



Luonnonvara- ja
biotalouden
tutkimus 15/2017

Hyötyä taseista

Ravinnetaseiden tulkinta ympäristön ja viljelyn hyödyksi

Eila Turtola, Tapio Salo, Antti Miettinen, Antti Iho, Elena Valkama,
Katri Rankinen, Perttu Virkajärvi, ym.

Hyötyä taseista

Ravinnetaseiden tulkinta ympäristön ja viljelyn hyödyksi

Eila Turtola, Tapio Salo, Antti Miettinen, Antti Iho, Elena Valkama, Katri Rankinen, Perttu Virkajärvi, Jussi Tuomisto, Anna Sipilä, Susanna Muurinen, Marja Turakainen, Riitta Lemola, Lauri Jauhiainen, Risto Uusitalo, Juha Grönroos, Merja Myllys, Janne Heikkinen, Sami Merilaita, Jose Cano Bernal, Pertti Savela, Mirja Kartio, Juha Salopelto, Aki Finér ja Mikko Jaakkola

Eila Turtola, Tapio Salo, Antti Miettinen, Antti Iho, Elena Valkama, Katri Rankinen, Perttu Virkajärvi ym. 2017. Hyötyä taseista – Ravinnetaseiden tulkinta ympäristön ja viljelyn hyödyksi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 15/2017.



ISBN: 978-952-326-373-4 (Painettu)

ISBN: 978-952-326-374-1 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN: [http://urn.fi/URN:ISBN: 978-952-326-374-1](http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-374-1)

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Eila Turtola, Tapio Salo, Antti Miettinen, Antti Iho, Elena Valkama, Katri Rankinen, Perttu Virkajärvi ym.

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2017

Julkaisuvuosi: 2017

Kannen kuva: Luken kuva-arkisto

Painopaikka ja julkaisumyynti: Juvenes Print, <http://luke.juvenesprint.fi>

Tiivistelmä

Eila Turtola¹, Tapio Salo¹, Antti Miettinen², Antti Iho², Elena Valkama¹, Katri Rankinen³, Perttu Virkajärvi⁴, Jussi Tuomisto⁵, Anna Sipilä⁵, Susanna Muurinen⁶, Marja Turakainen⁶, Riitta Lemola¹, Lauri Jauhiainen¹, Risto Uusitalo¹, Juha Grönroos³, Merja Mylly¹, Janne Heikkinen¹, Sami Merilaita¹, Jose Cano Bernal³, Pertti Savela⁷, Mirja Kartio⁸, Juha Salopelto⁹, Aki Finér¹⁰ ja Mikko Jaakkola¹¹

¹Luonnonvarakeskus, Humppilantie 14, 31600 Jokionen, ²Luonnonvarakeskus, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki, ³Suomen ympäristökeskus, Mechelinkinkatu 34a, PL 149, 00251 Helsinki, ⁴Luonnonvarakeskus, Halolantie 31, 71750 Maaninka, ⁵Perunantutkimuslaitos, Alapääntie 104, 61400 Ylistaro, ⁶Sokerijuurikkaan tutkimuskeskus, Meltolantie 30, 21510 Hevonpää, ⁷ProAgria Keskusten liitto, Urheilutie 6 D, PL 251, 01301 Vantaa

⁸Evira, Viljalaboratorio, Mustialankatu 3, 00790 Helsinki, ⁹Hankkija Oy, Peltokuumolantie 4, PL 390, 05801 Hyvinkää, ¹⁰Raisio Oy, Raisionkaari 55, PL 101, 21201 Raisio, ¹¹Varsinais-Suomen ELY-keskus, Itsenäisyydenaukio 2, PL 236, 20102 Turku

Hyötyä taseista -hankkeessa tuotettiin typen peltotaseiden jakaumat Suomen yleisimmille viljelykasveille yhdistämällä kaikki saatavilla oleva ja systemaattisesti kerätty ravinnetasetieto peltoviljelystä. Jakaumien perusteella viljelykasvit luokiteltiin neljään eri ryhmään: (I) säilörehunurmi, (II) kaura, ohra ja tärkkelysperuna, (III) kevätvehnä ja sokerijuurikas ja (IV) kevättrypsi, syysvehnä ja ruis. Kahden ensimmäisen ryhmän mediaanitaseet olivat samansuuruiset (kivennäismailla 13–14 kg/ha käytettäessä vain väkilannoitetyypeä), mutta säilörehunurmella typpitaseet olivat huomattavasti suuremmat jakauman yläpäässä. Kasviryhmässä III mediaanitase oli vastaavasti 32 kg/ha ja ryhmässä IV kaikkein korkein, 56 kg/ha. Typpitaseet olivat lisäksi em. kasviryhmässä eloperäisillä mailla pienempiä kuin kivennäismailla. Kotieläinlanta käytettäessä typpitaseet laskettuna liukoisen typen mukaan olivat hieman suurempia kasviryhmässä II kun taas ryhmissä III ja IV eroa ei ollut tai tase oli pienempi (säilörehunurmi). Kasviryhmien sisällä typpitaseen suuruuteen vaikutti eniten typpilannoituksen määrä. Matalimmat taseet saavutettiin, kun satotaso oli korkea ilman että oli käytetty ympäristökorvauksen enimmäislannoitusmääriä. Korkeita typpitaseita sen sijaan esiintyi, kun satotaso oli jäänyt odotettua pienemmäksi huolimatta typpilannoituksesta. Tasejakaumiin liitettiin ympäristöinformaatio potentiaalisesta vesistökuormituksesta, jota arvioitiin koeaineistojen ja mallintamisen avulla. Kasviryhmässä I ja II noin neljännes liukoisen typen taseista oli niin korkeita (ylittävät tason 60 ja 25 kg/ha), että niistä voi aiheutua keskimääräistä selvästi korkeampi typen huuhtoutumisriski. Kasviryhmässä III puolet typpitaseista ylitti riskirajan ja ryhmässä IV yli puolet. Typpitaseita tarkasteltiin myös laskemalla optimaalisen typpilannoituksen määrää erilaisilla hintasuhteilla. Tulosten perusteella nitraattiasetus ei rajoita taloudellisesti optimaalista typpilannoitusta kevätiljoilla, mutta rajoittaa typpilannoitusta säilörehunurmen kohdalla. Ympäristökorvauksen enimmäislannoitusmäärät johtavat kevätiljoilla typpitaseisiin (16–45 kg/ha kivennäismailla), jotka ovat keskimääräistä korkeampia verrattuna em. peltolohkojen jakaumiin, mutta eivät johda peltolohkoilla havaittuihin suurimpiin typpitaseisiin. Verrattuna rajoittamattomaan taloudelliseen optimointiin, ympäristökorvaukseen sitoutuneilla maatiloilla kasvintuotannosta saatava vuotuinen katetuotto vähenee usein vain alle 10 €/ha viljeltäessä viljaa kivennäismailla, kun taas säilörehun tuotannossa vastaava vähenemä on lähes 50 €/ha. Tuloksia havainnollistettiin esittämällä alustavia kriteerejä typpitaseiden arviointiin ja joillekin kasveille ehdotettiin myös liukoisen typen taseiden viitearvoja mahdollista ravinnetaseohjausta varten. Ravinnetaseisiin perustuvan ohjauksen vahvuudeksi tunnistettiin satotason huomiointi, mikä voisi kannustaa peltojen perusparannuksiin.

Asiasanat: Typpitase, fosforitase, sato, lannoitus, ohra, kaura, kevätvehnä, syysvehnä, ruis, kevättrypsi, peruna, sokerijuurikas, säilörehunurmi, ravinteiden huuhtoutuminen, vesistökuormitus, talous, ympäristökorvaus

Abstract

Nitrogen (N) field balances are regularly calculated at national and regional levels in Finland, and also increasingly at the level of single field parcels to evaluate nutrient use efficiency and environmental risks due to agriculture. The field balances produce important information by accounting both the inputs and outputs of nutrients. While relatively easy to calculate, their interpretation is not straightforward due to lack of a solid scientific basis. The purpose of this project 'Benefit from nutrient field balances' was to quantify the variation in N balances in practical farming and in controlled field experiments as affected by fertilization, soil properties and crop rotations, and analyze it with modern statistical methods. The total of 220,000 observations from farm fields situated all over Finland were combined from years 1988–2014. For the interpretation and benchmarking purposes on actual farms, N balances (N input in fertilizers minus N output in harvested yield) for the recent years (2000–2014) were calculated and their distributions were published as an Excel file according to crop (spring barley, oats, spring wheat, winter wheat, winter rye, turnip rape, starch potato, sugar beet, and silage grass), fertilizer type (inorganic, inorganic + manure), soil type (mineral, organic) and cultivation area. The distributions were further grouped according to their statistical similarities to combine crops that behaved similarly and this second grouping was used as a basis for preliminary assessment of target values for N balances. To set the target values, we combined national experiments on N leaching with respective N balances in the data and used additional process modelling using a COUP model to find out critical N balances for an increased leaching risk. Moreover, we performed economic analyses based on N fertilizer responses of spring cereals and silage grass to find out the optimal N fertilizer rates and corresponding N balances for different fertilizer and yield price combinations. The environmental and economic outcome was then combined with the N balance distributions from practical farming to assess the target N balances. As a conclusion, about one fourth of the N balances on fields under spring barley, oats, starch potato, and silage grass were above the target values while, for the other crops, the proportion was substantially higher. Our findings showed that the current agri-environmental payment in Finland efficiently restricts excess N fertilization and, thus, the highest N balances. According to our analyses, low yields were another reason for high N balances, however, the agri-environmental payment takes little account of the yield level achieved by the fertilizer inputs. Therefore, nutrient balances could act as a more comprehensive measure than fertilizer restrictions only in reducing the risk of nutrient losses from the fields.

Key words: Nitrogen balance, crop yield, fertilization, cereals, silage grass, potato, sugar beet, turnip rape, leaching, agri-environmental payment

Sisällys

1. Hankkeen tavoitteet.....	6
2. Hankkeen menetelmät ja tulokset.....	9
2.1. Typpitaseet peltolohkoaineistossa	9
2.1.1. Peltolohkoaineisto	9
2.1.2. Peltolohkoaineiston typpi- ja fosforilannoitus ja viljelykasvien sato	11
2.1.3. Typpitaseet ja niiden vaihtelu peltolohkoaineistossa	11
2.1.4. Typpitaseiden vuosivaihtelu peltolohkolla.....	17
2.1.5. Satotason ja typpitaseen yhteys	18
2.1.6. Typpitaseet happamilla sulfaattimailla	19
2.2. Typpitaseet ja optimilannoitus	20
2.2.1. Ohran typpitaseet ja optimilannoitus	22
2.2.2. Kauran typpitaseet ja optimilannoitus.....	25
2.2.3. Kevätvehnän typpitaseet ja optimilannoitus	27
2.2.4. Säilörehun typpitaseet ja optimilannoitus	29
2.2.5. Typpilannoituksen säätelyn vaikutus typpitaseisiin.....	33
2.3. Typpitaseiden ja huuhtoumien yhteys.....	35
2.3.1. Typpitase ja typpihuuhtouma koeaineistoissa.....	35
2.3.2. Mallinnettu typpitaseen ja typpihuuhtouman yhteys	38
2.4. Typpitase ja alueellinen typpihuuhtouma	40
2.5. Typpitaseiden viitearvojen asettaminen ravinnetaseohjaukseen	42
2.5.1. Peltolohkojen typpitaseet ympäristön ja talouden kannalta.....	42
2.5.2. Esimerkkejä mahdollisista viitearvoista ravinnetaseohjauksessa	42
3. Tulosten tarkastelu.....	45
3.1. Yhdistetyn peltolohkoaineiston ja lannoitusoptimien hyödyntäminen viljelyssä	45
3.2. Ravinnetaseiden hyödyntäminen ympäristöohjauksessa.....	46
3.3. Olisiko ravinnetaseohjaus edullisempi suurten satojen tuottajille?.....	47
4. Johtopäätökset.....	48
5. Kirjallisuus.....	49
Liitteet	54

1. Hankkeen tavoitteet

Suomessa maatalouden ympäristöohjaukseen ovat kuuluneet 1990-luvun puolivälistä lähtien viljelykasvien typpi- ja fosforilannoitukselle asetetut enimmäismäärät, joiden tarkoituksena on vähentää lannoituksesta aiheutuvaa vesistökuormitusta. Kaikkea viljelyä sitoo typpilannoituksen enimmäismäärä nitraattiasetuksen (VNa 1250/2014) mukaisesti, mutta tätä tiukempia rajoituksia asettaa vapaaehtoinen ympäristökorvaus (VNa 235/2015 ja VNa 179/2016). Valmisteltaessa parhaillaan sovellettavan ympäristökorvauksen sisältöä esitettiin näkemys, jonka mukaan korkeita satotasoja tuottavat viljelijät voisivat hyödyntää tehokkaasti myös enimmäislannoitusrajoja suurempia lannoitemääriä ja tämän vuoksi lannoitusrajoitukset tulisikin korvata ravinnetaseisiin perustuvalla ohjauksella.

Ravinnetaseita hyödynnetään esimerkiksi Saksassa ja Tanskassa viljelyn ohjauksena (Bauer 2015). Saksassa tiloilla lasketaan porttitaseet, joihin otetaan huomioon viljelykasvin ravinnerarve, maan ravinnereservit ja viljelytoimenpiteet kuten muokkaus ja sadetus. Vuodesta 2009 lähtien hyväksyttävänä vuosittaisena typpitaseena on ollut alle 60 kg/ha, ja vuodesta 2006 lähtien hyväksyttävänä fosforitaseena alle 20 kg/ha, mutta tavoitteena on laskea rajoja. Typpitaseita lasketaan kolmen vuoden ja fosforitaseita kuuden vuoden keskiarvoina. Tanskassa lannoitussuunnitelma ja siihen perustuva arvioitu taselaskelma on tehtävä ennen kasvukautta, ja sallittuihin lannoitustasoihin vaikuttavat viljelykasvi, esikasvi, sadetusmahdollisuus ja maaperän ominaisuudet. Tilan yksittäisten lohkojen kautta lasketaan koko tilan typpikiintiö. Kasvukauden jälkeen tilojen on toimitettava toteutuneet typpitaselaskelmat viranomaisille.

Ravinnetaseisiin perustuva ympäristöohjaus voi periaatteessa olla sekä viljelijän että ympäristön kannalta hyödyllisempi kuin enimmäislannoitusmääriin perustuva ympäristöohjaus, koska ravinnetaseet sisältävät informaatiota myös satotasosta. Alla olevassa taulukossa 1 on kuvattu lannoitukseen ja ravinteiden peltotaseisiin (myöhemmin ravinnetase) liittyvää viljelijän päätöksentekoa. Viljelijän toiminnan lisäksi monet muutkin tekijät vaikuttavat saavutettavaan satotasoon ja syntyvien ravinnetaseiden suuruuteen. Näitä tekijöitä huomioidaan ympäristökorvauksen enimmäislannoitusmäärissä. Ravinnetase huomioi kuitenkin useampia tekijöitä kuin lannoitusrajoitukset. Esimerkiksi loholla, jolla vesitalous ja maaperän rakenne ovat hyvässä kunnossa, satotaso on todennäköisesti korkea ja ravinnetase jää tiettyä lannoitusmäärää käytettäessä pienemmäksi kuin sellaisella loholla, jolla ne eivät ole hyvässä kunnossa. Samoin lannoituksen ajoituksen onnistuessa satotaso nousee, ja se voidaan todentaa pienempänä ravinnetaseena, kuten myös optimaalista levitystapaa käytettäessä tai satojen parantuessa muun hyvän viljelytekniikan ansiosta. Lisäksi satotaso integroi muiden ravinteiden ja kasvukauden sään vaikutukset. Viljelyn talouden kannalta optimaalinen lannoitusmäärä riippuu myös lannoituksen ja satotuotteiden hintasuhteista.

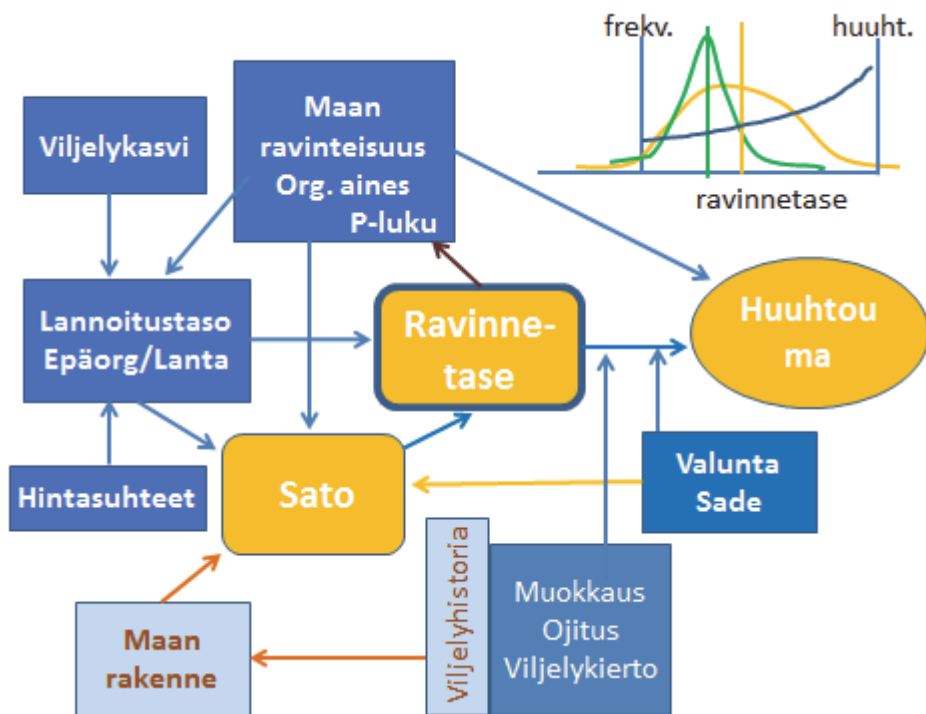
Taulukko 1. Viljelijä optimoi lannoitusta, mutta tulevan kasvukauden säätila ja toteutuvat hintasuhteet aiheuttavat epävarmuutta päätöksentekoon, sillä lannoitusmäärä on päätettävä kasvukauden alkupuolella. Ravinteiden peltoaset (lannoitteen mukana annetut ravinteet – sadon mukana poistuneet ravinteet) lasketaan kasvukauden lopuksi, ja se sisältää enemmän informaatiota.

Päätettävä/vaikuttava asia	Viljelijä päättää/ vaikuttaa	Lannoitusrajoitus huomioi	Ravinnetase huomioi
Lannoitusmäärä	kyllä	kyllä	kyllä
Viljelykasvi	kyllä	kyllä	kyllä
Lohkon viljavuus	kyllä	kyllä	kyllä
Lohkon vesitalous, maan rakenne	kyllä	osittain ³	kyllä
Lannoituksen ajoitus ¹	kyllä	osittain	kyllä
Lannoitustapa ²	kyllä	osittain	kyllä
Viljelytekniikka	kyllä	ei	kyllä
Ravinteiden yhdysvaikutus	kyllä	ei	kyllä
Sää	ei	ei	kyllä ⁴
Hinnat	ei ⁵	ei	ei

¹Syksyllä/kevällä, jakaen useampaan erään; ²Väkilannoite/kotieläinlanta, sijoittaen/pintaan; ³Satotasokorjaus; ⁴Laskettaessa ravinnetase useamman vuoden keskiarvona; ⁵Viljelijä voi vaikuttaa lannoitteen hintaan ostoajankohdan kautta ja jonkin verran myös sadon myyntihintaan

Hyötyä taseista -tutkimushankkeen taustalla on edellä mainittu keskustelu ja tarve tiedon hankintaan mahdollista ravinnetaseohjausta varten. Ympäristöohjauksen vaikuttavuuden kannalta myös ravinnetaseohjauksen tulisi johtaa myönteisiin ympäristövaikutuksiin ja olla oikeudenmukainen kaikille viljelijöille. Jotta ravinnetaseiden eri olosuhteissa syntyville vaihteleville arvoille saataisiin järkevä ja oikeudenmukainen tulkinta, tarvitaan tietoa siitä, minkä suuruiset ravinnetaseet ovat erilaisissa olosuhteissa tyyppisiä. Yhtä tärkeää on selvittää, minkä suuruisiin taseisiin liittyy haitallisia ympäristövaikutuksia.

Voimassa olevan nitraattiasetuksen valmistelun taustatyönä tuotimme tyypilannoitusta ja ravinnetaseita käsittelevän raportin (Salo ym. 2013), jossa havaitsimme sekä suuren vaihtelun tyypitaseissa että niiden selvän yhteyden annetun lannoituksen kanssa. Muilta osin ravinnetaseiden vaihtelua ei voitu perusteellisemmin analysoida. Käytettävissä ei myöskään ollut kuin pieni osa koko Suomen pelloilta kerätyistä ravinnetaseaineistoista. Näistä syistä tutkimuksen lähtökohdaksi muodostui tiedontarve ravinnetaseiden vaihtelun suuruudesta käytännön viljelyssä. Vaihtelu voi johtua paitsi viljelijän omasta toiminnasta myös esimerkiksi maaperän luontaisista ominaisuuksista, pellon maantieteellisestä sijainnista, sääoloista, viljelykasvien eroista tai viljelykasvien ja lannoitteiden hintojen vaihtelusta (Kuva 1).



Kuva 1. Yksinkertaistettu kaavio peltolohkon typpi- tai fosforitaseesta, joka laskettiin tässä tutkimuksessa lannoituksessa annetun ja sadon mukana poistuvan ravinnemäärän erotuksena. Kaikki tekijät, jotka vaikuttavat lannoitusmäärään tai sadonmuodostukseen, ovat ravinnetaseiden taustatekijöitä (siniset laatikot kuvaavat näistä tärkeimpiä). Hyötyä taseista -hankkeessa tutkimme niiden taustatekijöiden (taustamuuttujien) vaikutuksia, joiden analysointi oli mahdollista käytännön ravinnetaseaineistoista sekä julkaistuista lannoitus- ja huuhtoumatutkimuksista (tumman siniset laatikot ja siniset nuolet). Taustamuuttujien määräämisen vaihtelun rajoissa etsimme myös tulkintaa ravinnetaseiden lukuarvoille perustuen joko syntyvän huuhtouman suuruuteen, ravinnetaseen jakaumaan tai taloudellisesti optimaaliseen lannoitustasoon.

Hyötyä taseista -hankkeen tavoitteena oli yhdistää ja tiivistää peltolohkokohtaisiin ravinnetaseisiin sisältyvä informaatio tavalla, josta olisi hyötyä resurssitehokkaan viljelyn kehittämiseksi. Hankkeessa etsittiin vastauksia seuraaviin kysymyksiin:

1. Millaisissa rajoissa ravinnetaseet, erityisesti typpitaseet, vaihtelevat eri viljelykasveilla, maa-lajeilla ja alueilla?
2. Millaisia typpitaseita saavutetaan käytännön viljelyssä, kun lannoitus on taloudellisesti optimaalista? Kuinka herkkiä optimilannoitusta vastaavat typpitaseet ovat viljelykasvien ja lannoitteen hinnanvaihteluille?
3. Mikä on ympäristön kannalta hyvä typpitase? Minkä suuruista typpitaseista voi olla haittaa ympäristölle?

Löytääksemme eri maaperäoloihin ja viljelykiertoihin liittyvän taseiden vaihtelun yhdistimme kaiken saatavissa olevan ravinnetasetiedon sekä kontrolloiduista tutkimuksista että käytännön maataloilta kerätyistä aineistoista. Tavoitteena oli myös asettaa taseille viitearvot olosuhteista riippuvan vaihtelun ja ympäristövaikutuksiin sekä viljelyn talouteen liittyvien kriteerien avulla.

Hyötyä taseista -hankkeessa keskityttiin ohjausryhmän tekemän rajauksen mukaisesti typpi-taseiden tulkintaan. Tämä rajaus tehtiin yhtäältä käytettävien resurssien vuoksi ja toisaalta siksi, että fosforitaseiden suuruutta ja niiden ympäristövaikutuksia on mahdollista arvioida typpitaseita luotettavammin aikaisempiin tutkimuksiin perustuen (Uusitalo ja Aura 2005, Uusitalo ym. 2016, Valkama ym. 2009, 2011, 2016a). Seuraavassa esitämme hankkeessa käytetyt typpitaseiden tutkimusmenetelmät ja tulokset kunkin em. tutkimuskysymyksen (1–3) osalta. Fosforitaseiden tulkintaa tarkastellaan erillisessä liitteessä (Liite 28).

2. Hankkeen menetelmät ja tulokset

2.1. Tyypitaseet peltolohkoaineistossa

2.1.1. Peltolohkoaineisto

Selvittääksemme millaisissa rajoissa ravinnetaseet vaihtelevat eri olosuhteissa, yhdistimme käytännön peltolohkojen typpi- ja fosforitaseita kuvaavat aineistot seuraavista lähteistä: Eviran viljaotanta, ProAgrian lohkotietopankki, Mytvas-seurantatutkimukset, Teho- ja Teho Plus –hankkeet sekä kaupallisten toimijoiden kuten Agrimarketin (ISO-VILJA), Raisio Oy:n ja tärkkelysperunanviljelyn lohkoaineistot. Yhdistämisen ja järjestämisen jälkeen käytännön peltolohkoaineistoon sisältyi 221 000 havaintoriviä vuosilta 1988–2014 eri puolilta Suomea (Liite 1). Yhdistetty aineisto sisälsi suurimman osan systemaattisesti kerätystä käytännön viljelyä kuvaavasta peltolohkokohtaisesta ravinnetaseaineistosta maassamme. Yara Suomen keräämä ja nurmiviljelyä kuvaava Tila-Artturi-aineisto on mukana siltä osin, kuin se sisältyy ProAgrian lohkotietopankkiin. Havainnoista noin 10 400 kpl (5 %) oli peräisin luonnonmukaisesta tuotannosta. Luomulohkot eivät sisälly aineiston jatkoanalyysiin.

Tyypitase laskettiin tässä tutkimuksessa kullekin peltolohkolle yksinkertaisella tavalla: lannoituksessa annetun typpimäärän ja sadon mukana poistuneen typpimäärän erotuksena. Laskennassa ei otettu huomioon esimerkiksi siementen tai mukuloiden ravinnesisältöä, biologista typensidontaa tai laskeumaa. Tutkimuksessa ei käsitelty maatilojen porttitaseita, karjan tai sen ruokinnan taseita tai lanta-taseita.

Peltolohkojen tyypitaseet laskettiin sekä liukoisen typen että kokonaistypen mukaan, jolloin kotieläinlanta saaneiden peltolohkojen kokonaistypen tase oli suurempi kuin liukoisen typen tase. Lannan liukoisen ja kokonaistypen sisältö saatiin joko aineistojen omien lanta-analyytitietojen perusteella tai se laskettiin käyttämällä taulukkoarvoja Viljavuuspalvelu Oy:n ohjeiden tai maatalouden ympäristökorvausmääräysten mukaisesti. TEHO-hankkeiden aineistossa oli ilmoitettu vain lannan liukoisen typen arvot. Lannan liukoisen typen syyslevityksistä oli tehty 25 prosentin vähennys TEHO-aineistossa, mutta muissa aineistoissa syyslevityksen typpi laskettiin täysimääräisesti mukaan tyypitaseisiin. TEHO-aineistossa oli yhteensä 512 havaintoa, joissa lannan liukoista typpeä oli ilmoitettu levitetyn syksyllä keskimäärin 20 kg/ha, mutta määrä oli todellisuudessa luultavasti keskimäärin 27 kg/ha.

Fosforilannoitus laskettiin lannan kokonaisfosforin mukaan lukuun ottamatta TEHO-aineistoa, jossa lannan fosforista oli otettu huomioon vain 85 %. Tätä tekijää ei voitu TEHO-aineiston 1 600 lannanlevitystä sisältäneestä havainnosta poistaa, koska lannan fosforin lisäksi oli käytetty väkilannoitefosforia. Sadossa poistuneet typpi ja fosfori laskettiin viljelijän ilmoittaman satotason ja ravinnetaselaskennan ohjeiden (Mavi 2008) mukaisten kuiva-ainepitoisuuksien ja typpi- ja fosforipitoisuuksien mukaan.

Käsittelimme yhdistettyä peltolohkoaineistoa tilastollisesti eri olosuhteissa esiintyvän vaihtelun löytämiseksi. Jaoin aineiston luokkiin viljelykasvien, maaperän ominaisuuksien, ajanjakson, alueiden ja lannan käytön perusteella. Kasvikohtaiset analyysit tehtiin niistä viljelykasveista, joista oli riittävästi havaintoja: kaura, ohra (rehuohra ja mallasohra yhdessä), kevät- ja syysvehnä, rypsi, tärkkelysperuna ja säilörehunurmi. Jotta kasvikohtaisissa tarkasteluissa havaintoja eri taustamuuttujien luokissa olisi riittävästi, maalajit yhdistettiin viiteen eri maaluokkaan. Turve- ja multamaista muodostettiin eloperäisten maiden luokka. Karkeat kivennäismaat ja savimaat erotettiin kumpikin multavuustietojen perusteella kahteen eri luokkaan niin, että vähämultaiset ja multavat olivat ensimmäisessä ja runsasmultaiset sekä erittäin runsasmultaiset toisessa luokassa.

