuksen vaikutukset yläpuolisten peltoalueiden hydrologiaan

Korvenojan molemmiin puolin oleva peltomaa oli hyvin heterogeenista vaihdellen huomattavasti kahdelta linjalta eri paikoista otetuissa maanäytteissä (taulukko 3.3). Pintamaan muokkauskerroksen (0–20 cm) orgaanisen aineksen pitoisuudet vaihtelivat 8–41 %:n välillä ja pienentyivät syvempiin maakerroksiin mentäessä kauempana valtaojasta (paikka 1 ja 10, kuva 2.4), kun taas ojan vieressä (paikka 4 ja 7, kuva 2.4) pintamaan alla olevassa jankossa (20–30 cm) orgaanisen aineksen pitoisuudet olivat jopa yli kaksinkertaiset muokkauskerroksen pitoisuuksiin nähden. Tämä johtuu todennäköisesti maan muokkauksesta ja viljelytoimenpiteistä sekä siitä, että kun ojaa on kunnostettu, niin vähemmän eloperäistä materiaalia sisältäviä kaivuumassoja on levitetty maan pinnalle lähellä ojaa. Maalaji oli pinnassa turvetta tai multamaata lähellä ojaa, ja pohjamaa oli hiesua. Linjalla 1 kauempana ojasta sekä eloperäisen aineksen että saveksen pitoisuudet olivat suurimmillaan muokkauskerroksessa ja pienenevät syvemmälle mentäessä. Linjalla 2 kauempana ojasta eloperäistä ainesta oli eniten pinnassa, mutta saveksen pitoisuus oli suurimmillaan muokkauskerroksen alapuolella laskien selvästi syvemmällä pohjamaassa. Maalajit on esitetty taulukossa 3.3.

Kylläisen maan vedenjohtavuus vaihteli voimakkaasti korvenojan kentällä, mutta oli pääasiassa hyvin linjassa havaitun maalajin kanssa. Linjalla 1 vedenjohtavuus oli suurempi lähellä ojaa, ja suurimmillaan se oli muokkauskerroksessa.

Vedenpinta Korvenojassa pysyi pääosin padotuskorkeudessa vuosien 2023–24 aikana (kuva 3.17). Vedenpinta laski muutamaan otteeseen selvästi alle padotuskorkeuden vain kasvukauden 2023 aikana, vaikka kesä oli sateinen, ja nousi syksyn tullen paikoin korkeaksikin vähäisemmistä sademääristä huolimatta. Vedenpinnan lasku alle padotuskorkeuden vuoden 2023 aikana voi johtua padon vuotamisesta. Pidempi kuiva kausi voi johtaa settipadon lankkujen kuivumiseen ja kutistumiseen, mikä tekee siitä epätiiviin. Loppukesästä 2023 vuoto vaikuttaa loppuneen, kun vedenpinta ei enää painu padotuskorkeuden alapuolelle. Alkuvuosi 2024 oli vähäsateinen, mutta ojan vedenpinta ei silti laskenut alle padotuskorkeuden. Kasvukauden puolivälin rankkasade nosti hetkellisesti ojan vedenkorkeutta enemmän, mutta vaikutus oli lyhytaikainen.

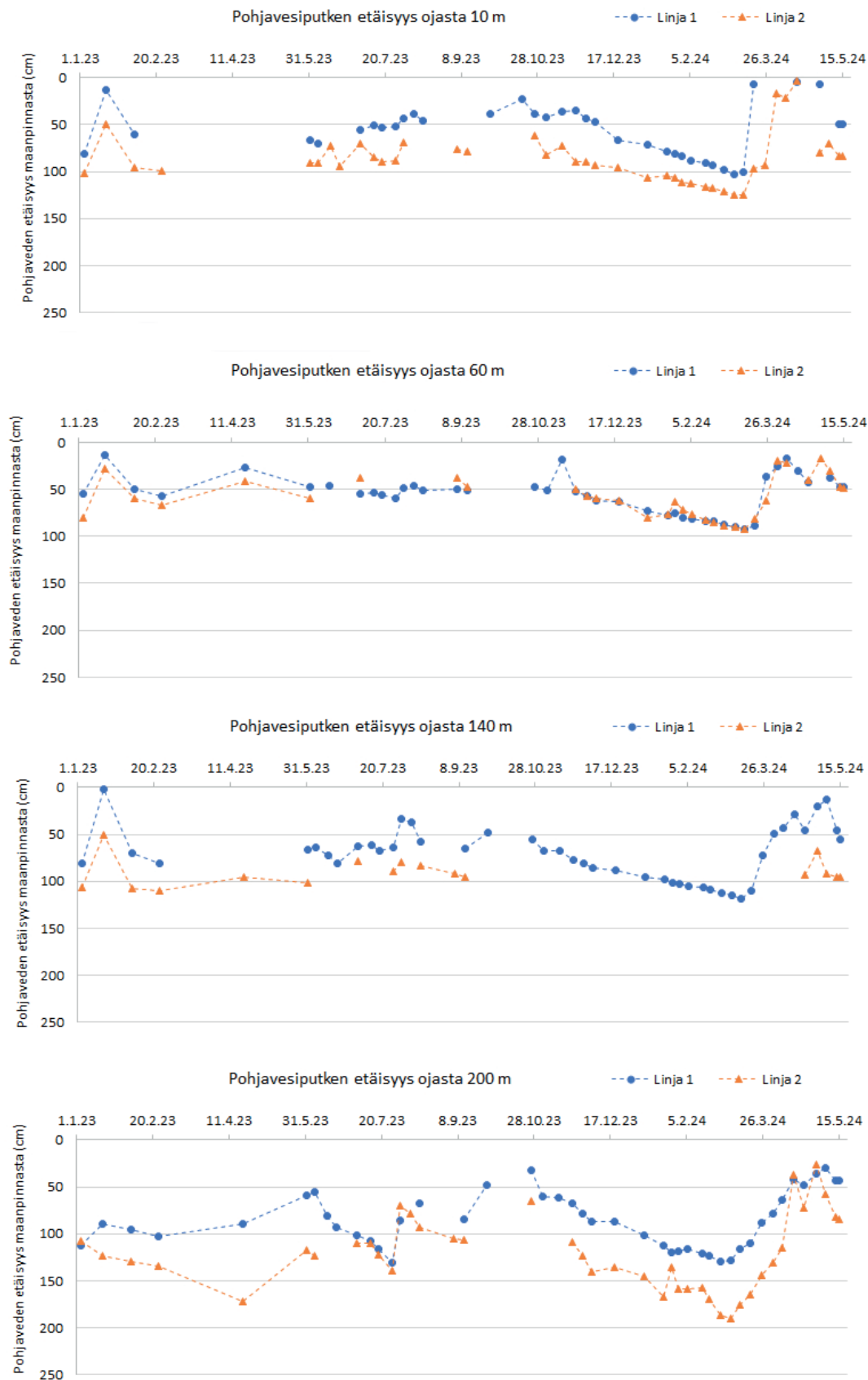
Korvenojan kuivatusalueella valtaojan padotus sekä valtaojaa ympäröivien lohkojen säätösalaajitus näyttää vaikuttavan peltojen pohjavesipinnan korkeuteen huomattavasti (kuva 3.18). Pohjavesipinta pysyy 140 metriä valtaojasta ja sitä lähempänä olevissa mitauspisteissä ojitussyvyyden (n. 1 m) yläpuolella suuren osan ajasta, mikä viittaisi siihen, että padotus ja säätösalaajitus toimivat toivotulla tavalla ja pitää pohjavedenpinnan korkeammalla tasolla. Padotuksen ja säätösalaajituksen vaikutus on suurempi lähempänä valtaojaa.



Kuva 3.17. Korvenojan padolla mitattu vedenkorkeus (mm) suhteessa padon harjaan (padon kynnykseen) sekä läheisellä Sievin säätokentällä mitattu sademäärä (mm) A) vuoden 2023 ja B) vuoden 2024 aikana.

Taulukko 3.3. Korvenojan padotusalueen peltomaan orgaanisen aineksen pitoisuus (%), vedenjohtavuus, partikkelikokojakauma ja maalaji eri syvyyksissä.

	maakerros (syvyys)	orgaaninen aines, %	Vedenjohtavuus, cm/päivä ± SEM	Partikkelikokojakauma, Saves-hiesu-hieta, % kivennäismaasta	maalaji
linja 1 paikka 1	muokkauskerros (0-20 cm)	7,7	25±4	34-59-7	rm HsS
	jankko (20-30 cm)	5,5	18±3,5	28-65-7	m Hs
	pohjamaa (70 cm)	1,4	0,11±0,01	22-71-7	vm Hs
linja 1 paikka 4	muokkauskerros (0-20 cm)	41,1	274±63		turvemaa
	jankko (20-30 cm)	84,1	47±9		turvemaa
	pohjamaa (70 cm)	6,1	46±13	21-77-2	rm Hs
linja 2 paikka 7	muokkauskerros (0-20 cm)	20,2	47±5	31-66-3	multamaa
	jankko (20-30 cm)	56,3	11±0,3		turvemaa
	pohjamaa (70 cm)	1,8	508±111	8-88-4	vm Hs
linja 2 paikka 10	muokkauskerros (0-20 cm)	35,9	3,6±0,4	35-62-3	multamaa
	jankko (20-30 cm)	14,4	6,2±2,2	60-38-2	Erm As
	pohjamaa (70 cm)	1,8	6,0±1,9	20-79-1	Vm Hs



Kuva 3.18. Pohjavedenpinnan korkeudet Korvenojaan rajoittuvalla peltoalueella vuoden 2023 alusta vuoden 2024 toukokuuhun eri etäisyyksillä valtaojasta.

3.4 Nummelan koekentän tulokset

3.4.1 Kuohkeutuskoe

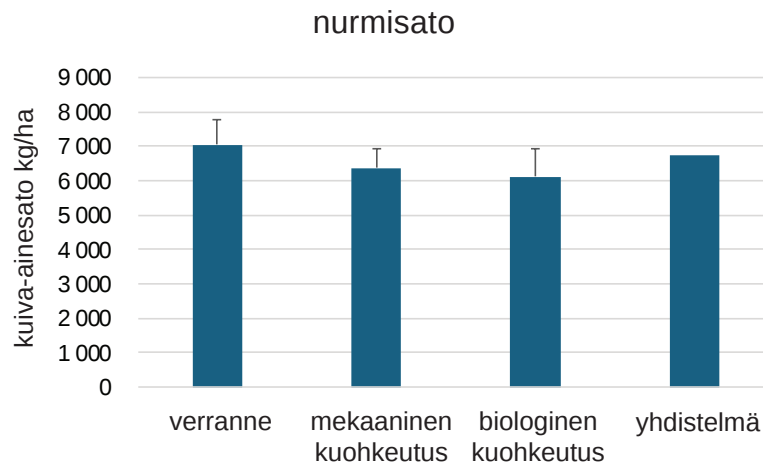
Maan ominaisuudet

Kuohkeutuskokeessa kaikki kuohkeutustoimet näyttivät vaikuttavan maan ominaisuuksiin myönteisesti, mutta mittaustuloksissa oli runsaasti vaihtelua, joten mitkään vaikutukset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Tämän vuoksi tulokset ovat vain suuntaa antavia. Hajonnan suuruusluokan havainnollistamiseksi tulostuviin on yleensä merkitty verrannekäsittelyn hajonta.

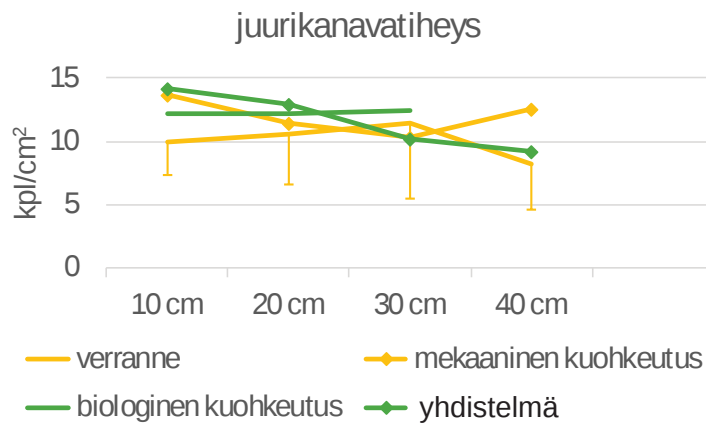
Kesän 2024 aikana kuohkeutuskokeen kaikilta koeruuduilta korjattiin kolme nurmisatoa (kuva 3.19). Eri kuohkeutuskäsittelyjen satojen suuruusjärjestys vaihteli eri korjuukerroilla. Kolmen niiton yhteenlaskettujen tulosten perusteella käsittelemätön verranne sekä biologisen ja mekaanisen kuohkeutuksen yhdistelmä tuottivat suurimmat ja lähellä toisiaan olevat sadot – mutta tilastollisia eroavaisuuksia ei siis ollut.

Kuohkeutuskäsittelyjen välillä ei ollut systemaattisia eroja myöskään juurikanavatiheyden (kuva 3.20) eikä maan mikrobitoiminnan aktiivisuudesta (maahengityksestä) kertovan hiilidioksidiemission (kuva 3.21) suhteen.

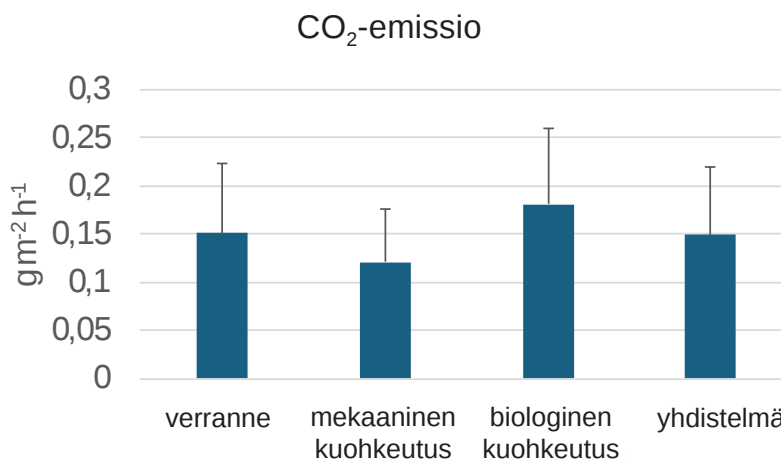
Sadon määrä, juurikanavatiheys ja maahengitys olivat mitatuista vaikutuksista ainoat, jossa kuohkeutustoimilla ei havaittu myönteistä suuntaa. Nämä määritykset ehdittiin tehdä tutkimuksen aikana vain yhtenä vuotena, joten mahdolliset pidempiaikaiset vaikutukset jäivät selvittämättä.



Kuva 3.19. Kolmen niiton yhteenlasketut nurmisadot kuohkeutuskokeen eri käsittelyissä kesällä 2024, kun kaikilla koeruuduilla kasvoi nurmi.



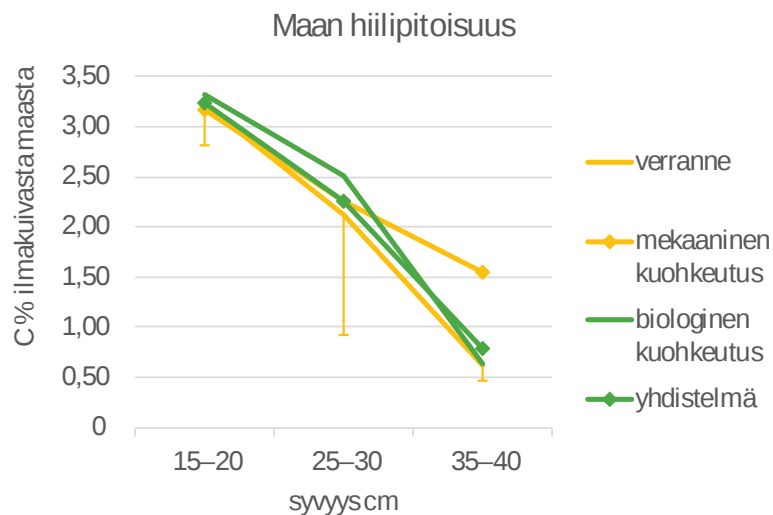
Kuva 3.20. Maan murtopinnoilta laskettu juurikanavatiheys eri käsittelyissä eri syvyyksissä.



Kuva 3.21. Hiilidioksidiemissiot kuohkeutuskäsittelyissä (n=6) 18.10.2024. Dityppioksidin ja metaanin emissiot olivat mitättömät.

Juurikanavien määrää laskettaessa koetettiin laskea myös lieronreikien määrä. Lieronreikiä havaittiin satunnaisesti vain muutama eikä niitä analysoitu. Lierot eivät siis olleet vielä ehtineet levitä märkyydestä kärsineelle alueelle, vaikka alue oli täydennysojitettu vuonna 2014, ja kuivatustila oli parantunut.

Biologinen kuohkeutus näytti hieman lisäävän maan eloperäisen aineksen (orgaanisen hiilen) pitoisuutta (kuva 3.22). Kaikissa käsittelyissä maassa oli 15–20 cm:n syvyydessä orgaanista hiiltä 3,2–3,3 % ilmakeivästä maasta, ja pitoisuus laski syvemmälle mentäessä. Jostain syystä, jota ei saatu selville, osassa (3/6) mekaanisen kuohkeutuksen ruuduissa oli selvästi suurempi hiilipitoisuus 35–40 cm:n syvyydessä kuin muissa samasta syvyydestä otetuissa näytteissä (kuva 3.22), mikä vaikutti myös muihin mitattuihin maan ominaisuuksiin (kuvat 3.23–25).

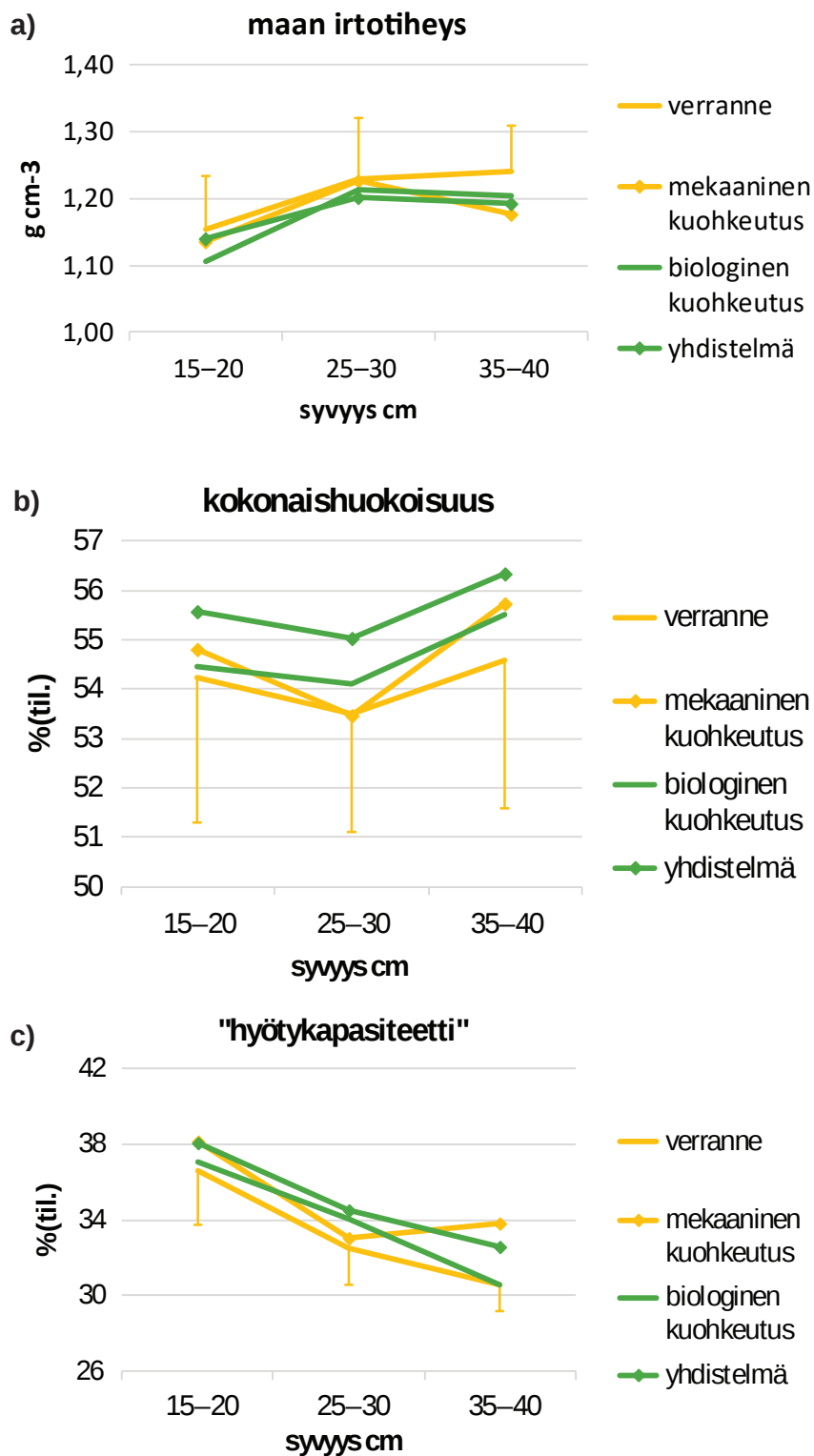


Kuva 3.22. Maan hiilipitoisuus eri kuohkeutuskäsittelyissä eri syvyyksissä.

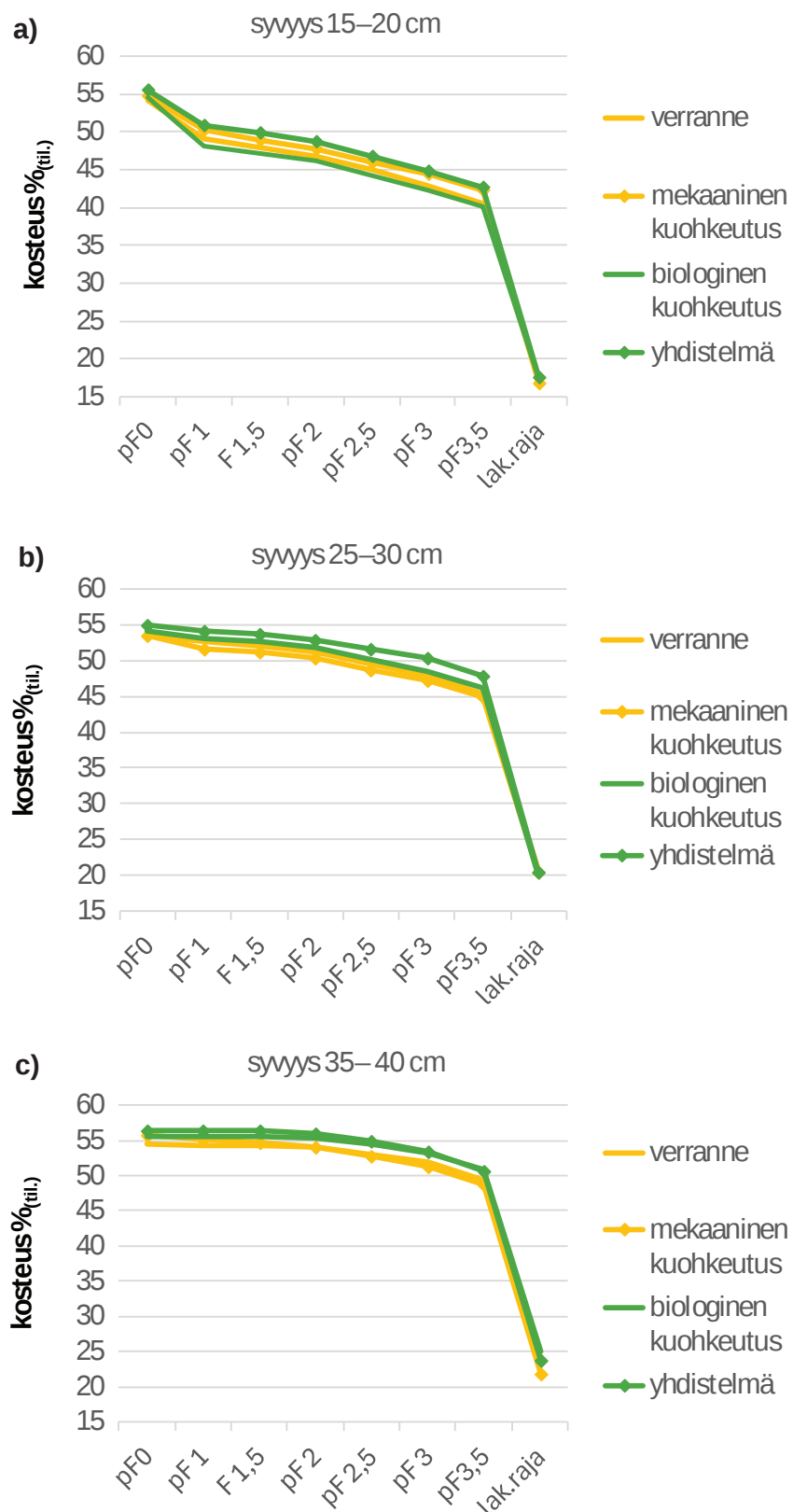
Kaikki kuohkeutuskäsittelyt näyttivät parantavan maan huokoisuutta ja vedenpidätyskykyä verrattuna käsittelemättömään verranteeseen; verrannekäsittelyn maa oli tiiveintä (irtotiheys oli suurin) (kuva 3.23a), ja sen kokonaishuokoisuus oli pienin (kuva 3.23b). Myös hyötykapasiteetti (kuva 3.23c) oli pienin verrannekäsittelyssä. Hyötykapasiteetti kuvaa sellaisten huokosten määrää, joista kasvi voi ottaa vettä ja on tässä laskettu kokonaishuokoisuuden ja lakastumisrajan erotuksena.

Biologinen kuohkeutus ja erityisesti biologisen ja mekaanisen kuohkeutuksen yhdistelmä näyttivät vaikuttaneen huokoisuuteen myönteisimmin. Tosin 15–20 cm:n syvyydessä käsittelyjen paremmuusjärjestys vaihteli, ja erot olivat aina pieniä. Samaa osoittavat myös aineistosta piirretyt vedenpidätyskäyrät (kuva 3.24).

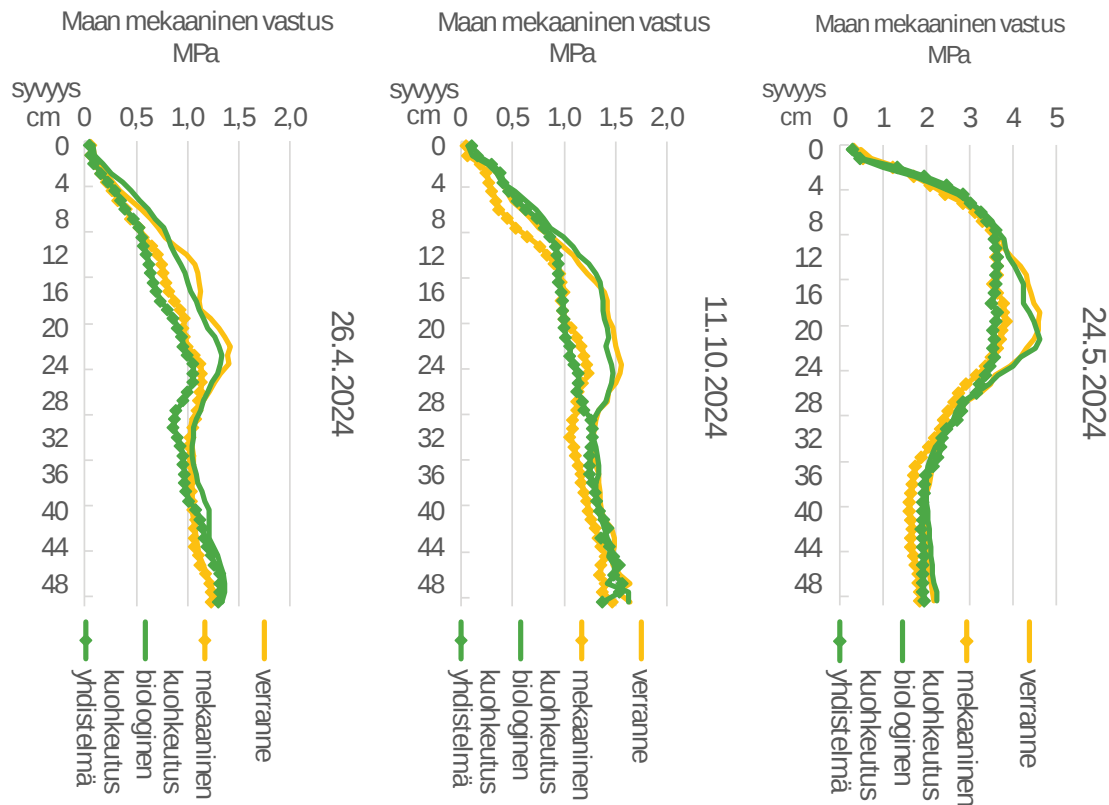
Mekaaninen kuohkeutus yksinään tai yhdistettynä biologiseen kuohkeutukseen löyhensi maata mekaanisesti, mikä havaittiin penetrometrillä tehdyissä maan mekaanisen vastuksen mittauksissa 10–30 cm:n syvyydessä. Sen sijaan biologinen kuohkeutus ei yksinään löyhentänyt maata. Ennako-oletuksena oli, että mekaanisen ja biologisen kuohkeutuksen yhdistelmän vaikutukset olisivat pitkäaikaisempia kuin pelkän mekaanisen kuohkeutuksen vaikutukset nurmen juuriston tuoman eloperäisen aineksen maata vahvistavan vaikutuksen takia, mutta kummankin käsittelyn vaikutukset olivat yhtäläiset ainakin vielä kahden vuoden kuluttua jankkuroinnista.



Kuva 3.23. Maan irtotiheys (a), kokonaishuokoisuus (b) ja hyötykapasiteetti (c) eri käsittelyissä eri syvyyksissä. Mekaanisen kuohkeutuksen tuloksiin 35–40 cm:n syvyydessä vaikutti todennäköisesti se, että osassa koeruuduista tuossa syvyydessä oli selvästi suurempi orgaanisen aineksen pitoisuus kuin muualla (ks. kuva 3.22).



Kuva 3.24. Maan vedenpidätyskäyrät eri käsittelyissä eri syvyyksissä.



Kuva 3.25. Maan mekaaninen vastus eri käsittelyissä kolmena mittausajankohtana (n=30). 26.4.2024 maa oli lähes vedellä kyllästetty. 24.5.2024 oli ollut pitkään sateetonta, ja pohjavesi oli metrin syvyydessä. 11.10.2024 oli juuri satanut 20 mm, ja maa oli lähes vedellä kyllästetty.

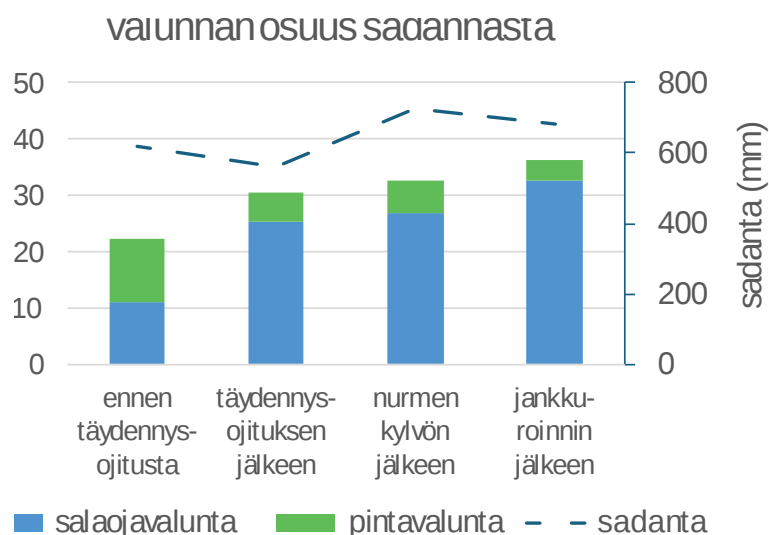
Valunta ja kuormitus

Alueelta D vuodesta 2007 lähtien tehdyt salaoja- ja pintakerrosvaluntojen mittaukset osoittivat, että täydennysojitus kasvatti salaojavalunnan osuuden sadannasta yli kaksinkertaiseksi salaojituksen tehostumisen ansiosta. Pintakerrosvalunnan osuus puolestaan väheni alle puoleen. Salaoja- ja pintakerrosvalunnan yhteenlaskettu osuus kasvoi noin puolitoistakertaiseksi ja oli ennen täydennysojitusta 22 % ja täydennysojituksen jälkeen 33 % (kuva 3.26).

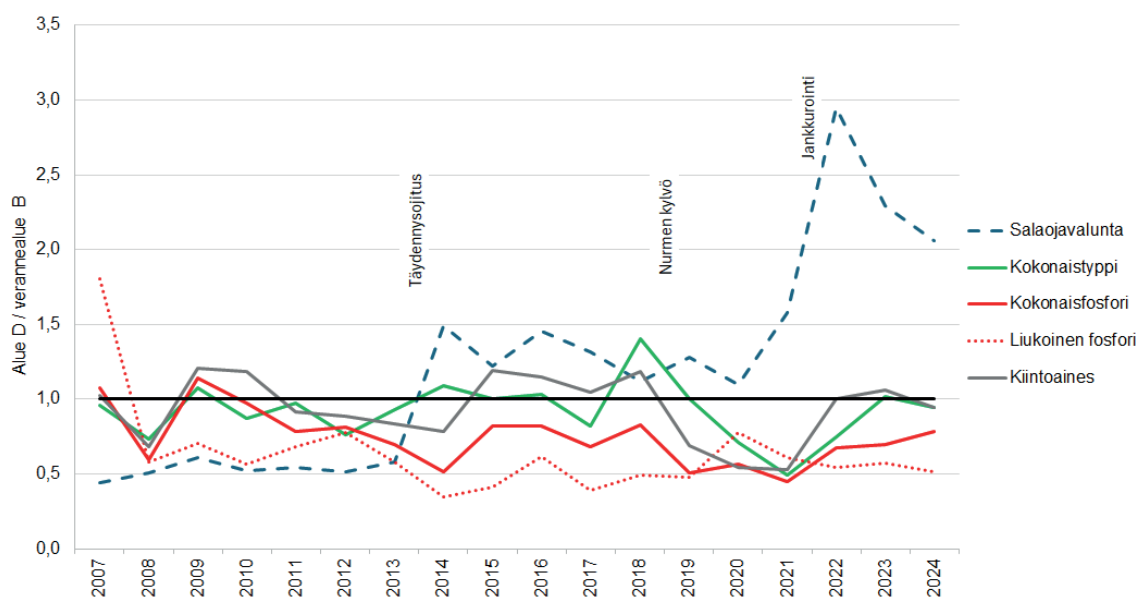
Kuohkeutustoimien vaikutukset valuntojen osuuteen sadannasta olivat vähäisemmät kuin täydennysojituksen. Biologinen kuohkeutus ei juurikaan vaikuttanut osuuksiin, mutta jankkuroinnin jälkeen salaojavalunnan osuus sadannasta oli yli 30 % ja pintavalunnan vain muutama prosentti. Vesi pääsi ilmeisesti tunkeutumaan maahan helposti jankkuroinnin jälkeen.

Sateisina vuosina sekä salaoja- että pintakerrosvalunnan osuudet sadannasta olivat suuremmat kuin kuivina vuosina.

Vertailut alueen D ja verrannealueen B salaojavaluntojen välillä osoittivat, että täydennysojitus lisäsi salaojavaluntaa; ennen täydennysojitusta alueen D salaojavalunnan määrä oli vain noin puolet verrannealue B:n salaojavalunnasta, mutta täydennysojitus kasvatti D:n salaojavalunnan suuremmaksi kuin B:n (kuva 3.27).



Kuva 3.26. Salaojavaluntojen ja pintakerrosvaluntojen osuudet vuosisadannasta (korjattu arvo) eri toimenpiteiden aikana alueella D.



Kuva 3.27. Alueen D ja verrannealueen B salaojavalunnon sekä ravinne- ja kiintoainepitoisuuksien (vuosikeskiarvot) suhde 2007–2024.

Täydennysojitus ei juurikaan vaikuttanut salaojavesien kokonaistypen ja kiintoaineen pitoisuuksiin. Pitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa D:llä kuin verrannealueella B. D:n kokonaisfosforipitoisuudet sen sijaan olivat ensimmäisiä vuosia lukuun ottamatta jonkin verran alhaisemmat, ja liukoisen fosforin pitoisuudet selvästi alhaisemmat kuin B:n, mikä voi johtua D:n alhaisemmasta fosforiluvusta (ks. kuva 3.33). Täydennysojitus saattoi hie-man pienentää erityisesti liukoisen fosforin pitoisuutta salaojavesissä (kuva 3.27).

Täydennysojitus kasvatti selvästi alueen D salaojavesien kiintoaine- ja ravinnekuor-mitusta johtuen salaojavalunnon huomattavasta kasvuista; ennen täydennysojitusta

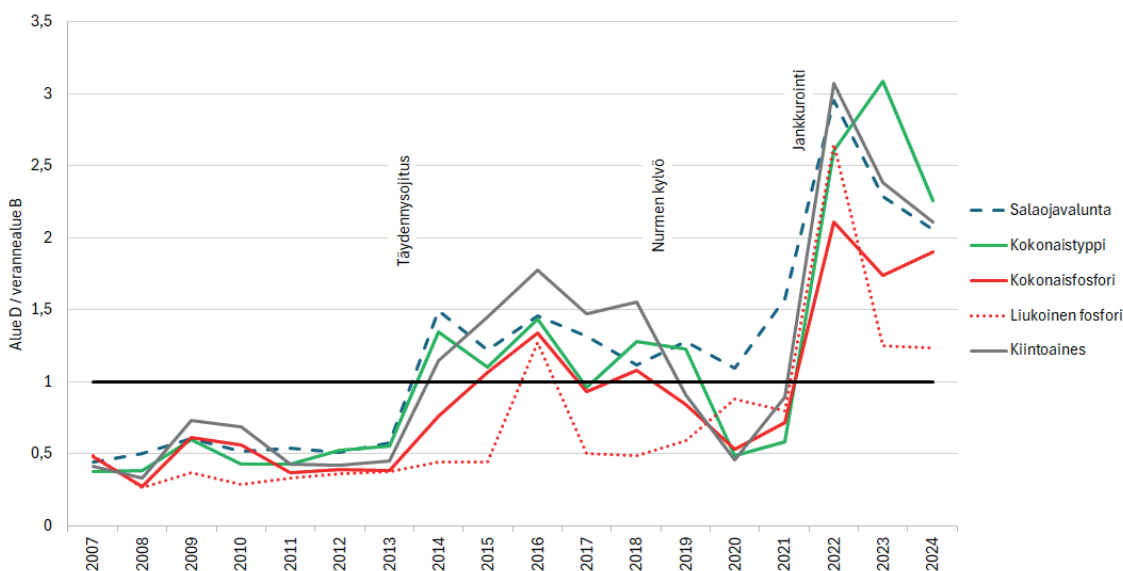
kuormitus oli noin puolet verrannealueen B kuormituksesta, mutta täydennysojituksen jälkeen D:n salaojavesien kokonaistyyppi- ja kiintoainekuormitus oli suurempaa kuin B:n ja kokonaisfosforin likimain samansuuruisia kuin B:n. Liukoisen fosforin kuorma säilyi yhtä vuotta lukuun ottamatta yhtä alhaisena kuin ennen täydennysojitustakin (kuva 3.28).

Nurmen viljely pienensi kiintoaineen, kokonaistypen ja kokonaisfosforin pitoisuuksia, kun taas liukoisen fosforin pitoisuus hieman kasvoi. Nurmea viljeltäessä kaikki pitoisuudet olivat pienemmät kuin viljaa kasvaneella verrannealueella (kuva 3.27). Koska nurmen viljely ei vaikuttanut salaojavalunnan määrään, myös salaojavesien kautta tuleva kuormitus pieneni nurmen viljelyn ansiosta. Poikkeuksena oli liukoinen fosfori, jonka kuormitus hieman kasvoi (kuva 3.28).

Nurmen jankkurointi nosti D:n salaojavesien kokonaistypen ja kiintoaineen pitoisuu-
det jälleen samansuuruisiksi kuin B:n pitoisuus. Myös kokonaisfosforin pitoisuus nousi, mutta liukoisen fosforin laski (kuva 3.27).

Nurmen jankkurointi kasvatti salaojavesien mukana tulevaa kiintoaine- ja ravinne-
kuormitusta huomattavasti kaikkien ravinteiden, siis myös liukoisen fosforin, osalta. Suuri kasvu johtui sekä pitoisuuden (pl. liukoinen fosfori) noususta että erityisesti salaojavalun-
nan lisääntymisestä. Kuormitus oli heti jankkuroinnin jälkeen 2–3-kertaista verrannealu-
eeseen verrattuna, mutta pieneni tästä seuraavana vuonna (kuva 2.28). Tutkimusjakson
päätyessä ei vielä tiedetä, millaiseksi salaojavalunta ja kiintoaine- ja ravinnekuormitus
kehittyvät seuraavina vuosina.

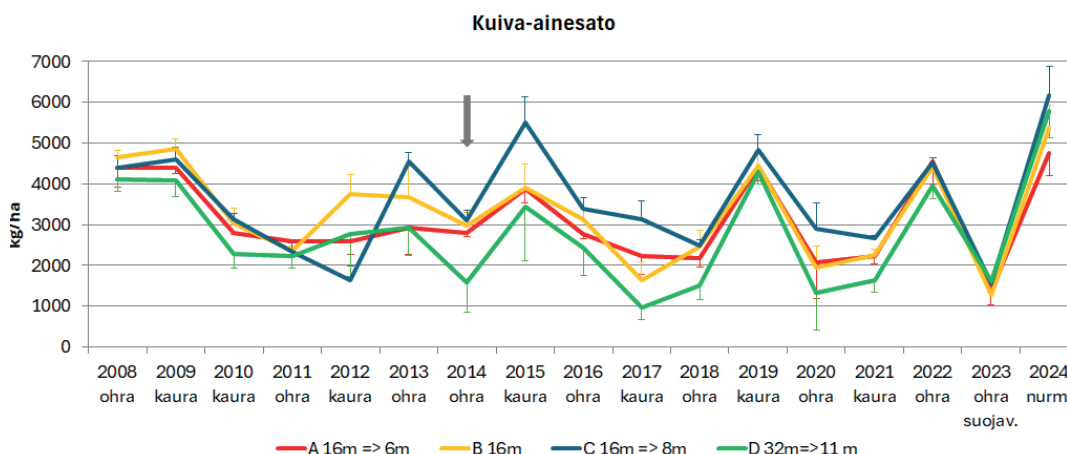
Valunta- ja kuormitusvertailut alueiden D ja B välillä tehtiin vain salaojavalunnas-
ta, sillä B:n pintakerrosvalunnan keräämisessä oli epäselvyyksiä. Pintakerrosvalunnan
määrästä voi kuitenkin tehdä päätelmiä tarkastelemalla alueella D mitattuja salaoja- ja
pintakerrosvaluntojen osuuksia sadannasta (kuva 3.26).