Ajanjaksoja oli viisi: 1988–1994 (ennen maatalouden ympäristötukea), 1995–1999, 2000–2004, 2005–2009 ja 2010–2014. Alueet ryhmiteltiin ilmaston ja ELY-keskusten pohjalta viiteen viljelyvyöhykkeeseen: (1) Uudenmaan, Varsinais-Suomen ja Kaakkois-Suomen ELY-keskukset, (2) Satakun-

nan ja Hämeen ELY-keskukset, (3) Pirkanmaan, Etelä-Savon, Pohjois-Karjalan, Etelä-Pohjanmaan ja Pohjanmaan ELY-keskukset, (4) Keski-Suomen, Pohjois-Savon, Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun ELY-keskukset ja (5) Lapin ELY-keskus, jossa havaintojen lukumäärä jäi hyvin pieneksi. Havaintojen lukumäärät eri taustamuuttajien luokissa on esitetty Taulukossa 2. Taulukossa ovat mukana havainnot, joista voitiin laskea ravinnetaseet ja joista ilmeiset tallennusvirheet on poistettu. Tilastolliset menetelmät on kuvattu lyhyesti kunkin analysoidun ominaisuuden kohdalla.

Taulukko 2. Lohkojen lukumäärä yhdistetyssä peltolohkoaineistossa jaoteltuna taustamuuttajien mukaan.

Kasvilajit	Havainnot	Summa
Kaura	33622	
Ohra	59 418	
Kevätvehnä	31 265	
Syysvehnä	5 493	
Rypsi	6 959	
Syysruis	3834	
Tärkkelysperuna	17 445	
Sokerijuurikas	2 174	
Säilörehunurmi	30 668	
		190 878
Lohkon maaluokka		
Eloperäinen	16 520	
Vähämultainen karkea kivennäismaa	61 679	
Runsasmultainen karkea kivennäismaa	30 361	
Vähämultainen savimaa	48 211	
Runsasmultainen savimaa	34 107	
		190 878
Ajanjakso		
1988-1994	11 293	
1995-1999	14 963	
2000-2004	42 558	
2005-2009	74 126	
2010-2014	47 938	
		190 878
Alueet		
1 Uusimaa, V-Suomi, Kaakkois-Suomi	87 702	
2 Satakunta, Häme	31 043	
3 Pirkanmaa, E-Savo, P-Karjala, E-Pohjanmaa, Pohjanmaa	52 704	
4 Keski-Suomi, P-Savo, P-Pohjanmaa, Kainuu	18 671	
5 Lappi	254	
		190 374
Lannan käyttö lohkolla		
Ei	150 603	
Kyllä	40 275	
		190 878

2.1.2. Peltolohkoaineiston typpi- ja fosforilannoitus ja viljelykasvien sato

Aineistosta arvioitiin taustamuuttujien vaikutusta typpi- ja fosforilannoituksen määrään, satotasoon ja sadon typen ottoon sekä typpitaseeseen. Koska typpilannoitus vaikuttaa olennaisesti typpitaseeseen, ensin arvioitiin taustamuuttujien vaikutusta typpilannoitukseen. Lineaaristen mallien avulla laskettiin kasvikohtaisesti ajanjaksojen, viljelyvyöhykkeiden ja maaluokkien vaikutus typpilannoitukseen. Tilastolliset analyysit tehtiin erikseen pelkästään väkilannoitetuista havainnoista (128 000 kpl) ja lantaa sekä väkilannoitusta saaneista havainnoista (39 000 kpl).

Typpilannoitus väheni pohjoista kohti kauran, kevätrypsin, kevätvehnän ja säilörehunurmen viljelyssä. Ohran ja syysvehnän typpilannoitus oli samaa tasoa kahdella eteläisimmällä viljelyvyöhykkeellä ja aleni vasta kolmannella vyöhykkeellä. Tärkkelysperunan typpilannoitus oli samaa tasoa kaikilla kolmella vyöhykkeellä, joilla sitä viljeltiin.

Kauran ja kevätrypsin typpilannoitus oli muita ajanjaksoja korkeammalla tasolla vuosina 1988–1994 ennen ympäristötuen käyttöönottoa. Vuodesta 2000 lähtien typpilannoitus pieneni vain ohran ja säilörehunurmen kohdalla. Eloperäisten maiden typpilannoitus oli kaikilla viljelykasveilla kivennäismaita pienempi. Kivennäismailla multavuus vaikutti vain vähän typpilannoituksen määrään. Runsa- tai erittäin runsasmultaisten kivennäismaiden typpilannoitus oli 3–8 kg/ha pienempi kauralla, kevätrypsillä ja ohralla. Kevätvehnän typpilannoituksessa suurempi eloperäisen aineksen määrä oli vähentänyt typpilannoitusta vain karkeilla kivennäismailla. Syysvehnän ja säilörehunurmen typpilannoitukseen eri multavuusluokilla ei ollut vaikutusta (Liite 2).

Kotieläinlantaa käytettäessä liukoista tyyppiä annettiin viimeisen kymmenen vuoden aikana ohralle noin 5 kg/ha, kevätvehnälle runsas 10 kg/ha ja säilörehunurmelle 10–20 kg/ha enemmän kuin pelkästään väkilannoitteilla lannoitettaessa (Liite 3). Viimeistä jaksoa lukuun ottamatta aikaisemmin vain osa syksyllä levitetystä lannan liukoisesta tyypestä luettiin kasveille käyttökelpoiseksi, minkä vuoksi aineistoon tallennetut liukoisen typen levitysmäärät ovat tältä osin jonkin verran todellista pienempiä. Lantaa saaneille lohkoille kokonaistyyppiä tuli lannoituksen mukana 40–60 kg/ha enemmän kuin pelkästään väkilannoitusta käytettäessä lukuun ottamatta säilörehunurmea, jolla ero oli puolet pienempi (Liite 4).

Käytännön peltolohkoaineiston fosforilannoitusmäärä väkilannoitteita ja kotieläinlantaa käytettäessä on esitetty liitteissä 5 ja 6. Lannan käyttö lisäsi hehtaarikohtaista fosforilannoitusta 5–17 kg/ha. Ennen vuotta 1995 lisäys oli 10–26 kg/ha.

Kasvikohtainen satotaso on esitetty liitteissä 7 ja 8. Vain väkilannoitusta saaneiden lohkojen satotason (Liite 7) ennustamiseen käytettiin lineaarista mallia, jossa vaikuttavina tekijöinä olivat viljelyvyöhyke, ajanjakso ja maaluokka. Typenottoon, joka tässä aineistossa on viljelykasvin kohdalla enimmäkseen suoraan verrannollinen satotasoon, vaikuttavien tekijöiden merkitystä analysoitiin SAS:n Proc GLMSELECT-ohjelmalla. Typenottoon vaikuttavina tekijöinä huomioitiin vuoden ja alueen yhdysvaikutus, typpi- ja fosforilannoitus, maan P-luku, multavuus, maaluokka, maaryhmä (eloperäiset, karkeat kivennäismaat ja savimaat) ja pH-luokka (Liite 9.). Alueen ja vuoden yhdysvaikutus, joka sisältää kasvukauden sään vaikutuksen sadonmuodostukseen, selitti 15–28 % kaikkien kasvien satotason ja typenoton vaihtelusta. Typpilannoitus selitti vain muutamia prosentteja satovaihtelusta (Liite 9). Yhteensä muutamia prosentteja sadon ja typenoton vaihtelusta selittyi kaikilla kasveilla maaperän ominaisuuksilla (pH-luokka, maalaji, multavuus tai P-luku) (Liite 9).

2.1.3. Typpitaseet ja niiden vaihtelu peltolohkoaineistossa

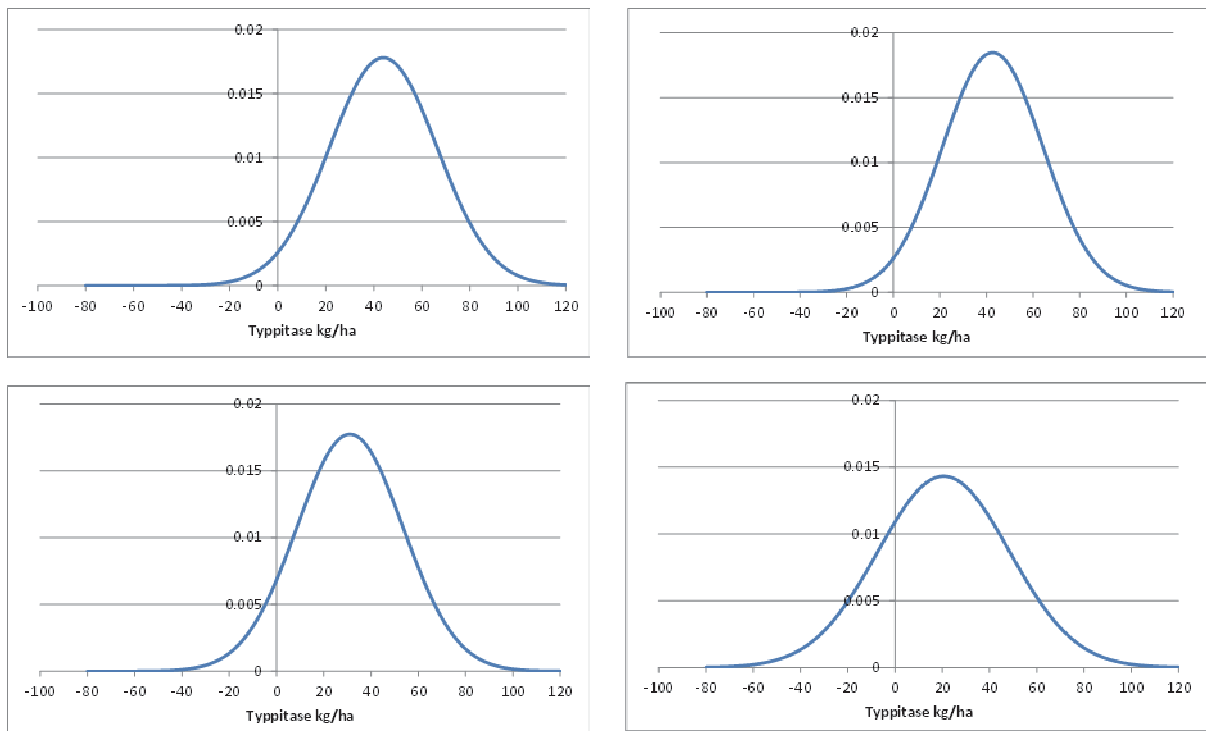
Peltolohkoaineistossa esiintyvä typpitaseiden vaihtelu on esitetty kokonaisuudessaan sähköisessä liitteessä, johon on sisällytetty vuosien 2000–2014 havainnot. Liitteissä 10, 11a ja 11b on yhteenvedo typpitaseiden suuruudesta eri viljelykasveilla käytettäessä väkilannoitetyyppeä tai myös kotieläinlantaa, ja liitteissä 12 ja 13 puolestaan esitetään vastaavat fosforitaseet.

Eri viljelykasvien typpitaseet asettuivat karkeasti seuraavaan suuruusjärjestykseen käytettäessä väkilannoitetyyppeä tasolla 80 kg/ha: säilörehunurmi < tärkkelysperuna < kaura < ohra < kevätvehnä < kevätrypsi < syysvehnä.

Maantieteellisesti typpitaseet pienenevät pohjoista kohti. Ajallisesti taseet pienenevät kauralla ja ohralla ja säilörehunurmilla siirryttäessä 2000-luvulle ja syysvehnällä vuodesta 2005 lähtien.

Viljojen typpitaseiden jakauman huippu sijoittui eloperäisillä mailla 10–30 kg/ha alemmalle tasolle kuin kivennäismailla, esimerkkinä kevätvehnä kuvassa 2. Sen sijaan nurmien typpitaseiden jakaumat olivat samanlaisia maaryhmästä riippumatta.

Kotieläinlantaa käytettäessä typpitaseet (laskettuna kokonaistypen mukaan) olivat viljoilla 35–60 kg/ha suurempia kuin pelkästään väkilannoitteita käytettäessä (Liite 11a). Säilörehunurmella ero oli noin 34 kg/ha, mutta savimailla typpitase oli vain 10–20 kg/ha suurempi lantaa saaneilla lohkoilla verrattuna vain väkilannoitetyyppeä saaneisiin lohkoihin. Liukoisen typen mukaan laskettuna typpitaseet olivat samalla tasolla lantaa tai vain väkilannoitetyyppeä saaneilla lohkoilla (Liite 11b).



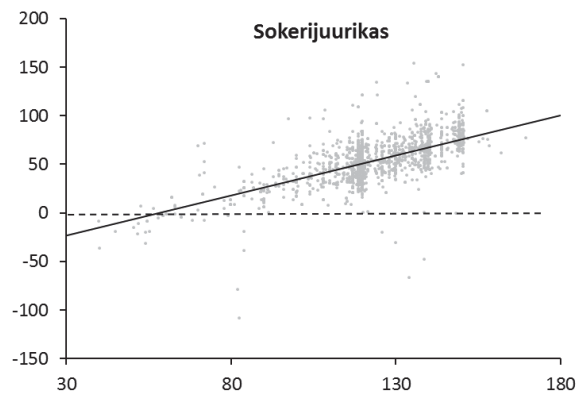
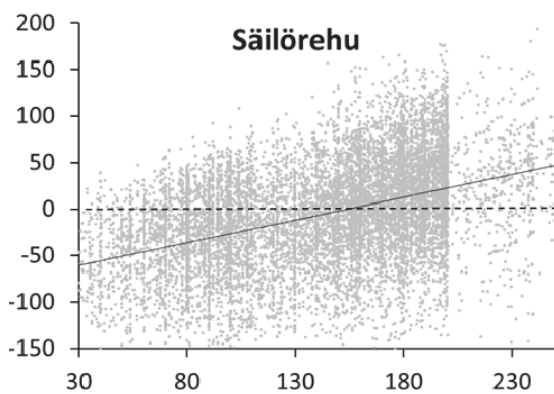
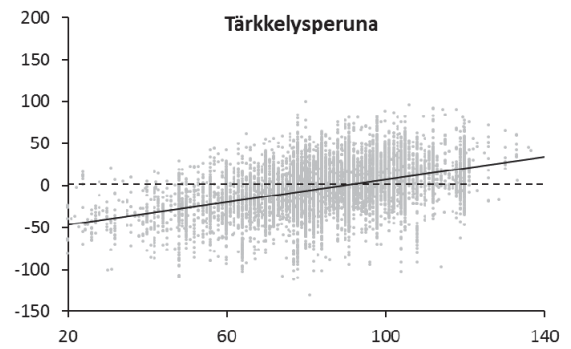
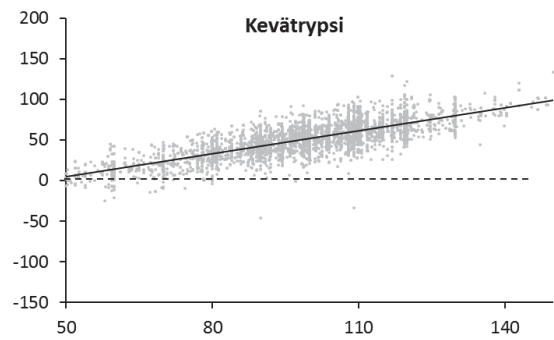
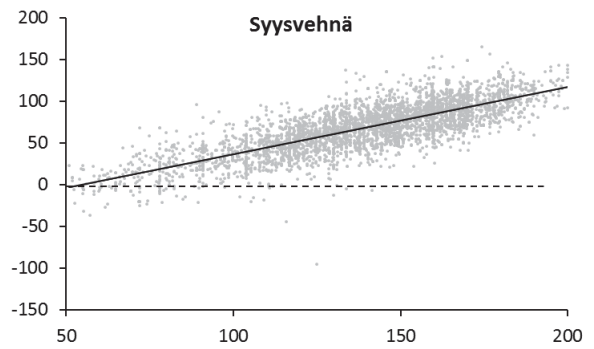
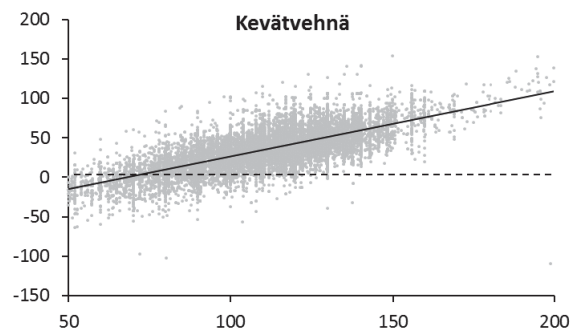
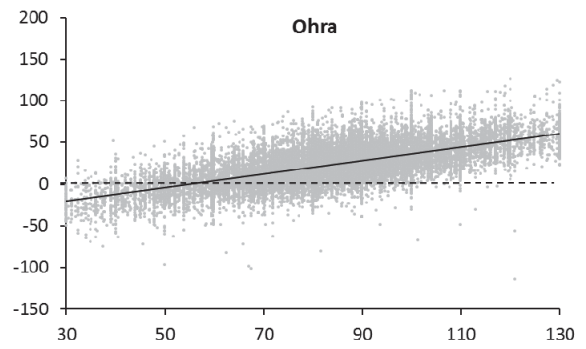
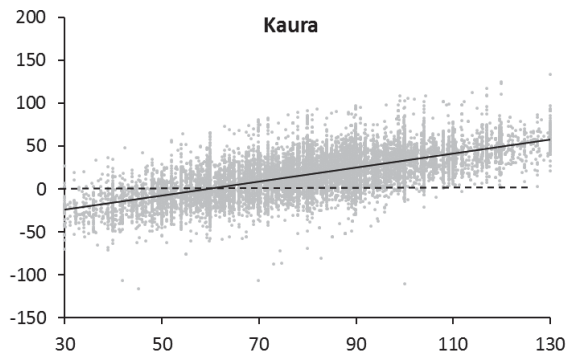
Kuva 2. Vain väkilannoitetyyppeä saaneiden kevätvehnälohkojen typpitaseiden jakaumat eri maaluokissa vuosina 2000-2014. Ylhäällä vasemmalla vähämultaiset ja multavat kivennäismaat, ylhäällä oikealla runsasmultaiset kivennäismaat, alhaalla vasemmalla erittäin runsasmultaiset kivennäismaat ja alhaalla oikealla eloperäiset maat.

Sähköisen liitteen mukaiset viljelykasvien typpitasejakaumat vuosien 2000–2014 aineistosta ryhmiteltiin tilastollisin perustein neljään eri ryhmään. Ryhmittely tehtiin jakauman tunnuslukujen perusteella: jakauman painopiste, hajonta ja vinous. Tilastollinen ryhmittelyanalyysi sijoitti saman kasvin eri maaseutukeskuksilta kerätyt havainnot pääasiassa yhteen ryhmään, lisäksi kaksi tai useampi kasvilaji menivät samaan ryhmään, pois lukien säilörehunurmi (Taulukko 3). Samaan ryhmään sijoittuneiden jakaumien perusteella laskettiin ryhmän typpitaseiden jakauma sekä tase, jota pienemmän taseen todennäköisyys on 0.50, 0.75 ja 0.85. Taulukossa 3 näkyvät siten liukoisen typen taseiden mediaaniarvot, kun taas typpitaseiden keskiarvo esimerkiksi kivennäismailla käytettäessä vain väkilannoitetyyppeä oli kasviryhmissä I, II, III ja IV vastaavasti 8, 11, 31 ja 57 kg/ha. Vastaava liukoisen typen tasejakaumien analyysi tehtiin kotieläinlantaa saaneille havainnoille (Taulukko 3). Kasvilajien ryhmittymi-

nen pysyi muuttumattomana, ja kasviryhmien III ja IV osalta myöskään viitearvot eivät juuri muuttuneet. Sen sijaan kasviryhmässä II liukoisen typen taseet olivat hieman suurempia, kun oli käytetty lantaa (Taulukko 3).

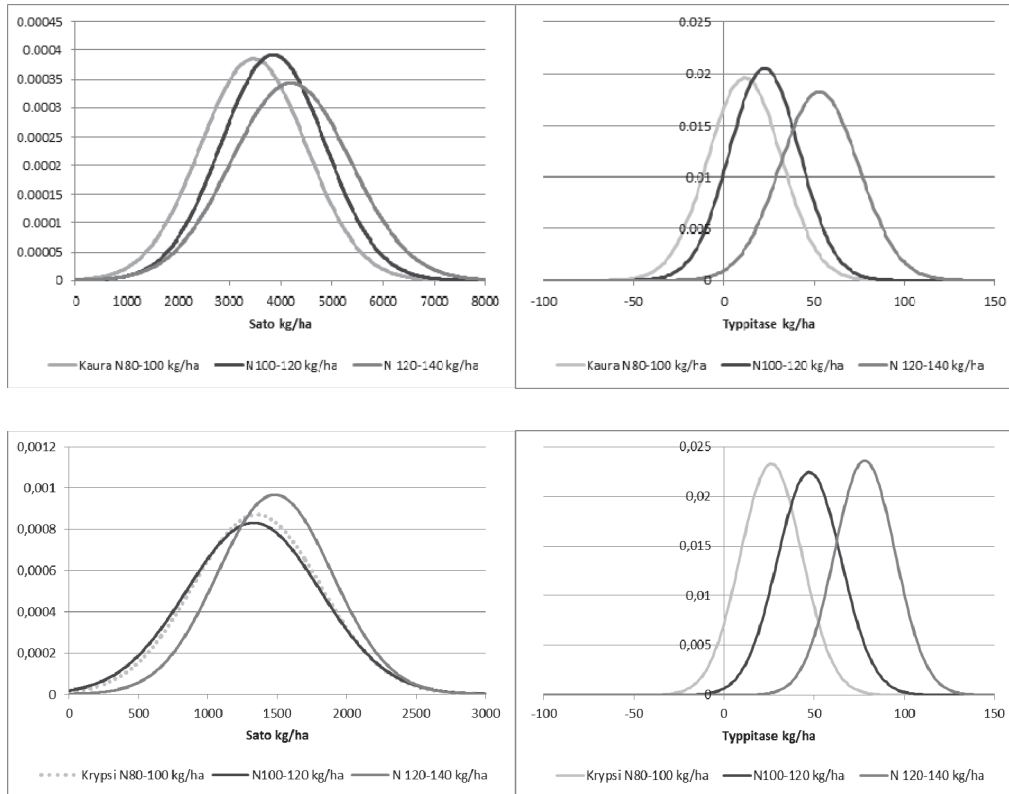
Taulukko 3. Typpitaseiden (laskettuna liukoisen typen mukaan) suuruus peltolohkoilla eri kohdissa jakaumaa (prosenttiosuuden suuruinen osuus taseista alittaa kyseisen typpitaseen) viljelykasviryhmittäin ja eri viljelykasveilla käytettäessä vain väkilannoitetyypeä tai sekä kotieläinlantaa että väkilannoitetyypeä.

		Vain väkilannoitetyypeä			Kotieläinlantaa ja väkilannoitetyypeä		
Viljelykasvi	Maaluokka	50 %	75 %	85 %	50 %	75 %	85 %
Kasviryhmä I							
Säilörehunurmi	Kiv.	13	58	96	-10	28	61
	Elop.	-7	38	76	-30	8	41
Kasviryhmä II							
Kasviryhmä II	Kiv.	14	27	37	21	36	49
	Elop.	-6	7	17	1	16	29
Kaura	Kiv.	15	28	38	18	35	48
	Elop.	-5	8	18	-2	15	28
Ohra	Kiv.	19	32	42	22	37	50
	Elop.	-1	12	22	2	17	30
Tärkkelysperuna	Kiv.	4	22	35	9	27	41
	Elop.	-16	2	15	-11	7	21
Kasviryhmä III							
Kasviryhmä III	Kiv.	32	47	59	28	44	57
	Elop.	12	27	39	8	24	37
Kevätvehnä	Kiv.	32	46	58	36	52	65
	Elop.	12	26	38	16	32	45
Sokerijuurikas	Kiv.	45	62	74	32	46	56
	Elop.	25	42	54	12	26	36
Kasviryhmä IV							
Kasviryhmä IV	Kiv.	56	69	80	56	68	83
	Elop.	36	49	60	36	48	63
Kevätrypsi	Kiv.	50	63	74	51	62	75
	Elop.	30	43	54	31	42	55
Syysvehnä	Kiv.	62	80	95	61	74	90
	Elop.	42	60	75	41	54	70
Ruis	Kiv.	60	75	89	-	-	-
	Elop.	40	55	69	-	-	-



Kuva 3. Typpilannoituksen ja typpitaseen välinen yhteys peltolohkoilla, joilla on käytetty vain väkilannoitetyyppeä.

Peltolohkoaineistossa typpilannoituksen lisääminen nosti satotasoa, mutta vaihtelu lohkojen välillä oli hyvin suurta, niin että eri lannoitustasoilla saavutettujen satotasojen jakaumat menivät hyvin paljon päällekkäin (Kuva 4). Vastaavasti myös tietyllä typpilannoitustasolla toteutuneissa typpitaseissa oli suurta vaihtelua, mutta suurimmat typpilannoitustasot tuottivat kuitenkin selkeästi suurimpia typpitaseita (Kuva 4).



Kuva 4. Kaurasadon (ylhällä vasemmalla) ja kauran typpitaseen (ylhällä oikealla) jakauma eri typpilannoitustasoilla (80-100, 100-120 ja 120-140 kg/ha) savimailla käytettäessä vain välilannoitetyyppeä. Alhaalla vastaavat kuvat kevättrypsilille.

Seuraavaksi tutkimme typpitasetta selittävien muuttujien vaikutusta varianssikomponenttimallilla. Malliin otetut tekijät olivat: typpilannoitus, maaluokka, alue, kasvilaji, maan pH-luokka. Kun kaikki taustamuuttujat olivat mukana varianssikomponenttien vertailussa, typpilannoitus selitti suurimman osan (77 %) typpitaseen vaihtelusta. Kasvilajien osuus vaihtelusta oli 6 %. Vastaavasti liitettäessä mukaan kasvukauden olosuhteita huomioon ottava alue \times vuosi -yhdysvaikutus, kasvilajiin vaihtelusta selittyi 10 %. Typpilannoituksen ja typpitaseen yhteyttä eri kasveilla kuvattiin regressioyhtälöillä (Taulukko 4).

Taulukko 4. Ylempi taulukko: Typpilannoituksen ja typpitaseen (kg/ha, laskettu liukoisen typen mukaan) välisen regressioyhtälön kerroin b ja vakiotermi a eri viljelykasveilla käytettäessä vain väkilannoitusta tai sekä kotieläinlantaan että väkilannoitusta. Alempi taulukko: Typpilannoituksen ja typpitaseen välisen regressioyhtälön kerroin b ja vakiotermi a (suluissa 95 %:n luottamusväli) eri maaluokissa vain väkilannoitusta käytettäessä.

Viljelykasvi	Vain väkilannoitettua				Kotieläinlantaan ja väkilannoitettua			
	a	b	r ²	N	a	b	r ²	N
Kaura	-48	0,81	0,46	25608	-54	0,89	0,56	8007
Ohra	-44	0,81	0,43	47189	-50	0,87	0,61	11712
Kevätvehnä	-56	0,83	0,51	28222	-59	0,83	0,67	3043
Syysvehnä	-44	0,81	0,61	4868	-62	0,87	0,76	625
Kevättrypsi	-43	0,94	0,60	6351	-50	1	0,75	608
Tärkkelysperuna	-60	0,67	0,21	15152	-62	0,83	0,48	2270
Säilörehunurmi	-76	0,49	0,20	15100	-91	0,57	0,18	13114
Sokerijuurikas	-59	0,91	0,48	1978	-65	0,92	0,82	196

	Eloperäiset maat		Runsasmult. karkeat		Vähämult. karkeat		Runsasmult. savimaat		Vähämult. savimaat	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Kaura	-49 -53 - -45	0.80 0.76 - 0.85	-47 -52 - -43	0.81 0.76 - 0.86	-46 -50 - -42	0.79 0.75 - .84	-47 -51 - -44	0.80 0.76 - 0.84	-46 -50 - -42	0.79 0.75 - 0.83
Ohra	-49 -52 - -45	0.84 0.81 - 0.88	-38 -42 - -35	0.73 0.69 - 0.77	-42 -45 - -39	0.79 0.76 - .82	-45 -49 - -42	0.81 0.78 - 0.85	-43 -46 - -40	0.80 0.77 - 0.83
Kevät- vehnä	-66 -71 - -61	0.86 0.81 - 0.91	-49 -54 - -44	0.77 0.72 - 0.82	-53 -57 - -49	0.81 0.77 - .84	-53 -57 - -49	0.80 0.77 - 0.84	-55 -58 - -52	0.82 0.79 - 0.85
Tärkk. peru- na	-69 -85 - -52	0.82 0.61 - 1.04	-64 -79 - -49	0.73 0.53 - 0.92	-57 -72 - -43	0.64 0.45 - .83	-74 -90 - -59	0.85 0.65 - 1.1	-65 -83 - -48	0.76 0.54 - 0.98

Koska aineistossa typpilannoitusta ohjasivat ajanjakso, viljelyvyöhyke ja maaluokka, jätimme seuraavassa vaiheessa typpilannoituksen pois varianssikomponenttien vertailusta ja oletimme kolmen edellä mainitun taustamuuttujan vaikutuksen tulevan suoraan typpitaseeseen. Varianssikomponenttimalli selitti vaihtelusta tämän jälkeen 71 %. Suurin vaihtelun lähde oli nyt viljelykasvilaji (44 %), ja kun mukaan liitettiin sään vaikutus (kasvi × alue × vuosi) vaihtelusta selittyi 65 %. Taustamuuttujien vaikutus vaihteli runsaasti kasvilajeittain, ja monien kasvien kohdalla maatilan osuus vaihtelusta oli hyvin suuri (Liite 14).