Kuva 3.28. Alueen D ja verrannealueen B salaojavalunnan sekä ravinne- ja kiintoainekuormien suhde 2007–2024.

Sato

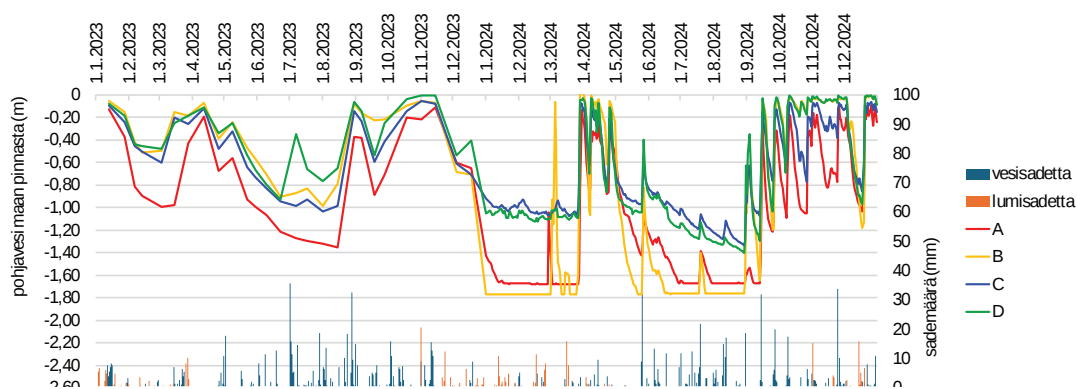
Kaikilta koealueilta otetut satonäytteet osoittivat, että alueen D sato on ollut lähes kaikkina vuosina muita alueita huonompi (kuva 3.29). Vuonna 2014 tehty täydennysojitus ei parantanut satoja moneen vuoteen, vaan vasta lähes kymmenen vuoden kuluttua, vuosina 2023 ja 2024, alueen D sadot olivat samansuuruiset kuin muilla alueilla. Märkyymen vaikutukset maahan ovat siis pitkäkestoisia.



Kuva 3.29. Kuiva-ainesadot Nummellan koekentän alueilla A-D vuosina 2008–2024 (n=6). Vuosina 2019–2024 alueen D satonäytteet otettiin sellaisilta kuohkeutuskokeen ruuduilta, joita oli viljelty samalla tavalla kuin alueita A-C eli joille ei ollut tehty biologista eikä mekaanista kuohkeutusta. Näin voitiin seurata pelkän täydennysojituksen (merkitty nuolella) vaikutusta satoon. (Biologisen ja mekaanisen kuohkeutuksen vaikutusta satoon tarkasteltiin alueen D koeruuduista vuonna 2024 otetuista satonäytteistä, kun kaikilla koeruuduilla kasvoi sama viljelykasvi (nurmi) (ks. kuva 3.19).

Pohjavedenpinnan korkeus

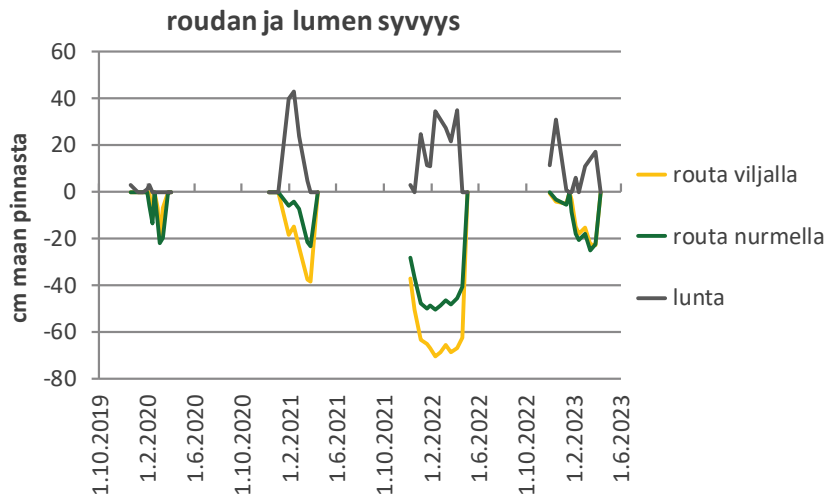
Myös pohjavesimittausten mukaan märkyymen vaikutukset maahan ovat pitkäkestoisia. Alueen D pohjavesi on noussut koko mittaushistorian ajan sateiden jälkeen lähemmäksi maan pintaa kuin muiden alueiden (Vakkilainen ym. 2010, Äijö ym. 2014, 2017, 2018, 2021, 2023), ja se nousee edelleen (kuva 3.30).



Kuva 3.30. Pohjavedenpinnan etäisyys maan pinnasta Nummellan koekentän alueilla A-D vuosina 2023–2024. Vuoden 2023 mittaukset ovat aikavälein tehtyjä manuaalisia mittauksia (n=5-12) ja vuoden 2024 jatkuvatoimisia automaattimittauksia (n=3).

Roudan ja lumen syvyys

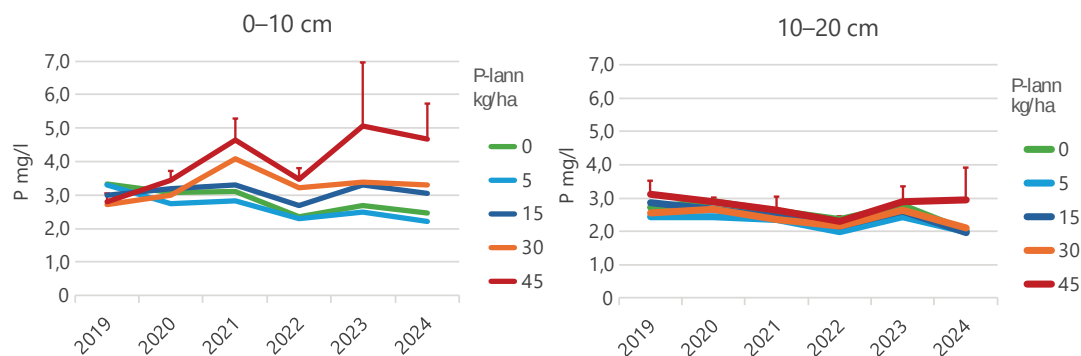
Kuohkeutuskokeen routa- ja lumimittausten mukaan routa ulottui pakkastalvina (2020–2022) viljaa kasvaneilla verranneruuduilla syvemmälle kuin nurmea kasvaneilla biologisen kuohkeutuksen ruuduilla. Lauhana talvena 2019–2020 näiden välillä ei ollut eroja. Kesällä 2022 tehdyn jankkuroinnin jälkeisenä talvena käsittelyjen välillä ei ollut eroa (kuva 3.31).



Kuva 3.31. Roudan ja lumen syvyys kuohkeutuskokeen nurmi- ja viljaruuduilla vuosina 2019–2023 (n=2).

3.4.2 Fosforin porraskoe

Fosforilannoituksen porraskoetta perustettaessa vuonna 2019 pintamaan (0–10 cm) helpoliukoisen fosforin pitoisuus (P-luku) oli suomalaisen viljavuusanalyysin mukaan noin 3 mg/l, eli maan fosforiluokka oli huononlainen. Jos maata ei lannoitettu tai fosforia annettiin vuosittain 5 kg/ha, helpoliukoisen fosforin pitoisuus pyrki hieman laskemaan. Kun fosforia annettiin vuosittain 15–30 kg/ha, P-luku säilyi likimain ennallaan. Ainoastaan suurin vuosittainen lannoitemäärä P 45 kg/ha nosti kuuden lannoitekerran jälkeen pitoisuuden hieman alle 5 mg/l:aan, jolloin fosforiluokka on välttävä. Märkyydestä kärsineen maan P-lukua pystyttiin siis kasvattamaan ainoastaan kokeen suurimmalla lannoitemäärällä P 45 kg/ha (kuva 3.32).



Kuva 3.32. Maan fosforipitoisuudet 0–10 ja 10–20 cm:n syvyydessä vuosina 2019–2024. Pitoisuuksien hajonnat on merkitty vain suurimpaan lannoitemäärään.

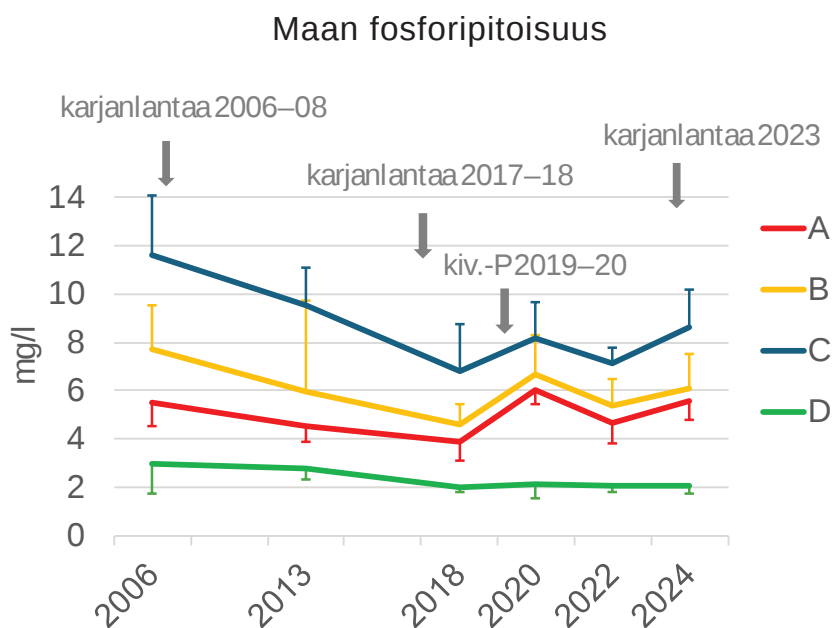
Todennäköisesti annettu lannoitefosfori sitoutui tiukasti maahiukkasten pinnoilla oleviin rautahydroksideihin eikä siten näkynyt viljavuusanalysissä. Maassa oli runsaasti vastasaostuneita rautayhdisteitä, sillä märkyyden vallitessa liuenneena ollut rauta saostuu rautahydroksidiksi maahiukkasten pinnoille, kun maahan pääsee happea, kuten vuonna 2014 tehdyn täydennysojituksen yhteydessä pääsi. Juuri saostuneen rautahydroksidin fosforinpidätyskyky on erittäin suuri, joten siihen sitoutuu helposti fosforia.

Märkyydestä kärsineen maan erilaisuus tuli esille myös niin, että kun koko Nummelan kentälle levitettiin fosforia, kaikkien paremmin kuivatettujen peltolohkojen fosforipitoisuus nousi, mutta märkyydestä kärsineen ei (kuva 3.33).

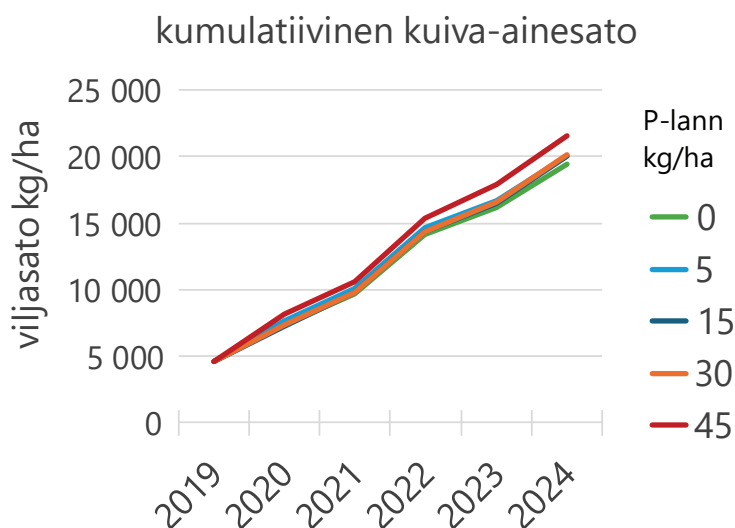
Porraskokeessa vain suurin lannoitemäärä P 45 kg/ha tuotti vuosittain sadonlisää lannoittamattomaan verrattuna keskimäärin 350 kg/ha, mutta pienemmät (P 5–30 kg/ha) lannoitemäärät eivät juurikaan parantaneet satoja (kuva 3.34). Lannoitukseen sijoitetut rahalliset panokset menivät siis suurimmaksi osaksi hukkaan, ja suurimmalla lannoitemäärällä saadun sadonlisän panoskustannukset olivat erittäin korkeat.

Koska fosforilannoitus ei juurikaan vaikuttanut sadon määrään, märkyydestä kärsineen alueen huonot sadot eivät todennäköisesti johtuneet fosforin puutteesta vaan huonosta maan rakenteesta tai muista märkyyden aiheuttamista vaurioista (Vakkilainen ym. 2010, Äijö ym. 2014).

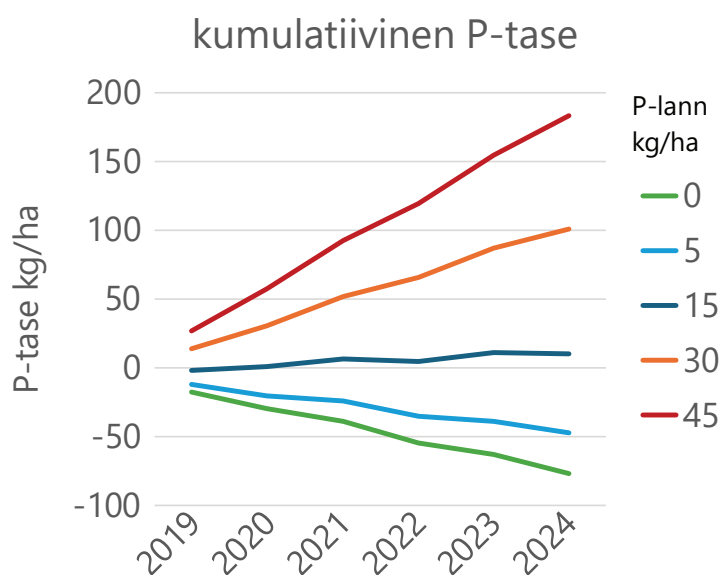
Fosforitase oli tasapainossa, kun fosforia annettiin 15 kg/ha (kuva 3.35).



Kuva 3.33. Nummelan koekentän alueiden A–D fosforipitoisuudet vuosina 2006–2024 (n=5). Fosforilannoitus-ajankohdat on merkitty kuvaan nuolilla.



Kuva 3.34. Kumulatiivinen kuiva-ainesato fosforilannoituksen porraskokeessa vuosina 2019–2024.



Kuva 3.35. Kumulatiivinen P-tase fosforilannoituksen porraskokeessa vuosina 2019–2024.

Fosforikokeessa niin satojen parantamiseen kuin maan fosforiluvun nostoon tarvittiin kokeen suurin lannoitemäärä P 45 kg/ha.

Maan huonon fosforiluvun nostaminen on tulosten perusteella hidasta, ja se vaatii suuria lannoitemääriä. Aiemmin on jo tiedetty, että märkyys heikentää maan rakennetta ja että rakenteen parantaminen voi kestää vuosikymmeniä ja että vaurioiden ennaltaehkäisy eli savimaan riittävästä kuivatuksesta huolehtiminen on tärkeää. Sama pätee tämän tutkimuksen perusteella myös maan fosforitilaan.

Fosforikoe jatkuu VESIMA-hankkeen jälkeen toisessa hankkeessa vuoteen 2027 asti.

3.5 Gårdskullan peltolohkojen tulokset

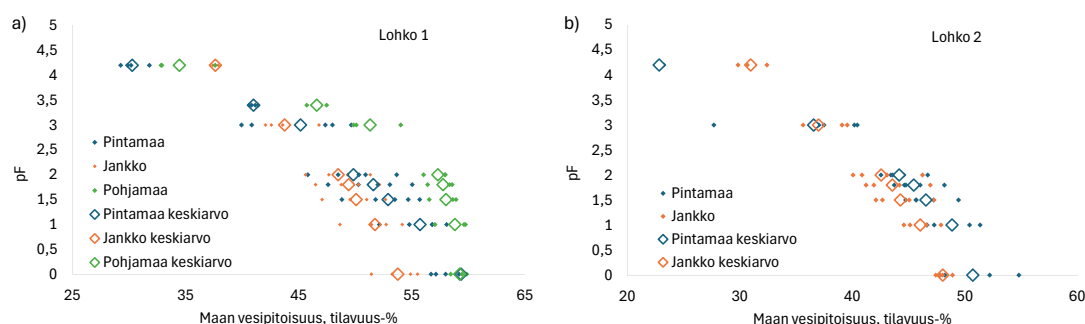
3.5.1 Maaperän ominaisuudet

Gårdskullan kivennäismaa oli pintamaastaan multavaa tai runsasmultaista aito- tai hiesusavea. Jankko ja pohjamaa olivat hiesusavea (taulukko 3.4). Kylläisen maan vedenjohtavuus vaihteli voimakkaasti pintamaan näytteissä, ollen 0,05–120 cm vrk⁻¹ lohkolta 1 ja 0,5–108 cm vrk⁻¹ lohkolta 2. Jankon neljästä näytteestä vedenjohtavuus pystytettiin mittaamaan vain yhdestä lohkolta 1 ja kahdesta lohkolta 2 otetusta näytteestä; muut näytteet olivat käytännössä vettä läpäisemättömiä. Pohjamaan näytteistä vedenjohtavuutta ei pystytty määrittämään lainkaan. Tämä viittaa siihen, että savisen maan rakenne on jankossa ja sen alapuolella heikosti kehittynyt, mahdollisesti tiivistynyt, ja suurin osa veden liikkeistä on halkeamien ja muiden makrohuokosten varassa. Tähän viittaa myös pintamaan vedenjohtavuuden suuri vaihtelu lohkon ja maakerroksen sisällä.

Taulukko 3.4 Gårdskullan peltomaan orgaanisen aineksen pitoisuus (%), vedenjohtavuus, partikkelikokojakauma ja maalaji eri syvyyksissä.

	maakerros (havaintosyvyys)	orgaaninen aines (%)	Vedenjohtavuus, cm/päivä (keskiarvo ± keskivirhe)	Partikkelikokojakauma, Saves-hiesu-hieta, % kivennäismaasta	maalaji
lohko 1	muokkauskerros (10-15 cm)	8,86	54±11	60-30-9	rm AS
	jankko (30-35 cm)	3,67	183	57-36-7	m HsS
	pohjamaa (82-97 cm)	3,03	nd	27-69-4	m Hs
lohko 2	muokkauskerros (10-15 cm)	5,56	37±17	43-48-8	m HsS
	jankko (30-35 cm)	3,48	27±11	53-38-9	m HsS
	pohjamaa (78-85 cm)	2,97	nd	37-61-2	vm HsS

Rakenneominaisuuksien heterogeenisyys näkyi mittaustulosten hajontana myös vedenpidätysominaisuuksissa (kuva 3.36).

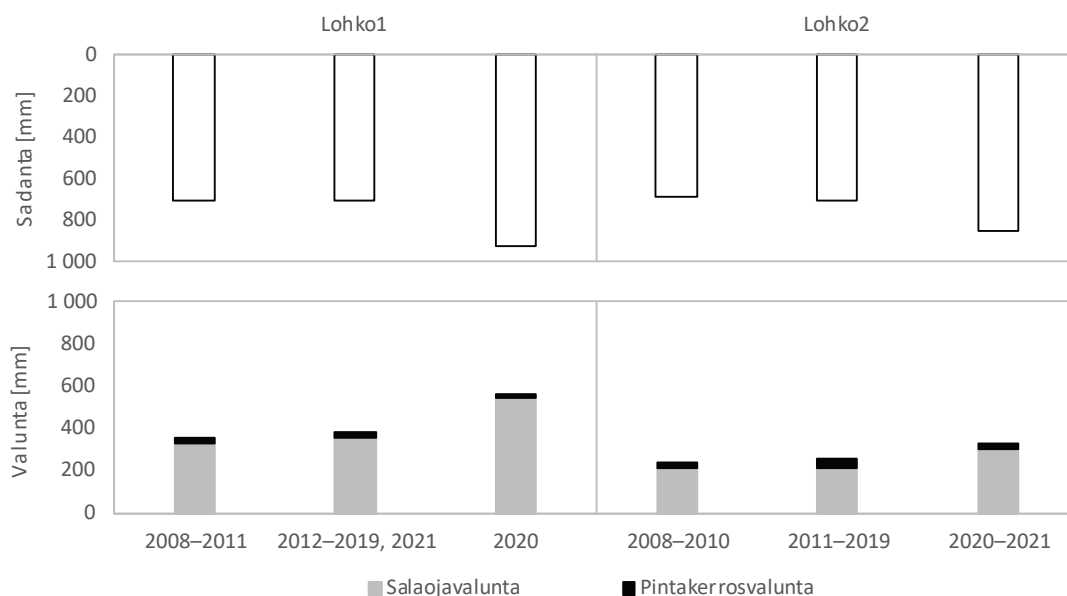


Kuva 3.36. Gårdskullan peltomaan vedenpidätyskäyrät lohkoilla 1 (a) ja 2 (b).