Havainnot, joissa myös kotieläinlantaan oli käytetty lannoitukseen, oli riittävästi varianssikomponenttien vertailuun vain kauralla, ohralla, kevätvehnällä, säilörehunurmella ja tärkkelysperunalla. Typpilannoituksen taso selitti myös lannalla lannoitetuissa havainnoissa suurimman osan, 60 %, typpitaseen vaihtelusta. Kun typpilannoitus jätettiin pois varianssikomponenttien vertailusta, viljelykasvi selitti suuren osan vaihtelusta mutta maatilan vaikutus oli sitäkin suurempi (Liite 15).

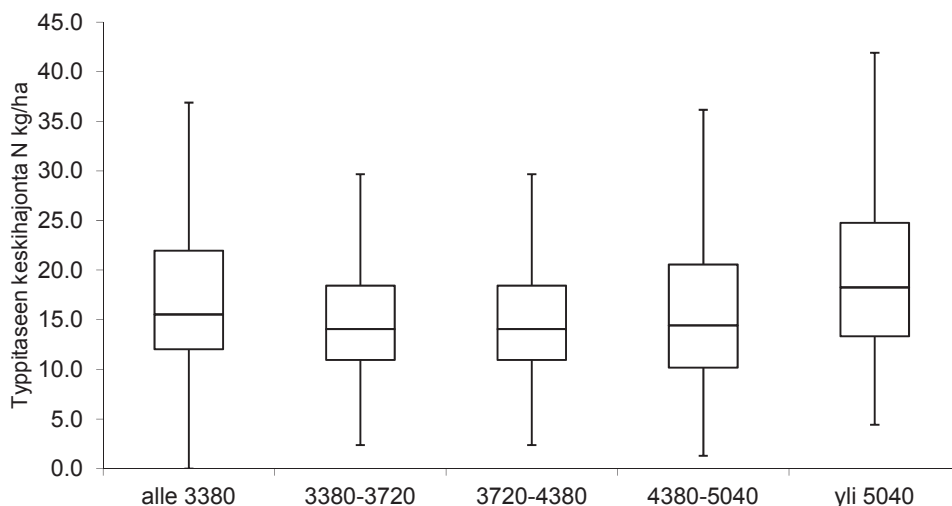
Eniten havainnot sisältäneistä kasvilajeista (kaura, kevätvehnä, ohra, tärkkelysperuna) mallinnettiin maaluokkien vaikutus typpilannoituksen ja typpitaseen yhteyteen. Maaluokkien väliset erot olivat peltolohkoaineistossa kuitenkin näin tarkastellen pieniä. Eloperäisten maiden suurempi kyky luovuttaa typpeä kasvien käyttöön näkyi hieman pienempänä vakiotermin a arvona, ja selvemmin vain ohran ja kevätvehnän kohdalla (Taulukko 4).

2.1.4. Typpitaseiden vuosivaihtelu peltolohkolla

Saman peltolohkon typpitaseen vaihtelua arvioimme aineistoista, joissa peruslohkot oli merkitty niin, että ne voitiin tunnistaa yli vuosien. Jos peruslohkolla tai sen kasvulohkolla esiintyi sama kasvi vähintään neljänä vuotena, lohkolle laskettiin kasvikohtainen satotason, typpisadon ja typpitaseen keskiarvo ja keskihajonta. Kasvikohtaisten typpitaseiden keskihajontojen mediaani oli yksivuotisilla kasveilla välillä 15–20 kg/ha (Taulukko 5). Kasvikohtaiset aineistot jaettiin viiteen satotasoon, joiden typpitaseen vaihtelua kuvattiin box-plot-analyysin kautta. Typpitaseiden vuosivaihtelusta kevätvehnälohkoilla suhteessa saavutettuun satotasoon on esimerkkinä Kuva 5. Kevätvehnän ja tärkkelysperunan typpitaseet näyttivät vaihtelevan vuosittain hieman enemmän pienimpien ja suurimpien satotasojen peltolohkoilla. Rehuohran ja säilörehun typpitaseiden vuosittainen vaihtelu lisääntyi, kun lohkon keskimääräinen satotaso suureni.

Taulukko 5. Kasvilajikohtainen, samalla lohkolla esiintynyt typpitaseen keskihajonnan mediaani ja 25 ja 75 %:n kvartiilit sekä havaintojen lukumäärä. Typpitase on laskettu liukoisen typen mukaan. Lohkohavainnoista 19 %:lla on käytetty myös kotieläinlantaa.

	Kaura	Kevätvehnä	Rehuohra	Sokerijuurikas	Säilörehu	Tärkkelys-peruna
25% Q	10.9	11.1	11.8	12.9	32.7	14.2
Mediaani	17.2	15.2	19.3	18.0	47.6	19.3
75% Q	26.2	20.6	33.1	25.1	65.8	36.0
N	1180	2031	1114	194	2275	120



Kuva 5. Kevätvehnän typpitaseen keskihajonnan vaihtelu eri satotasoilla. Typpitase on laskettu liukoisen typen mukaan. Lohkohavainnoista 19 %:lla on käytetty myös kotieläinlantaa. Laatikon sisällä oleva viiva on jakauman mediaani, ja laatikko sisältää 50 % havaituista keskihajonnoista. Keskihajonta sisältää 66 % yksittäisen lohkon typpitaseen vaihtelusta.

2.1.5. Satotason ja typpitaseen yhteys

Jaoimme käytännön peltolohkojen typpitaseaineiston myös satotasojen ja typpitaseiden suuruuden mukaan. Tavoitteena oli etsiä sellaisia peltolohkoja, joissa on onnistuttu saavuttamaan samaan aikaan hyviä satoja ja keskimääräistä pienempiä typpitaseita. Kunkin viljelykasvin havainnot, joissa oli käytetty vain väkilannoitetyyppeä, jaettiin satotason ja typpitaseen perusteella yhdeksään (3 × 3) kenttään luokittelemalla aineisto satotason perusteella heikkoihin, keskimääräisiin ja korkeisiin ja typpitaseen perusteella pieniin, keskikokoisiin ja suuriin. Pienen typpitaseen ja korkean satotason ryhmän taustamuuttujia – kuten siinä esiintyvien peltolohkojen maalajia, multavuutta tai viljelyaluetta – verrattiin muiden ryhmien vastaaviin muuttujiin.

Yhdeksään kenttään typpitaseen ja satotason mukaan jaetun aineiston jakautumista tutkittiin ajanjakson, maaluokan, viljelyvyöhykkeen ja kasvilajin suhteen. Analyysissä laskettiin esimerkiksi tietyn maaluokan havaintojen yli- tai aliedustus kunkin kentän sisällä. Lukuarvo 1.00 tarkoittaa sitä, että kyseistä maalajia esiintyy kyseisessä kentässä samassa suhteessa kuin koko aineistossa. Mikäli lukuarvo oli suurempi kuin 1.00, kyseinen maalaji oli yliedustettuna kentässä ja lukuarvo 0.50 puolestaan, että kentässä kyseisen maalajin havaintojen määrä on vain puolet. Ajanjaksona 1988–1994 suurten typpitaseiden ja korkeiden satojen osuus oli odotettua suurempi samoin kuin pienien taseiden ja heikkojen satojen osuus. Seuraavana jaksena 1995–2000 suuret typpitaseet olivat odotettua yleisempiä ja korkeiden satotasojen sekä pienten typpitaseiden ryhmän osuus oli pieni.

Eloperäisillä mailla pienet typpitaseet ja korkeat sadot olivat yleisiä. Kivennäismaita pienemmät typpitaseet olivat seurausta suuremmasta typen vapautumisesta, mikä oli käytännön viljelyssä otettu huomioon vähäisempänä typpilannoitusmääränä, nykyistä ympäristökorvausta myötäillen. Alhaisen multavuuden savimailla keskitason ja suuret typpitaseet yhdessä keskitason tai korkean sadon kanssa olivat odotettua yleisempiä. Vastaavasti sellaisia havaintoja, joissa typpitase oli pieni tai keskimääräinen ja sato heikko tai keskitasolla, esiintyi odotusarvoja vähemmän. Vähämultaisilla ja multavilla savimailla suurempi typpitase näytti siten olevan yhteydessä suurempaan satotasoon. Muissa maaluokissa erot odotustuloksiin nähden olivat pieniä.

Viljelyvyöhykkeiden osalta erot odotettuihin jakaumiin lisääntyivät siirryttäessä etelästä pohjoiseen. Etelärannikon viljelyvyöhykkeellä keskitason ja korkeat satotasot yhdessä keskitasoa korkeampien typpitaseiden kanssa olivat odotusarvoa yleisempiä. Alhaiset satotasot yhdessä matalien typpitaseiden kanssa olivat vastaavasti odotusarvoa harvinaisempia. Toisella viljelyvyöhykkeellä, jonka muodostivat Satakunta ja Häme, matalia satotasoja ja korkeita typpitaseita esiintyi odotusarvoa vähemmän. Sen sijaan korkeita satotasoja yhdessä pienen typpitaseen kanssa esiintyi Satakunnassa ja Hämeessä runsaasti. Kolmannella viljelyvyöhykkeellä esiintyi vähemmän korkeita satotasoja yhdessä korkean taseen kanssa ja odotusarvoa enemmän matalia satotasoja ja alhaisia typpitaseita. Neljännellä viljelyvyöhykkeellä matalat satotasot olivat yleisiä ja korkeat satotasot harvinaisia, kun puolestaan keskitason satotasolla alhaisia typpitaseita esiintyi odotusarvoa enemmän.

Kauralla korkeita satoja yhdessä korkean typpitaseen kanssa ja alhaisia satotasoja alhaisella typpitaseella esiintyi odotusarvoja enemmän. Kevättrypsin, kevätvehnän ja ohran kohdalla jakaumat vastasivat melko hyvin odotusarvoja.

Seuraavaksi otimme mukaan kaikki kivennäismaiden havainnot lannoitustavasta (väkilannoitetyppi tai lanta ja väkilannoitetyppi) riippumatta ja valitsimme kunkin kasvilajin korkeimpaan kymmeneen prosenttiin kuuluvat satohavainnot ja alimpaan kymmeneen prosenttiin kuuluvat typpitasehavainnot (liukoisen typen mukaan laskettuna). Näistä valittiin havainnot, jotka täyttivät molemmat ehdot (Liite 16). Valittujen havaintojen (peltolohkojen) osalta analysoitiin jatkuvien muuttujien eli maan viljavuusanalyysitulosten mukaisten fosfori-, kalsium-, kalium- ja magnesiumpitoisuuden erot parhaiden ja muiden lohkojen välillä. Samalla tavalla arvioitiin myös maan happamuuden, kalsiumin ja kaliumin suhteet magnesiumiin sekä laskennallinen kationinvaihtokapasiteetti, joka arvioitiin kalsium-, kalium- ja magnesiumpitoisuuden summana. SAS-ohjelmiston sekamallin (Mixed) avulla arvioi-

tiin parhaiden ja muiden lohkojen välinen ero niin, että viljelykasvin, ajanjakson, viljelyvyöhykkeen, maaluokan, multavuuden ja lannankäytön vaikutukset otettiin myös huomioon.

Parhaiden kivennäismaalohkojen maan fosfori-, kalsium- ja kaliumpitoisuudet olivat keskimäärin hieman korkeammat kuin muilla lohkoilla (Liite 17). Myös maan pH ja laskennallinen kationinvaihtokapasiteetti olivat hieman korkeampia parhailla lohkoilla verrattuna muihin lohkoihin. Keskimääräinen ero muuttujien arvoissa oli kuitenkin vain alle 4 %.

Lopuksi vertasimme luokkamuuttujien kuten viljelykasvin, ELY-keskuksen, ajanjakson, maalajin ja lannan käytön jakautumista parhaiden ja muiden kivennäismaalohkojen välillä. Jos tietyn luokkamuuttujan arvon osuus oli selvästi suurempi parhailla lohkoilla verrattuna muihin lohkoihin, tämä ominaisuus liittyi parempaan mahdollisuuteen saada hyvä sato ja matala typpitase näiltä lohkoilta. Parhaita lohkoja esiintyi enemmän multavimmilla kivennäismailla ja vähemmän multavat savimaat olivat selvästi aliedustettuina (Liite 18). Viljelykasveista tärkkelysperuna ja ohra tuottivat muita kasveja useammin hyvän satotason ja alhaisen typpitaseen. Parhaiden lohkojen osuus oli yli 6 % korkeampi Satakunnan ja 5 % Etelä-Pohjanmaan ELY-keskuksissa verrattuna alueiden keskiarvoon. Ajanjaksoista erottuivat kaksi viimeisintä jaksoa, 2005–2009 ja 2010–2014, jolloin oli enemmän parhaiden lohkojen tuloksia. Lannan käyttöä esiintyi parhailla lohkoilla myös hieman muita lohkoja enemmän.

2.1.6. Typpitaseet happamilla sulfaattimailla

Happamien sulfaattimaiden vaikutusta typpitaseisiin selvitettiin erikseen, koska näillä mailla on todettu olevan luontaisesti runsaat mineraalityypivarat pohjamaassa johtuen suuresta orgaanisen aineksen määrästä (Yli-Halla ym. 2000). Lisäksi happamilla sulfaattimailla on usein runsasmultainen tai multamaata edustava muokkauskerros, josta voi vapautua runsaasti typpeä kasvien käyttöön.

Peltolohkoaineistoon ei valitettavasti sisältynyt tietoa, olivatko lohkot sulfaattimaita. Tämän vuoksi turvauduimme arvioon happamien sulfaattimaiden esiintymisen todennäköisyydestä luokittelemalla kaikki kunnat GTK:n Happamien sulfaattimaiden palvelusta (<http://gtkdata.gtk.fi/Hasu/index.html>) saatujen tietojen perusteella. Luokat sulfaattimaiden esiintymisen todennäköisyydelle olivat suuri, kohtalainen, pieni tai erittäin pieni. Koska GTK ei ole arvioinut sulfaattimaiden esiintymistä suurelle osalle kunnista, näistä kunnista muodostettiin oma luokansa. Tämän jälkeen kauran, kevätvehnän, ohran ja tärkkelysperunan typpilannoitusta, satotasoa ja typpitaseita verrattiin suhteessa sulfaattimaiden esiintymisen todennäköisyyteen kuntatasolla joko ELY-keskuksen sisällä tai koko aineistossa (Liite 19).

Varsinais-Suomen ja Satakunnan ELY-keskusten alueella kauran typpilannoitus oli hieman alhaisempi, jos kunnassa esiintyi happamia sulfaattimaita. Uudellamaalla, Kaakkois-Suomessa, Etelä- ja Keski-Pohjanmaalla typpilannoitus oli samansuuruinen riippumatta happamien sulfaattimaiden esiintymisen todennäköisyydestä. Pohjois-Pohjanmaalla kunnissa, joissa sulfaattimaita esiintyi, kauran typpilannoitus oli jopa muutamia kiloja korkeampi kuin muissa kunnissa. Tutkittujen ELY-keskusten (pois lukien Uusimaa) kauran satotaso oli korkeampi kunnissa, joissa sulfaattimaiden esiintymisen todennäköisyys oli suuri, kohtalainen tai pieni. Erittäin pienen esiintymisen todennäköisyyden kunnissa satotaso oli sama kuin kunnissa, joista sulfaattimaiden arvioita ei ole tehty. Odotusten vastaisesti typpitaseet olivat pääosin alhaisempia kunnissa, joissa sulfaattimaiden esiintymisen todennäköisyys oli kohtalainen tai pieni. Uudellamaalla eroja ei ollut ja Pohjois-Pohjanmaalla typpitaseet olivat sulfaattimaita sisältävissä kunnissa korkeammat.

Kevätvehnän typpilannoitus oli sulfaattimaita sisältävissä kunnissa hieman pienempi Varsinais-Suomessa, Satakunnassa ja Kaakkois-Suomessa, mutta puolestaan korkeampi Uudellamaalla, Etelä- ja Keski-Pohjanmaalla. Satotasot olivat sulfaattimaita sisältävissä kunnissa korkeammat Kaakkois-Suomea ja Pohjois-Pohjanmaata lukuun ottamatta. Typpitaseissa lannoituksen ja satotasojen vaikutukset tulivat esille niin, että Etelä- ja Pohjois-Pohjanmaalla typpitaseet eivät eronneet toisistaan suhteessa sulfaattimaiden esiintymisen todennäköisyyteen, Uudellamaalla taas typpitaseet olivat korkeampia silloin, kun kunnassa arvioitiin olevan sulfaattimaita. Pienempiä typpitaseita puolestaan

esiintyi Varsinais-Suomen, Satakunnan, Kaakkois-Suomen ja Pohjanmaan ELY-keskuksissa, kun sulfaattimaiden esiintymisen todennäköisyys oli suurempi.

Ohran typpilannoitus oli sulfaattimaita sisältävissä kunnissa pienempi Varsinais-Suomessa, Satakunnassa, Etelä- ja Keski-Pohjanmaalla. Kaakkois-Suomessa ja Pohjois-Pohjanmaalla typpilannoitus oli puolestaan suurempi, mikäli sulfaattimaita esiintyi kunnan alueella. Ohran satotasoihin sulfaattimaiden esiintymisellä oli positiivinen vaikutus kaikissa tutkituissa ELY-keskuksissa. Ohran typpitaseet olivat sulfaattimaiden seurauksena pienemmät kaikissa tutkituissa ELY-keskuksissa.

Täkkelysperunan osalta erottuivat muita korkeampien satotasojen, alhaisemman typpilannoituksen ja typpitaseen kautta erittäin pienen sulfaattimaiden todennäköisyyden saaneet Etelä-Pohjanmaan kunnat Isojoki ja Vimpeli. Typpilannoitus oli kaiken kaikkiaan hieman korkeampi sulfaattimaita sisältävissä kunnissa. Satotasot olivat jonkin verran muita kuntia heikommät niissä kunnissa, joissa on kohtuullisella todennäköisyydellä sulfaattimaita. Typpitaseissa erottuivat Isojoen ja Vimpelin alhaisten taseiden lisäksi Keski-Pohjanmaan korkeat typpitaseet sulfaattimaita sisältävissä kunnissa.

Koko aineistoa tarkasteltaessa maaseutukeskuksille ja maaluokille estimoitiin oma vaikutuksensa ja vuosi otettiin huomioon satunnaisvaikutuksena (Liite 19). Happamien sulfaattimaiden esiintymisen todennäköisyyden lisääntyminen kohtalaiseksi nosti satotasoa kauralla, kevätvehnällä ja ohralla 8–12 %. Typpilannoituksen määrään tieto tai kokemus happamien sulfaattimaiden esiintymisestä ei juuri vaikuttanut. Kevätvehnän typpilannoitus oli jopa 9 % korkeampi ja typpitaseet sen vuoksi samalla tasolla. Sen sijaan kauralla ja ohralla kohonneiden satotasojen ansiosta happamien sulfaattimaiden kunnissa typpitaseet olivat selvästi alhaisempia kuin niissä ELY-keskuksen kunnissa, joissa sulfaattimaiden esiintymisen todennäköisyys oli erittäin pieni tai niitä ei todennäköisesti ollut lainkaan (arvioita ei ollut tehty). Täkkelysperunan osalta erot olivat pieniä, ja yksittäisten alueiden vaikutus näkyi ehkä liian korostetusti koko aineiston analyysissä. Lohkojen multavuus ei ollut suurempi kunnissa, joissa sulfaattimaita esiintyi enemmän.

2.2. Typpitaseet ja optimilannoitus

Viljelyn ja ympäristön yhteensovittamisen kannalta olisi helpointa, jos taloudellisesti optimaalinen toiminta tuottaisi myös ympäristön kannalta hyvän lopputuloksen. Sen vuoksi oli tarpeen arvioida, millaisia typpitaseita on mahdollista saavuttaa, kun lannoitus on taloudellisesti optimaalista. Jotta ravinnetaseiden ja taloudellisesti optimaalisen lannoituksen välistä yhteyttä voitiin tutkia, täydensimme jo aikaisemmin koottua tietovarantoa lannoituksen vaikutuksesta ohran, kauran ja kevätvehnän satotasoihin ja typpitaseisiin (Valkama ym. 2013) liittämällä mukaan nurmien (säilörehu) typpilannoituskokeiden tulokset (Valkama ym. 2016b, Salo ym. 2013). Meillä oli siten käytettävissä mallit kevätviljojen ja nurmien typpilannoituksen satovasteista käytettäessä väkilannoitetyyppiä, ja näitä sovellettiin arvioitaessa typpilannoituksen taloudellisia optimitasoja ja niitä vastaavia ravinnetaseita. Nurmien osalta päädyimme lopulta soveltamaan Salon ym. (2013) yhteenvedon tuloksia, koska siellä esitetyillä malleilla oli mahdollista kuvata hyvin pienten typpilannoitusmäärien (alle 50 kg/ha) satovasteita.

Tutkimuksessa tarkasteltiin optimointimallien avulla viljelijän typpilannoituspäätöksiä ja niistä seuraavia typpitaseita kasvukauden sääolosuhteisiin ja satoon liittyvän epävarmuuden vallitessa. Kevätviljojen vastefunktioista sovellettiin niitä, joissa satotaso ilman typpilannoitusta oli 2 000 tai 3 000¹ kg/ha riippuen peltomaan ominaisuuksista ja säätekijöistä². Huonona kesänä viljelykasvin sato määräytyy lannoituksen ja alemman satovastefunktion perusteella (sato ilman typpilannoitusta 2 000

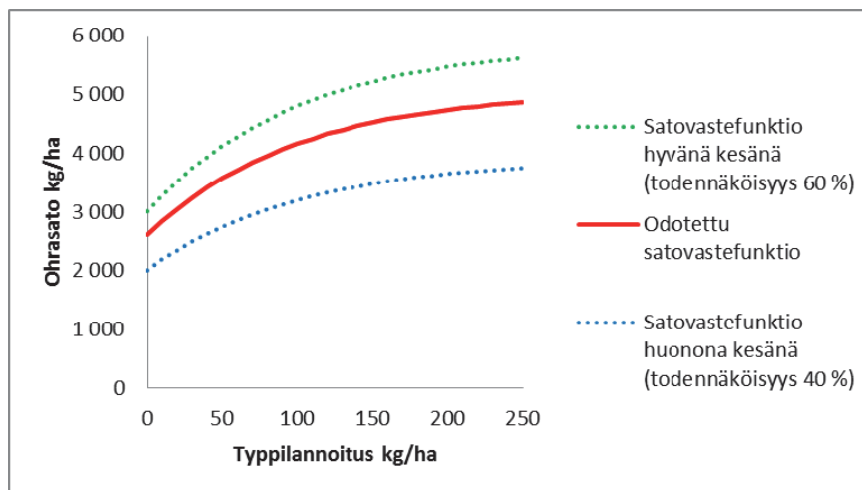
¹ Satotaso ilman typpilannoitusta keskinkertaisella tasolla, 2 000–3 000 kg/ha, kuten Valkama ym. (2013) yhteenvedossa.

² Nurmen satovastefunktiossa vastaavat satotasot olivat kivennäismailla 2 215 ja 3 215 kg/ha ja eloperäisillä mailla 3 930 ja 4 930 kg/ha.

kg/ha, Kuva 6) ja typpilannoitus antaa pienemmän vasteen kuin hyvänä kesänä, jolloin sato määräytyy ylemmän satovastefunktion perusteella (sato ilman lisätypeä 3 000 kg/ha, Kuva 6). Viljelijä tuntee satovastefunktioiden ominaisuudet, mutta ei lannoituspäätöstä tehdessään tiedä kumpi satovastefunktio kasvukaudella realisoituu. Hän tietää ainoastaan satovastefunktioiden esiintymisen todennäköisyydet (esimerkiksi niin, että edeltävistä kymmenestä kesästä kuusi (60 %) on ollut viljelyn kannalta hyviä ja neljä (40 %) huonoja) ja muodostaa niiden perusteella todennäköisyyksillä painotetun satovastefunktion. Oletuksena on, että todennäköisyydet summautuvat sataan prosenttiin.

Optimointimalleissa viljelijä maksimoi annetuilla hinnoilla ja todennäköisyyksillä odotettujen kasvinmyyntitulojen ja lannoitekustannusten erotusta valitsemalla typpilannoitteen määrän optimaalisesti. Lannoitteen hinnan ja ostettavan määrän lisäksi malleissa huomioidaan myös lannoitteen levityskustannus. Kevätviljoilla lannoitteen levittämisen kustannuksia kuvaa paloittain määritelty porraskäyttö: jos liukoisen typen lannoitusmäärä ylittää 150 kg/ha vuodessa, määrä on nitraattiasetuksen mukaan jaettava vähintään kahteen erään, joiden levittämisen välisen ajan on oltava vähintään kaksi viikkoa. Tällöin lannoitteen hehtaarikohtaiset levityskustannukset nousevat korkeammalle tasolle. Säilörehun tuotannossa typpilannoituskertojen lukumäärä riippuu siitä, kuinka monta satoa kasvukauden aikana korjataan. Jos korjataan kaksi satoa, tarvitaan kaksi lannoituskertaa, ja kolmelle sadolle vastaavasti kolme kertaa.

Annetuilla hinnoilla ja todennäköisyyksillä mallien ratkaisuksi saadaan suurimman mahdollisen odotetun katetuoton (€/ha) lisäksi myös taloudellisesti optimaalinen typpilannoituksen määrä (kg/ha) sekä odotettu typpitaso (kg/ha). Odotetun (eli todennäköisyyksillä painotetun) typpitaseen arvo saadaan laskettua, kun peltolohkolle lannoitteen mukana lisätystä typpimäärästä vähennetään odotettu sadon mukana poistunut typpimäärä. Saden sisältämä typpimäärä laskettiin viljelykasvin kuiva-ainesadon määrän ja typpipitoisuuden perusteella. Nurmen kuiva-ainesadon typpipitoisuus estimoitiin typpilannoituksen funktiona (Virkajärvi 2016). Viljoilla käytettiin taulukkoarvoja (Mavi 2008).



Kuva 6. Rehuohran satovastefunktiot kivennäismaalla hyvänä ja huonona kesänä sekä odotettu satovastefunktio, kun hyvän sadon todennäköisyys on 60 prosenttia ja huonon sadon todennäköisyys 40 prosenttia.

Optimointimallien avulla saatiin selville, kuinka paljon ja missä tilanteissa lannoitus- ja ravinnetaseroitukset rajoittavat viljelijän taloudellista päätöksentekoa annetuilla hinnoilla ja todennäköisyyksillä. Lisäksi ratkaistiin vertailun vuoksi myös malleja, joissa maksimoitiin viljelykasvien odotetun hehtaarisadon määrä.

2.2.1. Ohran typpitaseet ja optimilannoitus

Taulukossa 6 on esitetty odotetun katetuoton suuruus, typpilannoituksen määrä sekä odotetun rehuohrasadon ja odotetun typpitaseen suuruus rehuohran viljelyssä kivennäismailla viiden eri optimointimallin tuloksena, kun rehuohran ja typpilannoitteen hinnat ovat keskimääräisillä tasoilla ja hyvän ja huono sadon todennäköisyys on yhtä suuri. Viisi optimointimallia ovat: 1) rajoittamaton biologinen optimi, 2) rajoitettu biologinen optimi, kun rajoitteena on nitraattiasetus, 3) rajoittamaton taloudellinen optimi, 4) rajoitettu taloudellinen optimi, kun rajoitteena on maatalouden ympäristökorvaus, ja 5) rajoitettu taloudellinen optimi, kun rajoitteena on odotettu typpitase, jonka täytyy olla pienempi tai yhtä suuri kuin 20 kg/ha.

Rajoittamaton biologinen optimi (malli 1) tuottaa suurimman mahdollisen odotetun rehuohrasadon (3 945 kg/ha). Tämän suuruinen keskimääräinen rehuohrasato saadaan pitkällä aikavälillä, kun hyviä ja huonoja kasvukausia on yhtä paljon. Nitraattiasetus (malli 2) rajoittaa vuosittaisen hehtaarikohtaisen typpilannoituksen kivennäismailla enintään 160 kilogrammaan, jolloin odotettu sato ja typpitase ovat pienemmät ja odotettu katetuotto on suurempi kuin rajoittamattomassa biologisessa optimissa. Rajoittamaton taloudellinen optimi (malli 3) puolestaan tuottaa suurimman mahdollisen odotetun katetuoton (425 €/ha). Koska yli 90 prosenttia viljelijöistä on sitoutunut vapaaehtoiseen maatalouden ympäristökorvaukseen ja sen typenkäyttörajoitteisiin³, voidaan ympäristökorvausta (mallit 4a–c) pitää vallitsevana käytäntönä, johon muiden mallien antamia tuloksia voidaan verrata. Ilman maatalouden ympäristökorvauksen typpilannoitusrajoitteita viljelijät käyttäisivät kivennäismailla 1–21 kg/ha enemmän typpilannoitetta ohranviljelyssä annetuilla keskimääräisillä hinnoilla ja todennäköisyyksillä (malli 3 vs. mallit 4a–c). Mikäli viljelijä voisi vapaasti optimoida typpilannoituksen määrän, odotettu typpitase olisi 37 kg/ha, kun se ympäristökorvaukseen sitoutuneilla tiloilla vaihtelee maan multavuudesta riippuen välillä 19–36 kg/ha. Malli 5 tuottaa ravinnetaseohjauksen mukaisen laskennallisen optimiratkaisun, jossa odotetuksi typpitaseeksi on esimerkinomaisesti⁴ asetettu enintään 20 kg/ha.

On syytä huomata, että taulukossa 6 ilmoitetut odotetut typpitaseet ovat keskimääräisiä taseita, jotka pätevät pitkällä aikavälillä. Hyvänä kesänä tyyppiä poistuu hyvän sadon mukana odotettua enemmän, joten typpitase on hyvän kasvukauden päätteeksi odotusarvoa pienempi. Vastaavasti huonona kesänä sato jää odotettua pienemmäksi, jolloin typpitase on odotettua suurempi.