Valunta

Vuotuinen kokonaisvalunta (l. pintakerros- ja salaojavalunta) Gårdskullan lohkolta 1 oli 14 vuoden mittausjaksolla 133–560 mm ja lohkolta 2 81–399 mm, vuotuisen keskimääräisen kokonaisvalunnan ollessa 392 mm lohkolta 1 ja 263 mm lohkolta 2. Suurin osa valunnasta tuli tyypillisesti salaojien kautta, lohkolta 1 keskimäärin 92 % ja lohkolta 2 86 %. Salaojavalunta ja pintavalunta vaihtelivat molemmilla lohkoilla vuodenaikojen ja sääolosuhteiden mukaan. Lohkon 1 suurempaa valuntaa lohkon 2 verrattuna selittää sen suurempi salaojavalunta (kuva 3.37), joka johtuu Turusen ym. (2015) lohkoille 1 ja 2 laa-
timien mallilaskentojen mukaan kaltevuuseroista: kaltevuuden pienentyminen vähentää syvällä maaperässä tapahtuvaa pohjavesivaluntaa, minkä seurauksena salaojavaluntaa muodostuu enemmän.

Tarkasteltaessa hydrologisia olosuhteita eri viljelytapoihin liittyvinä ajanjaksoina (kuva 3.37), oli sadanta keskimäärin sama muutoin, mutta yksittäisen luomuruokin viljelyn vuonna se oli muita ajanjaksoja selvästi korkeampi. Myös salaojavalunta oli kyseisenä vuonna muita ajanjaksoja korkeampi, mutta pintakerrosvalunta matalampi. Sadannassa, lämpötilassa, tai kummankaan lohkon pintakerros- tai salaojavalunnassa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää trendiä koko tutkimusjaksoa tarkasteltaessa (Mann-Kendallin trenditesti, $p < 0.05$).



Kuva 3.37. Gårdskullan peltolohkojen keskimääräinen vuotuinen pintakerros-, salaoja- ja kokonaisvalunta sekä sademäärä (mm) eri ajanjaksojen aikana (lohkolta 1 tavanomainen viljanviljely 2008–2011, luomunurmi 2012–2019, luomuapilanurmi 2021- ja luomuruus 2020; lohkolta 2 tavanomainen viljanviljely 2008–2010, liha-
karjalaidun 2011–2019 ja luomunurmi 2020-).

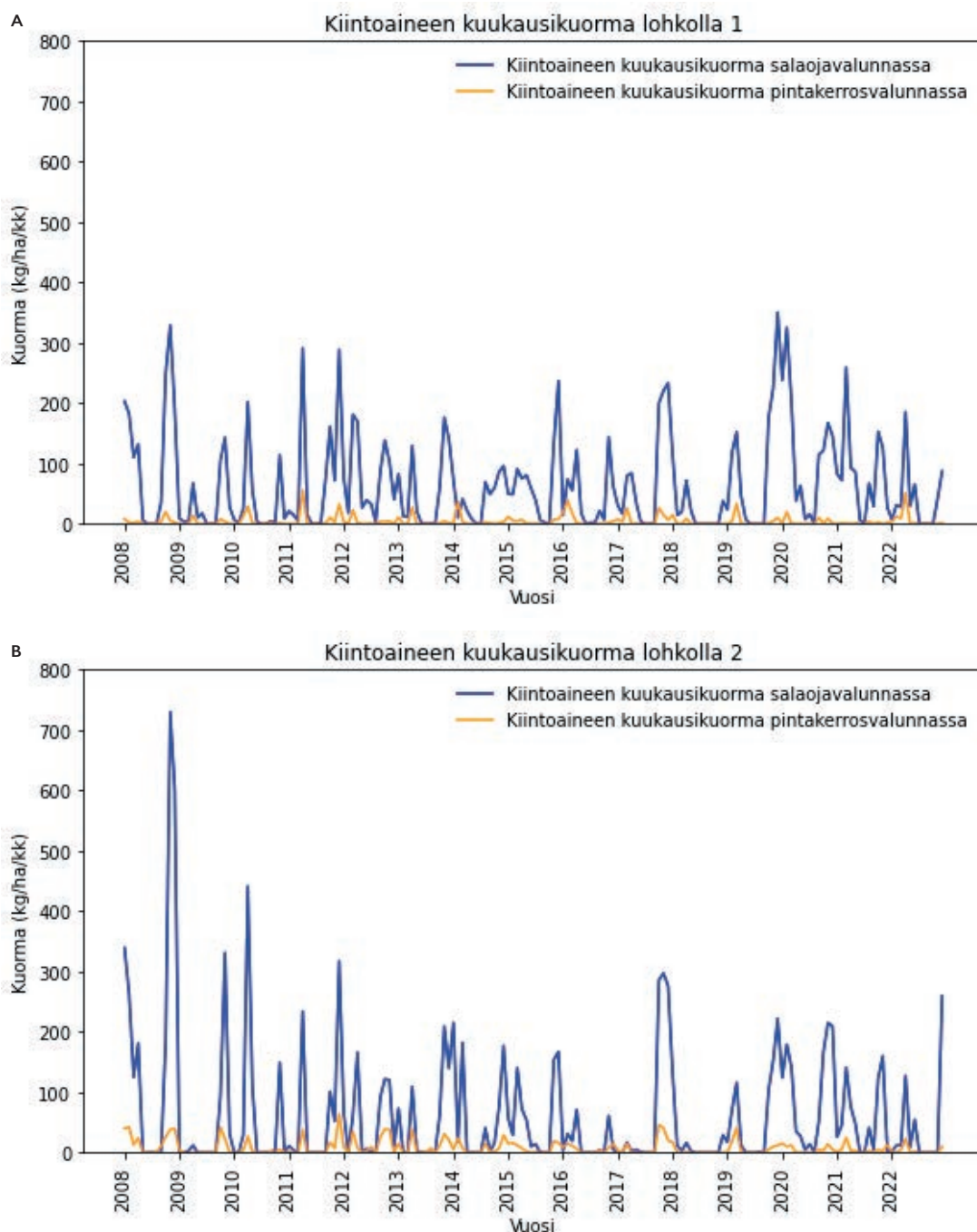
3.5.2 Kiintoaines-, typpi- ja fosforikuormat

Salaojavalunnan kautta kulkeutunut keskimääräinen kuukausittainen kiintoaineskuorma oli koko tarkastelujaksolla lähes saman suuruinen kummaltakin lohkolta: 66 kg ha⁻¹ kk⁻¹ lohkolta 1 ja 63 kg ha⁻¹ kk⁻¹ lohkolta 2. Pintakerrosvalunnan mukana kulkeutuneet keskimääräiset kuukausittaiset kiintoaineskuormat olivat selkeästi matalammat kummaltakin lohkolta kuin salaojavalunnan mukana kulkeutuneet: noin 4 kg ha⁻¹ kk⁻¹ lohkolta 1 ja 8 kg ha⁻¹ kk⁻¹ lohkolta 2. Tilastollisesti tarkasteltuna sekä kuukausittaiset salaojavalunnan kiintoaineskuormat lohkolta 1 ja 2 että pintakerrosvalunnan kiintoaineskuormat lohkolta 1 ja 2 erosivat kuitenkin toisistaan merkitsevästi (Mann-Whitneyn U-testi, $p < 0,05$), koska lohkohtaisten havaintoarvojen jakaumat olivat erilaiset. Lohkolla 1 salaojavalunnan kuukausittaisten kiintoaineskuormien vaihteluväli oli 0–350 ja mediaani 32 kg ha⁻¹ kk⁻¹, kun taas lohkolta 2 ne olivat 0–730 ja 6 kg ha⁻¹ kk⁻¹ (kuva 3.38). Lohkojen väliset erot pintakerrosvalunnan kuukausittaisten kiintoaineskuormien vaihteluväleissä ja mediaaneissa olivat hieman pienemmät: Lohkolla 1 pintakerrosvalunnan kuukausittaisen kiintoaineskuorman vaihteluväli oli 0–55 ja mediaani 0 kg ha⁻¹ kk⁻¹, kun taas lohkolta 2 ne olivat 0–64 ja 1 kg ha⁻¹ kk⁻¹.

Lohkolla 1 ei havaittu tilastollisesti merkitsevää trendiä kuukausittaisissa salaoja- tai pintakerrosvalunnan kiintoainekuormissa (Mann-Kendallin –trenditesti, $p < 0,05$). Lohkolla 2 tilastollisesti merkitsevä laskeva trendi löytyi tutkimusjakson alkuosasta (-2017) sitä erikseen tarkasteltaessa. Kuvassa 3.38B on nähtävissä vastaavana ajanjaksona salaojavalunnan kiintoainekuormituksen maksimi-arvojen madaltumisesta. Lohkolla 2 harjoitettiin tänä aikana ensin tavanomaista viljanviljelyä ja sen jälkeen karjanlaidunnusta. Tarkasteltaessa kuukausittaisia kiintoaineskuormia eri viljelyolosuhteisiin liittyvinä jaksoina havaittiin, että ainoastaan pintakerrosvalunnan kiintoaineskuormat nurmi- ja karjalaidunkausina erosivat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan; muiden ajanjaksojen välisissä kiintoaineskuormissa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja kummankaan valuntakomponentin osalta.

Typpi- ja fosforikuormituksen osalta havaittiin, että tutkimusjakson alkuun ajoittuneen viljanviljelyjakson aikana (3–4 vuotta yhtäjaksoisesti) kokonaisvalunnan mukana kulkeutunut kokonaistypen keskimääräinen vuosikuorma oli noin 21 kg TN ha⁻¹, josta noin 85 % oli mineraalityppeä (NO₃-N, NO₂-N ja NH₄-N) ja 15 % orgaanista typpeä (kuva 3.39). Lannoitteiden käytöstä luopumisen jälkeen keskimääräiset vuosikuormat pienenivät tilastollisesti merkitsevästi molemmilla lohkoilla (liite 3, taulukko 3.A), ollen keskimäärin 4 kg TN ha⁻¹ v⁻¹ (josta 60 % mineraali- ja 40 % orgaanista typpeä) luonnonmukaisen nurmiviljelyn aikana (1–8 vuotta yhtäjaksoisesti) ja 6 kg TN ha⁻¹ v⁻¹ (josta 65 % mineraali- ja 35 % orgaanista typpeä) lihakarjan laidunnuksen aikana (8 vuotta yhtäjaksoisesti) (kuva 3.39). Luonnonmukaisessa rukiinviljelyssä (1 vuosi) TN-kuorma (7 kg ha⁻¹ v⁻¹) kasvoi hieman pitkäaikaisen luonnonmukaisen nurmiviljelyn jälkeen, jolloin samalla orgaanisen typen osuus kuormasta kasvoi 52 %:iin.

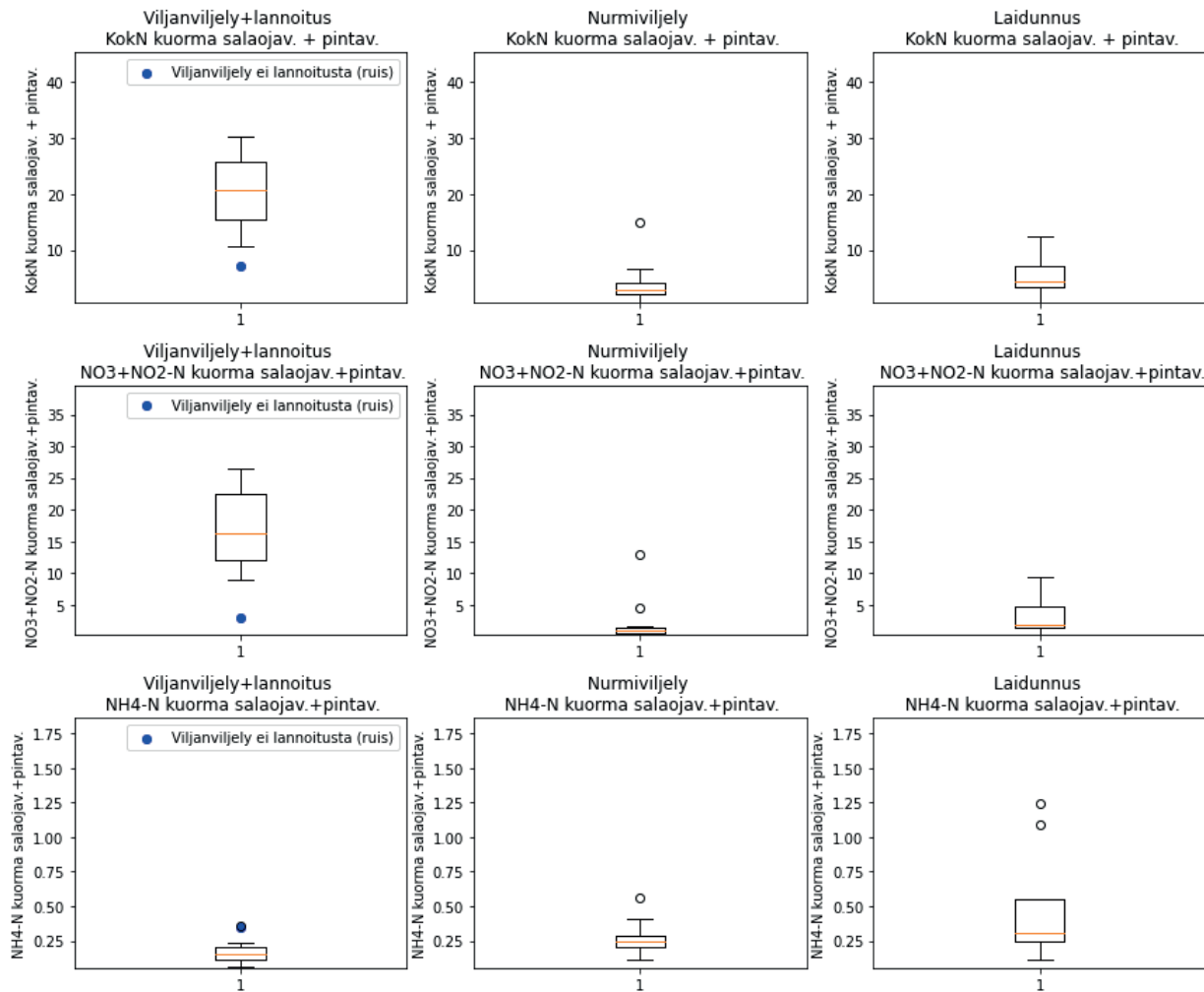
Tarkasteltaessa kuukausittaista typpi- ja fosforikuormitusta valuntakomponentteittain ja lohkoittain havaittiin, että lannoitteiden käytöstä luovuttaessa kokonais- ja mineraalityppikuormien tilastollisesti merkitsevä aleneminen aiheutui lohkolta 1 kuormituksen vähenemisestä salaojavalunnassa. Tilastollisesti merkitsevää muutosta ei havaittu pintakerrosvalunnan kokonais- tai mineraalityypen kuormituksessa. Lohkolla 2 tilastollisesti merkitsevä alenema



Kuva 3.38. Gårdskullan peltomaalta pintakerros- ja salaojavalunnassa kulkeutuneen kiintoaineen (SS) kuukausittaiset keskimääräiset kuormat ($\text{kg}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{kk}^{-1}$) vuosien 2008–2023 aikana A) lohkolta 1 ja B) lohkolta 2. Muokattu Dengin (2024) kuvan 17 mukaan.

havaittiin kokonais- ja mineraalityypen kuormituksissa lukuun ottamatta mineraalityypikuormitusta salaojavalunnassa.

Tarkasteltaessa fosforikuormitusta eri ajanjaksoina, oli kokonaisfosforin vuosikuorma kokonaisvalunnassa tavanomaisen viljelyn aikana keskimäärin $1,1 \text{ kg TP ha}^{-1}$ (kuva 3.40), josta $\text{PO}_4\text{-P}$:n osuus oli 22 %. Tuotantosuunnan muuttuessa luonnonmukaiseen lihakarjan laidunnukseen lohkolta 2 sekä TP:n että $\text{PO}_4\text{-P}$:n kuormat suurenevät tilastollisesti



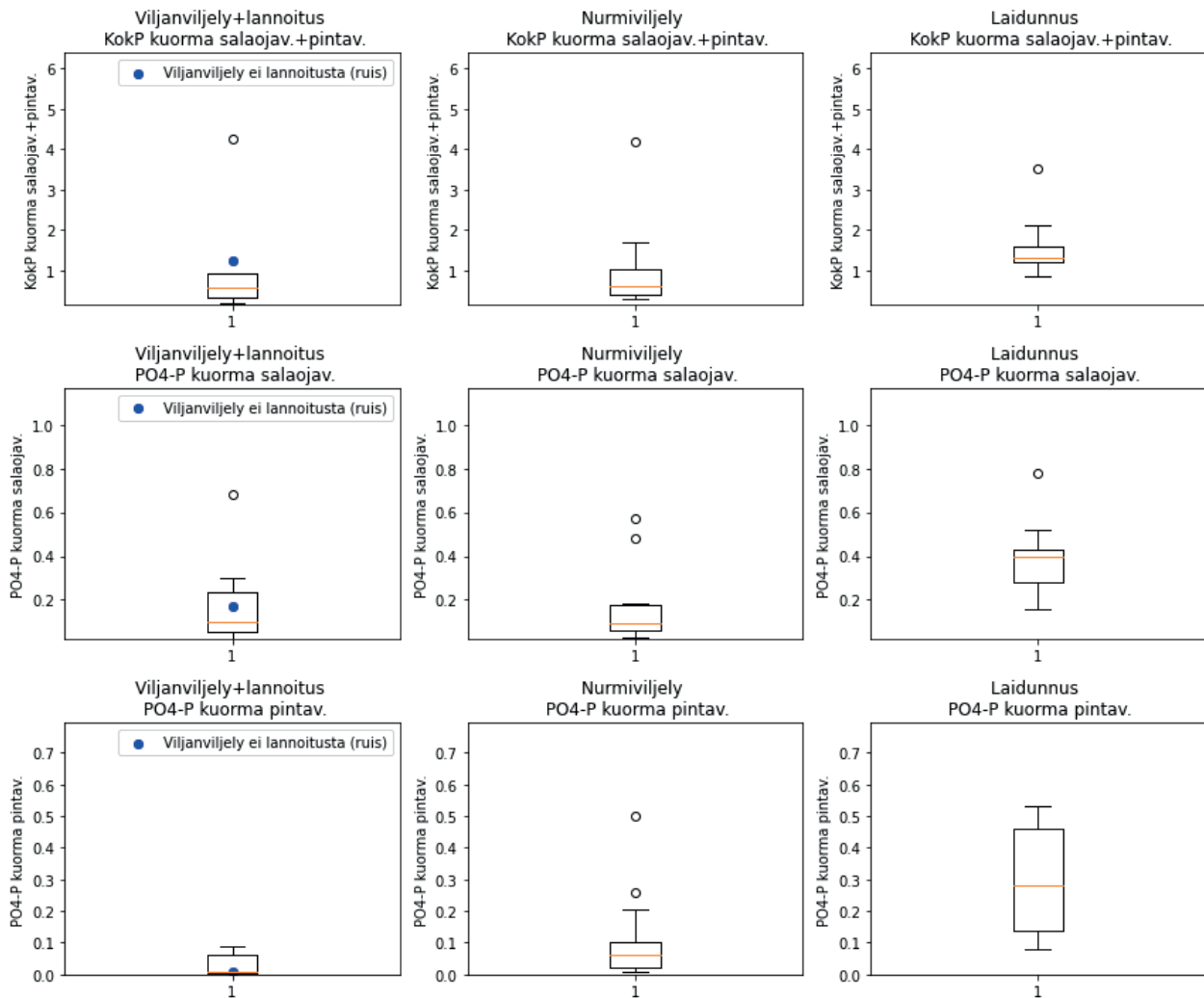
Kuva 3.39. Gårdskullan peltomaalta kokonaisvalunnassa kulkeutuneen kokonaistypen (KokN), nitraatti-nitriitti-typen ($\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$) ja ammonium-typen ($\text{NH}_4\text{-N}$) keskimääräiset kuormat ($\text{kg}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$) sekä niiden hajonta (Box-plot kaaviona) eri tavoin viljellyillä lohkoilla tilan tuotantosuunnan muutosta ennen (tavanomainen viljanviljely) ja sen jälkeen (luonnonmukainen nurmiviljely tai liharajan laidunnus). Muokattu Dengin (2024) kuvan 14 mukaan.

merkittävästi pintakerrosvalunnassa (ollen keskimäärin $0,5$ ja $0,3 \text{ kg TP ha}^{-1} \text{v}^{-1}$, $\text{PO}_4\text{-P}$:n osuus kokonaiskuormituksesta 62%), kun taas salaojavalunnassa vain $\text{PO}_4\text{-P}$:n kuorma suureni merkittävästi kokonaisfosforikuormituksen pysyessä aiemmalla tasolla (ollen keskimäärin $1,1 \text{ kg TP ha}^{-1} \text{v}^{-1}$, josta 36% $\text{PO}_4\text{-P}$:a, liite 3, taulukko 3.B). Viljelytavan muutos tavanomaisesta viljelystä luonnonmukaiseen nurmiviljelyyn puolestaan ei aiheuttanut muutoksia vuosikuormiin (pintakerrosvalunnassa $0,2 \text{ kg TP ha}^{-1} \text{v}^{-1}$, josta 61% $\text{PO}_4\text{-P}$:a ja salaojavalunnassa $0,8 \text{ kg TP ha}^{-1} \text{v}^{-1}$, josta 20% $\text{PO}_4\text{-P}$:a, liite 3, taulukko 3.B).