Typpitaseen vähentämiskustannuksen suuruutta voidaan arvioida vertailemalla katetuottoja. Esimerkiksi ravinnetaserajoite tuottaa runsasmultaisella maalla 7 kg/ha pienemmän odotetun typpitaseen kuin ympäristökorvauksen mukainen rajoite, ja samalla se pienentää viljelijän saamaa odotettua katetuottoa 1,81 eurolla per hehtaari ympäristökorvauksen mukaiseen rajoitteeseen verrattuna.

³ Ympäristökorvauksen mukaan typpilannoituksen enimmäismäärä ohralle on vähämultaisilla ja multavilla mailla 100 kg/ha/v, runsasmultaisella maalla 90 kg/ha/v ja erittäin runsasmultaisella maalla 80 kg/ha/v, kun saavutettu satotaso on 4 000 kg/ha. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150235>

⁴ Ravinnetaseohjauksessa rajoite voi olla myös joku muu vesistövaikutusten kannalta turvallinen rajoite kuin taulukossa 6 ohralle asetettu enintään 20 kg/ha.

Taulukko 6. Optimointimallien tulokset (odotettu katetuotto, typpilannoitus, odotettu sato ja odotettu typpitase) rehuohralle annetuilla hinnoilla ja todennäköisyyksillä.

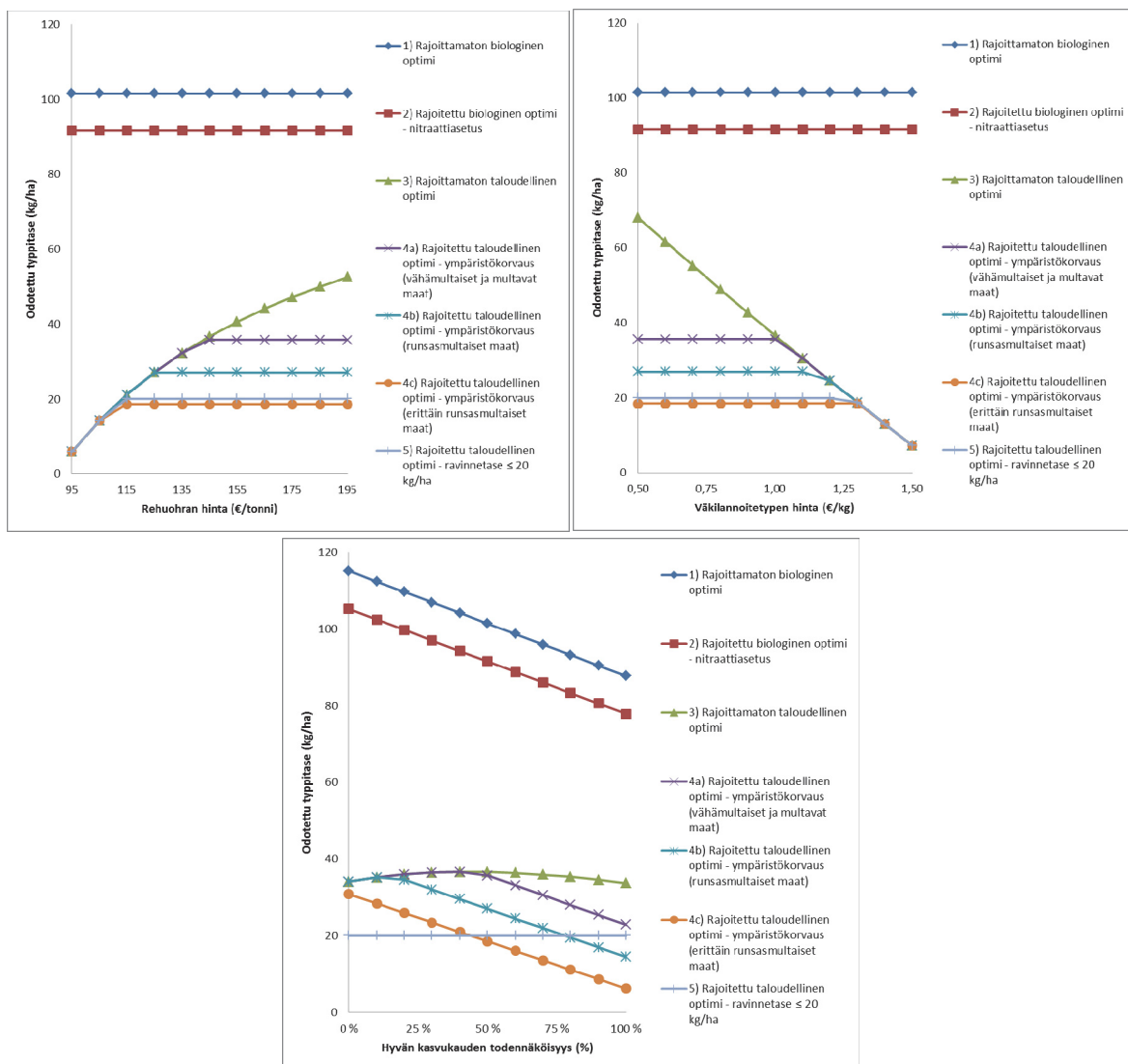
Rehuohra				
Quadratic model, yield without added N medium				
Hinnat		Todennäköisyydet		
Rehuohran hinta	145 €/tonni	Huonon sadon todennäköisyys 50 %		
Väkilannoitetyypin hinta	1,00 €/kg	Hyvän sadon todennäköisyys 50 %		
Traktorin poltto- ja voiteluaine	6,20 €/h			
Työ	16,20 €/h			
Kivennäismaat				
	Odotettu katetuotto (€/ha)	N-lannoitus (kg/ha)	Odotettu sato (kg/ha)	Odotettu typpitase (kg/ha)
1) Rajoittamaton biologinen optimi	368	170	3 945	101
2) Rajoitettu biologinen optimi nitraattiasetus	378	160	3 940	92
3) Rajoittamaton taloudellinen optimi	425	101	3 707	37
4a) Rajoitettu taloudellinen optimi ympäristökorvaus (vähämultaiset ja multavat maat)	425	100	3 700	36
4b) Rajoitettu taloudellinen optimi ympäristökorvaus (runsas-multaiset maat)	424	90	3 625	27
4c) Rajoitettu taloudellinen optimi ympäristökorvaus (erittäin runsasmultaiset maat)	422	80	3 540	19
5) Rajoitettu taloudellinen optimi odotettu ravinnetase \leq 20 kg/ha	423	82	3 556	20

Rehuohran hinnan noustessa katetuottoa maksimoivan viljelijän kannattaa lisätä typpilannoitusta saadakseen suuremman odotetun sadon. Vaikka sato ja samalla myös sadon mukana pelloilta poistuva typpimäärä lisääntyvät, johtaa rehuohran hinnan nousu rajoittamattoman taloudellisen optimoinnin seurauksena odotetun typpitaseen kasvuun. Kuvasta 7 ilmenee, että kun rehuohran hinta on 190 €/tonni (vuoden 2012 hinta), niin rajoittamattoman taloudellisen optimointimallin (malli 3) ratkaisuna saatava odotettu typpitaseen ylijäämä on 51 kg/ha. Toisaalta, jos rehuohran tonnihinta laskee 95 euroon (vuoden 2009 hinta) eikä tyypin hinnassa tapahdu muutosta, on odotettu typpitase tällöin 6 kg/ha. Kuvasta 7 ilmenee myös, että matalilla rehuohran hinnoilla ympäristökorvauksen typenkäyttö-rajitukset (mallit 4a–c) ja ravinnetaserajoite (malli 5) eivät ole sitovia, vaan ne tuottavat saman odotetun typpitaseen kuin rajoittamaton taloudellinen optimointi. Lisäksi kuvasta 7 voidaan havaita, että rehuohran hinnalla ei ole vaikutusta odotettuun typpitaseeseen, jos viljelijän tavoitteena on maksimoida sadon määrää (mallit 1 ja 2).

Väkilannoitetyypin hinnan laskiessa ja muiden hintojen pysyessä ennallaan viljelijän lannoitekustannukset pienenevät, ja viljelijän kannattaa lisätä typpilannoitusta kunnes viimeisen typpilannoitekilon lisäämisestä koituva odotettu sadon arvon lisäys on yhtä suuri kuin typpilannoitekilon hinta. Tyypin hinnan laskiessa myös odotettu peltotaseen ylijäämä lisääntyy (Kuva 7). Kun väkilannoitetyypin hinta on 0,75 €/kg, niin rajoittamattoman taloudellisen optimointimallin (malli 3) ratkaisuna saatava odotettu typpitaseen ylijäämä on 52 kg/ha. Jos taas väkilannoitetyypin kilohinta nousee ja on esimerkiksi 1,25 euroa, on odotettu typpitase tällöin 22 kg/ha. Kuvasta 7 ilmenee myös, että mikäli tyypin kilohinta on suurempi tai yhtä suuri kuin 1,30 €/kg, ympäristökorvauksen typenkäyttö-rajitukset ja ravinnetaserajoite eivät rajoita lannoitetyypin käyttöä.

Hyvän kasvukauden ja hyvän sadon todennäköisyyden lisääntyminen voi periaatteessa joko lisätä tai vähentää odotettua typpitasetta. Optimointimallin 3 perusteella näyttää siltä, että rehuohran viljelyssä odotettu typpitase ei juuri muutu, vaikka todennäköisyydet muuttuvat (Kuva 7). Odotettu typpitase on 36 kg/ha silloin, kun hyvän kasvukauden todennäköisyys on 75 % ja myös silloin, kun

hyvän kasvukauden todennäköisyys on 25 %. Ravinnetaserajoitteen voimassa ollessa (malli 5) odotettu typpitase säilyy koko ajan tasolla 20 kg/ha, koska – tehdyn oletuksen mukaan – viljelijä tuntee hyvän ja huonon kasvukauden esiintymisen todennäköisyydet ja lisää typpilannoituksen määrää, kun hyvän kasvukauden todennäköisyys lisääntyy. Tällöin myös odotettu sato ja ennen kaikkea sadon mukana poistuva odotettu typen määrä lisääntyy niin paljon, että sadon mukana poistuvan typen määrä kompensoi väkilannoitetypen lisäyksen ja typpitase säilyy vakiona. Sen sijaan suurimpaan mahdolliseen satoon tähtäävissä malleissa (mallit 1 ja 2) odotettu typpitase pienenee, kun hyvän sadon todennäköisyys lisääntyy (Kuva 7). Tämä johtuu siitä, että hehtaarikohtaisen typpilannoituksen määrä säilyy kaikilla todennäköisyyksillä vakiona (170 kg/ha mallissa 1 ja 160 kg/ha mallissa 2), mutta koska odotetun sadon määrä lisääntyy hyvän kasvukauden todennäköisyyden lisääntyessä, niin odotettu typpitase pienenee, koska suuremman sadon mukana poistuu enemmän typpeä.



Kuva 7. Vasen yläkuva: Odotettu typpitase erilaisilla rehuohran hinnoilla. Oikea yläkuva: Odotettu typpitase erilaisilla väkilannoitetypen hinnoilla rehuohran viljelyssä. Alimmainen kuva: Odotettu typpitase erilaisilla hyvän kasvukauden todennäköisyyksillä rehuohran viljelyssä.

2.2.2. Kauran typpitaseet ja optimilannoitus

Kauran viljelyn mallilaskelmat on esitetty taulukossa 7. Odotetun katetuoton suuruus, typpilannoituksen määrä sekä odotetun kaurasadon ja odotetun typpitaseen suuruus laskettiin kivennäismaille viiden eri optimointimallin tuloksena, kun kauran ja typpilannoitteen hinnat ovat keskimääräisillä tasoilla ja hyvän ja huonon sadon todennäköisyys kasvukaudella on yhtä suuri. Mallien 4a–c rajoitettiin sovellettiin saavutettuun satotasoon perustuvaa typpilannoitemäärien lisäystä⁵.

Taulukko 7. Optimointimallien tulokset (odotettu katetuotto, typpilannoitus, odotettu sato ja odotettu typpitase) kauralle annetuilla hinnoilla ja todennäköisyyksillä.

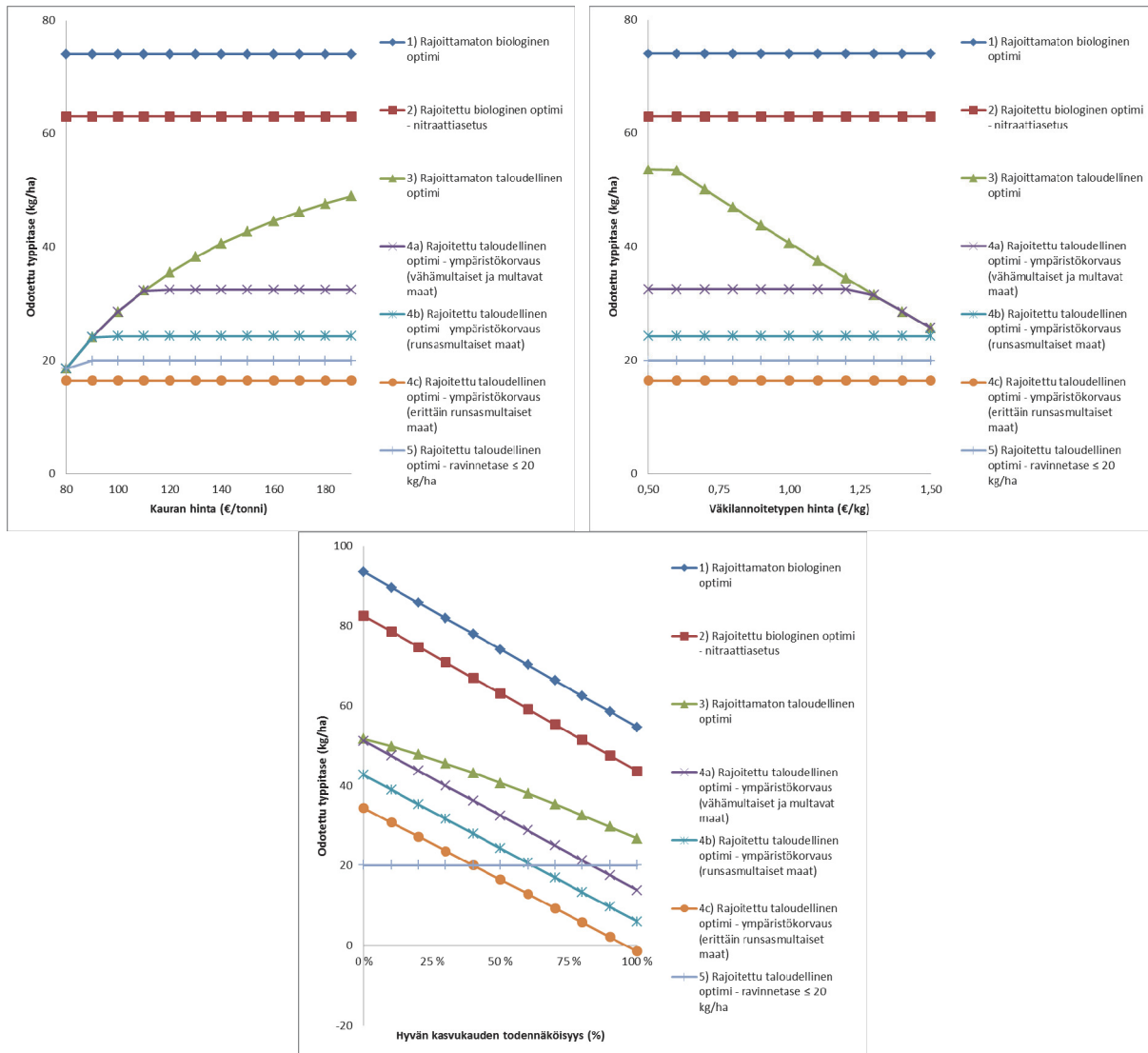
Kaura				
Quadratic model, yield without added N medium				
Hinnat		Todennäköisyydet		
Rehukauran hinta	140 €/tonni	Huonon sadon todennäköisyys	50 %	
Väkilannoitetyypen hinta	1,00 €/kg	Hyvän sadon todennäköisyys	50 %	
Traktorin poltto- ja voiteluaine	6,20 €/h			
Työ	16,20 €/h			
Kivennäismaat				
	Odotettu katetuotto (€/ha)	N-lannoitus (kg/ha)	Odotettu sato (kg/ha)	Odotettu typpitase (kg/ha)
1) Rajoittamaton biologinen optimi	556	171	5 433	74
2) Rajoitettu biologinen optimi nitraattiasetus	565	160	5 420	63
3) Rajoittamaton taloudellinen optimi	596	136	5 305	41
4a) Rajoitettu taloudellinen optimi ympäristökorvaus (vähämultaiset ja multavat maat)	595	126	5 228	32
4b) Rajoitettu taloudellinen optimi ympäristökorvaus (runsas-multaiset maat)	591	116	5 127	24
4c) Rajoitettu taloudellinen optimi ympäristökorvaus (erittäin runsasmultaiset maat)	584	106	5 007	16
5) Rajoitettu taloudellinen optimi odotettu ravinnetase ≤ 20 kg/ha	587	111	5 065	20

Taulukossa 7 esitetyistä tuloksista ilmenee, että kauran viljelyssä ympäristökorvaus (mallit 4a–c) ja ravinnetaserajoite (malli 5) rajoittavat annetuilla keskimääräisillä hinnoilla ja todennäköisyyksillä lannoitetyypen käyttöä rajoittamattomaan taloudelliseen optimiin (malli 3) verrattuna. Kaikkein eniten (30 kg/ha) ympäristökorvaus vähentää lannoitetyypen käyttöä erittäin runsasmultaisilla mailla. Odotettu typpitase on tällöin 25 kg/ha pienempi kuin ympäristökorvaukseen sitoutumattomalla tilalla. Ympäristökorvaukseen sitoutuneelle viljelijälle tuleva katetuoton menetys on tällöin 12 €/ha.

Kuvassa 8 on esitetty optimointimallien tuottamat odotetut typpitaseet erilaisilla kauran hinnoilla. Jos kauran tonnihinta nousee 184 euroon (kuten vuonna 2012) ja todennäköisyydet ja muut hin-

⁵ Ympäristökorvauksen mukaan typpilannoituksen enimmäismäärä kauralle on vähämultaisilla ja multavilla mailla 100 kg/ha/v, runsasmultaisella maalla 90 kg/ha/v ja erittäin runsasmultaisella maalla 80 kg/ha/v, kun saavutettu satotaso on 4 000 kg/ha. Typpilannoitusmääriä voidaan lisätä rajoitetusti saavutetun satotason perusteella. Laskelmassa on oletettu, että lohkolta on saavutettu rajoittamattoman taloudellisen optimin mukainen satotaso (5 305 kg/ha), jolloin typpimäärän lisäys ympäristökorvauksen vuotuisiin enimmäismääriin on 26 kg/ha. Näin ollen ympäristökorvauksen mukainen typpilannoituksen enimmäismäärä on vähämultaisilla ja multavilla mailla 126 kg/ha/v, runsasmultaisella maalla 116 kg/ha/v ja erittäin runsasmultaisella maalla 106 kg/ha/v.

nat pysyvät ennallaan, niin rajoittamattoman talousoptimin (malli 3) perusteella odotettu peltotaseeseen ylijäämä on tällöin 48 kg/ha. Jos kauran hinta laskee ja on esimerkiksi 87 €/tonni (kuten vuonna 2009), niin optimiratkaisua vastaava odotettu typen peltotase on 23 kg/ha. Näin matalalla kauran hinnalla ympäristökorvauksen typpilannoitusrajoitteet eivät ole sitovia vähämultaisilla ja multavilla mailla eivätkä myöskään runsasmultaisilla mailla, vaan viljelijän kannattaa käyttää väkilannoitetyyppiä enintään 114 kg/ha.



Kuva 8. Vasen yläkuva: Odotettu typpitase erilaisilla kauran hinnoilla. Oikea yläkuva: Odotettu typpitase erilaisilla väkilannoitetyypin hinnoilla kauran viljelyssä. Alimmainen kuva: Odotettu typpitase erilaisilla hyvän kasvukauden todennäköisyyksillä kauran viljelyssä.

Kuvasta 8 ilmenee myös, että väkilannoitetyypin kilohinnan laskiessa 0,75 euroon ja muiden hintojen ja todennäköisyyksien pysyessä ennallaan, on odotettu peltotase kauran viljelyssä rajoittamattoman taloudellisen optimoinnin (malli 3) perusteella 49 kg/ha. Lannoitetyypin kilohinnan nousu esimerkiksi 1,25 euroon vähentää lannoitetyypin käyttöä ja pienentää viljelijän saamaa odotettua katetuottoa, mutta odotettu peltotase on silti selvästi ylijäämäinen: 33 kg/ha. Ympäristökorvaus (mallit 4a–c) rajoittaa odotetun typpitaseen vähämultaisilla ja multavilla mailla enintään tasolle 32 kg/ha, runsasmultaisilla mailla enintään 24 kg/ha ja erittäin runsasmultaisilla mailla enintään 16 kg/ha.

Kuvasta 8 voidaan myös havaita, että muiden optimointimallien paitsi mallin 5 perusteella näyttää siltä, että annetuilla hinnoilla kauranviljelyssä odotettu typen peltotase pienenee, jos hyvän kas-

vukauden todennäköisyys lisääntyy. Rajoittamattoman taloudellisen optimoinnin ratkaisuna (malli 3) odotettu typpitase pienenee jopa silloin, kun typpilannoitusta hieman lisätään samalla, kun hyvän kasvukauden todennäköisyys lisääntyy. Jos huonon sadon todennäköisyys on 75 %, kannattaa kate-tuottoa maksimoivan viljelijän lisätä lannoitetyyppiä peltoon vuosittain 132 kg/ha, jolloin odotettu typpitase on 47 kg/ha. Jos taas hyvän sadon todennäköisyys on 75 %, kannattaa lannoitetyyppiä käyt-tää annetuilla hinnoilla vuosittain 139 kg/ha. Koska odotettu sato on tällöin suurempi, on odotettu typpitase tällöin 34 kg/ha. Ravinnetaserajoitteen voimassa ollessa (malli 5) odotettu typpitase säilyy koko ajan 20 kilogrammassa per hehtaari, koska viljelijä lisää typpilannoituksen määrää juuri sen verran, että rajoite säilyy sitovana, kun hyvän kasvukauden todennäköisyys lisääntyy. Malleissa 1, 2 ja 4a–c puolestaan vuotuinen typpilannoitus pysyy koko ajan samalla tasolla (rajoitetuissa malleissa rajoitteen enimmäisrajalla), mutta odotetut hehtaarisadot ja satojen mukana poistuvat typpimäärät ovat suurempia silloin kun hyvän kasvukauden todennäköisyys on suuri.

2.2.3. Kevätvehnän typpitaseet ja optimilannoitus

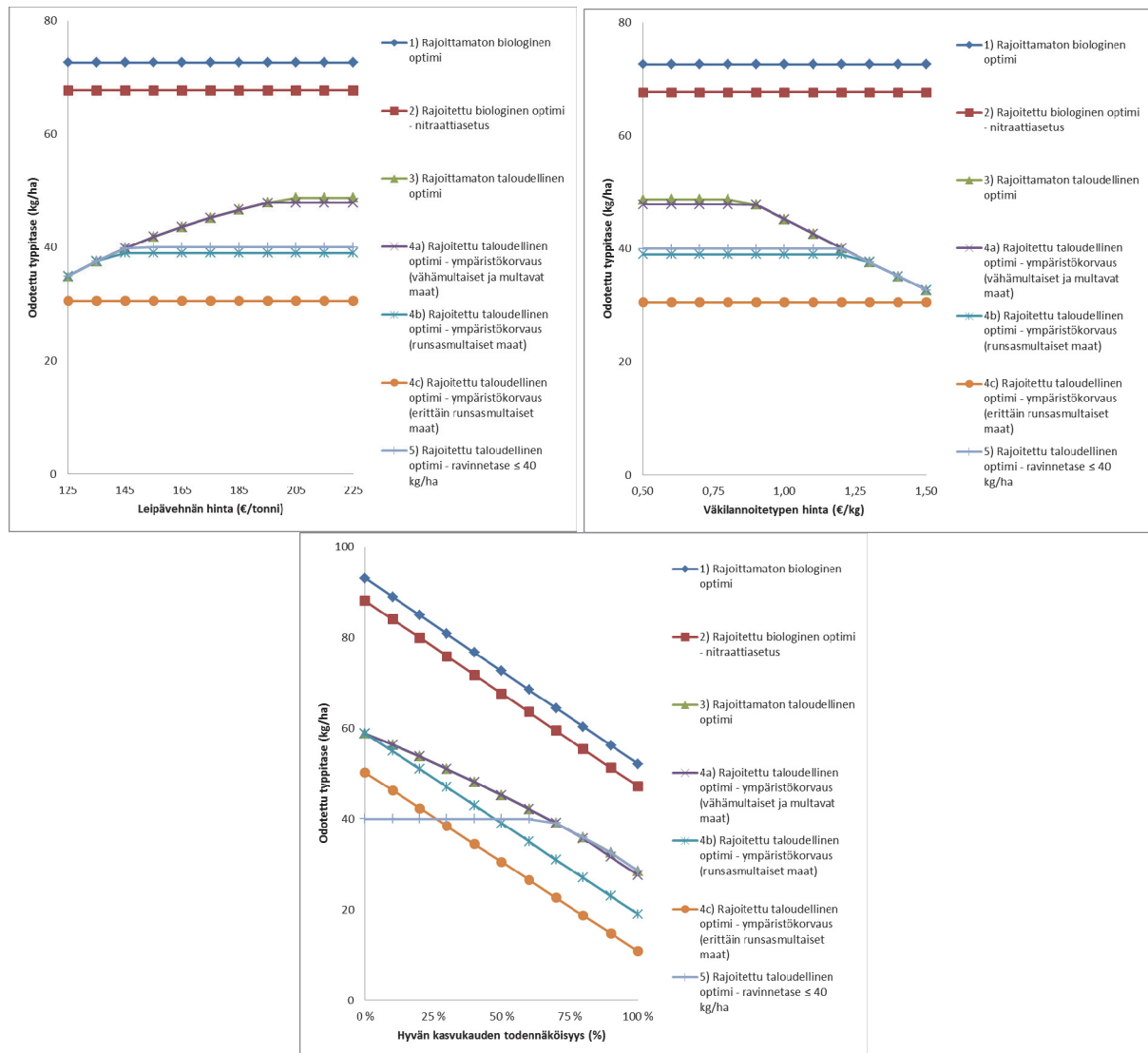
Kevätvehnän viljelyssä (Taulukko 8) taloudellisten optimointimallien odotetut typpitaseet ovat hie-man suurempia kuin rehuohran ja kauran viljelyssä (Taulukot 6 ja 7). Mallien 4a–c typpilannoitusra-joitteisiin sovellettiin saavutettuun satotasoon (5 479 kg/ha) perustuvaa 29 kilogramman hehtaari-kohtaista typpimäärän lisäystä. Näin ollen ympäristökorvauksen mukainen typpilannoituksen enim-mäismäärä on vähämultaisilla ja multavilla mailla $120 + 29 = 149$ kg/ha/v, runsasmultaisella maalla $110 + 29 = 139$ kg/ha/v ja erittäin runsasmultaisella maalla $100 + 29 = 129$ kg/ha/v.

Taulukko 8. Optimointimallien tulokset (odotettu katetuotto, typpilannoitus, odotettu sato ja odotettu typpi-tase) kevätvehnälle annetuilla hinnoilla ja todennäköisyyksillä.

Kevätvehnä				
Quadratic model, yield without added N "medium"				
Hinnat		Todennäköisyydet		
Leipävehnän hinta	175 €/tonni	Huonon sadon todennäköisyys 50 %		
Rehuvehnän hinta	160 €/tonni	Hyvän sadon todennäköisyys 50 %		
Väkilannoitetyypin hinta	1,00 €/kg			
Traktorin poltto- ja voiteluaine	6,20 €/h			
Työ	16,20 €/h			
Kivennäismaat				
	Odotettu katetuotto (€/ha)	N-lannoitus (kg/ha)	Odotettu sato (kg/ha)	Odotettu typpitase (kg/ha)
1) Rajoittamaton biologinen optimi	752	175	5 563	73
2) Rajoitettu biologinen optimi nitraattiasetus	757	170	5 560	68
3) Rajoittamaton taloudellinen optimi	789	146	5 479	45
4a) Rajoitettu taloudellinen optimi ympäristökorvaus (vähämultaiset ja multavat maat)	789	146	5 479	45
4b) Rajoitettu taloudellinen optimi ympäristökorvaus (runsas- multaiset maat)	788	139	5 433	39
4c) Rajoitettu taloudellinen optimi ympäristökorvaus (erittäin runsasmultaiset maat)	784	129	5 351	31
5) Rajoitettu taloudellinen optimi odotettu ravinnetase ≤ 40 kg/ha	789	140	5 441	40

Taulukossa 8 esitettyjen tulosten perusteella voidaan todeta, että ympäristökorvauksen typpilannoitusrajoite ei ole sitova annetuilla hinnoilla ja todennäköisyyksillä kevätvehnän viljelyssä vähämultai-silla ja multavilla mailla, sillä malli 4a tuottaa saman ratkaisun kuin rajoittamaton taloudellinen opti-

mi (malli 3). Pienimmän odotetun typpitaseen annetuilla keskimääräisillä hinnoilla ja todennäköisyyksillä tuottaa malli 4c eli ympäristökorvauksen mukainen rajoitettu taloudellinen optimiratkaisu erittäin runsasmultaisella maalla, jossa tyyppiä saa lisätä peltoon vuosittain enintään 129 kg/ha. Ravinnetaserajoite (malli 5) on nyt asetettu niin, että odotettu ravinnetase on enintään 40 kg/ha. Jos rajoite olisi tiukempi, esimerkiksi sellainen että odotettu typpitase saa olla enintään 30 kg/ha, niin vuosittain peltoon lisättävä lannoitetyypin määrä olisi 128 kg/ha.



Kuva 9. Vasen yläkuva: Odotettu typpitase erilaisilla leipä- ja rehuvehnän hinnoilla kevätvehnän viljelyssä. Oikea yläkuva: Odotettu typpitase erilaisilla väkilannoitetyypin hinnoilla kevätvehnän viljelyssä. Alimmainen kuva: Odotettu typpitase erilaisilla hyvän kasvukauden todennäköisyyksillä kevätvehnän viljelyssä.

Kuvassa 9 on esitetty optimointimallien tuottamat odotetut typpitaseet erilaisilla leipä- ja rehuvehnän hinnoilla kevätvehnän viljelyssä. Koordinaatiston x-akselille on merkitty ainoastaan leipävehnän hinta. Rehuvehnän tonnihinta on 15 euroa leipävehnän tonnihintaa pienempi. Lisäksi laskelmissa on oletettu, että vehnäsadosta 85 % on leipäviljaa ja 15 % rehuviljaa. Jos leipävehnän tonnihinta nousee esimerkiksi 200 euroon (kuten vuonna 2013) ja rehuvehnän hinta on 185 €/tonni ja todennäköisyydet ja muut hinnat pysyvät ennallaan, niin rajoittamattoman optimiratkaisun (malli 3) perusteella odotettu typpitaseen ylijäämä on tällöin 49 kg/ha. Jos vehnän hinta laskee ja leipävehnän hinta on esimerkiksi 134 €/tonni (kuten vuonna 2009) ja rehuvehnän hinta on 119 €/tonni, niin optimiratkaisua vastaava odotettu typpitase on 37 kg/ha.

Kuvassa 9 on esitetty myös odotettujen typpitaseiden arvoja erilaisilla väkilannoitetyypin hinnoilla kevätvehnän viljelyssä. Lannoitetyypin kilohinnan laskiessa 0,75 euroon ja muiden hintojen ja todennäköisyyksien pysyessä ennallaan, on mallin 3 (rajoittamaton taloudellinen optimi) perusteella ratkaistu odotettu typpitase 49 kg/ha. Typen kilohinnan nousu 1,25 euroon vähentää lannoitetyypin käyttöä ja odotettu typpitase on tällöin 39 kg/ha.

Katetuottoa maksimoivan viljelijän kannattaa lisätä typpilannoitusta, jos hyvän kasvukauden ja sadon todennäköisyys lisääntyy ja hinnat pysyvät ennallaan. Rajoittamattoman taloudellisen optimoinnin (mallin 3) perusteella näyttää siltä, että annetuilla hinnoilla myös vehnänviljelyssä odotettu peltotase pienenee, kun hyvän sadon todennäköisyys lisääntyy, vaikka typpilannoitusta samalla lisätään (Kuva 9). Jos hyvän kasvukauden ja sadon todennäköisyys kevätvehnän viljelyssä on 25 %, kannattaa tyyppiä lisätä peltoon vuosittain 143 kg/ha, jolloin odotettu typpitase on 52 kg/ha. Jos taas hyvän sadon todennäköisyys on 75 %, kannattaa viljelijän lisätä typpilannoitetta kevätvehnäpeltoon vuosittain 149 kg/ha. Odotettu typpitase on tällöin 37 kg/ha.

2.2.4. Säilörehun typpitaseet ja optimilannoitus

Optimointimallit ratkaistiin myös säilörehunurmelle korjattaessa kaksi satoa kasvukaudessa, kun säilörehun ja väkilannoitetyypin hinnat olivat keskimääräisillä tasoilla, ja hyvän ja huonon kasvukauden todennäköisyys oli yhtä suuri. Optimointimallien tulokset kivennäismailla on esitetty taulukossa 9 ja eloperäisillä mailla taulukossa 10. Saatuihin tuloksiin pitää suhtautua hieman varauksellisesti, sillä mallit perustuvat väkilannoitetyypellä tehtyihin kokeisiin, ja käytännön viljelyssä nurmien lannoituksessa käytetään paljon myös karjanlantaa. Säilörehulle on myös hankala määrittellä yksiselitteistä markkinahintaa, koska rehu tuotetaan yleensä omalle tilalle eikä myyntiin. Laskelmissa säilörehun keskimääräiseksi hinnaksi oletettiin 0,13 €/kg kuiva-ainetta. Hinta saatiin rehuohran keskimääräisestä hinnasta ja energiasisällöstä johtamalla.

Taulukosta 9 ilmenee, että nitraattiasetus (malli 2), ympäristökorvaus (mallit 4a–c) ja ravinnetaserajoite (malli 5) rajoittavat annetuilla keskimääräisillä hinnoilla ja todennäköisyyksillä lannoitetyypin käyttöä rajoittamattomaan taloudelliseen optimiin (malli 3) verrattuna säilörehun tuotannossa kivennäismailla. Kaikkein eniten lannoitetyypin käyttöä vähentää ympäristökorvaus erittäin runsasmultaisilla mailla. Erityisen tärkeää on kuitenkin huomata, että edes ympäristökorvausjärjestelmään sitoutumaton viljelijä ei voi lisätä säilörehun tuotannossa kivennäismailla lannoitetyppiä peltoon vuosittain enempää kuin nitraattiasetuksen sallima 250 kg/ha. Tästä syystä suurin mahdollinen odotettu katetuotto säilörehun tuotannossa kivennäismailla on annetuilla hinnoilla ja todennäköisyyksillä 778,03 €/ha.

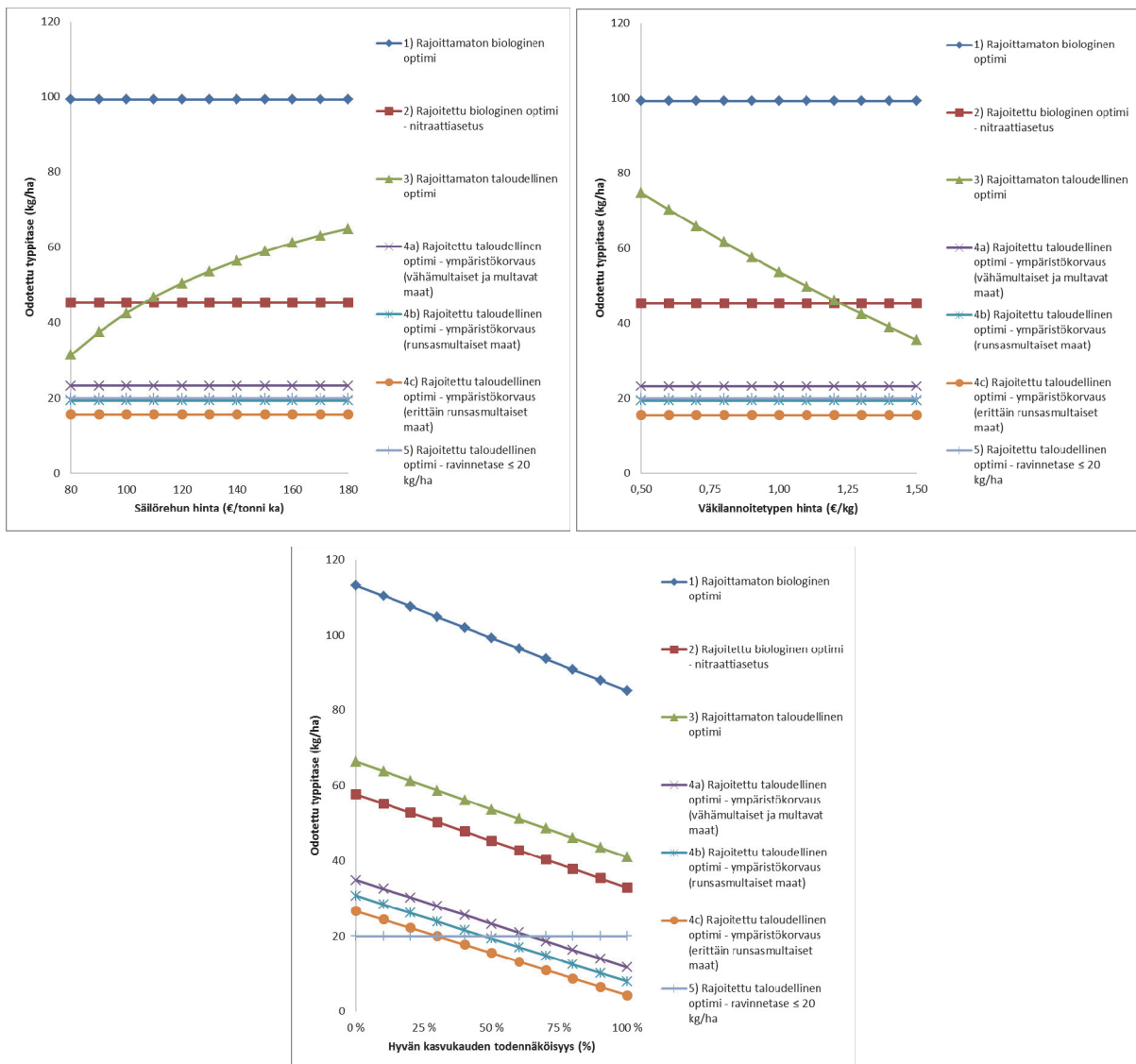
Taulukko 9. Optimointimallien tulokset (odotettu katetuotto, typpilannoitus, odotettu sato ja odotettu typpitase) säilörehulle kivennäismailla annetuilla hinnoilla ja todennäköisyyksillä.

Säilörehu				
Quadratic model				
Hinnat		Todennäköisyydet		
Säilörehun hinta	130 €/tonni ka	Huonon sadon todennäköisyys	50 %	
Väkilannoitetyypen hinta	1,00 €/kg	Hyvän sadon todennäköisyys	50 %	
Traktorin poltto- ja voiteluaine	6,20 €/h			
Työ	16,20 €/h			
Kivennäismaat				
	Odotettu katetuotto (€/ha)	N-lannoitus (kg/ha)	Odotettu sato (kg ka/ha)	Odotettu typpitase (kg/ha)
1) Rajoittamaton biologinen optimi	720	342	8 686	99
2) Rajoitettu biologinen optimi nitraattiasetus	778	250	8 253	45
3) Rajoittamaton taloudellinen optimi	780	267	8 396	54
4a) Rajoitettu taloudellinen optimi ympäristökorvaus (vähämultaiset ja multavat maat)	750	200	7 655	23
4b) Rajoitettu taloudellinen optimi ympäristökorvaus (runsas-multaiset maat)	741	190	7 505	19
4c) Rajoitettu taloudellinen optimi ympäristökorvaus (erittäin runsasmultaiset maat)	730	180	7 345	16
5) Rajoitettu taloudellinen optimi odotettu ravinnetase ≤ 20 kg/ha	742	192	7 530	20

Kuvassa 10 on esitetty optimointimallien tuottamat odotetut typpitaseet erilaisilla säilörehun hinnoilla säilörehun tuotannossa kivennäismailla. Jos säilörehun hinta nousee esimerkiksi 160 euroon per tonni kuiva-ainetta ja todennäköisyydet ja muut hinnat pysyvät ennallaan, niin rajoittamattoman talousoptimin (malli 3) perusteella viljelijän kannattaisi lisätä peltoon väkilannoitetyyppeä 281 kg/ha, jolloin odotettu typpitaseen ylijäämä olisi 61 kg/ha. Tämä on tosin vain teoreettinen tulos, sillä nitraattiasetus rajoittaa typpilannoituksen enintään määrään 250 kg/ha ja näin ollen odotetun typpitaseen tasolle 45 kg/ha. Jos säilörehun hinta laskee ja on esimerkiksi 100 €/tonni kuiva-ainetta, niin optimiratkaisua vastaava odotettu typpitase on tällöin 43 kg/ha.

Kuvassa 10 on esitetty myös odotettuja typpitaseiden arvoja erilaisilla väkilannoitetyypen hinnoilla säilörehun tuotannossa kivennäismailla, kun säilörehun hinta on 130 €/tonni kuiva-ainetta ja hyvän ja huonon kasvukauden todennäköisyydet ovat yhtä suuret (50 % ja 50 %). Kuvasta ilmenee, että nitraattiasetus rajoittaa lannoitetyypen käyttöä ja odotettuja typpitaseita mikäli väkilannoitetyypen hinta on pienempi tai yhtä suuri kuin 1,23 €/kg. Odotettu typpitase on tällöin 45 kg/ha.

Kuvasta 10 voi myös havaita, että kun säilörehun hinta on 130 €/tonni kuiva-ainetta ja väkilannoitetyypen hinta on 1,00 €/kg, niin kaikilla hyvän ja huonon kasvukauden todennäköisyyksillä rajoittamattoman taloudellisen optimoinnin (malli 3) tuottamat optimiratkaisut ja odotetut typpitaseet ovat mahdollisia vain teoriassa. Nitraattiasetus ei salli niin suurta vuotuista typpilannoitusta, että mallin 3 tuottamat optimiratkaisut olisivat mahdollisia käytännön viljelyssä. Näin ollen katetuottoa maksimoivan yrityksen odotettu typpitase määräytyy mallin 2 perusteella.



Kuva 10. Vasen yläkuva: Odotettu typpitase erilaisilla säilörehun hinnoilla kivennäismailla. Oikea yläkuva: Odotettu typpitase erilaisilla väkilannoitetyypin hinnoilla säilörehun tuotannossa kivennäismailla. Alimmainen kuva: Odotettu typpitase erilaisilla hyvän kasvukauden todennäköisyyksillä säilörehun tuotannossa kivennäismailla.

Taulukossa 10 on esitetty odotetun katetuoton suuruus, typpilannoituksen määrä sekä odotetun rehuohrasadon ja odotetun typpitaseen suuruus säilörehun tuotannossa eloperäisillä mailla viiden eri optimointimallin tuloksena, kun säilörehun ja lannoitetyypin hinnat ovat keskimääräisillä tasoilla ja hyvän ja huonon sadon todennäköisyys on yhtä suuri. Taulukosta ilmenee, että myös eloperäisillä mailla nitraattiasetus (malli 2), ympäristökorvaus (malli 4) ja ravinnetaserajoite (malli 5) rajoittavat annetuilla keskimääräisillä hinnoilla ja todennäköisyyksillä lannoitetyypin käyttöä ja pienentävät typpitasetta rajoittamattomaan taloudelliseen optimiin (malli 3) verrattuna.

Taulukko 10. Optimointimallien tulokset (odotettu katetuotto, typpilannoitus, odotettu sato ja odotettu typpitase) säilörehulle eloperäisillä mailla annetuilla hinnoilla ja todennäköisyyksillä.

Säilörehu

Quadratic model

Hinnat

Säilörehun hinta	130 €/tonni ka
Väkilannoitetyypin hinta	1,00 €/kg
Traktorin poltto- ja voiteluaine	6,20 €/h
Työ	16,20 €/h

Todennäköisyydet

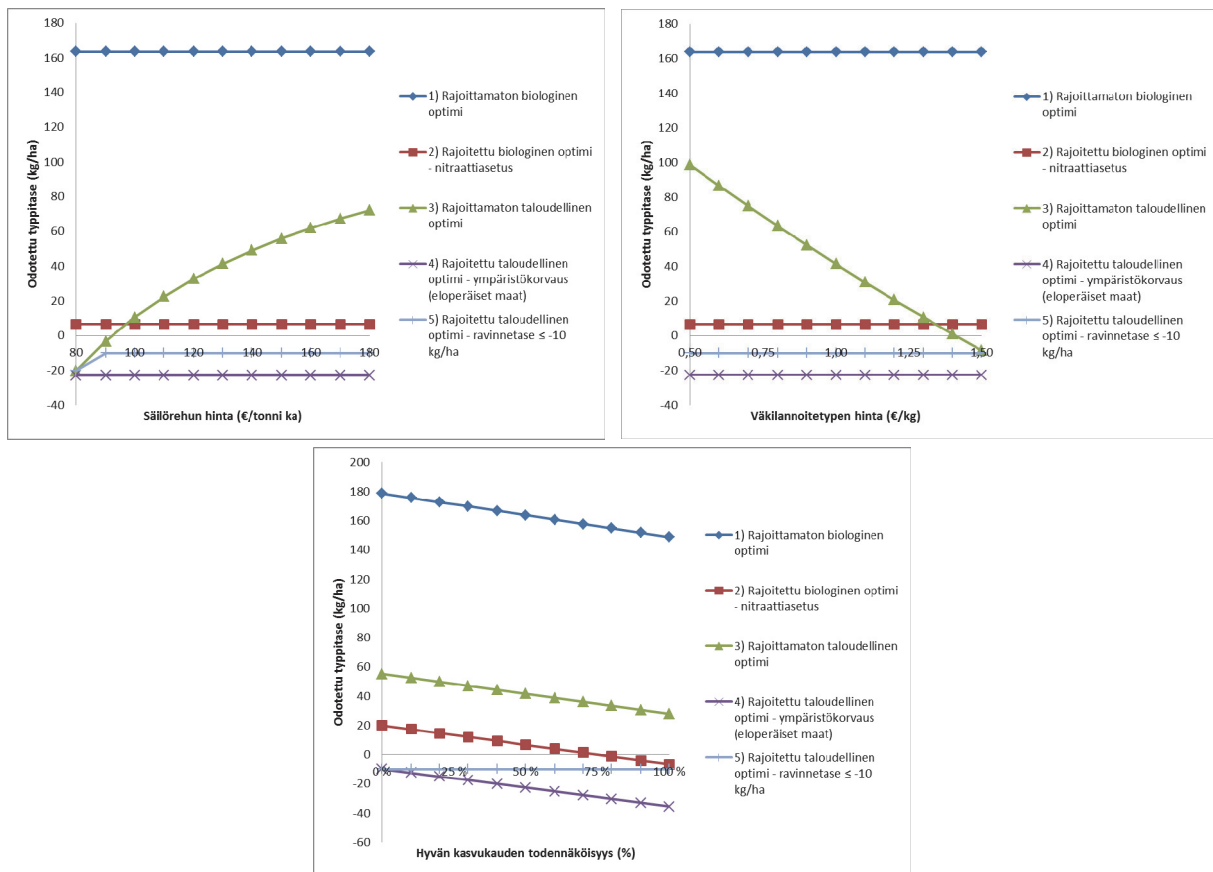
Huonon sadon todennäköisyys	50 %
Hyvän sadon todennäköisyys	50 %

Eloperäiset maat

	Odotettu katetuotto (€/ha)	N-lannoitus (kg/ha)	Odotettu sato (kg ka/ha)	Odotettu typpitase (kg/ha)
1) Rajoittamaton biologinen optimi	647	425	8 765	164
2) Rajoitettu biologinen optimi nitraattiasetus	740	210	7 656	7
3) Rajoittamaton taloudellinen optimi	750	265	8 149	41
4) Rajoitettu taloudellinen optimi ympäristökorvaus (eloperäiset maat)	716	160	7 080	-23
5) Rajoitettu taloudellinen optimi odotettu ravinnetase \leq -10 kg/ha	729	182	7 350	-10

Kuvasta 11 voidaan havaita, että annetulla typpilannoitteen hinnalla (1,00 €/kg) ja annetuilla hyvän ja huonon kasvukauden todennäköisyyksillä (50 % ja 50 %) nitraattiasetus (malli 2) rajoittaa typpilannoitteen käytön eloperäisillä mailla enintään 210 kilogrammaan per hehtaari vuodessa, mikäli säilörehun hinta on suurempi tai yhtä suuri kuin 97 €/tonni kuiva-ainetta. Odotettu typpitase on tällöin 7 kg/ha. Vieläkin enemmän lannoitetyypin lisäämistä peltoon rajoittavat ravinnetaserajoite (malli 5) ja vapaaehtoinen maatalouden ympäristökorvaus (malli 4).

Kuvassa 11 on esitetty odotettuja typpitaseiden arvoja myös erilaisilla väkilannoitetyypin hinnoilla säilörehun tuotannossa eloperäisillä mailla ja muiden hintojen ja todennäköisyyksien säilyessä ennallaan. Lannoitetyypin kilohinnan ollessa alle 1,19 euroa määräytyy katetuottoa maksimoivan ympäristökorvaukseen sitoutumattoman viljelijän lannoitetyypin käyttö nitraattiasetuksen salliman enimmäismäärän (210 kg/ha) perusteella, sillä rajoittamattoman taloudellisen optimointimallin (malli 3) ratkaisuna saadut typpilannoitusmäärät ylittävät nitraattiasetuksen typpilannoitusrajoitteen.



Kuva 11. Vasen yläkuva: Odotettu typpitase erilaisilla säilörehun hinnoilla eloperäisillä mailla. Oikea yläkuva: Odotettu typpitase erilaisilla väkilannoitetyypin hinnoilla säilörehun tuotannossa eloperäisillä mailla. Alimmainen kuva: Odotettu typpitase erilaisilla hyvän kasvukauden todennäköisyyksillä säilörehun tuotannossa eloperäisillä mailla.

Kuvassa 11 on esitetty myös odotettuja typpitaseiden arvoja erilaisilla hyvän kasvukauden todennäköisyyksillä säilörehun tuotannossa eloperäisillä mailla, kun säilörehun hinta on 130 €/tonni kuivaainetta ja väkilannoitetyypin hinta 1 €/kg. Rajoittamattoman taloudellisen optimoinnin (malli 3) tuottamat optimiratkaisut ja odotetut typpitaseet ovat mahdollisia vain teoriassa, sillä nitraattiasetus ei salli niin suurta vuotuista typpilannoitusta, että mallin 3 tuottamat optimiratkaisut olisivat mahdollisia käytännön viljelyssä. Ravinnetaserajoitteen (malli 5) tuottama odotettu typpitase poikkeaa ympäristökorvauksen (malli 4) tuottamasta odotetusta typpitaseesta suuremmilla hyvän kasvukauden todennäköisyyksillä, koska typpilannoitusta kannattaa tällöin lisätä suuremmaksi kuin ympäristökorvauksen sallima enimmäismäärä 160 kg/ha, jolloin mallin 5 odotettu ravinnetase samalla heikkenee malliin 4 verrattuna.

2.2.5. Typpilannoituksen säätelyn vaikutus typpitaseisiin

Jos typpilannoitusta ei säänneltäisi millään tavalla, viljelijä voisi vapaasti optimoida lannoitetyypin käytön. Odotetut typpitaseet olisivat tällöin luvuissa 3.3.1–3.3.4 ratkaistujen optimointimallien perusteella (keskimääräisillä hinnoilla ja silloin, kun hyviä ja huonoja kasvukausia esiintyy yhtä usein) seuraavat:

- rehuohran viljelyssä kivennäismailla 37 kg/ha
- kauran viljelyssä kivennäismailla 41 kg/ha
- kevätvehnän viljelyssä kivennäismailla 45 kg/ha
- säilörehun tuotannossa kivennäismailla 54 kg/ha ja
- säilörehun tuotannossa eloperäisillä mailla 41 kg/ha.

Annetuilla hinnoilla ja todennäköisyyksillä odotetuista typpitaseista poikettaisiin satunnaisesti suuntaan tai toiseen erilaisista kasvukausista johtuvan vaihtelun takia.

Satunnaisvaihtelun lisäksi odotetuissa typpitaseissa on vaihtelua, joka johtuu lopputuotteen tai tuotantopanoksen (tai molempien) hintojen vaihtelusta. Jos viljasta tai säilörehusta saa hyvän hinnan ja/tai typpilannoite on halpaa, kannattaa lannoittaa enemmän. Jos taas lannoite on kallista ja/tai lopputuote halpaa, niin kannattaa lannoittaa vähemmän. Optimointitulosten perusteella lopputuotteen hintavaihtelu heijastuisi odotettuihin typpitaseisiin seuraavasti:

- rehuohra kivennäismailla 6–50 kg/ha
- kaura kivennäismailla 19–49 kg/ha
- kevätvehnä kivennäismailla 38–49 kg/ha
- säilörehu kivennäismailla 37–63 kg/ha ja
- säilörehu eloperäisillä mailla -3–67 kg/ha.

Väkilannoitetyypin hinnanvaihtelu puolestaan aiheuttaa odotettuihin typpitaseisiin seuraavanlaiset vaihteluvälit:

- rehuohra kivennäismailla 19–55 kg/ha
- kaura kivennäismailla 31–50 kg/ha
- kevätvehnä kivennäismailla 38–49 kg/ha
- säilörehu kivennäismailla 43–66 kg/ha ja
- säilörehu eloperäisillä mailla 11–75 kg/ha.

Verrattuna peltolohkoaineistossa esiintyneisiin typpitaseisiin (Taulukko 3 ja Liite 10) edellä mainittujen typpitaseiden ylärajat ovat ohran ja kauran kohdalla huomattavan korkeita.

Kun tarkastellaan nitraattiasetuksen mukaisia typen käyttömääriä, viljanviljelyssä taseet olisivat vieläkin korkeampia eikä talousmallinnuksen tulosten perusteella esiintynyt sellaista tilannetta, että nitraattiasetus olisi rajoittanut lannoitetyypin käyttöä kevätiljojen viljelyssä kivennäismailla. Sen sijaan säilörehun tuotannossa tilanne on saatujen tulosten perusteella täysin erilainen. Kivennäismailla nitraattiasetuksen lannoitetyypin käyttörajoitteesta (enintään 250 kg/ha) seuraa se, että odotettu ravinnetase on korkeintaan 45 kg/ha ja odotettujen taseiden vaihtelu on 37–45 kg/ha. Eloperäisillä mailla nitraattiasetuksen typpilannoitusrajoitteesta (enintään 210 kg/ha) puolestaan seuraa, että ravinnetase säilörehun tuotannossa on enintään 7 kg/ha. Odotettujen typpitaseiden vaihtelu on tällöin -3–7 kg/ha.

Tarkasteltaessa vapaaehtoisen ympäristökorvauksen lannoitusrajoitteita talousmallinnus osoittaa, että ympäristökorvaus rajoittaa viljantuotannossa viljelijän lannoitetyypin käyttöä ja pienentää odotettua typpitasetta silloin, kun viljan hinta on korkea ja/tai lannoitetyppi on halpaa. Näin ollen viljanviljelyssä ympäristökorvaus leikkaa kaikkein korkeimmat taseet, jos viljan ja lannoitteiden hintasuhteet markkinoilla muuttuvat sellaisiksi, että lannoitetyyppeä kannattaa käyttää runsaasti. Säilörehun tuotannossa tilanne on toisenlainen, sillä saatujen tulosten perusteella ympäristökorvaus rajoittaa käytännössä koko ajan typpilannoitusmääriä säilörehun tuotannossa.

Kaiken kaikkiaan ympäristökorvauksen typenkäyttörajoitteet johtavat seuraavanlaisiin odotettuihin typpitaseisiin:

- rehuohranviljelyssä kivennäismailla ≤ 36 kg/ha (vähämultaiset ja multavat maat), ≤ 27 kg/ha (runsasmultaiset maat) ja ≤ 19 kg/ha (erittäin runsasmultaiset maat)
- kauranviljelyssä kivennäismailla ≤ 32 kg/ha (vähämultaiset ja multavat maat), ≤ 24 kg/ha (runsasmultaiset maat) ja ≤ 16 kg/ha (erittäin runsasmultaiset maat)
- kevätvehnän viljelyssä kivennäismailla ≤ 45 kg/ha (vähämultaiset ja multavat maat), ≤ 39 kg/ha (runsasmultaiset maat) ja ≤ 31 kg/ha (erittäin runsasmultaiset maat)

- säilörehun tuotannossa kivennäismailla ≤ 23 kg/ha (vähämultaiset ja multavat maat), ≤ 19 kg/ha (runsasmultaiset maat) ja ≤ 16 kg/ha (erittäin runsasmultaiset maat) ja
- säilörehun tuotannossa eloperäisillä mailla ≤ 23 kg/ha.

Samalla kun ympäristökorvaus rajoittaa (joissakin tilanteissa enemmän ja toisissa vähemmän) typpilannoitteen käyttöä ja estää suurimpien ravinnetaseiden esiintymisen, se pienentää viljelijän kasvin tuotannosta saamaa katetuottoa. Kuten taulukoista 6–10 voi laskea, on hehtaarikohtainen tulonmenetys rajoittamattomaan taloudelliseen optimointiin verrattuna viljanviljelyssä usein alle 10 €/ha. Säilörehun tuotannossa summat ovat suurempia, kivennäismailla lähes 50 €/ha.

Ravinnetaseohjauksessa suurimmat sallitut odotetut typpitaseet voidaan eriyttää viljelykasveittain ja maalajeittain kuten taulukoissa 6–10 esitetyissä malleissa 5 on tehty. Tarvittaessa eriyttäminen voidaan tehdä myös maan multavuuden suhteen.

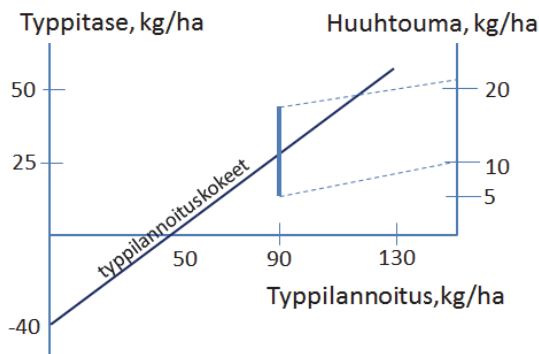
Näyttää siis siltä, että ravinnetaseita voidaan pienentää lannoitusrajoitteilla ja ravinnetaseohjauksella melko edullisesti. Viljelijöille aiheutuneiden tulonmenetysten lisäksi yhteiskunnan kannalta on tietysti merkitystä myös sillä, millaisia ympäristövaikutuksia toimenpiteillä on, ja kuinka suuri hyöty yhteiskunnalle voi tulla vesistöjen tilan parantumisesta. Muistettava myös on, että tällä hetkellä tulonmenetykset korvataan viljelijöille ympäristökorvauksena.