Yhden vuoden luonnonmukainen rukiinviljely loholla 1 (vuonna 2020) aiheutti suurempia kokonaisfosforikuormia salaoja- ja kokonaisvaluntaan ($1,18$ ja $1,23 \text{ kg TP ha}^{-1} \text{v}^{-1}$, josta $14\text{--}15 \%$ $\text{PO}_4\text{-P}$:a) kuin sitä edeltänyt kahdeksan vuoden luonnonmukainen nurmiviljely tai aiempi tavanomaisen viljanviljelyn ajanjakso. Luomuruisviljelyn verrattain suuri fosforikuormitus aiheutui vuosia nurmella olleen pellon pintakerrokseen kertyneen fosforin vapautumisesta salaojavaluntaan kynnön ja muokkauksen seurauksena. Kuormitusta lisäsivät myös kylvön jälkeisen lauhan talven runsasvaluntaiset olosuhteet. Myös

kokonaistypen kuormitus kokonaisvalunnassa luomurukiin viljelemisen vuotena ylitti nurmiviljelyjakson keskimääräisen kuormituksen, mutta ei tavanomaisen viljanviljelyn vuosien keskimääräistä kuormitusta.

Tarkasteltaessa kuukausittaista fosforikuormitusta valuntakomponenteittain ja lohkoittain havaittiin tilastollisesti merkitsevä nouseva trendi sekä kuukausittaisessa salaoja- että pintakerrosvalunnan fosfaattifosforikuormituksessa lohkolta 1, johtuen keskimääräistä selkeästi suuremmista havaintoarvoista salaojavalunnassa vuonna 2021 ja pintakerrosvalunnassa alkuvuonna 2017. Fosfaattifosforin keskimääräinen kuukausikuorma salaojavalunnassa koko tarkastelujakso huomioiden oli noin $0,01 \text{ kg ha}^{-1} \text{ PO}_4\text{-P}$ lohkolta 1, mutta vuonna 2021 se oli keskimäärin yli kuusinkertainen. Vastaavasti fosfaattifosforin keskimääräinen kuukausikuorma pintakerrosvalunnassa koko tarkastelujakso huomioiden oli noin $0,006 \text{ kg ha}^{-1} \text{ PO}_4\text{-P}$ lohkolta 1, mutta tammi-maaliskuussa 2017 se oli keskimäärin 26-kertainen.

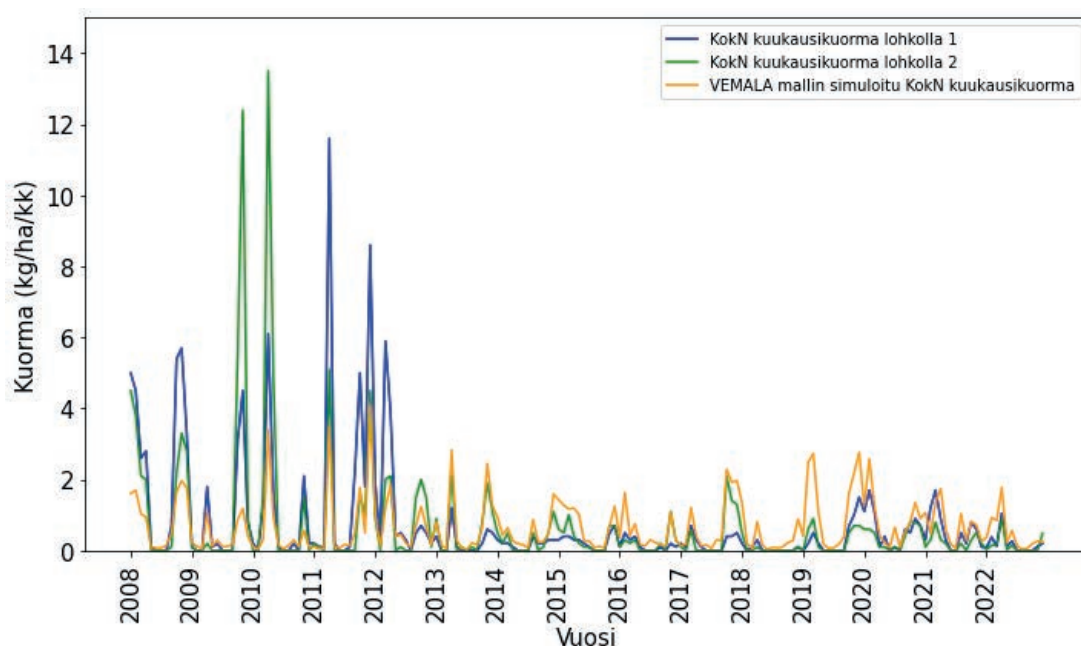


Kuva 3.40. Gårdskullan peltomaalta kokonaisvalunnassa kulkeutuneen kokonaisfosforin (KokP), salaojavalunnassa kulkeutuneen fosfaattifosforin ($\text{PO}_4\text{-P}$) ja pintakerrosvalunnassa kulkeutuneen fosfaattifosforin ($\text{PO}_4\text{-P}$) keskimääräiset kuormat ($\text{kg}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) sekä niiden hajonta (Box-plot kaaviona) eri tavoin viljellyillä lohkoilla tilan tuotantos suunnan muutosta ennen (tavanomainen viljanviljely) ja sen jälkeen (luonnonmukainen nurmiviljely tai lihakarjan laidunnus). Muokattu Dengin (2024) kuvan 16 mukaan.

3.5.3 Vesistökuormitukset pitkäaikaisten mittausten ja VEMALA-mallin perusteella

VEMALA-mallin tuottamat valunnat ja ravinnekuormitukset käsittivät koko Kirkkojoen valuma-alueen eri maankäyttömuotoineen. Mallilla tuotettu valuma-alueen kuukausittainen kokonaisvalunta (l. pintakerros- ja salaojavalunta, mm kk⁻¹) vertautui pääpiirteissään yksittäisiltä peltolohkoilta mitatun valunnan määrään. Tarkasteltaessa peltolohkojen ja valuma-alueen valunnan yhtenevyyttä Nash-Sutcliffen luvun avulla, oli valuma-alueen mallinnettu valunta lähempänä lohkon 1 mitattuja arvoja (NSE-luku 0,86) kuin lohkon 2 mitattuja arvoja (NSE-luku 0,69). Tulosten mukaan valuma-aluetasolla ja peltolohkotasolla valunnan osuus sadannasta oli näin ollen lähellä samaa tasoa.

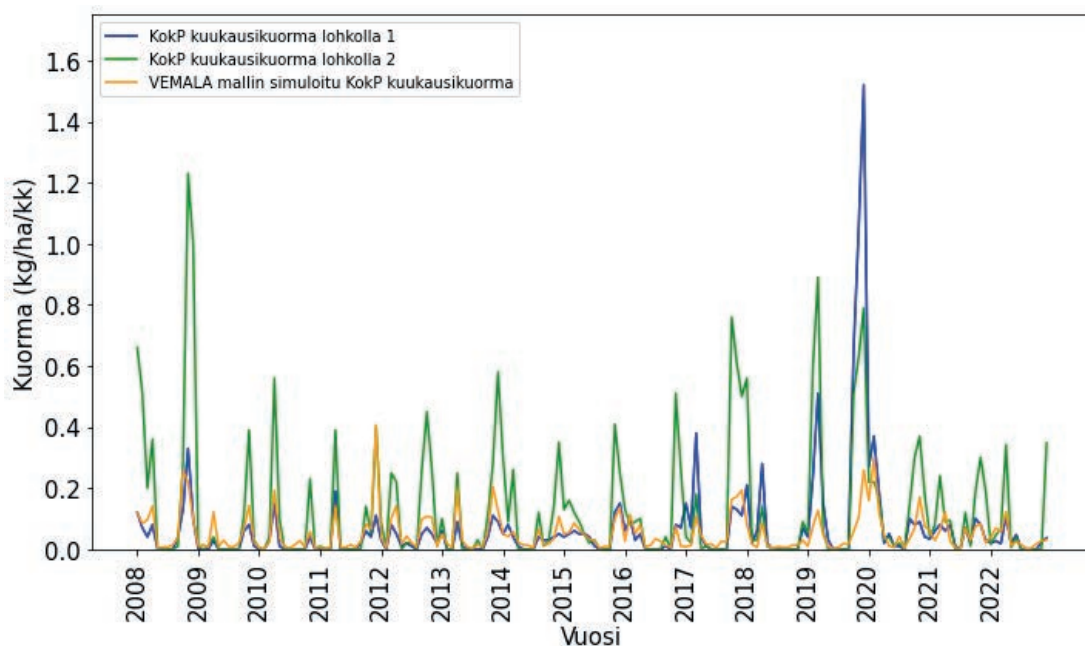
Valuma-aluetasoa kuvaavat mallinnetut kokonaistypen pinta-alakohtaiset kuukausikuormat olivat pieniä verrattuna tavanomaisen viljanviljelykauden mitattuihin kuormiin (2008–2012), jolloin peltolohkoilta mitatut typpikuormat olivat suurimmillaan (kuva 3.41). Vuodesta 2012 eteenpäin, kun molemmat peltolohkot olivat siirtyneet luonnonmukaiseen tuotantoon ja mitatut TN-kuormat pienenevät, valuma-alueen malli tuotti puolestaan suurempia arvoja kuin peltolohkojen kuukausikuormat (kuva 3.41). Liukoisen kokonaisfosforin osalta valuma-alueen mallilla tuotettujen kuukausikuormien vuodenaikainen vaihtelu vastasi ajallisesti hyvin peltolohkojen mitattuja kuormia, mutta valuma-alueen TP-kuormat olivat etenkin peltolohkolta 2 mitattuja kuormia huomattavasti pienempiä koko tarkastelujaksolla (kuva 3.42).



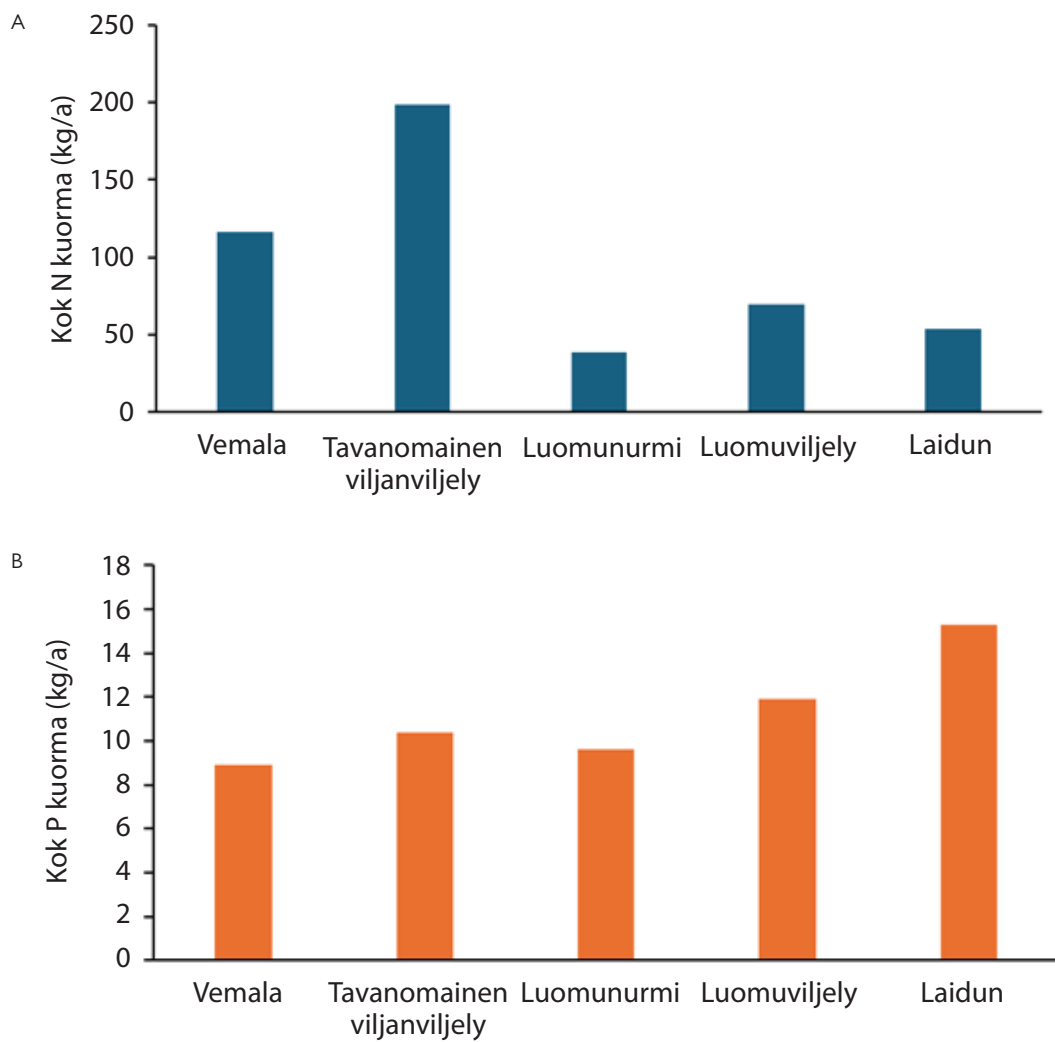
Kuva 3.41. Gårdskullan peltolohkoilta 1 ja 2 mitatut kokonaistypen (KokN) keskimääräiset kuukausittaiset kuormat ($\text{kg}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ kk}^{-1}$) sekä VEMALA-mallilla simuloitua vastaavat kuormat vuosien 2008–2023 aikana. Muokattu Dengin (2024) kuvan 19 mukaan.

Valuma-alueen mallinnettu kokonaistypen vuosikuorma oli peltolohkomittauksiin nähden noin viidesosa luonnonmukaisen nurmiviljelyn vuosina ja noin neljäsosa lihakarjalaidunnusvuosina tavanomaisen viljanviljelyn vuosien keskimääräisestä kuormasta. Liukoisen kokonaisfosforin osalta valuma-aluemalli puolestaan tuotti keskimäärin vajaa 10 % pienempää vuosikuormaa luonnonmukaisessa nurmiviljelyssä, mutta lähes 50 % suurempaa vuosikuormaa luonnonmukaisessa lihakarjan laidunnuksessa verrattuna peltolohkojen tavanomaisen viljanviljelyn vuosiin.

Vertailu mitattujen ja VEMALA-mallilla tuotettujen ravinnekuormitusten välillä havainnollistaa sekä eri maakäyttömuotojen että maatalousalueiden tuotantos suunnan, viljelytavan ja -toimenpiteiden merkitystä ravinnekuormitukselle. Tarkasteltaessa hypoteettista tilannetta, jossa tavanomaista viljanviljelyä harjoitettaisiin valuma-alueen kaikilla maatalousalueilla, olisi kokonaistypen kuormitus 71 % korkeampi kuin koko valuma-aluekohtaisella mallilla estimoitu kuormitus (kuva 3.43A). Jos taas kaikki valuma-alueen maatalousmaa olisi luomunurmea, olisi kokonaistypen vuosikuorma 67 % mallinnettua kuormaa pienempi. Ero pienimmän ja suurimman kuormitusestimaatin välillä on valuma-alueetasolla typen osalta noin 160 tonnia. Eri viljelykausiin liittyvät erot fosforikuormituksissa ovat tippikuormitusten eroja selkeästi pienemmät (kuva 3.43B). Vertailu korostaa täten tuotantos suunnan ja viljelytoimenpiteiden merkitystä erityisesti peltoalueilta tulevan tippikuormituksen kannalta.



Kuva 3.42. Gårdskullan peltolohkoilta 1 ja 2 mitatut kokonaisfosforin (KokP) keskimääräiset kuukausittaiset kuormat ($\text{kg}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{kk}^{-1}$) sekä VEMALA-mallilla simuloidut vastaavat kuormat vuosien 2008–2023 aikana. Muokattu Dengin (2024) kuvan 21 mukaan.



Kuva 3.43. Hypoteettiset valuma-alueen vuosikuormat kokonaistypelle (A) ja kokonaisfosforille (B), kun Kirkkojoen maatalousmaille oletetaan yhtenäinen maankäyttö ja viljelytoimenpiteet. VEMALA-mallin tulos on mukana referenssiarvona. Muokattu Dengin (2024) kuvien 20 ja 22 mukaan.

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

4.1 Raaseporinjoen valuma-alue

Raaseporinjoen tapaustutkimus havainnollisti valuma-alueen suunnittelun haasteellisuutta. Valuma-alueen suunnittelu edellyttää tehokasta koordinaointia, eri sektorien tavoitteiden yhteensovittamista ja lainsäädännön tukea. Suunnitteluprosessin sujuvuutta ja vaikuttavuutta voidaan parantaa selkeyttämällä rahoitusmalleja ja tukiehtoja, edistämällä sektoreiden ja toimijoiden välistä vuoropuhelua sekä tarjoamalla avoimia ja helposti saatavilla olevia suunnittelutyökaluja ja paikkatietoaineistoja, jotka vastaavat valuma-alueen suunnittelun tarpeisiin. Vesienhallinnan toimien vaikuttavuustutkimuksen tulokset osoittivat, että toimilla on mahdollista lieventää samanaikaisesti useita ympäristöön ja alkutuotantoon kohdistuvia haitallisia vaikutuksia. Tehokkaita toimia ravinnekuormituksen hallintaan ovat kosteikot ja suojavyöhykkeet, edellyttäen että niihin liittyvät rakenteet on pystytty mitoittamaan riittävällä tavalla. Kaikilla tarkastelluilla toimenpiteillä voidaan parantaa eroosion, kuivuuden ja tulvien hallintaa. Erityisesti kuivuuden haitallisista vaikutuksista kärsivillä alueilla, kuten happamilla sulfaattimailla, säätösalaajituksen ja siihen asennettavan salaajakastelujärjestelmän avulla voidaan parhaiten estää pohjavedenpinnan laskua liian syvälle. Salaajitus voi yleisesti parantaa maan kasvukuntoa ja kantavuutta poistamalla ylimääräisen veden maaperän ylemmistä kerroksista, mikä helpottaa maanviljelyä. Tarkastelluilla luonnonmukaisilla peruskuivatuksen menetelmillä voidaan puolestaan edistää alueen luonnon monimuotoisuutta. Lisäksi luonnonmukaisemmat peruskuivatusmenetelmät vähentävät aineksen huuhtoutumista, mikä puolestaan vähentää uomien liettymistä ja siten niiden kunnossapitotarvetta.

Raaseporinjoen valuma-alueen kuormitustulokset osoittivat kuormittavimpien alueiden sijaitsevan pääuoman läheisyydessä, jonne on toteutettu useita vesienhallintaratkaisuja, kuten kaksitasouomaa, kosteikkoja sekä laskeutusaltaiden ja pohjakynnysten sarjoja. Kaksitasouomiin liittyvien tulvatasanteiden on jo havaittu vähentäneen peltojen tulvimista. Vesienhallintatoimien vaikutukset ravinnekuormitukseen näkyvät puolestaan vasta pidemmällä aikavälillä. Vesienhallintaratkaisujen toteuttaminen kasvatti kokonaisfosforin, -typen ja kiintoaineen pitoisuuksia, mutta niiden odotetaan laskevan, kun kasvillisuus ja uomaston pohja ehtivät asettua. Joella tehdään jatkuvaa virtaaman ja veden laadun seurantaa, joiden avulla selvitetään, miten toimet vaikuttavat kuormituksen vähenemiseen.

4.2 Sievin säätösalaajakenttä: Säätösalaajitus ja salaajakastelu

Säätösalaajitus- ja salaajakastelukokeen tulokset osoittivat, että pellon tuottavuutta voi merkittävästi parantaa pohjaveden tasoa nostamalla. Tällä kentällä pohjaveden tason nostaminen vaatii kastelua, sillä pohjamaa ei ole läpäisemätön, ja peltoalue ei saa merkittävää määrää vettä ympäröiviltä alueilta. Alueella on kuitenkin mahdollisuus käyttää jokivettä kasteluun, ja samalla kierrättää joen yläjuoksun maatalouden valumavesiä. Tulokset osoittavat, että kastelun mukana menneet ravinteet ovat olleet ainakin osittain

kasveille käyttökelpoisia, sillä vaikka kastelu aiheutti vuonna 2024 jopa 100 mm vastaavan määrän enemmän salaojavaluntaa, typen kokonaiskuormitus jäi verrokkikientää vähäisemmäksi, ja fosforin kuormitus oli samaa suuruusluokkaa. Tulokset myös osoittavat, että salaojakastelu ei aiheuta maassa jo olevien ravinteiden huuhtoutumista. Samaan aikaan säädön ja kastelun avulla saavutettiin merkittävä sadonlisä vuonna, joka oli haasteellinen syysvehnälle.

Tällä karkealla kivennäismaalla ei havaittu systemaattista vaikutusta hiilidioksidin nettoemissioon säätösalojitetulla ja kastellulla alueella verrokkialueeseen verrattuna, vaikka trendi vähäisempään emissioon oli havaittavissa. Tämä tulos poikkeaa turvemaiden tutkimuksista, joilla pohjaveden tason nostamisella on osoitettu olevan kasvihuonekaasujen muodostumista vähentävä vaikutus.

4.3 Sievin Korvenoja: valtaojan padotus

Korvenojan padotuskoe osoitti, että padotuksen ja ympäröivien lohkojen säätösalojitukset toimivat toivotulla tavalla, ja pitivät pohjavedenpinnan korkeammalla kuin ilman padotusta. Mittausten perusteella voidaan myös todeta, että padon sijainti ja mitoitus ovat optimaalisia. Padon valuma-alue tarjoaa padotukselle riittävästi vettä, jotta vedenpinta myös kasvukauden aikana, kun evapotranspiraatio on suurimmillaan, pysyy padotuskorkeudessa.