Miksi kaikki viljelijät eivät kuitenkaan halua sitoutua ympäristökorvaukseen ja/tai vastustavat sen lannoitusrajoja? Syitä lienee useita, ja ne voivat liittyä tiukentuviin fosforin käytön rajoituksiin ja lannan levitysalan niukkuuteen sekä uuden pellon hankkimisen kalleuteen.

2.3. Typpitaseiden ja huuhtoumien yhteys

2.3.1. Typpitase ja typpihuuhtouma koeaineistoissa

Tavoitteena oli myös selvittää, minkä suuruisia olisivat ympäristön - erityisesti vesistövaikutusten - kannalta hyvät typpitaseet. Tätä varten koottiin yhteen koeaineistot suomalaisista ja soveltuvin osin pohjoismaalaisista huuhtoumatutkimuksista, joissa voitiin tarkastella mitatun typen huuhtouman yhteyttä vastaavan peltoalueen typpitaseeseen (Kuva 12). Tällöin esimerkiksi typpitaseet, jotka olisivat yhteydessä hyvin suuriin huuhtoumiin, voitaisiin havaita haitallisiksi, ja puolestaan taseet, joiden vallitessa huuhtoumat pysyisivät pieninä, olisivat ympäristön kannalta turvallisia.



	Kivennäismaat		Orgaaniset maat
	Huuhtouma-kokeet	Malli	Huuhtouma-kokeet
Vilja	Savi Hiesu Hieta	Muokkaus Ojitus Typpitaseen laajavaihtelu kynnetyllä	Turve
Nurmi	Savi Hiesu Hieta	Niitonurmi Kesanto Typpitaseen laajavaihtelu	Turve Niitonurmi Kesanto Ruokoheipi
Peruna Sokerij.	Ei huuhtouma-kokeita		Ei huuhtouma-kokeita
Lanta	Laidun Nurmi Viilja	Ero mineraalilannoitukseen (Hyötylanta)	Laidun Nurmi Viilja

Kuva 12. Kaavio erilaisten aineistojen käytöstä typpitaseista aiheutuvien huuhtoumariskien arvioimiseksi Hyötyä taseista -hankkeessa. Vasemmalla: Ohran typpilannoituskokeiden mukaan typpitase kasvaa lannoituksen lisääntyessä. Tietyllä lannoitustasolla toteutuva typpitase kuitenkin vaihtelee olosuhteiden mukaan. Esimerkiksi huuhtoumakokeissa on havaittu tiettyä typpilannoitustasoa (esimerkiksi 90 kg/ha) vastaava typpitaseen vuosivaihtelu ja lisäksi on mitattu samalta alueelta tulevan huuhtouman suuruus käytettäessä erilaisia muokkausmenetelmiä. Oikealla: Hyötyä taseista -hankkeessa koottiin Suomessa toteutettujen huuhtoumakokeiden aineistot typpitaseen ja typpiuhouman välisestä yhteydestä eri viljelykasveilla, viljelytoimenpiteillä ja maalajiryhmillä. Perunalle ja sokerijuurikkaalle ei löytynyt kotimaista koeaineistoa. Viljojen ja nurmien osalta mitattua huuhtouma-aineistoa täydennettiin mallintamalla, koska eri viljelykasveilla ja maalajeilla tehdyissä huuhtoumatutkimuksissa esiintyi niukasti keskimääräistä korkeampia typpitaseita. Kotieläinlannan käytön osalta sovellettiin myös Hyötylanta-hankkeen tuloksia. Orgaanisille maille ei ollut käytettävissä huuhtoumamallia.

Jo aikaisemmin kivennäismaiden tuloksia oli koottu yhteen (Salo ja Turtola 2005), ja nyt liitimme mukaan uusimmat tulokset sekä turvemaan kokeet. Aineistot käsittivät Jokioisten Kotkanojan savimaan peltomittakaavan kentän, Toholammin hietamaan peltokentän, Maaningan hietamaan lysimetrikentän, Tohmajärven paksaturpeisen peltokentän ja Jokioisten lysimetrikentän (sisältäen savi-, hiesu-, hieta- ja turvemaan lysimetrit). Mukaan ei otettu kenttiä tai tutkimuksia, joilta ei ollut käytettävissä tietoa salaojavalunnasta tai ravinnetaseista. Tuloksia arvioitaessa on otettava huomioon peltokenttien ja lysimetrien ero veden keräämisessä: lysimetreissä mitataan kokonaisvalunta kun taas peltokentillä salaojavalunta ja pintavalunta, joten jälkimmäisessä tapauksessa pohjaveteen kulkeutuva valunta ei ole mukana.

Peltoolosuhteissa toteutetuissa huuhtoumakokeissa typpitaseet vaihtelivat kivennäismailla välillä 0–150 kg/ha ja turvemaalla -100–50 kg/ha (Kuva 13). Tietyllä taseen arvolla typpiuhoumat kasvoivat järjestyksessä savi < hieta < hiesu < turve (Liitteet 20–23). Esimerkiksi typpitase 0–10 kg/ha johti tyypillisesti hietamaalla 5–15 kg/ha ja turvemaalla 15–30 kg/ha suurempaan typpiuhoumaan kuin savimaalla.

Viljelykasviryhmiin suhteen huuhtoumat kasvoivat puolestaan tietyllä typpitaseen arvolla järjestyksessä viherkesanto < nurmi < ohra aluskasvin kanssa < ohra/kaura ilman aluskasvia. Typpitaseen ollessa 0–10 kg/ha em. kasveilla vastaavat huuhtoumat olivat kivennäismailla tyypillisesti alle 5,5–10, 5–10 (lysimetrit), 10–15 kg/ha.

Huuhtoumakokeissa viljeltäessä ohraa tai kauraa esiintyi typpitaseita välillä +5 – +60 kg/ha ja turvemaalla -90 – +35 kg/ha. Kun muokkausmenetelmänä oli syyskynntö, kokeissa havaittiin lievä yhteys typpitaseen ja huuhtouman välillä, ja taseen noustessa välillä +5 ja +30 kg/ha huuhtoumat lisääntyivät kivennäismaalla noin 5 kg/ha (Liite 22). Turvemaalla ei vastaavaa yhteyttä ollut, mutta huuhtoumat olivat korkeampia (Liite 23).

Kevätviljat

40-45				
35-40				
30-35				
25-30				
20-25				
15-20				
10-15				
5-10				
0-5				
Huuhtouma				
Tase	-100...-50	-50...0	0...50	50...100

Nurmet

35-65			V	V	
30-35			L	V, L	V
25-30			L	V	L V
20-25			V	V	V
15-20		L	V	V	V
10-15			V	V	L V
5-10			L S	S	
0-5					
Huuhtouma					
Tase	-100...-50	-50...0	0...50	50...100	100...150

Maalajit	Kenttäkokeet	Lystimetrikokeet
Savi		
Hieta		
Hiesu	ei kokeita	
Turve		

Kuva 13. Kaavio huuhtoumakentillä ja lysimetreissä mitatuista typpitaseista (laskettuna kokonaistypen mukaan) ja typpihiuhtoumista, kg/ha vuodessa, kevätviljoja (yllä) ja nurmia (alla) viljeltäessä savi-, hieta-, hiesu- ja turvemaalla. L= naudanolanta ja väkilannoitetyppi, S = sonta, V = virtsa, muissa tapauksissa vain väkilannoitetyppi tai ei typpilannoitusta.

Toteutuneeseen huuhtoumaan vaikuttivat valunnan määrä, valunnan jakautuminen pinta- ja salaojavaluntaan, muokkausmenetelmä ja viljelykierto, kuten aluskasvin lisääminen viljelykiertoon tai monivuotisen nurmen viljely. Valunnan suuntautumisella salaojavalunnan ja pinnanmyötäisen valunnan kesken oli suuri merkitys huuhtouman muodostumiselle. Esimerkiksi huonosti toimivan salaojituksen parantaminen pienensi typpitasetta noin 25 kg/ha, mutta typpihuuhtouma kasvoi noin kaksinkertaiseksi tasolta 8 kg/ha tasolle 16 kg/ha vuodessa, koska salaojavaluntaa muodostui aikaisempaa enemmän (Liite 24). Syyskynnön korvaaminen sänkimuokkauksella tai suorakylvöllä puolestaan vähensi salaojavaluntaa, ja vaikka typpitaseet nousivat 10–20 kg/ha (satotaso hieman laski) huuhtouma väheni noin 5 kg/ha (Liite 25).

Aluskasvit eivät juuri vaikuttaneet laskettuun typpitaseeseen⁶, koska aluskasvien satoa ei korjattu, mutta italianraiheinä vähensi kuitenkin viljojen typpihuuhtoumaa 10–20 kg/ha (Liite 21).

Monivuotisia nurmia viljeltäessä typpitase vaihteli kokeissa laajemmissa rajoissa kuin viljoilla, mutta typpihuuhtouma oli viljoja pienempi, eikä aineistoissa näkynyt selvää yhteyttä nurmien typpitaseen ja typpihuuhtouman välillä, kun oli käytetty väkilannoitetyyppeä (Liite 26). Nurmilla suurempi osa taseen typestä onkin sitoutunut sadonkorjuun jälkeen pellolle jäävään maanpäälliseen kasvaineeseen ja juuristoon⁷. Nurmen kyntämisen jälkeen tämän tyypin vapautuminen voi aiheuttaa suurempaa huuhtoumaa verrattuna jatkuvaan viljanviljelyyn (Turtola ja Jaakkola 1987).

Kotieläinlannan käytön vaikutuksesta typpitaseiden ja huuhtoumien yhteyteen on olemassa suomalaisia mittaustuloksia Maaningan lysimetrikentältä, Toholammin peltokentältä ja Jokioisten lysimetrikentältä. Maaningan lysimetrikentän hietamaalla käytettäessä naudanlantaa mitattiin nurmelta korkeita typpihuuhtoumia (20–35 kg/ha). Samoin naudanlannan syyslevitys aiheutti suuria typpihuuhtoumia Toholammin hietamaalla (Liite 27). Aineistoa oli kuitenkin vain vähän, eikä siinä näkynyt selvää yhteyttä kokonaistyppitaseen ja huuhtouman välillä.

Nurmien koeaineistossa esiintyi selvä yhteys typpitaseen ja typpihuuhtouman välillä vain, kun oli levitetty naudan virtsaa Jokioisilla lysimetrikokeessa, jossa simuloitiin laitumelle tulevien sonta- ja virtsalaikkujen pistemäisyydestä aiheutuvaa kuormitusta (Liite 20). Virtsalla käsiteltyjen lysimetrien typpihuuhtouma ylitti tason 20 kg/ha, kun kokonaistypen tase ylitti hiesumaalla noin 20 kg/ha, hietamaalla 70 kg/ha ja savimaalla 100 kg/ha.

2.3.2. Mallinnettu typpitaseen ja typpihuuhtouman yhteys

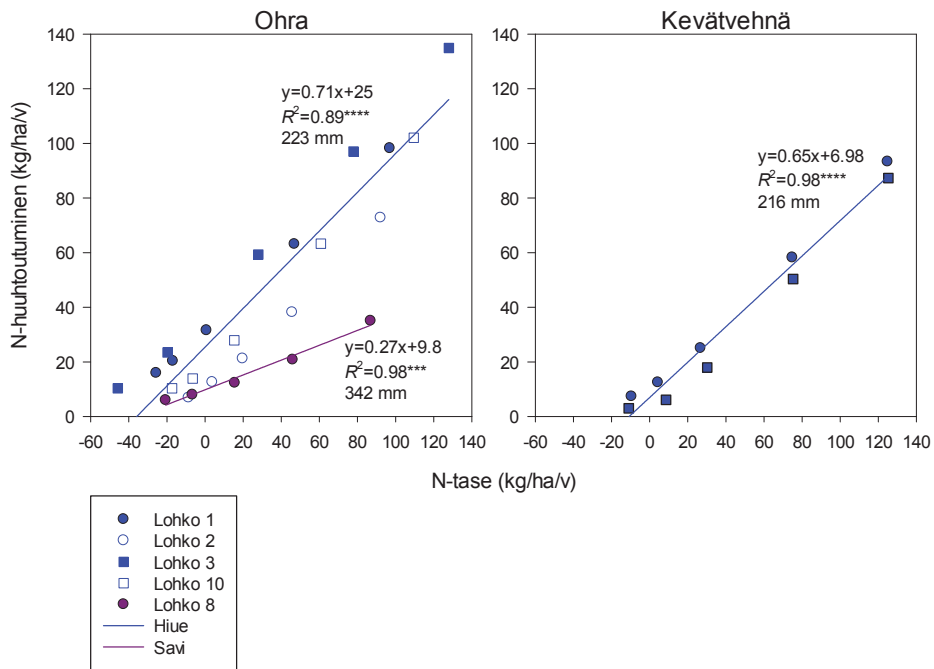
Käytimme viljojen ja nurmien typpitaseiden vaikutusten arviointiin myös COUP-mallia, koska oli hyödyllistä simuloida erityisesti tapauksia, joissa typpitaseet olisivat korkeampia kuin huuhtoumakentillä toteutetuissa kokeissa. COUP-malli kuvaa veden ja lämmön kulkeutumisen sekä typen ja hiilen kieron maaprofiilissa. Malli kalibroitiin kolmen eri tuotantosuntaa edustavan tilan peltolohkoille, joilla oli käytetty vain väkilannoitetyyppeä. Simuloinneissa käytettiin peltolohkojen mineraalityppipitoisuuksia ja todellisia viljelytoimenpiteitä, satotasoja ja pelloilta mitattuja fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia (tiedot oli kerätty MYTVAS 2 –tutkimuksen yhteydessä, Rankinen ym. 2007). Syötetietoina käytettiin Jokioisten observatorion säähavaintoja.

Kivennäismaalla COUP-mallinnus tuotti ohralle ja kevätvehnälle selkeän yhteyden typpitaseen ja huuhtouman välille käytettäessä syysmuokkausmenetelmänä kyntöä ja lannoitteena väkilannoitetyyppeä (Kuva 14). Typpihuuhtouma 20 kg/ha ylittyi, kun typpitase nousi tasolle 20–40 kg/ha. Sen sijaan nurmenviljelyssä löydettiin vain lievä yhteys nurmen kyntövuoden typpitaseen ja huuhtouman välille, ja

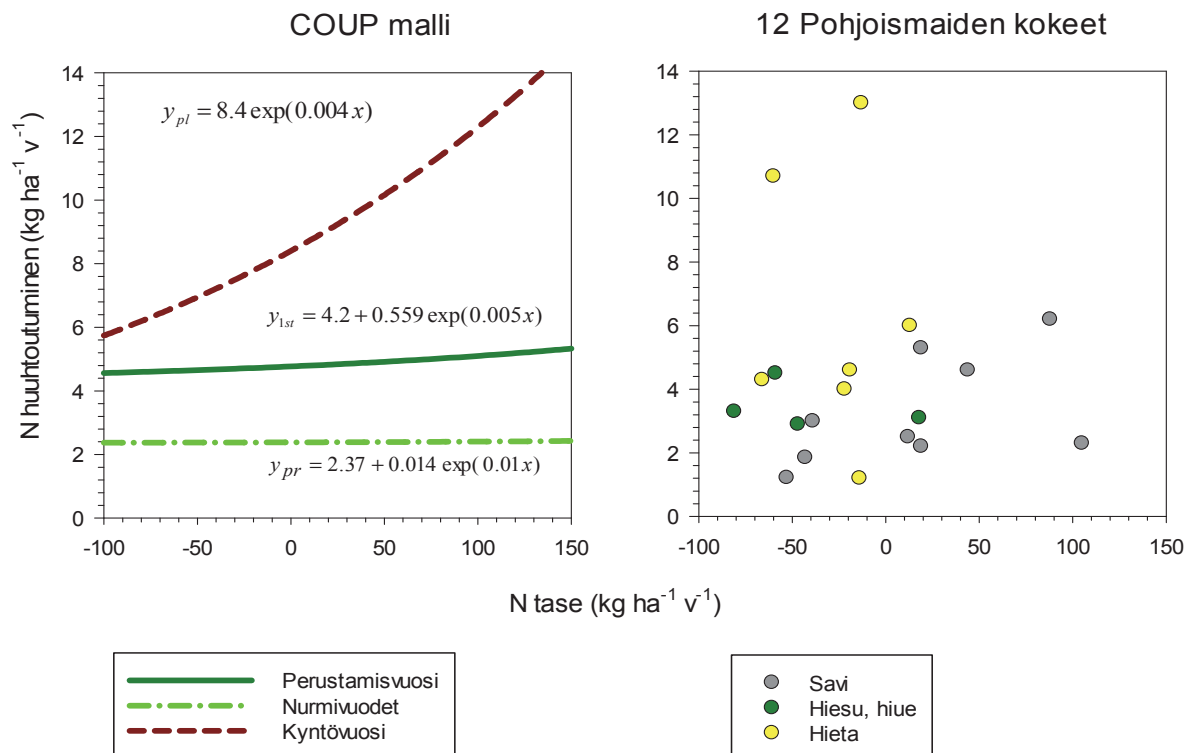
⁶ Typpilannoitus oli kokeessa samansuuruinen aluskasvin viljelystä riippumatta ja raiheinä aluskasvina vähensi ohran typpisatoa 4–8 % (Lemola ym. 2000).

⁷ Maaningalla syksyinen nurmen maanpäällinen massa oli 700–4 000 kg/ha ka (Räty ym. 2015), ja se sisälsi 10–54 kg/ha typpeä (Luke, julkaisematon). Nurmen juuristo (0–15 cm) sisälsi typpeä 80 kg (Saarijärvi 2008). Tämän vuoksi nurmen typpitaseen ja huuhtoutumisen välinen yhteys voi poiketa yksivuotisten kasvien vastaavasta.

typpitaseen muutos -100 ja +135 kg/ha välillä lisäsi typpihuuhtoumaa 8 kg/ha (Kuva 15). Nurmen perustamisvuonna ja ennen lopetusvuotta typpitaseen ja huuhtouman välistä yhteyttä ei ollut.



Kuva 14. Typpitaseen ja typpihuuhtouman yhteys kivennäismaalla Coup-mallin mukaan viljeltäessä ohraa (vasemmalla) ja kevätvehnää (oikealla) ja käytettäessä väkilannoitusta.



Kuva 15. Typpitaseen ja typpihuuhtouman yhteys kivennäismaalla nurmiviljelyssä Coup-mallin mukaan (vasemmalla) ja pohjoismaisissa kokeissa (oikealla) käytettäessä väkilannoitetyyppeä.

Kotieläinlannan käytön vaikutusta ei mallinnettu tässä hankkeessa. Sen sijaan Hyötylanta-hankkeessa tehdyissä valuma-aluemallinnuksissa havaittiin, että lannan käyttö lisäsi hieman vesistökuormitusta väkilannoitetyypeen verrattuna, kun lannassa levitettiin liukoista typpeä yhtä paljon kuin väkilannoitteissa (Luostarinen ym. 2011).

2.4. Typpitase ja alueellinen typpihuuhtouma

Typpitaseiden alueellista vaikutusta jokiveden typpipitoisuuteen tarkasteltiin mallintamalla huuhtoumaa Lepsämänjoen valuma-alueella. Typpitaseiden muutoksen vaikutusta toteutuvaan typpihuuhtoumaan arvioitiin tilanteessa, jossa peltolohkojen typpilannoitus asetettiin em. taloudellisten optimien mukaiseksi ja typpitaseet muuttuivat vastaavasti. Tavoitteena oli arvioida, voisiko typpihuuhtouma muuttua, ja kuinka paljon, suhteessa vesiensuojelutavoitteisiin pelkästään viljelyn taloudellisen optimoinnin seurauksena. Tämän pohjalta on mahdollista verrata, millaiseen ympäristölliseen tulokseen typpilannoituksen ja typpitaseiden optimointi voisi potentiaalisesti johtaa, kun vertailumenetelmänä käytetään esimerkiksi ympäristökorvauksen kasvipeitteisyyttä. Samoin tarkasteltiin ympäristökorvauksen enimmäislannoitusmäärien mukaista tilannetta tai tilannetta, jossa typpitase olisi ennalta määrätyn suuruinen.

Tarkastelu tehtiin Lepsämänjoen alueella INCA-mallilla, joka kuvaa veden ja aineiden muutuntoprosessit sekä kulkeutumisen maaekosysteemistä vesiin. Malli kalibroitiin havaittuun vedenlaatuun sekä tässä tutkimuksessa Coup-mallin avulla saatuihin tietoihin typpilannoituksen ja typpitaseen välisistä suhteista väkilannoitetyyppiä käytettäessä (Kuvat 14 ja 15). Mallin kalibroinnissa käytettiin CO-RINE- ja käytännön peltolohkoaineiston osoittamaa maankäyttöä sekä MYTVAS-tutkimuksista saatuja tietoja viljelytoimenpiteistä. Lepsämänjoen valuma-alueen pinta-ala on 213 km² ja peltoisuus 23 %. Kevätviljoja, lähinnä ohraa, viljeltiin 56 % prosentilla peltoalasta. Alueen tiloista 75 % on kasvinviljelytiloja ja vallitseva maalaji on savi. Kaksi kolmannesta peruslohkoista kuuluu luokkaan multava ja yksi kolmannes on erittäin multavia. Syötetietoina käytettiin Lohja-Porlan sääasemalla mitattua vuorokausiadantaa ja lämpötilaa.

Vertailujaksona oli 2003–2009. Vuonna 2010 alueen kasvinviljelytiloista 72 % ja kotieläintiloista 10 % oli valinnut jonkin talviaikaiseen kasvipeitteisyyteen liittyvän lisätoimenpiteen. Kasvinviljelytiloista 83 % oli valinnut ravinnetaseisiin tai typpilannoituksen tarkentamiseen liittyvän lisätoimenpiteen, ja eläintuotantotiloista 15 %:lla oli lisätoimenpiteenä joko lannan levitys kasvukaudella tai tarkennettu typpilannoitus lisätoimenpiteenä.

Lepsämänjoki kuuluu ekologiselta tilaltaan luokkaan tyydyttävä, ja sivuhaara Härkälänjoki luokkaan välttävä. Tässä yhteydessä on huomattava, että Lepsämänjoen kemiallisen tilan luokittelu perustuu ainoastaan fosforipitoisuuteen, sillä savialueilla virtaaville jokivesille ei ole tyyppien perustuvaa luokittelua. Taulukossa 11 on kangasmaiden ja turvemaiden jokien sekä Suomenlahden sisäsaariston typpipitoisuuteen perustuva luokitus.

Taulukko 11. Kokonaistyppipitoisuuteen perustuvan ekologisen tilan arvion luokkarajat Suomenlahden sisäsaaristossa ja jokivesissä (E = erinomainen, Hy = hyvä, T = tyydyttävä, V = välttävä). Vertailuarvo tarkoittaa luonnontilaisen pitoisuuden laskennallista arviota.

	vertailuarvo [mg/l]	E/Hy	Hy/T	T/V	V/Hu
Suomenlahden sisäsaaristo	0,26	0,305	0,35	0,44	0,57
Keskisuuret kangasmaiden joet	<0,335	0,335	0,80	1,4	2,4
Pienet turvemaiden joet	<0,45	0,45	0,90	1,5	2,5

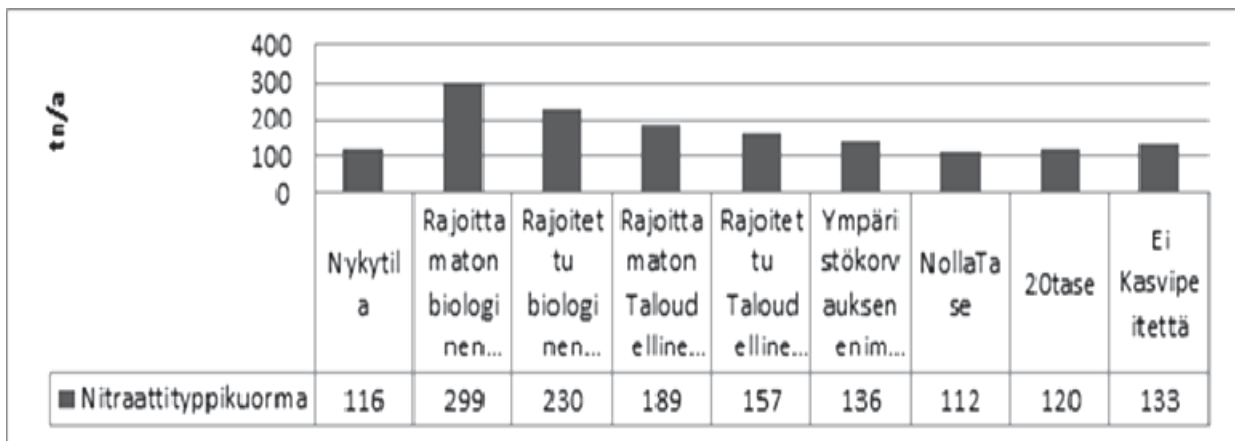
Jokiveden pitoisuuden muutoksia tarkasteltiin Lepsämänjoen keskivaiheen havaintopisteellä, jossa pelloilta tuleva kuormitus oli suurin. Typpikuormituksen muutoksia taas arvioitiin valuma-alueen purkupisteessä, jonka vertailutila vastasi ympäristötuen mukaista tilaa vuosina 2000–2009.

INCA-malli tuotti taloudellisen optimin mukaisen typpitaseen vallitessa jokiveteen saman nitraattipitoisuuden kuin vertailutilanteessa (Kuva 16). Myös typpitaseen ollessa 20 kg/ha tuloksena oli lähes samantasoinen keskimääräinen pitoisuus. Sen sijaan biologisen optimin mukaiset typpitaseet riittäisivät nostamaan keskimääräisen pitoisuuden niin korkeaksi, että joen ekologinen luokitus saattaisi muuttua, jos sovellettaisiin Taulukon 11 mukaisia luokkarajoja. Korkeimmat yksittäiset pitoisuudet ylittäisivät talousvesiasetuksen nitraatille asettaman enimmäispitoisuuden (50 mg/l, nitraattityppi 11 mg/l). Vertailun vuoksi tarkasteltiin myös tilannetta, jossa alueella ei olisi nykyisen ympäristökorvauksen aiheuttamaa kasvipeitteisyyttä. Tällöin korkeimmat yksittäiset pitoisuudet nousisivat lievästi nykytasosta. Lohkokohtaiset mallinnetut kuormitukset ovat taulukossa 12.

Taulukko 12. INCA-mallin tuottamat typpihuuhtoumat eri viljelykasveille (kg/ha vuodessa) Lepsämänjoen valuma-alueella nykytilassa, asetettaessa typpilannoitukselle tämän tutkimuksen talousmallinnuksessa käytettyjä rajoitteita (Taulukot 6-10), typpitaseen ollessa kaikilla kasveilla 20 kg/ha vuodessa sekä tilanteessa, jossa alueella ei olisi ympäristökorvauksen tuomaa kasvipeitteisyyttä.

	Nykytila	Rajoittamaton biologinen optimi	Rajoitettu biologinen optimi	Rajoittamaton taloudellinen optimi	Rajoitettu taloudellinen optimi	Ympäristökorvauksen enimmäismäärä	Typpitase 20 kg/ha	Ei kasvipeitteisyyttä
Nurmet	11	102	55	57	34	14	14	11
Viljat	18	44	39	24	22	23	18	23

Malli ennusti, että rajoittamattoman ja rajoitetun biologisen optimin mukaisissa tapauksissa kuormitus kolminkertaistuisi ja kaksinkertaistuisi. Kasvipeitteisyydestä luopuminen lisäisi kuormitusta kymmenisen prosenttia. Muuten muutokset olivat alle viisi prosenttia.



Kuva 16. INCA-mallin tuottama nitraattitypen kuormitus Lepsämänjoen valuma-alueella nykytilassa sekä asetettaessa typpilannoitukselle tämän tutkimuksen talousmallinnuksessa käytettyjä rajoitteita.

2.5. Typpitaseiden viitearvojen asettaminen ravinnetaseohjaukseen

2.5.1. Peltolohkojen typpitaseet ympäristön ja talouden kannalta

Koska monet tekijät aiheuttavat vaihtelua ravinnetaseisiin (Kuva 1), maaperästä, viljelykasvista ja -alueesta johtuva vaihtelua pyrittiin hallitsemaan jakamalla aineisto näiden taustatekijöiden suhteen edellä kuvatun tilastollisen analyysin antamien tulosten mukaisesti. Käytännössä viitearvot voitaisiin silloin asettaa erikseen esimerkiksi eri viljelykasviryhmillä, maalajiryhmille ja mahdollisesti viljelyvyöhykkeille.

Näin toimien ravinnetaseohjauksessa otettaisiin huomioon ero kivennäismaiden ja eloperäisten maiden välillä, koska eloperäisillä mailla on helpompi saavuttaa pienempiä taseita kuin kivennäismailla. Jos myös viljelykasvien väliset erot huomioitaisiin, ravinnetaseohjauksella ei pyrittäisi vaikuttamaan viljelykasviryhmiin valintaan maataloilla. Ravinnetaseohjaus vaikuttaisi silloin tilatasolla välillisesti viljelijän päätöksentekoon lannoitusmäärän, lannoitusajankohdan, lajikevalinnan ja maanhoidon suhteen. Tavoitteena olisi ympäristön ohella myös viljelijän hyötyminen resurssien tehokkaamman käytön seurauksena.