Kokeessa ei mitattu alueelta tulevan valunnan laatua tai nurmisatoa, jonka takia suorien johtopäätösten tekeminen padotuksen vaikutuksesta näihin ei ole mahdollista. Sievin säätökentän tuloksia (ks. kappale 3.2) ei voida suoraan yleistää Korvenojan alueelle, sillä alueilla on merkittäviä hydrologiaan vaikuttavia eroja, mm. maalajin ja kaltevuuden suhteen. Voidaan kuitenkin arvioida, että onnistuneen padotuksen vaikutukset ovat samansuuntaisia kuin Sievin säätökentällä havaitut, ja näin olettaa, että padotus vähentää ainakin sen vaikutuksen piirissä olevilta pelloilta tulevaa valuntaa ja typpikuormitusta sekä edistää sadon muodostumista.

Korvenojan alueella tehtyjä mittauksia ja maalajianalyysijä hyödynnettiin myös Maatalouden alueellisen vesienhallinnan laskenta-alusta (MAVELA) -hankkeessa mallisovelluksen testaamiseen ja kalibrointiin. Hanke toteutettiin 1.1.2023–15.6.2025.

4.4 Nummela: täydennysojitus, maan biologinen ja mekaaninen kuohkeutus ja fosforilannoitus

Nummelan koekentällä kaikki maan rakenneominaisuuksista tehdyt analyysit viittasivat siihen, että kuohkeutustoimet parantavat maan rakenneominaisuuksia, vaikka suuren hajonnan takia tulokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Biologinen kuohkeutus näytti parantavan erityisesti maan orgaanisen aineksen määrää, kun taas mekaaninen löyhensi maata mekaanisesti. Kumpikin kuohkeutustoimi, ja selvimmin niiden yhdistelmä, näyttivät parantavan maan huokoisuutta ja vedenpidätyskykyä. Sadon määrään ja juurikanavien tiheyteen kuohkeutustoimilla ei näyttänyt yhden vuoden tulosten perusteella olevan vaikutusta.

Koekentän aiemmissa hankkeissa on jo todettu, että täydennysojitus lisää vesistökuormitusta suurentuvan salaojavalunnan takia. Tässä hankkeessa tehty vertailu kuohkeu-

tuskäsittelylohkon ja verranelohkon välillä osoitti, että kuohkeutustoimien vaikutukset salaojavalunnan ravinne- ja kiintoainehuuhtoumiin ovat erilaiset. Nurmenviljely (biologinen kuohkeutus) vähentää salaojavalunnan mukana tulevaa kuormitusta pienentyneiden pitoisuuksien ansiosta. Liukoisen fosforin pitoisuutta ja sen myötä myös kuormitusta nurmen viljely kuitenkin kasvattaa. Jankkurointi (mekaaninen kuohkeutus) on raju käsittely, ja sen myötä salaojavalunnan mukana tuleva kuormitus kasvaa huomattavasti sekä pitoisuuksien suurenemisen (pl. liukoinen fosfori) että valunnan selvän kasvun vuoksi. Tämän hankkeen aikana ei pystytty vielä selvittämään, kuinka kauan mekaaninen kuohkeutus lisää salaojavalunnan mukana tulevaa kuormitusta.

Hankkeessa ei myöskään pystytty selvittämään täydennysojituksen eikä kuohkeutustoimien vaikutusta pintakerrosvalunnan ravinne- ja kiintoainehuuhtoumiin, sillä verranelohkon pintavalunnat olivat epäluotettavia. Tarkastelemalla kuohkeutuslohkon pintavaluntojen osuutta sadannasta nähdään kuitenkin, että täydennysojitus ja salaojituksen tehostuminen vähentää pintakerrosvaluntaa huomattavasti. Kuohkeutustoimien vaikutus pintavalunnan osuuteen on vähäisempi. Märkydestä kärsineen maan fosforilannoituskokeen perusteella huonot sadot eivät johdu fosforin puutteesta vaan märkyiden aiheuttamista muista vaurioista maassa. Tähän johtopäätökseen päädyttiin, sillä kokeessa saatiin samansuuruiset sadot lannoitemäärästä riippumatta. Ainoastaan kaikkein suurin lannoitemäärä (P 45 kg/ha) paransi hieman satoa ja maan fosforilukua, mutta suuren lannoitemäärän käyttö pienen sadonlisän takia ei ole järkevää. Fosforilannoitetta on järkevää käyttää vain sen verran kuin sato ottaa maasta fosforia, mikä tässä kokeessa oli 15 kg/ha.

4.5 Gårdskulla

Muutokset viljelyolosuhteissa, kuten siirtyminen tavanomaisesta viljanviljelystä luomunurmeen tai karjanlaidunnukseen, tai luomunurmen viljelystä takaisin viljanviljelyyn maanmuokkaustoimineen, vaikuttivat tutkimusjakson aikana peltolohkojen kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen hydrologisten vuosien välisiä eroja enemmän. Korkeimmat kokonaisvalunnan kuormitusarvot sekä liukoisen kokonais- että mineraalityypen osalta havaittiin odotetusti viljanviljelyn ajanjakson aikana, jolloin typpilannoitteet olivat käytössä. Ero viljanviljelyjakson kokonais- ja mineraalityypen kuormituksessa muihin ajanjaksoihin verrattuna oli verrattain suuri: lannoitteiden käytön ja muiden viljelyyn liittyvien toimenpiteiden kuten maamuokkauksen seurauksena viljanviljelyvuosien keskimääräinen kokonaistyyppikuorma oli 3–5-kertainen ja mineraalityypikuorma 5–7-kertainen muihin ajanjaksoihin verrattuna. Korkein keskimääräinen kokonaisfosforikuormitus kokonaisvalunnassa havaittiin puolestaan karjalaidunkauden aikana. Karjanlaidunvuosien keskimääräinen kokonaisfosforikuormitus oli viljanviljelyvuosien kuormitusta suurempi huolimatta siitä, että viljanviljelyssä käytettiin myös fosforilannoitteita. Karjanlaidunvuosien keskimääräinen kokonaisfosforikuorma oli 1–2-kertainen ja fosfaattifosforikuorma 3–4-kertainen muihin ajanjaksoihin verrattuna. Korkein kokonaisvalunnan kiintoainekuorma havaittiin yksittäisen luomurukiin viljelyvuoden aikana, jota oli edeltänyt kahdeksan vuoden luonnonmukainen nurmiviljely. Tämä kiintoainekuorma oli 1–2-kertainen muiden ajanjaksojen keskimääräisiin kiintoainekuormiin verrattuna.

4.6 Jatkotutkimustarpeet

VESIMA-hanke kokosi yhteen lohko- ja valuma-alueen vesienhallinnan keinoja ja tarkasteli näiden keinojen vaikuttavuutta ympäristön ja tuottavuuden näkökulmasta. Tulosten perusteella sekä paikallis- että peruskuivatuksen toimilla voidaan saavuttaa ympäristö- ja tuotantohyötyjä, mutta toimet pitää mitoittaa oikein ja niiden ylläpito ja oikea käyttö on ensiarvoisen tärkeää. Kuormitusta vähentävillä lohkotason toimenpiteillä on valuma-alueen vaikuttavuutta, mutta vaikutuksen kvantifioiminen vaatii sekä pitkäjänteistä seurantaa, että lohkokohtaisten toimien huomioimista valuma-alueen tarkasteluissa. Peltojen vesitalouden ja huonosti toimivan ojituksen huomiotta jättäminen pitkiksi ajoiksi voi johtaa sekä maan rakenteen merkittävään heikkenemiseen, että fosforin pädätyskyvyn romahtamiseen. Tämä heikentää merkittävästi maan tuottavuutta ja lisää ympäristökuormitusta, kun ravinteita pidättävä ekosysteemipalvelu heikkenee. Maan rakennetta on mahdollista parantaa, mutta korjaavat toimenpiteet ovat hitaita ja epävarmoja.

Tässä tutkimuksessa havaittiin, että vaikka kasvihuonekaasuemissioissa ei tällä pienellä ja melko hajanaisella näytemäärällä havaittu systemaattista eroa vesienhallintatarkaisujen välillä, korkeampi pohjaveden taso saattaa olla yhteydessä pienempään hiilidioksidin tuottoon myös kivennäismailla. Koska maan hiilipitoisuus kivennäismailla on yksi keskeisistä maan terveyttä kuvaavista mittareista, tämä havainto vaatii lähempää tarkastelua. Kivennäismaiden hiili, erityisesti syvissä maakerroksissa, on yksi pysyvimmistä hiilinieluista. Se tarjoaa arvokkaan ekosysteemipalvelun ilmastomuutoksen hillinnässä, joten pitkän aikavälin toimet tämän hiilinielun säilyttämiseksi ja vahvistamiseksi ovat erittäin tärkeitä.

Sievin säätösalaajitus- ja salaajakastelukoe on yksi harvinaisista tavanomaisella kivennäismaalla toteutetuista säätösalaajitustutkimuksista Suomessa. Vaikka siitä saatuja tuloksia ei voida suoraan yleistää valtakunnalliselle tasolle eri maalajien yli, niin ne antavat kuitenkin viitteitä säätösalaajituksen potentiaalista ympäristökuormituksen vähentämisessä ja maatalouden tuottavuuden parantamisessa. Tämän potentiaalın tarkentamiseksi tarvitaan lisää tutkimusta sekä tällä koealueella että muilla maalajeilla ja maantieteellisillä alueilla. Pitkät mittaussarjat samasta paikasta mahdollistavat hydrologisesti erilaisten vuosien ja eri viljelytoimien vaikutusten havainnoimisen, ja eri paikoissa ja eri maalajeilla tehty tutkimus luo kattavamman ja uskottavamman kuvan menetelmän todellisesta käyttökelpoisuudesta ja vaikutuksista.

Nummelan salaajakentän kuohkeutuskokeen tulokset antoivat myönteisiä tuloksia kuohkeutustoimien vaikutuksesta maan rakenneominaisuuksiin, mutta suuren hajonnan takia tulokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Kuohkeutustoimien vaikutuksia olisi tarpeen seurata uudenaikaisilla kuvantamismenetelmillä, jotta saadaan selville toimien pitkäaikaiset vaikutukset. Nummelan koekenttä tarjoaa erinomaisen tutkimusalueen säätösalaajituksen vaikutusten selvittämiseen savimailla. Aiheesta tarvitaan paljon lisätietoa, sillä savimaiden soveltuvuus säätösalaajitukseen ja salaajakasteluun vaihtelee merkittävästi. Savimaat voivat rakenteensa vuoksi olla joko erittäin hyvin tai erittäin huonosti soveltuvia näihin menetelmiin.

Mittaustoiminnan jatkaminen Gårdskullan peltolohkoilla tarjoaa jatkossakin uutta tietoa viljely- ja sääolosuhteiden vaikutuksista maatalouden vesistökuormitukseen. Yksi keskeinen tutkimuskysymys on mm. biologisen typensidonnan vaikutus vesistökuormitukseen: Lohkolla 1 on vuodesta 2021 viljelty apilanurmea, minkä vaikutuksia kiintoaine- ja ravinnekuormitukseen voidaan arvioida, kun havaintoja on kertynyt useiden vuosien ajalta. Lohkolla 2 voidaan puolestaan tutkia esimerkiksi pitkään muokkaamatta olleen maan rakenneominaisuuksia, ja verrata niitä säännöllisesti uusitun ja muokatun apilanurmilohkon ominaisuuksiin.

Kirjallisuusviitteet

- Ahopelto, L., Parjanne, A., Mäkinen, K., Pilli-Sihvola, K., Keränen, M. & Rytkönen, A.-M. 2023. Vesienhallinta on oleellinen sopeutumiskeino ympäristömme muuttuessa. *Vesitalous* 1/2023. s. 5–8.
- Bärlund, I., Tattari, S., Yli-Halla, M. & Åström, M. 2004. Effects of sophisticated drainage techniques on groundwater level and drainage water quality on acid sulphate soils. Final report of the HAPSU project. 68 s. ISBN 952-11-1848-2 (pdf).
- Deng, Y., 2024. Investigation of Agricultural Loads in Experimental Field under Varying Cultivation Practices and Weather Conditions. Master's thesis. Aalto University, Master's Programme in Water and Environmental Engineering. 58 p.
- Eijkelkamp. 2013. 09.02 Laboratory-permeameters, Operating instructions. Eijkelkamp Agrisearch Equipment, the Netherlands.
- Eijkelkamp. 2022a. 08.01 Sandbox for pF-determination, User manual. Royal Eijkelkamp, the Netherlands.
- Eijkelkamp. 2022b. 08.03 Pressure membrane apparatus, User manual. Royal Eijkelkamp, the Netherlands.
- Huttunen, M., Huttunen, I., Korppoo, M., Vento, T., & Vehviläinen, B. (2014, 12 1). Finnish Environment Institute. Retrieved 10 14, 2023, from https://www.syke.fi/enUS/Research_development/Water/Models_and_tools/Models_for_river_basin_management_planning/A_water_quality_and_nutrient_load_model_system_for_Finnish_watersheds_VEMALA
- Ilmatieteen laitos. 2024. Ilmatieteen laitoksen havaintojen latauspalvelu. <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/download-observations>
- International Organization for Standardization. 2016. Geotechnical investigation and testing — Laboratory testing of soil, Part 4: Determination of particle size distribution (ISO 17892-4:2016).
- Keskinen, S. 2024. Maatalousvaltaisten valuma-alueiden vesienhallinnan suunnittelu ja toimenpiteiden vaikuttavuus: Tapaustutkimus Raaseporinjoella. Diplomityö. Aalto-yliopisto. 76+12 s.
- Koskiahio, J. & Puustinen, M. 2019. Suspended solids and nutrient retention in two constructed wetlands as determined from continuous data recorded with sensors. *Ecological Engineering*. 137, 65–75.
- Lind, L., Hasselquist, E.M. & Laudon, H. 2019. Towards ecologically functional riparian zones: A meta-analysis to develop guidelines for protecting ecosystem functions and biodiversity in agricultural landscapes. *Journal of Environmental Management*. 249, 109391.
- Linnamaa, J., Hiironen, R., Nuotio, E. & Valkama, P. 2023. Valuma-aluelähtöinen suunnittelu ja vesienhoidon toimenpiteiden implementointi – haasteet Suomessa ja EU:n alueella. Etelä-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 52 s. ISBN PDF: 978-952-398-143-0
- Luke 2013, Luonnonvarakeskuksen tilastotietokanta. Ojitettu pelto- ja puutarha-ala muuttujina Tieto, Vuosi, ELY-keskus ja Ala. Säätosalaajitettua pinta-ala. Viitattu 12.12.2025. https://statdb.luke.fi/PxWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_maa_vilhoi/
- Marttunen, M., Rantala, T., Kajanus, M., Turunen, V., Virkkumaa, S., Häkkinen, M., Seppälä, P., Räsänen, A. 2024. Monitavoitteinen valuma-alue suunnittelu: Yhteenveto ohjeista, oppaista, tietotuotteista ja hankkeista. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 17/2024. Suomen ympäristökeskus. 92 s. ISBN 978-952-11-5665-6 (pdf)
- Nurminen, J., Paasonen-Kivekäs, M., Äijö, H. 2018. Tuotantosuunnan muutoksen vaikutus savipelloilta tulevaan ravinne- ja kiintoainekuormitukseen. Gårdskullan kartanon mittaustulokset 2008-2017. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 34. 55 s. ISBN 978-952-5345-42-1 (verkkojulkaisu). https://www.salaojayhdistys.fi/wp-content/uploads/2023/04/Gardskulla_TY_34_1010_2018_pdf

- Ovaska, S., Liski, E., Äijö, H., Häggblom, O., Paasonen-Kivekäs, M. 2021. Perusparannukset ja ravinnetase suomalaisessa peltoviljelyssä. Loppuraportti. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 36. 94 s. <https://www.salaojitustutkimus.fi/wp-content/uploads/2021/05/36-2021.pdf>
- Paasonen-Kivekäs, M., Peltomaa, R., Vakkilainen, P. & Äijö, H. 2016. Maan vesi- ja ravinnetalous – Ojitus, kastelu ja ympäristö. 2. täydennetty painos. Salaojayhdistys ry. 488 s. ISBN 978-952-5345-34-6
- Paasonen-Kivekäs, M., Karvonen, T., Vakkilainen, P. 2000. Vesitalouden säädön vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen. Julkaisussa: Vakkilainen, P. (toim.): Peltoviljelyn ravinnehuuhtoumien vähentäminen pellon vesitaloutta säätämällä – loppuraportti. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote N:o 25, ss. 8–40.
- Raaseporin kaupunki. 2020. Tietoa Raaseporinjoesta. Päivitetty 28.4.2020. Viitattu 6.6.2024. Saatavissa: <https://www.raasepori.fi/asuminen-ja-ymparisto/ym-paristo/projektit/raaseporinjoki/tietoa-raaseporinjoesta/>
- Rytönen, A.-M., Ahopelto, L., Helkimo, J., Olin, S., Keto, A., Leinonen, A. & Häggblom, O. 2024. Valuma-aluesuunnittelun tiekartta vuoteen 2030. Valtioneuvosto julkaisuja, 6. Maa- ja metsätalousministeriö & ympäristöministeriö. 45 s. ISBN pdf: 978-952-383-727-0
- Salo, T., Myllys, M. & Parkkila, P. 2021. Maatalouden ja vesihuollon sopeutumistoimet lisääntyviin kuivuusjaksoihin. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 87/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 59 s
- Salo, H., Mellin, I., Sikkilä, M., Nurminen, J., Äijö, H., Paasonen-Kivekäs, M., Virtanen, S., Koivusalo, H. 2019. Performance of subsurface drainage implemented with trencher and trenchless machineries. Agricultural Water Management, Vol 213, 1, March, 2019: 957-967. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.12.010>
- Sundholm, S. 2021. Simulointi ICECREAM-mallilla: valunnan, eroosion ja fosforin kulkeutumisen mallintaminen pellolta. Diplomityö, Aalto-yliopisto. <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/111769>
- SYKE. 2023. WSFS-Vemala kuormitustiedot. Päivitetty: 16.5.2024. Saatavissa: <https://ckan.ymparisto.fi/dataset/%7B7E6EB982-A3CA-4DE3-87C0-1B61462442DF%7D>
- Turunen, M., Warsta, L., Paasonen-Kivekäs, M., Nurminen, J., Alakukku, L., Myllys, M. & Koivusalo, H. 2015. Effects of terrain slope on long-term and seasonal water balances in clayey, subsurface drained agricultural fields in high latitude conditions. Agricultural Water Management. 150, 139–151.
- Vakkilainen, P., Alakukku, L., Myllys, M., Nurminen, J., Paasonen-Kivekäs, M., Peltomaa, R., Puustinen, M. & Äijö, H. 2010. Pellon vesitalouden optimointi. Loppuraportti 2010. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 30. 114 s.
- Västilä, K., Väisänen, S., Koskiaho, J., Lehtoranta, V., Karttunen, K., Kuussaari, M., Järvelä, J. & Koikkalainen, K. 2021. Agricultural Water Management Using Two-Stage Channels: Performance and Policy Recommendations Based on Northern European Experiences. Sustainability. 13(16), 9349.
- Yli-Halla, M., Virtanen, S., Regina, K., Österholm, P., Ehnvall, B., Uusi-Kämpä, J. 2020. Nitrogen stocks and flows in an acid sulfate soil. Environmental Monit Assess, 192: 192–751.
- Äijö, H., Myllys, M., Salo, H., Salla, A., Paasonen-Kivekäs, M., Koivusalo, H., Mäkelä, M., Nurminen, J., Paavonen, E., Isomäki, K., Jokinen, V., Laine-Kaulio, H., Häggblom, O., Sikkilä, M. 2023. Vesitalouden hallinta vesiensuojelussa 2 (VesiHave 2). Loppuraportti. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 37. 89 s. ISBN 978-952-5345-54-4 (verkkojulkaisu). <https://www.salaojayhdistys.fi/wp-content/uploads/2023/08/37-2023.pdf>
- Äijö, H., Myllys, M., Sikkilä, M., Salo, H., Salla, A., Nurminen, J., Paasonen-Kivekäs, M., Koivusalo, H. 2021. Vesitalouden hallinta vesiensuojelussa (VesiHave). Loppuraportti. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 35. 85 s. ISBN 978-952-5345-46-9 (verkkojulkaisu). https://www.salaojitustutkimus.fi/wp-content/uploads/2021/04/Vesitalouden-hallinta-vesiensuojelussa-VesiHave_loppuraportti.pdf

- Äijö H., Nurminen, J., Myllys, M., Sikkilä, M., Salo, H., Paasonen-Kivekäs, M., Turunen, M., Koivusalo, H., Alakukku, L., Puustinen, M., 2018. Toimivat salaojitusmenetelmät kasvintuotannossa (TOSKA) – Jatkohankkeen raportti 2018. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 33. 44 s. <https://www.salaojitustutkimus.fi/wp-content/uploads/2019/11/33-2018.pdf>
- Äijö, H., Myllys, M., Sikkilä, M., Salo, H., Nurminen, J., Häggblom, O., Turunen, M., Paasonen-Kivekäs, M., Warsta, L., Koivusalo, H., Alakukku, L., Puustinen, M. 2017. Toimivat salaojitusmenetelmät kasvintuotannossa (TOSKA). Loppuraportti 2017. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 32. 108 s. <https://www.salaojitustutkimus.fi/wp-content/uploads/2019/11/32-2017.pdf>
- Äijö, H.; Myllys, M.; Nurminen, J.; Turunen, M.; Warsta, L.; Paasonen-Kivekäs, M.; Korpelainen, E.; Salo, H.; Sikkilä, M.; Alakukku, L.; Koivusalo, H.; Puustinen, M. 2014. Salaojitustekniikat ja pellon vesitalouden optimointi. PVO2-hanke Loppuraportti 2014. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 31. 130 s. <https://www.salaojayhdistys.fi/wp-content/uploads/2022/05/31-2014.pdf>

Liitteet

Liite 1. Sievin säätökentän viljelytoimenpiteet 2022–24

Liite 2. Sievin säätösalaojituskoe

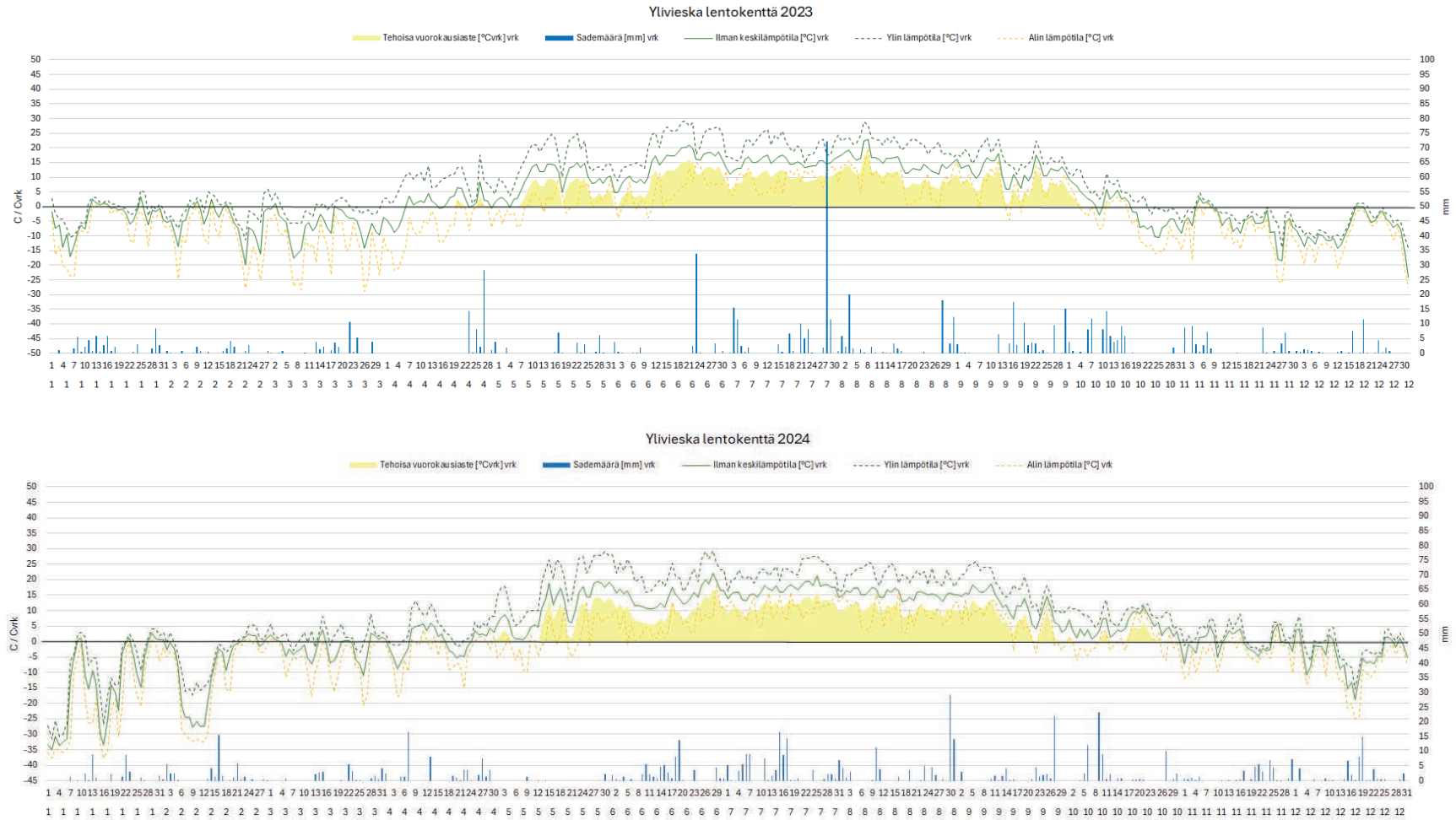
Liite 3. Gårdskullan lohkokoe

Liite 4. Vesienhallinnan suunnittelun ohjeistukset ja työkalut

Liite 1. Sievin säätökentän viljelytoimenpiteet 2022–24

	2022	2023	2024
Kevätmuokkaus			
Miten ja milloin tehtiin			
Mitä kylvettiin			
Laji, lajike ja milloin	Monivuotinen timoteinurmi (2/3 satovuosi)	Monivuotinen timoteinurmi (3/3 satovuosi)	Syysvehnä Ceylon 245 kg/ha
Kylvölannoitus			
Mikä lannoite, kuinka paljon/ha	YaraMila Pellon Y3 180 kg/ha	YaraMila Pellon Y3 180 kg/ha	YaraMila Pellon Y5 160 kg/ha syksyllä YaraMila Pellon Y3 400 kg/ha keväällä 20.5.
Lannanlevitys			
Mitä levitettiin, kuinka paljon/ha ja milloin	Ei lietelantaa	Ei lietelantaa	Ei lietelantaa
Torjunta-ainekäsittely			
Mikä aine ja milloin	7.6. Rikka-aine ArianeS 2 l/ha 15.6. Korrensäade Moddus evo 0,7 l/ha	5.6. Rikka-aine ArianeS 2 l/ha 18.6. Korrensäade Moddus evo 0,7 l/ha	Pixxaro Premium rikka-aine 0,25 l/ha + premium classics sg 12 g/ha + 0,1 l/ha kiinnite
Puinti			
Milloin	21.8.	1.9.	6.9.
Syysmuokkaus			
Miten tehtiin ja milloin		Kyntö (paluuaura) 10.9. Äestys (lapiorullaäes) 11.9. Syysvehnä kylvö 13.9.	7.10. lietelanta 18 tn/ha ja kyntö (paluuaura)

Liite 2. Sievin säätösalaajituskoee



Kuva 2.A. Sievin säätökoekentän ja Korvenojan padotuskokeen lähialueen (Ylivieskan lentokenttä) sääolosuhteet 2023–2024 Ilmatieteen laitoksen säähavaintojen perusteella.

Taulukko 2.A. Hiilidioksidin (CO₂) vuosittaiset (2020–2024) päästöt (t ha⁻¹ y⁻¹) Sievin säätösalaajituksen koekentällä. Tilastollisesti merkitsevät erot säätö- ja verrokkialueen välillä on merkitty *-symbolilla, ja saman koealueen eri vuosien välillä on merkitty eri kirjaimin.

		Säätöalue CO ₂ (g m ⁻² vrk ⁻¹)				Verrokkialue CO ₂ (g m ⁻² vrk ⁻¹)			
		mean	stdev	95% CI	N	mean	stdev	95% CI	N
2020	toukokuu	2,4 b	± 0,7	0,1; 4,6	4	3,5 b	± 1,8	1,2; 5,8	4
	syyskuu	8,8 a	± 1,9	7,2; 10,4	8	9,1 a	± 3,4	7,5; 10,7	8
	lokakuu	4,9 ab	± 1,5	2,7; 7,2	4	5,8 ab	± 1,2	3,6; 8,1	4
2021	toukokuu	13,3 a	± 9,1	10,0; 16,6	8	9,2 a	± 2,9	5,9; 12,5	8
	elokuu	11,4 a	± 1,7	6,7; 16,1	4	10,0 a	± 2,6	5,3; 14,7	4
	lokakuu	5,8 ab	± 1,8	1,0; 10,5	4	4,7 ab	± 1,1	0,02; 9,5	4
	marraskuu	0,01 b	± 0,01	-4,7; 4,7	4	0,01 b	± 0,01	-4,7; 4,7	4
2022	elokuu	17,4 a	± 2,6	16,0; 18,8	4	15,6 a	± 1,0	14,2; 17,0	4
	syyskuu	5,4 ab	± 0,8	4,0; 6,7	4	7,3 ab	± 1,0	5,9; 8,7	4
	marraskuu	1,3 b *	± 0,4	-0,1; 2,7	4	3,2 b *	± 0,7	1,9; 4,6	4
2023	kesäkuu	8,7 a *	± 2,3	5,9; 11,5	20	12,1 a *	± 2,9	9,3; 14,9	20
	elokuu	6,0 b *	± 1,1	2,4; 9,5	12	8,3 b *	± 1,3	4,7; 11,8	12
	syyskuu	12,1 a	± 12,3	8,5; 15,7	12	17,0 a	± 10,5	13,4; 20,6	12
2024	heinäkuu								

Normality tests of Kolmogorov-Smirnov (p <0,05) and Shaphiro-Wilk (p <0,001), Levene's test of equality of error variances (based on mean p >0,05), F test for heteroskedasticity (p >0,05). * Independent-samples Mann-Whitney U test (asymptotic p <0,05). a–b Independent-samples Kruskal-Wallis test (asymptotic p <0,05).

Taulukko 2.B. Typpioksiduulin (N₂O) vuosittaiset (2020–2024) päästöt (kg ha⁻¹ y⁻¹) Sievin säätösalaajituksen koekentällä. Tilastollisesti merkitsevät erot säätö- ja verrokkialueen välillä on merkitty *-symbolilla, ja saman koealueen eri vuosien välillä on merkitty eri kirjaimin.

		Säätöalue N ₂ O (mg m ⁻² vrk ⁻¹)				Verrokkialue N ₂ O (mg m ⁻² vrk ⁻¹)			
		mean	stdev	95% CI	N	mean	stdev	95% CI	N
2020	toukokuu	0,3 a	± 0,1	-0,2; 0,8	4	1,0 a	± 1,5	0,5; 1,6	4
	syyskuu	0,1 b *	± 0,1	-0,2; 0,5	8	0,2 a *	± 0,1	-0,1; 0,6	8
	lokakuu	0,2 ab	± 0,1	-0,4; 0,7	4	0,1 a	± 0,03	-0,4; 0,6	4
2021	toukokuu	0,3 a	± 0,2	0,1; 0,5	8	0,5 a	± 0,7	0,3; 0,7	8
	elokuu	0,2 ab	± 0,1	-0,1; 0,5	4	0,1 ab	± 0,1	-0,2; 0,4	4
	lokakuu	0,1 ab	± 0,2	-0,2; 0,4	4	0,1 ab	± 0,1	-0,2; 0,4	4
	marraskuu	0,003 b	± 0,03	-0,3; 0,3	4	0,003 b	± 0,02	-0,3; 0,3	4
2022	elokuu	0,1 a	± 0,1	0,01; 0,2	4	0,1 a	± 0,04	0,1; 0,2	4
	syyskuu	0,1 a	± 0,1	-0,01; 0,1	4	0,04 a	± 0,03	-0,04; 0,1	4
	marraskuu	0,1 a	± 0,1	0,04; 0,2	4	0,1 a	± 0,1	-0,02; 0,1	4
2023	kesäkuu	1,8 a	± 1,1	0,01; 3,5	20	1,7 a	± 1,6	-0,02; 3,5	20
	elokuu	0,3 b *	± 0,1	-2,0; 2,5	12	0,1 b *	± 0,1	-2,2; 2,3	12
	syyskuu	3,8 a	± 4,6	1,6; 6,1	12	8,3 a	± 9,3	6,1; 10,6	12
2024	heinäkuu								

Normality tests of Kolmogorov-Smirnov (p <0,05) and Shaphiro-Wilk (p <0,001), Levene's test of equality of error variances (based on mean p >0,05), F test for heteroskedasticity (p >0,05). * Independent-samples Mann-Whitney U test (asymptotic p <0,05). a–b Independent-samples Kruskal-Wallis test (asymptotic p <0,05).

Taulukko 2.C. Metaanin (CH₄) vuosittaiset (2020–2024) päästöt (kg ha⁻¹ y⁻¹) Sievin säätösalaoituksen koekentällä. Tilastollisesti merkitsevät erot säätö- ja verrokkialueen välillä on merkitty *-symbolilla, ja saman koealueen eri vuosien välillä on merkitty eri kirjaimin.

		Säätöalue CH ₄ (mg m ⁻² vrk ⁻¹)				Verrokkialue CH ₄ (mg m ⁻² vrk ⁻¹)			
		mean	stdev	95% CI	N	mean	stdev	95% CI	N
2020	toukokuu	0,1 ab	± 0,4	-0,5; 0,6	4	0,5 a	± 1,2	-0,1; 1,1	4
	syyskuu	-0,1 b	± 0,3	-0,5; 0,4	8	-0,03 a	± 0,3	-0,4; 0,4	8
	lokakuu	0,9 a	± 0,6	0,3; 1,4	4	-0,5 a	± 0,6	-1,1; 0,1	4
2021	toukokuu	-0,1 a	± 0,3	-0,6; 0,4	8	0,1 a	± 0,3	-0,5; 0,6	8
	elokuu	-0,4 a	± 0,2	-1,1; 0,3	4	-0,6 a	± 0,2	-1,3; 0,1	4
	lokakuu	-0,1 a	± 0,2	-0,9; 0,6	4	-1,4 a	± 2,2	-2,2; 0,7	4
	marraskuu	-0,002 a	± 0,03	-0,7; 0,7	4	0,1 a	± 0,1	-0,7; 0,8	4
2022	elokuu	0,7 a	± 1,0	0,2; 1,2	4	-0,1 a	± 0,2	-0,6; 0,4	4
	syyskuu	-0,4 b	± 0,1	-0,9; 0,2	4	-0,2 a	± 0,3	-0,7; 0,3	4
	marraskuu	-0,2 ab	± 0,3	-0,7; 0,3	4	-0,5 a	± 0,6	-1,0; 0,1	4
2023	kesäkuu	-0,3 a *	± 0,3	-0,4; -0,1	20	0,1 a *	± 0,4	-0,1; 0,3	20
	elokuu	-0,6 a	± 0,4	-0,8; -0,4	12	-0,5 b	± 0,2	-0,7; -0,3	12
	syyskuu	-0,2 a	± 0,5	-0,4; 0,04	12	-0,2 ab	± 0,5	-0,4; 0,004	12
2024	heinäkuu								

Normality tests of Kolmogorov-Smirnov (p <0,05) and Shapiro-Wilk (p <0,001), Levene’s test of equality of error variances (based on mean p >0,05), F test for heteroskedasticity (p >0,05). * Independent-samples Mann-Whitney U test (asymptotic p <0,05). a–b Independent-samples Kruskal-Wallis test (asymptotic p <0,05).

Liite 3. Gårdskullan lohkokoe

Kokonaistypen ja -fosforin vuosikuormat sekä eri fraktioiden osuudet eri viljelykausina

Taulukko 3.A. Kokonaisvalunnan (l. pintakerros- ja salaojavalunta) mukana kulkeutuneet kokonaistypen (TN) vuosikuormat ($\text{kg ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$) sekä nitraatti- ja nitriittitypen ($\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$), ammoniumtypen ($\text{NH}_4\text{-N}$) ja orgaanisen typen (Org-N*) vuosikuormien osuudet TN-kuormasta Gårdskullan tutkimuslohkoilta vuosien 2008–2022 aikana viljelymenetelmien vaihdellessa. Tilastollisesti merkitsevät erot vuosikuormissa eri viljelymenetelmien välillä on merkitty eri kirjaimin**. Muokattu Dengin (2024) taulukon 4 mukaan.

Viljelymenetelmä	Lohko 1 viljelyaika	Lohko 2 viljelyaika	TN kuorma ($\text{kg ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$)	$\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	Org-N
Tavanomainen viljanviljely	2008–2012 (4 v)	2008–2011 (3 v)	20,5 a	84 % a	<1 % a	15 %
Luonnonmukainen nurmiviljely	2013–2021 & 2022 (8+1 v)	2020–2022 (2 v)	3,9 b	53 % b	7 % b	40 %
Luonnonmukainen lihakarjan laidunnus		2012–2020 (8 v)	5,5 b	56 % b	9 % b	35 %
Luonnonmukainen rukiinviljely	2020 (1 v)		7,2	43 %	5 %	52 %

* Orgaanisen typen laskennallinen osuus = $\text{TN} - \text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N} - \text{NH}_4\text{-N}$.

** Tilastollinen testaus TN, $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$ ja $\text{NH}_4\text{-N}$ vuosikuormille ($\text{kg ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$) Mann-Whitney testillä merkitsevyystasolla $p < 0,05$.

Taulukko 3.B. Pintakerros- ja salaojavalunnan mukana kulkeutuneet kokonaisfosforin (TP) vuosikuormat ($\text{kg ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$) sekä fosfaattifosforin ($\text{PO}_4\text{-P}$) vuosikuorman osuus TP-kuormasta Gårdskullan tutkimuslohkoilta vuosien 2008–2022 aikana viljelymenetelmien vaihdellessa. Tilastollisesti merkitsevät erot vuosikuormissa eri viljelymenetelmien välillä on merkitty eri kirjaimin*. Muokattu Dengin (2024) taulukon 6 mukaan.

Viljelymenetelmä	Lohko 1 viljelyaika	Lohko 2 viljelyaika	Pintakerrosvalunta		Salaojavalunta	
			TP ($\text{kg ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$)	$\text{PO}_4\text{-P}$	TP ($\text{kg ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$)	$\text{PO}_4\text{-P}$
Tavanomainen viljanviljely	2008–2012 (4 v)	2008–2011 (3 v)	0,1 b	25 % b	1,0 ab	21 % b
Luonnonmukainen nurmiviljely	2013–2021 & 2022 (8+1 v)	2020–2022 (2 v)	0,2 b	61 % b	0,8 b	20 % b
Luonnonmukainen lihakarjan laidunnus		2012–2020 (8 v)	0,5 a	62 % a	1,1 a	36 % a
Luonnonmukainen rukiinviljely	2020 (1 v)		0,1	20 %	1,2	14 %

* Tilastollinen testaus TP ja $\text{PO}_4\text{-P}$ vuosikuormille ($\text{kg ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$) Mann-Whitney testillä merkitsevyystasolla $p < 0,05$.

Liite 4. Vesienhallinnan suunnittelun ohjeistukset ja työkalut

Taulukko 4.A. Maatalouden vesienhallinnan ja valuma-aluesuunnittelun oppaat ja ohjeistukset.

Aihe / Monitavoitteisen vesienhallinnan ohjeistukset (viitteet ja linkki oppaaseen)

Valuma-aluetason suunnittelu

HAMK. (2022). Yhteistoiminnan kehittäminen valuma-aluesuunnittelussa.

Opitaan ojista – hankkeen kokemuksia Hämeessä. Luotu 30.12.2022.

Saatavissa: <https://storymaps.arcgis.com/sto-ries/a066656a680f401388885fed25a91f39>

Hiltunen, T., Jämsén, J., Joensuu, S., Heikkinen, K. & Vuollekoski, M. (2014). Opas metsätalouden vesiensuojelun suunnitteluun valuma-aluetasolla. TASO-hanke. Metsähallitus. 43 s.

Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-257-972-0>

Härkönen, L.H., Ilmonen, J., Tolonen, K.T., Vuorio, K., Ahola, M., Vaso, A., Käki, T., Lehtovaara, V., Haapalehto, S., Koljonen, S., Hautamäki, J., Olli, P., Leinonen, K., Tiusanen, M., Leinonen, A., Myllykangas, N. & Hellsten, S. (2022). Vesistö- ja valuma-aluekunnostukset Natura 2000 -alueilla: suunnittelun toimintamalli. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 37/2022. SYKE. 108 s.

Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/items/be690ad3-9dfd-4b66-9446-6d49a535506d>

Marttunen, M., Rantala, T., Kajanus, M., Turunen, V., Virkkumaa, S., Häkkinen, M., Seppälä, P. & Räsänen, A. (2024). Monitavoitteinen valuma-aluesuunnittelu: Yhteenveto ohjeista, oppaista, tietotuotteista ja hankkeista. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 17/2024. SYKE. 92 s.

Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/items/074949e2-01d8-4707-959a-f9ff33a13b03>

Rytkönen, A.-M., Ahopelto, L., Helkimo, J., Olin, S., Keto, A., Leinonen, A. & Häggblom, O. (2024). Valuma-aluesuunnittelun tiekartta vuoteen 2030. Valtioneuvosto julkaisuja, 6.

Maa- ja metsätalousministeriö & ympäristöministeriö. 45 s.

Saatavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/165409>

Vesi.fi. Asiantuntijan työpöytä. Verkkosivu. Viitattu 19.6.2024.

Saatavissa: <https://www.vesi.fi/asiantuntijan-tyopoyta/>

Vesi.fi. Teemana: Valuma-aluesuunnittelu. Verkkosivu. Viitattu 17.6.2024.

Saatavissa: <https://www.vesi.fi/teemasivu/valuma-aluesuunnittelu/>

Ojitus ja kastelu

– kastelu

– valtaojien perkaus

– avo-ojitus

– salaojitus

– säätösalojitus

Järvenpää, L. & Savolainen, M. (2015). Maankuivatuksen ja kastelun suunnittelu.

Ympäristöhallinnon ohjeita 4: Maankuivatuksen ja kastelun suunnittelu. 2. päivitetty painos.

SYKE. 191 s. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/items/38e3ed3e-d0ba-47f0-bf51-9d23bc613607>

Paasonen-Kivekäs, M., Peltomaa, R., Vakkilainen, P. & Äijö, H. (2016). Maan vesi- ja ravinnetalous – Ojitus, kastelu ja ympäristö. 2. täydennetty painos. Salaojayhdistys ry. 488 s. Saatavissa:

https://www.salaojayhdistys.fi/wp-content/uploads/2022/05/web_maanvesijaravinnetalous_B5_2016.pdf

Luoko ry. (2023). Kastelu peltoviljelyssä. LUOKO ry. 59 s.