Tässä esimerkkitarkastelussa viitearvojen lähtökohdaksi otettiin vain väkilannoitetyyppiä saaneilla peltolohkoilla vuosina 2000–2014 toteutuneet typpitaseet, jotka oli tyypitelty edellä kuvatulla tavalla neljään viljelykasvirhyhmään: (I) säilörehunurmi, (II) kevätviljat ja tärkkelysperuna, (III) kevätvehnä ja sokerikuurikas ja (IV) kevättrypsi, syysvehnä ja ruis. Näissä kasviryhmissä taseet lisäksi poikkesivat toisistaan eri maaluokissa, ja ne eroteltiin eloperäisten maiden ja kivennäismaiden ryhmiin.

Seuraava tarkastelu tehtiin siitä lähtökohdasta, että typpitaseiden viitearvot toimitaisivat enimmäistaseina, joiden alle taseiden tulisi jäädä, jotta esimerkiksi ympäristökorvauksen saaminen olisi mahdollista, ts. viitearvot rinnastuisivat nyt käytössä oleviin enimmäislannoitusmääriin. Tällä perusteella laskettiin alustavasti eri viljelykasvien typpitaseiden jakaumista erisuuruisia fraktiileja (50 %, 75 % ja 85 %) vastaavat typpitaseet. Näiden typpitaseiden yläpuolelle jäi siten 50 %, 25 % ja 15 % toteutuneista typpitaseista.

Tarkastelimme edellä kuvatulla tavalla saatujen ravinnetaseiden arvoja rinnastamalla ne tässä tutkimuksessa laskettuihin odotettuihin typpitaseisiin, jotka voivat toteutua useamman vuoden keskiarvona taloudellisesti optimaalisella typpilannoituksella käytettäessä väkilannoitetyyppiä. Vastavasti tarkasteltiin myös typpitaseita, joiden ylittyessä huuhtoumariski olisi kohonnut selvästi keskimääräistä Suomen peltojen typpihuuhtoumaa (10-15 kg/ha, Vuorenmaa ym. 2002, Ekholm ym. 2015) suuremmaksi. Tässä tarkastelussa valitsimme tuon typpihuuhtoumariskin tasoksi kivennäismailla 20 kg/ha ja eloperäisillä mailla 30 kg/ha. Tällöin vuosivalunnan (noin 300 mm/v) keskimääräinen kokonaistyyppipitoisuus olisi kivennäismaalla noin 6,7 mg/l ja eloperäisellä maalla 10 mg/l. Soveltuvien osin tarkastelimme myös Lepsämänjoella tehdyn mallinnuksen avulla, miten erisuuruiset typpitaseet vaikuttaisivat vastaanottavan jokivesistön hyvän/tyydyttävän tilan saavuttamiseen.

2.5.2. Esimerkkejä mahdollisista viitearvoista ravinnetaseohjauksessa

Taulukkoon 13 on koottu tämän tutkimuksen aineistojen ja laskentojen avulla saatu tieto peltolohkojen typpitaseiden jakaumista, taloustarkasteluista ja huuhtoumariskin kasvamisesta käytettäessä väkilannoitetyyppiä. Kaikille kasveille ei voitu arvioida talousoptimeihin tai huuhtoumariskin lisääntymiseen liittyviä typpitaseiden arvoja, ja niille on ilmoitettu vain jakaumien mukaisia typpitaseita. Viitearvoksi on kasviryhmien I ja II kohdalla alustavasti annettu ne typpitaseiden arvot, joiden vallitessa typpihuuhtouman ei arvioida nousevan suuremmaksi kuin 20 kg/ha kivennäismailla ja 30 kg/ha eloperäisillä mailla. Kivennäismaiden viitearvo on lähellä typpitasetta, jonka alapuolelle jää kolme neljänestä kaikista käytännön peltolohkoaineiston typpitaseista vuosina 2000–2014. Kasviryhmän III alustava viitearvo kivennäismailla on korkeampi ja se on asetettu typpitaseiden jakauman pohjalta, niin että samalla tavoin kuin kasviryhmässä II noin neljännes käytännön peltolohkoilla havaituista

typpitaseista on ylittänyt viitearvon. Samaa perustetta on sovellettu kasviryhmän IV kohdalla. Kaikissa tapauksissa viitearvot ovat eloperäisille maille 25 kg/ha pienempiä kuin kivennäismaille.

Taulukko 13. Typpitaseiden suuruus vain väkilannoitetyypeä saaneilla peltolohkoilla eri kohdissa jakaumaa (prosenttiosuuden suuruinen osuus taseista alittaa kyseisen typpitaseen), typpitaseiden vaihteluväli taloudellisen optimin mukaan lannoitettaessa väkilannoitetyypellä (Taulukoiden 6-10 mukaan) ja arvio typpitaseesta, jonka ylittyessä huuhtouma voi ylittää kivennäismaille 20 ja eloperäisillä maille 30 kg/ha. Viitearvo voitaisiin asettaa esimerkiksi kasviryhmittäin.

Viljelykasvi	Maa-luokka	Jakauma 50 %	Jakauma 75 %	Jakauma 85 %	Talous-optimi	Huuhtoumariski	Viitearvo
Kasviryhmä I							
Säilörehunurmi	Kiv.	13	58	96	16 - 54 ⁸	50-100	60
	Elop.	-7	38	76	-28 - 41 ⁹	0-50	35
Kasviryhmä II							
Kasviryhmä II	Kiv.	14	27	37			25
	Elop.	-6	7	17			0
Kaura	Kiv.	15	28	38	16 - 41	20-40	
	Elop.	-5	8	18	-	0	
Ohra	Kiv.	19	32	42	19 - 37	20-40	
	Elop.	-1	12	22	-	0	
Tärkkelysperuna	Kiv.	4	22	35	-	-	
	Elop.	-16	2	15	-	-	
Kasviryhmä III							
Kasviryhmä III	Kiv.	32	47	59			40
	Elop.	12	27	39			15
Kevätvehnä	Kiv.	32	46	58	31 - 45	20-40	
	Elop.	12	26	38	-	0	
Sokerijuurikas	Kiv.	45	62	74	-	-	
	Elop.	25	42	54	-	-	
Kasviryhmä IV							
Kasviryhmä IV	Kiv.	56	69	80			65
	Elop.	36	49	60			40
Kevätrypsi	Kiv.	50	63	74	-	-	
	Elop.	30	43	54	-	-	
Syysvehnä	Kiv.	62	80	95	-	-	
	Elop.	42	60	75	-	-	
Ruis	Kiv.	60	75	89	-	-	
	Elop.	40	55	69	-	-	

⁸ Nitraattiasetuksen mukaan toimittaessa 45 kg/ha

⁹ Nitraattiasetuksen mukaan toimittaessa 7 kg/ha

Tässä tutkimuksessa ei arvioitu typpilannoituksen optimeja kotieläinlantaa käytettäessä eikä myöskään mallinnettu vastaavia typpihuuhtoumia. Lantaa käytettäessä peltolohkoilla toteutuneiden liukoisen typen tasejakaumien 50, 75 ja 85 prosentin fraktiilit olivat kasviryhmissä I, III ja IV joko pienemmät (I) tai hyvin samansuuruiset (III, IV) kuin pelkästään väkilannoitetyyppiä saaneilla lohkoilla, joten näiden kasvien kohdalla on perusteltua käyttää samoja viitearvoja lannoitteista riippumatta. Kasviryhmän II (kaura, ohra ja tärkkelysperuna) kohdalla em. liukoisen typen tasejakaumien 75 prosentin fraktiilit olivat 5–7 kg/ha korkeampia lantaa saaneilla lohkoilla. Ottaen huomioon lannan levittämiseen liittyvän suuremman typpihuuhtoumariskin, voisi olla perusteltua käyttää kasviryhmässä II myös lantalohkoille taulukon 13 mukaisia viitearvoja. Lannan syyslevitys aiheuttaa selvästi suuremman typpihuuhtoumariskin kuin kevätlevitys, joten sen osalta typpitaseet eivät yksinään ole riittävä ohjauskeino.

3. Tulosten tarkastelu

3.1. Yhdistetyn peltolohkoaineiston ja lannoitusoptimien hyödyntäminen viljelyssä

Tutkimuksessa koottiin yhteen Suomen peltolohkojen ravinnetaseista kerätyt aineistot ja tarkasteltiin yhdistettyä aineistoa, jotta saatiin mahdollisimman kattava kuva siihen sisältyvästä vaihtelusta.

Yhdistetty peltolohkojen ravinnetaseaineisto käytännön peltolohkoilta muodostaa itsessään ainutlaatuisen tietovarannon, joka helpottaa yksittäisten peltolohkojen tyypitaseiden tulkintaa. Tämän tutkimuksen sähköisessä liitteessä tyypitaseaineisto on luokiteltu tärkeimpien viljelykasvien, alueiden, maaluokkien ja kotieläinlannan käytön mukaan. Näin luokiteltuna viljelykasvien tyypitaseille on laskettu keskiarvo ja -keskihajonta sekä mediaani ja kvartiilit, ja tämä aineisto on vapaasti kaikkien hyödynnettävissä. Neuvonnassa ja käytännön viljelyssä edellä mainittuja tilastollisia tunnuslukuja voidaan soveltaa suoraan arvioitaessa peltolohkoilla toteutuneiden ravinnetaseiden suuruutta.

Ravinnetase sisältää informaatiota viljelyn onnistumisesta, koska taseen laskennassa huomioidaan sadon sisältämä ravinnemäärä. Ravinnetaseet kuvaavat myös viljelyn resurssitehokkuutta, mitä voi hyödyntää esim. bench mark -tarkasteluissa. Jotta vertailu lohkojen välillä on mahdollista, tarvitaan mm. tässä tutkimuksessa koottua ja olosuhteiden mukaisesti luokiteltua aineistoa, jonka avulla tarkastelut onnistuvat luotettavasti.

Alkuperäinen eri lähteistä (Liite 1) koottu ravinnetaseaineisto säilytetään Luonnonvarakeskuksessa, ja sen jatkokäytöstä on sovittava jokaisen tietoa luovuttaneen osapuolen kanssa erikseen. Tarvittaessa on esimerkiksi mahdollista rakentaa ravinnetaseiden arviointiin laskennallinen työkalu tässä tutkimuksessa kerätyn tietovarannon ja kehitettyjen lannoituksen optimointimallien avulla. Mallin avulla viljelijä tai neuvoja voisi laskea taloudellisesti optimaalisen typpilannoitusmäärän tai etsiä lannoitustason, jolla tyypitase jäisi annetun viitearvon alapuolelle.

Hyötyä taseista –tutkimuksessa typpilannoituksen taloudelliset optimit ratkaistiin hyödyntämällä typpilannoituksen satovastefunktioita, jotka perustuivat suomalaisten lannoitustutkimusten yhteenvetoihin. Typpilannoituksen vasteeseen ja siten optimilannoitukseen vaikuttaa myös se, miten paljon pelto tuottaa ilman typpilannoitusta (Valkama ym. 2013). Kevätviljojen vastefunktioista sovellettiin tässä tutkimuksessa niitä, joissa satotaso ilman lannoitusta oli 2 000 tai 3 000 kg/ha. Nurmen vastefunktioissa vastaavat satotasot olivat kivennäismailla 2 215 ja 3 215 kg/ha ja eloperäisillä mailla 3 930 ja 4 930 kg/ha. Meillä ei ollut käytettävissä tietoa siitä, kuinka suurella osalla Suomen peltolohkoista satotaso ilman lannoitusta on yllä mainitulla tasolla. Tässä sovellettu ns. kontrollisato ilman typpilannoitusta oli koko lannoituskoeaineisto huomioiden keskimääräinen, mutta em. kokeissa esiintyi myös tätä pienempiä ja suurempia kontrollisatotasoja, ja tällöin lannoitusvaste oli erilainen.

Onkin huomionarvoista ja samalla harmillista, ettei viljelijäkään yleensä tiedä, kuinka paljon hänen peltolohkonsa tuottavat satoa ilman typpilannoitusta. Tämän tiedon hankinta voisi onnistua yksinkertaisella tavalla jättämällä pellolle lannoittamattomia alueita ja mittaamalla niiltä saatava sato. Samoin orgaanisen aineksen prosenttiosuuden määrittäminen voi parantaa arviota. Edellä mainitun typpilannoituksen yhteenvedon mukaan 44 % kontrollisadon vaihtelusta selittyi maan orgaanisen aineksen pitoisuudella (kun maan orgaanisen aineksen pitoisuus oli välillä 2,7–7,4 %, yhden prosentin lisäys pitoisuudessa kasvatti kontrollisatota 321 kg/ha).

Säilörehunurmet poikkesivat muista kasvilajiryhmistä siten, että nitraattiasetus ja ympäristökorvausjärjestelmä näyttivät rajoittavan nurmen viljelyn kannattavuutta väkilannoitetyppeä käytettäessä huomattavasti voimakkaammin kuin viljalla. Suuri osa nurmien typpilannoituskokeista on tehty jo 1960- ja 1970 -luvuilla (Valkama ym. 2016b). Käynnissä olevien kokeiden mukaan satovaste näyttäisi nykyään olevan parempi kuin tässä tutkimuksessa käytetyssä regressioyhtälössä, ja ilmaston muutoksen myötä nurmien satotason odotetaan paranevan. Uutta aineistoa on kuitenkin vasta vähän, mutta saadut tulokset ovat loogisia: nurmikasvien jalostushyöty on 0,5 % vuodessa (Pärssinen 2016), kasvu-

kaudet ovat pidentyneet ja vastaavasti talvet lyhentyneet. Toisaalta taas aikaisemmissakin tutkimuksissa saatu satotaso on korkeampi kuin keskimäärin käytännössä (vrt. peltolohkoaineiston nurmisa-dot), voidaan nyt käytettyä regressioyhtälöä soveltaa melko hyvin keskimääräisille mautilloille.

Samoin kuin on jo tehty kevätiljojen ja nurmien osalta, myös muiden viljelykasvien lannoituskoikeista tulisi laatia yhteenvedot. Tässä tutkimuksessa koottiin yhteen suuri osa perunan ja sokerijuurikkaan tyypilannoituskokeista, mutta resurssit eivät riittäneet tieteellisten yhteenvetojen julkaisemiseen.

Jatkotutkimuksissa olisi myös erittäin tärkeä selvittää kontrollisatojen suuruutta käytännön peltolohkoilla sekä niihin vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi tulisi selvittää, mikä on satovastefunktion muoto käytännön pelloilla, joilla maan rakenne ei ole optimaalinen. Myös erilaisten orgaanisten lannoitteiden typpivasteista tulisi koota yhteenveto.

3.2. Ravinnetaseiden hyödyntäminen ympäristöohjauksessa

Ravinnetase on hyvä indikaattori ympäristöön kohdistuvien riskien seurannassa ja neuvonnallisena työvälineenä. Ympäristöohjauksessa ravinnetaseita on toistaiseksi käytetty Suomessa vain tukikaudella 2007–2013, jolloin ravinnetaseiden laskenta oli ympäristötuen lisätoimenpide. Peltokasvien lannoitusta onkin pääsääntöisesti ohjattu asettamalla enimmäislannoitusrajoitteita. Miten esimerkiksi typpitase poikkeaisi ympäristöohjauksen keinona lannoitusrajoituksista? Olisiko typpitase lannoitukselle asetettua enimmäismäärää perustellumpi ja hyödyllisempi ohjauskeino viljelijän kannalta?

Käytännön kokemukset ravinnetaseiden laskennasta ovat osoittaneet sen olevan sekä viljelijän että ympäristön kannalta hyödyllinen keino menneen/toteutuneen kehityksen seurantaan. Se voi kannustaa viljelijää hankkimaan tietoa pelloistaan ja tehostamaan viljelykäytäntöjä. Systemaattinen ravinnetase seuranta on hyväksi myös ympäristölle, koska se voi kannustaa lannoittamaan järkevästi ja luo lisäkannustimen hyvän sadon tuottamiseen. Ravinnetaselaskennasta voisi olla ympäristön kannalta vieläkin enemmän hyötyä, jos viljelijälle osattaisiin kertoa, minkä suuruisiin ravinnetaseisiin hänen tulisi päästä, että ympäristön tila a) ei vaarantuisi, ja b) miten tämä vaikuttaisi taloudelliseen tulokseen.

Tämä tutkimus osoitti, että lannoitusmäärä on tärkein typpitaseeseen vaikuttava tekijä, joten ohjausvälineenä typpitase toimisi samansuuntaisesti kuin enimmäislannoitusmäärät. Pystyimme myös löytämään typpitaseen viitearvoja, joiden yläpuolella typen huuhtoumariski ylittäisi selvästi keskimääräisen tason ja joista on haittaa ympäristön kannalta. Laskelmat osoittivat myös, että nämä viitearvot ylittyvät helposti, jos typpilannoitteita käytettäisiin kevätiljojen viljelyssä enemmän kuin nykyinen ympäristökorvaus sallii. Nykyinen ympäristökorvaus rajoittaa siten kevätiljojen typpilannoitusta samantasoisesti kuin tässä tutkimuksessa alustavasti asetetut typpitaseiden viitearvot.

Peltolohkoaineistossa esiintyi korkeita typpitaseita myös tilanteissa, joissa typpilannoitus ei ollut lähellä yllä mainittuja enimmäismääriä, mutta satotaso oli jäänyt heikoksi. Ravinnetaseohjauksen vahvuutena olisi satotason huomiointi. Toisaalta myös heikkoudet liittyvät satotasoihin, jos satotaso jää arvioksi ja on sellaisena epätarkka. Erityisesti tämä on nurmiviljelyn ongelma, kun myös sadon typpipitoisuus vaihtelee mm. kehitysvaiheen ja palkokasvien osuuden mukaan. Edustava näytteenotto suurista massoista on vaikeaa, puhumattakaan laitumien ravinnetaseiden arvioimisesta. Lisäksi satotason ja siten myös ravinnetaseen suuruus selviää vasta kasvukauden lopussa, mikä voi olla ongelmallista ympäristöohjauksessa. Sadonmuodostukseen vaikuttaa käytännössä myös viljelijän toiminnasta riippumaton sattuma kasvukausien säätilojen muodossa, mikä hankaloittaa ravinnetaseohjauksen toteuttamista ja valvontaa vuositasolla.

Kuinka enimmäistase tulisi määrittää? Pitäisikö sen olla niin korkea, ettei sitä koskaan edes satumatlta ylitetä, jos viljelijä on toiminut vastuullisesti? Vai pitäisikö enimmäistaseeksi määritellä jonkinlainen keskiarvotase, joka tulee saavuttaa kolmen tai viiden vuoden taseiden keskiarvona? Jälkimmäisessä tapauksessa eräs ongelma on se, että sama lohko ei välttämättä ole saman viljelijän hallussa kovin monta vuotta peräkkäin.

Jos ravinnetaserajoite säädetään väljäksi, niin useassa tapauksessa (ts. useilla viljelykasveilla ja maalajeilla) katetuottoa maksimoivat viljelijät hyötyvät, koska voivat käyttää enemmän lannoitetyppä, jolloin odotettu katetuotto on suurempi. Ympäristö ei tästä hyötyisi, sillä tämän tutkimuksen tulosten mukaan odotettu ravinnetase ja typpihuuhtouma lisääntyisivät. On mahdollista, että siirtyminen ravinnetaseohjaukseen voisi nostaa keskimääräisiä typpitaseita, jos varsinkin hyvin suuriin satoihin pyrkivät viljelijät lisäävät typpilannoitusta. Taseiden enimmäisrajoista riippuen seurauksena voisi olla typpihuuhtoumien kasvu.

Lannoitusrajoitusten tavoin myös ravinnetaseohjaus olisi hankala toteuttaa, jos jokaiselle pelto-lohkolle olisi laskettava tase vuosittain lannoitteina annettujen ja sadossa poistuneiden ravinteiden erotuksena. Yksinkertaisempaa järjestelmää voisi tavoitella laskentamallilla, jossa ennakoitaisiin koko maatilalta vuosittain edellytettävä ravinnetaseen enimmäismäärä huomioimalla peltojen maalajit, pinta-alat ja viljelykasvit kullakin lohkolle. Viljelijä voisi mallia soveltamalla ennakoida ravinnetaseen hyväksyttävän enimmäismäärän ja raportoi myöhemmin toteutuneen taseen tilalla lannoitteena käytetyn ravinnemäärän sekä viljelykasvien kokonaissatojen ravinnesisältöjen erotuksena. Kysymyksessä olisi kivennäis- ja eloperäisten maiden ja viljelykasvien osuuksilla painotettu maatilakohtainen ravinnetase.

3.3. Olisiko ravinnetaseohjaus edullisempi suurten satojen tuottajille?

Hyötyisivätkö suuriin satoihin pyrkivät viljelijät ravinnetaseohjauksesta? Tässä tutkimuksessa käsitelimme suurten satojen tuottamista puhtaasti taloudelliselta kannalta, ts. parhaimman katetuoton, ei biologisesti maksimaalisen sadontuoton kannalta. Katetuoton maksimointiin pyrittäessä nykyisen ympäristökorvauksen enimmäislannoitusmääriä suuremmat typpilannoitustasot johtavat aina paitsi suurempiin typpitaseisiin myös lähes aina jonkin verran parempaan taloudelliseen tulokseen. Jos ympäristökorvaukseen ei sisältyisi typpilannoituksen enimmäismääriä, viljelijän olisi lähes aina taloudellisesti järkevää lannoittaa nykyrajoja suuremmilla määrillä viljeltäessä kevätiljoja ja nurmia. Viljelijän saama euromääräinen hyöty rajoitteen poistamisesta olisi viljanviljelyssä usein kuitenkin yllättävän pieni. Ravinnetaseohjaus olisi siten todennäköisesti hieman edullisempi sellaisille suuriin satoihin pyrkiville viljelijöille, jotka tuntevat hyvin peltojensa typpilannoitusvasteet ja joiden peltolohkoilla nykyisiä enimmäislannoitusmääriä korkeampi typpilannoitus olisi taloudellisesti optimaalista. Kevätviljojen tarkastelut erilaisilla hintasuhteilla ja hyvien ja huonojen kasvukausien esiintymistajuuksilla osoittivat kuitenkin, että useissa tapauksissa odotettu typpitase nousisi tällöin suuremmaksi kuin 40 kg/ha, mikä olisi riski ympäristön kannalta.

Tutkimuksemme osoittaa myös, että mikäli hyvien ja huonojen kasvukausien esiintymisen todennäköisyyksissä ei tapahdu muutoksia, taloudellisesti rationaalisen viljelijän ei ole mahdollista samanaikaisesti lisätä kasvintuotannosta saatavaa odotettua katetuottoa ja pienentää odotettua typpitasetta, jos keinona on typpilannoituksen lisääminen. Tämä voi olla mahdollista vain silloin, kun viljelijä ei alun perin ole toiminut tehokkaasti.

On myös huomattava, että peltolohkoaineiston mukaan korkeisiin satotasoihin voitiin päätyä eri tavoin eikä viljanviljelyssä suuri typpilannoitus aina ollut korkeiden satojen välttämätön edellytys. Kun korkeita satotasojia esiintyi käytännön peltolohkoilla ja koeaineistoissa ilman suurta typpilannoitusta, typpitase pysyi pienenä. Muutamalla prosentilla havainnoista sekä typpitase että satotaso olivat parhaimman kymmenen prosentin luokassa. Typpilannoituskokeissa on havaittu, että tällöin peltolohkon tuottopotentiali kokonaan ilman typpilannoitusta on myös korkeampi (Valkama ym. 2013). Tässä tutkimuksessa löysimme hienoisia eroja maaperän ominaisuuksissa ja viljelykäytännöissä suurimpia satoja ja pienimpiä typpitaseita tuottaneiden peltolohkojen ja muiden lohkojen välillä, mutta ne eivät ole riittäviä selittämään em. typpitaseiden ja satojen eroja peltolohkojen välillä. Eroja havaittiin useiden viljelykasvien kohdalla myös mautilojen välillä. Tämä vaihtelu voi johtua esimerkiksi perusparannuksista, kuten hyvästä ojituksesta ja paremmasta maan rakenteesta.

4. Johtopäätökset

Nykyinen vapaaehtoinen maatalouden ympäristökorvaus säätelee viljelykasvien lannoituksen enimmäismääriä, mutta kiinnittää vain vähän huomiota lannoituspanoksilla saavutettavaan satoon. Ravinnetaseet sen sijaan yhdistävät nämä kaksi olennaista tietoa ja ne voisivat ohjata viljelyä kestävään suuntaan paremmin kuin pelkät lannoitusrajoitukset. Hyötyä taseista -tutkimus tuotti tavoitteensa mukaisesti pohjatietoa mahdollista ravinnetaseohjausta varten erityisesti typpitaseiden osalta. Tavoitteena ei kuitenkaan ollut ravinnetaselaskentaan perustuvan ympäristöohjausjärjestelmän luominen, vaan vastaaminen kysymyksiin, jotka ovat olennaisia ohjauksen suunnittelun ja mahdollisen toteutuksen kannalta.

Tutkimus osoitti, että typpitase kohoaa typpilannoituksen myötä ja typpilannoituksen suuruus on tärkein typpitaseisiin vaikuttava tekijä, johon viljelijä voi vaikuttaa. Korkeimmat typpitaseet liittyivät typpillisesti suurimpiin typpilannoitusmääriin ja esimerkiksi kevätvehnällä typpitase 50 kg/ha ylittyi keskimäärin, kun typpilannoitus ylitti 130 kg/ha. Toisaalta näin korkeita taseita esiintyi myös, kun satotaso oli poikkeuksellisen heikko, alle 2 000 kg/ha. Kevätvehnän satojen ylittäessä 6 000 kg/ha typpitase jäi aina alle 50 kg/ha.

Typpitaseet vaihtelivat paljon eri maatilojen välillä. Todennäköisesti tähän vaikuttivat erot viljelijöiden toimintatavoissa, pitkäaikaisissa viljelykäytännöissä ja perusparannuksissa. Peltolohkoilla ja koeaineistoissa oli onnistuttu tuottamaan hyviä satoja myös ilman suurta typpilannoitusta, ja tällöin typpitase oli pieni ja peltolohkon tuottopotentiaali kohtuullisellakin typpilannoituksella korkea. Näitä tapauksia oli muutama prosentti havainnoista, ja ne tulisi ottaa myönteisinä esimerkkeinä jatkotutkimusten kohteiksi.

Typpitaseet poikkesivat myös eri kasvien välillä, joten mahdollisessa taseohjauksessa olisi perusteltua huomioida tämä vaihtelu. Samoin olisi perusteltua edellyttää eloperäisiltä mailta pienempiä typpitaseita kuin kivennäismailta. Mahdollisella ravinnetaseohjauksella voitaisiin pyrkiä poistamaan korkeimmat typpitaseet, esimerkiksi yksivuotisten kasvien kohdalla taseet, jotka ylittävät kivennäismailloilla 20–40 kg/ha. Tämä vähentäisi typpihuuhtoumien ja typen kaasumaisten päätöjen riskiä.

Jotta taseohjaus ei muodostuisi liian monimutkaiseksi, se voitaisiin mahdollisesti toteuttaa koko maatalan tasolla ottaen huomioon tilalla viljeltävät kasvit ja eloperäisten maiden osuus peltoalasta. Tällöin taseohjaus toimisi samalla tavoin 'perälautana' kuin nykyiset ympäristökorvauksen enimmäislannoitusmäärät ehkäisten suurimmat typpilannoituksen ylilyönnit, mutta antaisi enimmäislannoitusmääriä enemmän vapautta viljelijälle päättää lannoitustasostaan. Koska ravinnetaseessa on sato-komponentti, taseeseen perustuva ohjaus ei kohtelisi keskimääräistä suurempien satojen tuottajia muita tiukemmin. Ravinnetaseohjaukseen sisältyisi myös lisäkannustin sadon tuottamiseen.

Jos viljelijöille jäisi enemmän päätösvaltaa lannoituksen suhteen, ja motiivi nostaa satotasoa olisi aiempaa suurempi, viljelijöiden kannattaisi ehkä hankkia entistä tarkempaa tietoa omien peltojensa lannoitusvasteista. Lannoitusvastetta arvioitaessa auttaa esimerkiksi tarkka tieto maan orgaanisen aineksen pitoisuudesta (%). Typpilannoitusvastetta voi ennakoita myös jättämällä pellolle lannoittamattomia ruutuja ja mittaamalla niiden sato.

Tästäkin huolimatta siirtyminen ravinnetaseohjaukseen voisi nostaa keskimääräisiä typpitaseita, jos viljelijät lisäisivät typpilannoitusta. Sallittavien taseiden enimmäismääristä riippuen seurauksena voisi joillakin alueilla olla jopa typpihuuhtoumien kasvu. Ravinnetaserajoitteen tason määrittämiseen (viitearvojen tiukkuuteen) tulisikin kiinnittää erityistä huomiota. Siinä yhteydessä olisi tarkasteltava rajoitteen vaikutusta suhteessa nykyiseen ympäristökorvauksen typenkäyttörajoitteeseen.

Monivuotisiin nurmikasvustoihin on sitoutunut enemmän typpeä syksyllä sadonkorjuun jälkeen kuin yksivuotisilla kasveilla, ja tämä vähentää huuhtoumariskejä. Toisaalta nurmiviljelyyn liittyy usein jatkuva lannan käyttö, minkä seurauksena kertyvä orgaaninen typpi voi olla huuhtoutumisen kannalta ongelmallinen, jos satotaso pysyy alhaisena. Nämä seikat ja nurmien satotasojen arvioinnin vaikeudet vaativat erityishuomiota mahdolliseen ravinnetaseohjaukseen siirryttäessä.