Saatavissa: https://www.salaojayhdistys.fi/wp-content/uploads/2023/06/Kasteluopas_2023.pdf

Haukilehto, K. (2016). Opas valtaojien perkausten ja vesistöhankeiden rantaraivauksiin. Opas 1. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus. 17 s. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-314-385-2>

Mattila, T.J., Rajala, J., Ajosenpää, H. & Mynttinen, R. (2019). Kuivatus kuntoon peltolohko kerrallaan. Raportteja 195. OSMO-hanke. Helsingin yliopisto. 64 s.

Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/items/de79f82f-b3b0-4de4-a5ab-cea61af80d3a>

Salaojayhdistys ry. (2022). Salaojien kunnossapito. Salaojayhdistys ry. 40 s. Saatavissa: https://www.salaojayhdistys.fi/wp-content/uploads/2022/06/Salaojien-kunnossapito_www.pdf

Salaojayhdistys ry. (2015). Peltosalaoitus. Päivitetty 7.4.2020. Salaojayhdistys ry. 23 s. Saatavissa: https://www.salaojayhdistys.fi/wp-content/uploads/2022/02/Peltosalaoitusopas_2015_päivitetty-2020-1.pdf

Äijö, H., Paasonen-Kivekäs, M. & Peltomaa, R. (2009). Säätosalaotus.

Maaseutu-verkoston esite. Maaseutuverkosto. 11 s.

Saatavissa: https://www.salaojayhdistys.fi/pdf/saatosalaotus_kevyt_resoluutio.pdf

Kokoavat oppaat luonnonmukaisen vesirakentamisen toimenpiteistä

Hjerpe T., Hämäläinen, L., Koljonen, S., Jormola, J., Raitanen, H. & Västilä, K. (2020).

Maatalousalueiden virtavesien tilan parantaminen – menetelmiä ja suosituksia.

Suomen ympäristökeskuksen raportteja 29/2020. SYKE. 48 s.

Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/items/28400176-8a6e-446b-9f25-9465ac197fa5>

Jormola, J., Harjula, H. & Sarvilinna, A. (2003). Luonnonmukainen vesirakentaminen –

Uusia näkökulmia vesistösuunnitteluun. Suomen ympäristö 631. SYKE. 168 s.

Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/items/fcf705cb-55d0-4a40-a0e9-74d84c6f8a80>

Näreaho, T., Jormola, J., Laitinen, L. & Sarvilinna, A. (2006). Maatalousalueiden perattujen

purojen luonnonmukainen kunnossapito. Suomen ympäristö 52. SYKE. 64 s.

Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/items/bf1e1537-2102-4d68-ab58-6382605ef2c6>

Toivonen, I.-M. & Korkiakoski, P. (2014). Ojat kuntoon luonnonmukaisin menetelmin.

OPET-hanke. Hämeen ammattikorkeakoulu HAMK. 35 s.

Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-784-626-4>

Tulvasanteelliset kaksitasouomat

Ollila, K. (2021). Luonnonmukaisen esirakentamisen malliverkosto:

Kaksitasouomat Länsi-Suomessa. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus. 17 s.

Saatavissa: <https://www.doria.fi/handle/10024/182319>

Västilä, K., Ronkainen, T., Joensuu, S., Koskiahio, J., Kasvio, P., Tolkkinen, M., Karttunen, K.,

Jilbert, T. & Valkama, P. (2021b). Ohjeistus kaksitasouomien suunnitteluun, mitoittamiseen,

rakentamiseen ja hoitoon. Valumavesi -hanke. Versio 21.8.2021. SYKE.

Saatavissa: https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamishankkeet/Hankkeet/Valumavesihanke/julkaisut_ja_materiaalit

Pohjapadot

Vesihallitus. (1985). Pohjapatojen suunnittelu. Vesihallituksen monistesarja Nro 336. Vesihallitus. 142 s.

Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/items/660c59aa-9d40-4a6e-b2d3-d550f6ed3c0e>

Suojavyöhykkeet ja -kaistat

Ring, E., Andersson, E., Armolaitis, K., Eklöf, K., Finér, L., Gil, W., Glazko, Z., Janek, M., Libiete, Z., Lode, E.,

Mafek, S. & Piirainen, S. (2019). Hyvät Käytännöt suojavyöhykkeiden muodostamiseen vesistöjen varsille

Itämeren alueella – Käsi-kirja. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 10/2019. Korjattu 2. painos 6.9.2021.

LUKE. 24 s. Saatavissa: <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/543824>

Valpasuo-Jaatinen, P. (2005). Suojavyöhykkeiden perustaminen ja hoito. Maatalouden

ympäristötuen erityistuet v. 2000–2006. Maa- ja metsätalousministeriö.

Saatavissa: https://www.salaojayhdistys.fi/pdf/SuojavyoF6hykkeet_web.pdf

Kosteikat ja laskeutusaltaat

Hagelberg, E., Heliölä, J., Kuussaari, M., Hyvönen, T., Turtola, E., Huusela, E., Nuutinen, V. &

Miettinen, A. (2021). LumoVesi -työkalu - Viljelijän ja neuvojan apuväline ympäristön tilaa

parantavien toimenpiteiden kohdentamiseksi. BSAG. 24 s.

Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-257-473-2>

Karhunen, A. (2007). Maatalousalueiden monivaikutteisten kosteikkojen yleis-suunnitteluopas – ohjeita suunnittelijalle. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen raportteja 1/2007. SYKE. 46 s. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-2587-4>

Puustinen, M., Koskiahio, J., Jormola, J., Järvenpää, L., Karhunen, A., Mikkola-Roos, M., Pitkänen, J., Riihimäki, J., Svensberg, M. & Vikberg, P. (2007). Maatalouden monivaikutteisten kosteikkojen suunnittelu ja mitoitus. Suomen ympäristö 21/2007. SYKE. 77 s.

Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/items/09ce98ce-ac89-40ed-9b4a-2411656aaca7>

Puustinen, M. & Jormola, J. (2003). Kosteikot ja laskeutusaltaat. Maatalouden ympäristötuen erityistuet v. 2000–2006. Maa- ja Metsätalousministeriö. 11 s. Saatavissa:

<https://www.salaoyajyhdistys.fi/pdf/kosteikot2003.pdf>

Ruohutla, J. (1996). Kosteikkojen ja laskeutusaltaiden suunnittelu.

Suomen Ympäristökeskuksen moniste 11. SYKE. 50 s. Saatavissa:

<https://helda.helsinki.fi/items/7b8aa7af-b320-4686-9701-952bf299014c>

Kosteikkoviljely

Naukkarinen, V. (2021). Kosteikkoviljelyn kasviopas. BSAG. 23 s. Saatavissa:

https://www.bsag.fi/wp-content/uploads/2022/07/Kosteikkoviljelyn_kasviopas_2021_web.pdf

Maanparannus-aineet

Ajosenpää, T., Anttila, L., Ekholm, P., Heikkinen, J., Jaakkola, S., Kaseva, A., Kämäri, M., Kääriä, J., Luodeslampi, P., Malmilehto, S., Muurinen, S., Rasa, K., Soinne, H., Talola, S., Uusi-Kämppe, J. & Uusitalo, R. (2021). Kipsi, kuitu ja rakennekalkki – opas viljelijöille. Vesiensuojelun tehostamisohjelma. ProAgrian hankejulkaisut 10. 52 s. Saatavissa: https://www.proagria.fi/uploads/maanparannusaineet_opas_viljelijöille_digitaalinen-julkaisu_2022-06-13-112340_rxzs.pdf

Bonde, A. (2018). Yleiset suositukset sulfaattimaita sisältävien kaivuumassojen

kalkituksesta. ELY-keskus. Saatavissa:

https://vimlavatten.org/wp-content/uploads/2019/01/Kaivuumassojen_kalkitusohjeet_041218.pdf

Viherlannoitus, kerääjä- ja aluskasvit

Kivijärvi, P., Iivonen, S., Hannukkala, A. & Suojala-Ahlfors, T. (2019). Viherlannoitus- ja

kerääjäkasvit avomaavihannestuotannossa. LUKE. 15 s. Saatavissa:

<https://jukuri.luke.fi/handle/10024/538580>

Känkänen, H. (2012). Pelto vihreämmäksi kerääjä- ja peitekasvien avulla. Fakta 2.

Raviennehuuhtoumien hallinta -hanke (RaHa). Uudenmaan ELY-keskus. Saatavissa:

<https://www.doria.fi/handle/10024/103479>

Malin, E. (2020). Kerääjäkasviopas - Käytännön ohjeita kerääjäkasvien hyödyntämiseen Suomessa. BSAG.

43 s. Saatavissa: <https://www.carbonaction.org/wp-content/uploads/2020/06/Keraajakasviopas2020.pdf>

Happamien sulfaattimaat huomioiminen

Autiola, M., Suonperä, E., Suvanto, S., Napari, M., Nyland, M., Kupiainen, V., Vienonen, S.,

Forsman, J., Suikkanen, T., Auri, J., Boman, A. & Mattbäck, S. (2022). Happamien sulfaattimaiden kansallinen opas rakennushankkeisiin: Opas happamien sulfaattimaiden huomioimiseen ja vaikutusten hallintaan.

Ympäristöministeriön julkaisuja 2022/3. Ympäristöministeriö. Saatavissa:

<https://ym.fi/julkaisu?pubid=URN:ISBN:978-952-361-222-8>

Kuivuusriskien hallinta

Parjanne, A., Ahopelto, L. & Parkkila, P. (2020). Ohjeita kuivuusriskien hallintasuunnitelman laadintaan. ELY-

keskus. Saatavissa: https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/46616838/Ohjeita+kuivuusriskien+hallintasuunnitelman+laadintaan_14_12_2020.pdf/ef44b6d0-bd08-a1f7-393b-48a9bfb74808?t=1651245592182

Tulvariskien hallinta

Todorovic, S. & Sane, M. (2021). Yhteenveto tulvariskien hallintasuunnitelmista vuosille 2022–2027. SYKE & ELY-keskus. 30 s. Saatavissa: https://vesi.fi/aineistopankki/wp-content/uploads/2021/12/Hallintasuunnitelmien_yhteenveto_2022-2027-1.pdf

Luonnon monimuotoisuuden edistäminen

Birge, T., Hagelberg, E., Joona, J., Kaila, L., Malin, E., Paukkunen, J. & Toivonen, M. (2022). Pölyttäjätalouden maatala – periaatteet ja käytännöt pölyttäjätalouteen maatalouteen. 3. painos. BSAG. s. 59. Saatavissa: https://www.bsag.fi/wp-content/uploads/2022/11/Polyttajaopas_2-11-2022_web.pdf

Hämäläinen, L., Jormola, J., Järvenpää, L., Kasvio, P., Tertsunen, J. & Muilu, T. (2015). Luontoarvojen huomioon ottaminen ojitusten peruskorjauksissa ja kunnossapidossa. PERKAUS-hankkeen työraportti. SYKE. 16 s. Saatavissa: <https://vesi.fi/aineistopankki/wp-content/uploads/2022/01/Luontoarvojen-huomioon-ottaminen-ohjatusprosessissa-raportti-2015.pdf>

Härjämäki, K. (2014). Maataluonnon monimuotoisuus – Pientareilta pelloille, kedoilta kosteikkoihin. TEHO Plus -hankkeen julkaisu 2/2014. Varsinais-Suomen ELY-keskus. 60 s. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-257-934-8>

Ruokavirasto. (2023). Tietopaketti neuvoille maataluonnon monimuotoisuudesta. Verkkosivu. Saatavissa: <https://www.ruokavirasto.fi/tuet/maatalous/luonnon-monimuotoisuus-maatilalla/tietopaketti-neuvoille/tietopaketti-neuvoille-maataluonnon-monimuotoisuudesta/>

Oppaat avaintoimijoiden tueksi

ELY. (2023). Ohje maa- ja metsätalouden vesienhallinnan avustusten hakemiseen. ELY-keskus. 6 s. Saatavissa: https://sa01elysuomifilomakkeet.blob.core.windows.net/blobsuomifilomakkeet/ELY/ely90y2i_fi_ohje_hakemus_vesienhallinta.pdf

Karhunen, A. & Leppiniemi, O. (2022). Vesitalousasiantuntijan opas. Opas 10/2022. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus. 100 s. Saatavissa: <https://www.doria.fi/handle/10024/186084>

Keränen, M. (2016). Opas kunnan ympäristönsuojeluviranomaisille vesilain mukaisten ojitusasioiden ratkaisemiseen. Opas 3. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus. 61 s. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-314-414-9>

Keskisarja, V., Vasama, K., Yli-Mannila, S., Luoma, L., Kaasinen, A., Närhi, I. & Sallmén, A. (2017). Peruskuivatus ja ojitustoimitustehtävät ELY-keskuksissa. Vesi-varojen käyttöön ja hoitoon liittyvien tehtävien hoidon järjestäminen maa- ja metsätalousministeriön hallinnonalalla osahanke C. ELY-keskus. 29 s. Saatavissa: <https://mmm.fi/documents/1410837/4045459/C/9e21cc86-205c-4bab-ba67-4d08a657a738/C.pdf>

Koljonen, S., Sammalkorpi, I., Vilmi, A. & Hellsten, S. (2020). Vesistökuunnostusten seurantojen toteuttaminen. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 13. SYKE. 45 s. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/items/783fd82f-f079-4361-b842-e45c43d29a4d>

Leppiniemi, O. (2014). Opas ojitusyhteisölle uoman kunnossapito- ja peruskorjaushankkeeseen. Opas 3. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus. 29 s. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-314-100-1>

Muut hyödylliset sivustot/hankkeet

Ruralia-insituutti. Tietokortit: Hyvät käytännöt maan kasvukunnon hoitoon. OSMO-hanke. Verkkosivu. Saatavissa: <https://www.helsinki.fi/fi/ruralia-insituutti/opetus/maan-kasvukunto/tietokortit-hyvat-kaytannot-maan-kasvukunnon-hoitoon>

Ruralia-insituutti. Maaneuvo (työohjeistuksia ja työkaluja). MAANEUVO-hanke. Saatavissa: <https://www.helsinki.fi/fi/ruralia-insituutti/opetus/maaneuvo>

SYKE. (2022). Vesien- ja merenhoidon suunnitteluoppaat asiantuntijoille. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/fi/luonto-vesistot-ja-meri/vedet-ja-vesistot/vesien-ja-merensuojelu/vesien-ja-merenhoidon-suunnitteluoppaat-asiantuntijoille#toimialakohtaiset-ohjeet-2022-2027>

Ympäristökioski.fi. Verkkosivu. Saatavissa: <https://www.ymparistokioski.fi/>

Taulukko 4.B. Työkalut vesienhallinnan suunnittelun tueksi.

Aineistot ja työkalut

Karttaselaimet [Maankamara \(GTK\)](#) – Taustatietoa suunnitteluun. Tietoa Suomen maa- ja kallioperästä.

[Eroosioherkkyysskartta \(LUKE\)](#) – Taustatietoa peltojen pintamaan keskimääräisestä vesieroosiosta (Kg/ha/v).

[Happamat sulfaattimaat \(GTK\)](#) – Taustatietoa suunnitteluun. Tietoa happamien sulfaattimaiden esiintymisestä.

[Valuma-alueen määrittäminen \(Suomen metsäkeskus\)](#) – Työkalu valuma-alueen määrittämiseen.

[PUROHELMİ \(SYKE\)](#) – Arviot pienten virtavesien habitaatin ja pohjaeläinlajiston luonnontilan muuttuneisuudesta.

[Suojavyöhykesitoumukseen soveltuva alue 2024 \(ELY\)](#) – Kartassa on esitetty alustavasti vuoden 2024 suojavyöhykesitoumukseen soveltuvat peltolohkot.

[Scalگو Live \(SCALGO\)](#) – Voidaan käyttää muun muassa tulvimisesta kärsivien peltalueiden tunnistamiseen.

[Metsäkeskuksen karttapalvelu \(Metsäkeskus\)](#) – Karttaselaimen koottuna muun muassa RUSLE-eroosiomallit, kosteusindeksit, pohjavesialueet ja pintavesien ekologisen tilan.

[SYKEN karttapalvelut](#) – Karttapalveluita ja paikkatietosovelluksia

- Hajajätevesi siirtymäaika-alueet
- Vegetation phenology 2001–2022
- Maa-ainestenottoluvat ja kiviainesvarannot
- VELMU - Vedenalaisen meriluonnon monimuotoisuuden inventointiohjelma
- Tulvakarttapalvelu
- Vesikartta – Vesienhoidon karttapalvelu
- VALUE – Valuma-alueen rajaustyökalu selaimessa

[Vesistökunnostajan karttapalvelu \(SYKE\)](#) – Tietoa tehdyistä vesistökunnostuksista. Edistää vesistökunnostusten suunnittelua, seurantaa ja yhteistyötä.

Paikkatieto- aineistot

[Karttapaiikka \(MML\)](#) – taustatietoja suunnitteluun (mm. maastokartat, ilmakuvat, kiinteistörajat Suomessa).

[Paikkatietoikkuna \(MML\)](#) – paikkatietoaineistoja suunnittelun tueksi. Sisään kirjautumalla voi myös tuoda omia aineistoja.

[HAKKU \(GTK\)](#) – Geologisia paikkatietotuotteita.

[PAITULI - \(Opetus- ja kulttuuriministeriö\)](#) – Paikkatietoaineistojen latauspalvelu.

[Avoindata.fi](#) (Valtion IT-keskus Valtori vastaa toiminnasta) – Koottuna julkishallinnon olennaisimmat aineistot ja yhteen toimivat työkalut (mm. ympäristö ja luonto -paikkatietoaineistot).

[SYKEN metatietopalvelu](#) – Ympäristöhallinnon paikkatieto- ja kaukokartoitusaineistot, tietojärjestelmät, tutkimusaineistot, ympäristöraportoinnit, rajapintapalvelut ja karttapalvelut

[Salaojayhdistys ry:n karttapalvelu](#) – Arkistoituja salaojakarttoja. Maksullinen.

[HERTTA \(SYKE\)](#) – Tietoa vesivaroista, pintavesien tilasta, alueiden käytöstä, eliölajeista, pohjavesistä. Ympäristöön liittyviä paikkatietoaineistoja. Vaatii rekisteröitymisen.

-
- Oppaat/sivustot** Tattari, S., Puustinen, M., Ahtiainen, H., Hjerppe, T., Huttunen, M., Iho, A., Koikkalainen, K., Kotamäki, N., Lehtonen, H., Lilja, H., Martinmäki-Aulaskari, K., Niskanen, O., Oinonen, S., Röman, E. & Väisänen, S. (2017). Toimivimmat mallityökalut vesistövaikutusten ja ravinteiden kierrätyksen kustannustehokkaaseen hallintaan. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 70/2017. Valtioneuvoston kanslia. 87 s. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/160336>
- Tietoa vesien- ja merenhoidon arviointi- ja mallinnusmenetelmistä
 - Tietoa kuormitusmalleista: VEMALA, KUTOVA, VIHTA, ICECREAM, COHERENS, RUSLE, SWAT, INCA, FLUSH, VIHMA, LLR.
- Marttunen, M., Rantala, T., Kajanus, M., Turunen, V., Virkkumaa, S., Häkkinen, M., Seppälä, P. & Räsänen, A. (2024). Monitavoitteinen valuma-aluesuunnittelu: Yhteenveto ohjeista, oppaista, tietotuotteista ja hankkeista. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 17/2024. Suomen ympäristökeskus. 92 s. <https://helda.helsinki.fi/items/074949e2-01d8-4707-959a-f9ff33a13b03>
- Tietoa valuma-aluesuunnittelussa käytettävistä paikkatietoaineistoista s.32–44.
- Parkkila, P. (2019). KOTOMA-hanke: Maatalouden vesiensuojelun kohdentaminen. Raportteja 48. Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 55 s. <https://www.doria.fi/handle/10024/173585>
- KOTOMA-työkalu – Maatalouden vesiensuojelutoimenpiteiden kohdentamismalli, jossa hyödynnetään paikkatietoanalyysien avulla tuotettua aineistoa.
- Hagelberg, E., Heliölä, J., Kuussaari, M., Hyvönen, T., Turtola, E., Huusela, E., Nuutinen, V. & Miettinen, A. (2021). LumoVesi -työkalu - Viljelijän ja neuvojan apuväline ympäristön tilaa parantavien toimenpiteiden kohdentamiseksi. BSAG. 24 s. <https://www.luke.fi/fi/documents/lumovesityokalupdf>
- LumoVesi-Työkalu – Viljelijän ja neuvojan apuväline ympäristön tilaa parantavien toimenpiteiden kohdentamiseksi.
- Launiainen, S., Sarkkola, S., Laurén, A., Puustinen, M., Tattari, S., Mattsson, T., Piirainen, S., Heinonen, J., Alakukku, L. & Finér, L. (2014). KUSTAA-työkalu valuma-alueen vesistökuormituksen laskentaan. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 33/2014. Suomen ympäristökeskus. 55 s. <https://helda.helsinki.fi/items/905f2218-290c-41d5-99f5-20520d86395f>
- KUSTAA-työkalu – Valuma-alueen vesistökuormituksen laskentaan.
- [Asiantuntijan työpöytä \(vesi.fi\)](#) – Koottuna työkaluja mm. valuma-aluesuunnitteluun vesistöjen kunnostus ja hoito hankkeisiin sekä maa- ja metsätalouden vesienhallintaan.
-

Salaojituksen tutkimusyhdistys ry

ISBN 978-952-5345-60-5