Riippumatta ravinnetaseohjauksesta ympäristökorvauksen tulisi edelleen ohjata lannan käyttöä ja viljelykiertoja ravinteiden optimaalisen hyödyntämisen suuntaan.

Ravinnetaseiden lisääminen ohjauskeinovalikoimaan tulisi tuottaa parannuksia nykyiseen järjestelmään niin, että sekä ympäristö että viljelijät hyötyisivät ravinnetasejärjestelmän käyttöönotosta ja byrokratia vähenisi. Ympäristöhyötyjen saavuttamiseksi typpitaseohjausta jouduttaisiin ehkä täydentämään tehokkailla huuhtouman vähentämiskeinoilla, kuten yksivuotisten kasvien viljelyyn yhdistettävillä aluskasveilla, varsinkin italianraiheinällä. Nyt tehdyn työn pohjalta taseohjauksen käytännön toteutusta voitaisiin edelleen kehittää ja testata esimerkiksi kokeiluhankkeissa.

Kirjallisuus

- BAUER, A. 2015. Status of nutrient bookkeeping in the Baltic Sea countries. <http://www.helcom.fi/Lists/Publications/Status%20of%20nutrient%20bookkeeping%20in%20the%20Baltic%20Sea%20countries.pdf>
- EKHOLM, P., RANKINEN, K., RITA, H., RÄIKE, A., SJÖBLOM, H., RAATELAND, A., VESIKKO, L., CANO BERNAL, J.E., TASKINEN, A. 2015. Phosphorus and nitrogen fluxes carried by 21 Finnish agricultural rivers 1985-2006. *Environmental Monitoring and Assessment* 187:216.
- LEMOLA, R., TURTOLO, E. & ERIKSSON, C. 2000. Undersowing Italian ryegrass diminishes nitrogen leaching from spring barley. *Agricultural and Food Science in Finland* 9, 3: 201–216.
- LEMOLA, R., UUSITALO, R., SARVI, M., YLIVAINIO, K., TURTOLO, E. 2014. Plant requirement and zero balance – Soil P development under two P input scenarios in Finland. *Baltic Forum for Innovative Technologies for Sustainable Manure Management. Knowledge report.* www.balticmanure.eu
- LUOSTARINEN, S., LOGREN, J., GRÖNROOS, J., LEHTONEN, H., PAAVOLA, T., RANKINEN, K., RINTALA, J., SALO, T., YLIVAINIO, K., JÄRVENPÄÄ, M. (toim.) 2011. Lannan kestävä hyödyntäminen. MTT Raportti 21. 164 p. <http://www.mtt.fi/mtrraportti/pdf/mtrraportti21.pdf>
- MAVI 2008. Ravinnetaseet. Ympäristötuen lisätoimenpide lannoituksen ja sadon ravinnemäärien seurantaan. http://www.mavi.fi/oppaat-ja-lomakkeet/viljelijä/Documents/Ravinnetaseohje_2008.pdf
- RANKINEN, K., SALO, T., GRANLUND, K., RITA, H. 2007. Simulated nitrogen leaching, nitrogen mass field balances and their correlation on farms in south-western Finland during the period 2000-2005. *Agricultural and Food Science* 16: 387-406.
- RÄTY, M., JÄRVENRANTA, K., HYRKÄS, M., VIRKAJÄRVI, P. 2015. Niittoajankohdan vaikutus fosforin huuhtoutumiseen säilörehunurmelta. In: *Ravinnehävikit euroiksi : RAE-hankkeen (2011-2015) loppuraportti / Toim. Arja Ruokojärvi. Savonia-ammattikorkeakoulun julkaisusarja D4 2: p. 58-62.*
- SAARIJÄRVI 2008. Nitrogen cycling on intensively managed boreal dairy pastures. *AgriFood Research Reports* 134. (Doctoral Dissertation). 71 p.
- SALO, T. & TURTOLO, E. 2006. Nitrogen balance as an indicator of nitrogen leaching in Finland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 113: 98–107.
- SALO, T., TURTOLO, E., VIRKAJÄRVI, P., SAARIJÄRVI, K., KUISMA, P., TUOMISTO, J., MUURINEN, S. & TURAKAINEN, M. 2013. Nitrogen fertilizer rates, N balances, and related risk of N leaching in Finnish agriculture. MTT Report 102. 37 p. <http://jukuri.mtt.fi/handle/10024/395552/browse?type=dateaccessioned&order=DESC>
- TURTOLO, E. & JAAKKOLA, A. 1987. Viljelykasvin vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen savimaasta Jokioisten huuhtoutumiskentällä v. 1983–1986. *Maatalouden tutkimuskeskus Tiedote* 22/87.
- TURTOLO, E. & YLI-HALLA, M. 1999. Fate of phosphorus applied in slurry and mineral fertilizer: accumulation in soil and release into surface runoff water. *Nutrient cycling in agroecosystems* 55, 2: 165–174.
- UUSITALO, R. & AURA, E. 2005. A rainfall simulation study on the relationships between soil test P versus dissolved and potentially bioavailable phosphorus forms in runoff. *Agriculture and Food Science* 14: 335–345.
- UUSITALO, R., TURTOLO, E. & LEMOLA, R. 2007. Phosphorus losses from a subdrained clayey soil as affected by cultivation practices. *Agricultural and Food Science* 16: 352–365.
- UUSITALO, R., HYVÄLUOMA, J., VALKAMA, E., KETOJA, E., VAAHTORANTA, A., VIRKAJÄRVI, P., GRÖNROOS, J., LEMOLA, R., YLIVAINIO, K., RASA, K., TURTOLO, E. 2016. A simple dynamic

- model of soil test phosphorus responses to phosphorus balances. *Journal of Environmental Quality* 45: 977–983. doi:10.2134/jeq2015.09.0463.
- VALKAMA, E., UUSITALO, R., YLIVAINIO, K., VIRKAJÄRVI, P. & TURTOLO, E. 2009. Phosphorus fertilization: a meta-analysis of 80 years of research in Finland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 130, 3–4: 75–85.
- VALKAMA, E., UUSITALO, R. & TURTOLO, E. 2011. A meta-regression analysis of Finnish phosphorus fertilization trials, and the economy of phosphorus fertilizer applications. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 91: 1–15.
- VALKAMA, E., SALO, T., ESALA, M., TURTOLO, E. 2013. Nitrogen balances and yields of spring cereals as affected by nitrogen fertilization in northern conditions: a meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 164:1–13.
- VALKAMA, E., LEMOLA, R., KÄNKÄNEN, H., TURTOLO, E. 2015. Meta-analysis of the effects of undersown catch crops on nitrogen leaching loss and grain yields in the Nordic countries. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 203: 93–101.
- VALKAMA, E., VIRKAJÄRVI, P., UUSITALO, R., YLIVAINIO, K., TURTOLO, E. 2016a. Meta-analysis of grass ley response to phosphorus fertilization in Finland. *Grass and Forage Science* 71: 36–53
- VALKAMA, E., RANKINEN, K., VIRKAJÄRVI, P., SALO, T., KAPUINEN, P., TURTOLO, E. 2016b. Nitrogen fertilization of grass leys: Yield production and risk of N leaching. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 230: 341–352.
- VIRKAJÄRVI, P. 2016. Hyötyä Taseista - Nurmen typpipitoisuuden estimointi N-lannoituksen funktiona. Julkaisematon muistio 29.11.2016.
- VNa 461/2000. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2000/20000461>
- VNa 1250/2014. Valtioneuvoston asetus eräiden maa- ja puutarhataloudesta peräisin olevien päästöjen rajoittamisesta. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20141250>
- VNa 235/2015. Valtioneuvoston asetus ympäristökorvauksesta. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150235>
- VNa 179/2016. Valtioneuvoston asetus ympäristökorvauksesta annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20160179>
- VUORENMAA, J., REKOLAINEN, S., LEPISTÖ, A., KENTTÄMIES, K., KAUPPILA, P. 2002. Losses of nitrogen and phosphorus from agricultural and forest areas in Finland during the 1980s and 1990s. *Environmental Monitoring and Assessment* 76: 213–248.
- YLI-HALLA, M., MOKMA, D.L., PELTOVUORI, T., SIPPOLA, J., 2000. Suomalaisia maaprofiileja. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja Sarja A 78, 104 p.
- YLÄRANTA, T., UUSI-KÄMPPIÄ, J., JAAKKOLA, A., 1993. Leaching of nitrogen in barley, grass ley and fallow lysimeters. *Agricultural Science in Finland* 2: 281–291.

Liitteet

Liite 1. Ravinnetaseaineistot käytännön peltolohkoilta.

	Vuodet	Havaintopisteitä/vuosi	Alue/erottelu	x = aina tai yleensä aineistossa, (x) = toisinaan aineistossa, - = ei mukana aineistossa	Kasvi	Sato	Valk / N-typpi	lann	lanni	P- lann	Maa- lann laji	Multa- vuus	pH	P- luku	Esi- kasvi erotel- tavisssa	Lanta	Kasvi- tauti- torjunta	Muok- kaus- menet.
Viljoitanta/Evira	1988-2013	1000-3000	Suomi/Maaseutukeskus	x	x	x	x	x	x	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	x	(x)	(x)	(x)
Teho-hanke/ELY-keskus	2007-2011	800-1800	Vars.-Suomi, Satakun- ta/Maaseutukeskus	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
ISO-VILJA/Agrimarket	1997-2003	400-1100	Vaasa-Lappeenranta – linja/Maaseutukeskus	x	x	x	x										x	x
Lohkotietopankki/ProAgria	2002-2013	600-1000 maatilaa	Suomi/Maaseutukeskus	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	(x)
MYTVAS-alueet/SYKE	1994-2011	600-1700	3 valuma-alueita, Lepsämän-, Lesti- ja Yläneen- joki	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	(x)	x	x	(x)	x
Peruna/PETLA	2003-2014	Yhteensä 19 000 pelto- lohkohavaintoa, 100- 2000 vuodessa	Vaasa-Lappeenranta – linja/Maaseutukeskus	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Raisio	2010-2012	500-600	Vaasa-Lappeenranta – linja/Maaseutukeskus	x	x	(x)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		(x)

Lite 2. Typpiannoitus (keskiarvo ± keskiarvon keskiarvo, kg/ha **liukoista typpeä**) käytännön peltolohkoaineistossa jaettuna viljelyyöhykkeen, ajanjakson ja maaluokan mukaan, kun typpiannoitus on annettu **vain väkilannoitteina**. Keskiarvot ovat lineaarisen mallin estimaatteja. Jos luvut puuttuvat, havaintoja on ollut liian vähän estimaatin laskemiseen.

	Viljelyyöhyke				Ajanjakso					Maaluokka				
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	Eloperäiset	Vmkark	Rmkark	VmSavet	RmSavet
Kaura	85.9±0.2	82.9±0.4	76.6±0.3	72.9±0.9	84.0±0.7	79.7±0.5	80.8±0.3	77.0±0.3	76.6±0.3	68.6±0.3	83.2±0.3	79.4±0.4	85.8±0.8	81.1±0.8
Kevätynsi	99.9±0.8	90.6±1.1	85.7±1.2	-	102.0±4.2	86.2±0.9	94.1±0.5	89.2±0.4	89.0±0.5	70.5±1.4	99.6±1.0	91.7±1.0	100.9±1.3	97.7±1.3
Kevätvehnä	108.8±0.6	99.2±1.2	93.5±2.2	-	103.6±2.2	100.5±1.3	99.4±1.2	98.6±1.0	100.4±1.1	93.3±1.3	101.1±1.8	98.2±2.3	104.6±1.8	105.3±2.2
Ohra	86.7±0.1	86.0±0.2	81.7±0.3	76.8±0.6	86.9±0.6	86.0±0.3	82.19±0.2	78.7±0.2	80.1±0.2	71.9±0.3	87.2±0.2	83.9±0.3	87.3±0.6	83.7±0.5
Syysvehnä	128.8±1.9	130.3±3.7	104.9±12.5	-	-	-	112.8±5.0	129.5±4.7	121.8±4.5	-	121.2±9.5	122.6±10.1	121.6±4.5	120.0±9.6
Sokerijuunkas	120.2±1.2	117.7±2.9	-	-	-	-	-	-	-	-	128.0±3.7	126.3±3.4	-	-
Tärkkelysperuna	77.2±2.1	80.9±0.4	80.5±0.7	-	-	-	78.5±0.8	80.6±0.8	80.6±0.8	74.4±1.4	84.2±0.9	82.2±1.2	79.0±2.7	77.9±1.6
Säilörehunurmi	157.7±1.0	146.9±2.0	136.0±1.1	135.2±1.5	-	153.7±2.6	145.0±1.0	143.2±0.8	134.0±1.0	141.1±1.7	148.9±1.1	147.9±1.3	135.7±2.0	146.2±1.9

Lite 3. Typpiannoitus (keskiarvo ± keskiarvon keskiarvo, kg/ha **liukoista typpeä**) käytännön peltolohkoaineistossa jaettuna viljelyyöhykkeen, ajanjakson ja maaluokan mukaan, kun typpiannoituksessa on käytetty **sekä kotieläinten lantaa että väkilannoitteita**. Keskiarvot ovat lineaarisen mallin estimaatteja. Jos luvut puuttuvat, havaintoja on ollut liian vähän estimaatin laskemiseen.

	Viljelyyöhyke				Ajanjakso					Maaluokka				
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	Eloperäiset	Vmkark	Rmkark	VmSavet	RmSavet
Lantaa	87.7±1.1	85.2±1.3	78.3±1.2	75.3±1.7	101.7±4.8	72.2±2.0	77.7±0.6	80.4±0.5	76.2±0.6	71.8±1.2	83.4±1.2	82.3±1.2	85.7±1.7	85.0±1.7
Kaura	93.6±1.8	-	74.7±3.0	-	-	-	-	-	-	-	88.9±2.5	88.6±3.1	92.9±3.5	85.5±3.7
Kevätynsi	92.2±2.9	98.6±3.5	99.4±5.1	-	120.2±11.1	71.4±5.72	69.5±4.3	109.1±2.1	113.5±2.6	96.6±4.7	88.5±5.5	88.2±4.9	103.2±4.9	107.2±4.4
Kevätvehnä	85.5±1.1	88.6±1.3	79.9±1.1	78.2±1.3	97.4±5.0	68.4±1.1	79.1±0.6	84.6±0.4	85.9±0.5	75.2±1.2	84.1±1.1	81.6±1.2	88.4±1.4	86.0±1.3
Ohra	125.8±9.4	131.5±12.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Syysvehnä	126.4±4.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	148.4±8.9	131.2±8.7	-	-
Sokerijuunkas	91.0±4.1	81.2±1.9	85.1±2.7	-	-	-	82.1±1.8	89.4±1.8	89.4±1.8	74.7±4.90	93.8±1.9	89.3±4.0	87.3±2.9	83.7±4.9
Tärkkelysperuna	171.2±1.0	152.3±2.3	146.4±1.1	143.9±1.4	-	-	151.4±1.2	154.6±0.8	154.3±1.0	147.0±1.6	161.7±1.0	160.0±1.3	148.4±2.3	150.1±2.0
Säilörehunurmi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Lite 4. Typpiannoitus (keskiarvo ± keskiarvon keskiarvo, kg/ha **kokonaistyyppiä**) käytännön peltolohkoaineistossa jaettuna viljelytyyppien, ajanjakson ja maaluokan mukaan, kun typpiannoituksessa on käytetty **sekä kotieläinten lantaa että väkilaannoitteita**. Keskiarvot ovat lineaarisen mallin estimaatteja. Jos luvut puuttuvat, havaintoja on ollut liian vähän estimaatin laskemiseen.

	Viljelytyyhyke				Ajanjakso					Maaluokka				
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	Eloperäiset	Vmkark	Rmkark	VmSavet	RmSavet
Lantaa														
Kaura	139.8±1.2	140.2±1.6	132.7±1.1	131.9±2.0	159.3±3.4	136.3±2.1	129.8±1.0	130.5±0.8	124.8±1.1	120.2±1.6	139.1±1.2	136.1±1.4	85.7±1.7	85.0±1.7
Kevättypsi	144.5±3.4	-	-	-	-	131.5±9.8	150.3±5.1	147.3±3.7	148.9±5.6	-	145.2±6.1	148.3±7.6	92.9±3.5	85.5±3.7
Kevätvehnä	159.2±2.3	140.2±3.2	138.6±2.5	-	184.8±7.3	114.5±5.4	141.5±1.9	144.0±1.4	145.3±1.7	122.4±4.2	151.1±2.6	139.9±3.5	103.2±4.4	107.2±4.4
Ohra	131.2±1.1	139.8±1.6	127.6±1.0	128.0±1.4	158.8±3.2	121.1±1.5	125.6±0.9	127.3±0.7	125.4±0.9	123.0±1.7	135.8±1.0	127.5±1.3	88.4±1.4	86.0±1.3
Syysvehnä	199.1±6.3	172.8±12.9	156.1±17.1	-	215.2±19.0	157.2±15.8	152.9±8.9	170.7±8.7	184.0±8.8	-	171.7±10.1	172.3±17.0	-	-
Sokerijuunkas	191.1±8.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	183.2±15.0	149.4±15.0	-	-
Tätkkelysperuna	129.7±8.3	130.4±4.6	128.8±6.8	-	-	-	123.5±4.1	135.7±4.1	-	124.1±7.5	141.0±5.1	138.6±9.2	87.3±2.9	83.7±4.9
Säilörehunurmi	210.0±1.1	188.3±2.6	181.6±1.2	183.6±1.6	-	184.3±1.4	184.3±1.4	193.1±1.0	195.3±1.1	185.0±1.9	200.8±1.1	198.9±1.5	182.0±2.6	187.8±2.3

Lite 5. Fosforilannoitus (keskiarvo ± keskiarvon keskiarvo, kg/ha) käytännön peltolohkoaineistossa jaettuina viljelyvyöhykkeen, ajanjakson ja maaluokan (vai fosforiluokan) mukaan, kun fosforilannoitus on annettu **vain väkiliannoitteina**. Keskiarvot ovat lineaarisen mallin estimaatteja. Jos luvut puuttuvat, niin havaintoja on ollut liian vähän estimointiin laskemiseen.

Ei lantaa	Viljelyvyöhyke					Ajanjakso					Maaluokka				
	1	2	3	4		1	2	3	4	5	Eloperäiset	Vmkark	Rmkark	VmSavet	RmSavet
Kaura	13.1±0.1	13.8±0.1	13.3±0.1	14.3±0.3		23.5±0.3	14.5±0.2	11.7±0.1	10.2±0.1	8.2±0.1	13.8±0.1	13.5±0.1	13.5±0.1	13.2±0.3	14.1±0.3
Kevätypsi	12.2±0.2	12.0±0.4	12.4±0.4	-		-	16.1±0.4	12.5±0.2	11.2±0.2	9.1±0.2	12.9±0.5	12.7±0.3	12.0±0.3	11.5±0.4	12.2±0.5
Kevätvehnä	15.5±0.3	13.3±0.9	15.6±0.8	-		24.4±0.8	15.4±0.5	13.4±0.5	11.1±0.5	9.8±0.5	16.2±0.5	15.4±0.9	14.1±1.2	13.8±0.7	14.6±0.8
Ohra	14.4±0.1	15.2±0.1	14.6±0.1	15.4±0.3		22.2±0.3	16.7±0.1	14.3±0.1	12.1±0.1	9.3±0.1	15.1±0.1	15.0±0.1	14.7±0.1	14.2±0.2	15.6±0.3
Syysvehnä	13.1±0.2	15.2±0.6	11.4±1.0	-		28.2±0.5	13.3±0.6	10.9±0.4	8.1±0.4	5.7±0.5		13.2±0.5	12.5±1.0	13.5±0.5	13.7±0.9
Sokeijjuunikas	19.4±0.9	16.1±2.6						-	-	-		18.0±2.6	22.3±2.7	-	25.4±5.7
Tärkkelysperuna	25.6±1.8	27.8±0.4	35.9±0.6	-		-	-	47.9±0.9	22.6±0.6	18.8±0.7	35.2±1.2	28.1±0.8	31.3±1.0	25.0±2.3	29.3±1.4
Säilörehnurmi	12.7±0.5	14.2±0.5	14.4±0.6	16.0±1.3		20.2±2.4	17.4±0.6	14.5±0.3	11.8±0.3	7.7±0.3	13.9±0.6	14.4±0.5	14.6±0.6	14.9±1.0	13.8±1.3

Lite 6. Fosforilannoitus (keskiarvo ± keskiarvon keskiarvo, kg/ha) käytännön peltolohkoaineistossa jaettuina viljelyvyöhykkeen, ajanjakson ja maaluokan mukaan, kun fosforilannoituksessa on käytetty **sekä kotieläinten lantaa että väkiliannoitteita**. Keskiarvot ovat lineaarisen mallin estimaatteja. Jos luvut puuttuvat, niin havaintoja on ollut liian vähän estimointiin laskemiseen.

Lantaa	Viljelyvyöhyke					Ajanjakso					Maaluokka				
	1	2	3	4		1	2	3	4	5	Eloperäiset	Vmkark	Rmkark	VmSavet	RmSavet
Kaura	30.3±1.3	25.9±1.9	26.8±1.9	30.9±4.5		42.9±4.3	31.8±2.1	24.7±1.9	19.9±1.5	23.1±1.9	33.0±1.2	30.0±2.2	26.5±2.5	23.3±3.2	29.6±4.7
Kevätypsi	23.0±1.1	-	-	-		-	-	29.8±2.0	21.5±1.3	17.6±1.5	22.2±3.6	27.4±1.7	23.1±2.3	22.1±1.6	20.1±1.3
Kevätvehnä	21.7±1.1	22.4±1.9	-	-		-	-	-	20.3±1.1	23.8±1.6	25.5±4.2	23.5±2.0	18.7±1.7	25.2±1.9	17.4±1.4
Ohra	28.7±0.6	30.6±0.7	28.4±0.6	29.8±0.7		48.0±2.7	27.4±0.6	26.5±0.3	23.8±0.2	21.1±0.3	29.5±0.7	29.4±0.6	28.8±0.7	30.4±0.7	28.8±0.7
Syysvehnä	24.6±3.6	23.7±5.6	16.9±10.3			38.0±11.3	14.0±9.3	15.5±5.2	17.9±4.5	23.3±4.5	-	21.5±5.7	19.9±7.9	24.7±6.4	20.8±10.9
Sokeijjuunikas	37.9±4.1												42.4±7.8		
Tärkkelysperuna	26.3±2.9	26.1±1.5	40.0±2.0	-		-	-	30.2±2.6	31.0±1.3	31.2±1.3	35.9±3.5	26.5±1.5	29.3±2.6	25.5±2.2	36.8±3.6
Säilörehnurmi	20.7±0.6	20.4±0.7	22.0±0.7	17.3±3.6		-	21.1±2.1	23.3±1.0	19.5±0.9	16.5±1.0	21.3±0.7	21.6±0.6	21.3±0.7	19.3±1.4	16.9±4.4

Lite 7. Viljelykasvien sato (keskiarvo ± keskiarvon keskiarvo, kg/ha) käytännön peltoohkoaineistossa jaettuna viljelytyyppien, ajanjakson ja maaluokan mukaan, kun tyypillannointi on annettu **vain väkilannoitteina**. Keskiarvot ovat lineaarisen mallin estimaatteja. Jos luvut puuttuvat, havaintoja on ollut liian vähän estimaatin laskemiseen.

	Viljelytyyppi				Ajanjakso					Maaluokka				
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	Eloperäiset	Vmkark	Rmkark	Vmsavet	Rmsavet
Kaura	3690±12	3865±17	3341±16	2994±42	3225±22	3199±23	3628±16	3635±15	3676±17	3482±18	3472±13	3428±22	3570±18	3412±51
Kevätynsi	1400±11	1492±24	1344±26	-	1556±29	1390±16	1517±13	-	-	1453±35	1446±16	1425±19	1356±30	1380±30
Kevätvehnä	3779±11	3985±24	3662±30	-	3340±23	3550±29	3941±17	4228±15	3985±16	3928±39	3753±18	3817±29	3834±20	3985±16
Ohra	3634±9	3880±13	3604±14	3289±32	3353±18	3266±15	3695±13	3885±12	3809±14	3542±19	3558±9	3643±17	3628±14	3638±37
Syysvehnä	3980±31	4296±78	3851±124	-	3739±67	3833±79	3842±56	4338±57	4459±59	-	3843±63	4238±134	4064±60	4025±120
Sokerijuurikas	39192±460	35410±1264	-	-	-	-	-	-	-	-	35129±1271	35948±1342	-	39023±2827
Täkkelysperuna	26860±1195	28820±254	26739±385	-	-	-	27229±432	27717±437	-	27743±494	28309±521	28224±680	26518±1644	26571±936
Säilörehunurmi	6916±171	6945±208	6590±175	5773±189	4616±811	-	5588±62	5197±50	5882±64	6404±195	6682±175	6555±180	6197±205	6943±200

Lite 8. Viljelykasvien sato (keskiarvo ± keskiarvon keskiarvo, kg/ha) käytännön peltoohkoaineistossa jaettuna viljelytyyppien, ajanjakson ja maaluokan mukaan, kun tyypillannointi on annettu **sekä kotieläinten lantaa että väkilannoitteita**. Keskiarvot ovat lineaarisen mallin estimaatteja. Jos luvut puuttuvat, havaintoja on ollut liian vähän estimaatin laskemiseen.

	Viljelytyyppi				Ajanjakso					Maaluokka				
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	Eloperäiset	Vmkark	Rmkark	Vmsavet	Rmsavet
Lantaa														
Kaura	3749±30	3799±41	3424±29	2875±53	3367±88	3334±55	3529±26	3541±21	3539±28	3401±40	3492±30	3414±37	3613±39	3390±63
Kevätynsi	1621±45	-	-	-	-	1777±131	1520±70	1627±44	1559±49	1841±122	1571±67	1659±85	1500±58	1533±51
Kevätvehnä	3734±56	4071±74	3749±65	-	3123±192	3595±140	4082±48	4236±33	4219±39	4215±105	3748±64	3750±69	3785±64	3757±72
Ohra	3631±27	4114±39	3557±26	3041±34	3391±80	3297±38	3550±22	3891±18	3799±22	3500±41	3616±25	3536±33	3686±30	3590±42
Syysvehnä	4298±96	4434±153	3884±278	-	3496±307	4082±253	4389±140	4560±122	4501±122	-	4162±154	4281±213	4176±174	4204±297
Sokerijuurikas	37276±2022										33354±3688	30610±3587	-	-
Täkkelysperuna	-	-	26837±1897	-	-	-	-	-	-	-	30896±976	22454±3260	-	-
Säilörehunurmi	7863±91	6785±154	7028±91	6691±57	-	-	5345±72	5420±50	6441±57	6948±121	7254±92	7096±105	7052±149	7110±138

Lite 9. Typpisatoon vaikuttavat tekijät käytännön peltolohkoaineistossa käytettävässä **vain väkilannoitusta**. Selityksasteen kumulatiivinen lisäys eri tekijöiden mukaan kasvila-jeittain. Kerroin B kuuaa lannoituksen tai maan fosforiluvun vaikutusta typpisatoon.

Eilantaa	Kevätvehnä	Kaura	Syysvehnä	Ohra	Tärikelysperuna	Säiörehunurmi
N=	20733	15332	2607	29259	5935	16780
Vuosi x MTK	0.167	0.222	0.2069	0.2258	0.2313	0.1622
Typpilannoitus	0.2036	0.2525	0.238	0.2468	0.2561	0.2633
pH-luokka	0.2211	0.2646	0.2478	0.2574	0.2739	0.2699
Maaluokka	0.23		0.2563	0.2597		
Multavuus (%)	0.228			0.2627	0.2769	
Fosforilannoitus	0.2304			0.2611	0.2667	0.2703
Maaryhmä		0.2652				
P-luku	0.2308	0.2658	0.2544	0.2622	0.2773	0.2706
Kerroin	B	B	B	B	B	B
SE	0.007	0.017	0.017	0.006	0.012	0.01
Typpilannoitus	0.225	0.215	0.1871	0.1841	0.2674	0.456
Fosforilannoitus	0.081	0.018	0.061	0.1471	0.2099	-0.1769
P-luku	0.0337	0.045	0.0366	0.0556	-0.0173	0.049
			0.01207	0.008	0.00861	0.048
Eilantaa	Kevättyppi	Sokerijuurikas	Säiörehunurmi	Lanta mukana	Liukoinen typpi	Kokonaistyyppi
N=	4677	1749	N=	30062	N=	30062
Vuosi x MTK	0.2822	0.2719	Vuosi x MTK	0.1748	Vuosi x MTK	0.1748
pH-luokka	0.2961	0.2757	Typpilannoitus	0.2651	KokTyppilann	0.2478
Maaluokka		0.2788	pH-luokka	0.2713	pH-luokka	0.2546
Multavuus (%)	0.3	0.2818	Lanta	0.2732	Fosforilannoitus	0.2583
Fosforilannoitus			Fosforilannoitus	0.2745	Lanta	0.2591
Maaryhmä			Fosforilannoitus	0.2748	P-luku	0.2593
Typpilannoitus	0.303		P-luku	0.275	Fosforilannoitus	0.2595
P-luku	0.3047		Multavuus (%)	0.2752		
Kerroin	B	B	Typpilannoitus	B	SE	B
SE	0.015		Fosforilannoitus	0.4297	0.007	0.30706
Typpilannoitus	0.0687	0.015	Fosforilannoitus	-0.1892	0.026	-0.2817
Fosforilannoitus			P-luku	-0.1194	0.041	-0.1281
P-luku	0.0735	0.02065				0.0412

Lite 10. Typpitase (keskiarvo ± keskiarvon keskiarvo, kg/ha) käytännön peltolohkoaineistossa ajanjakson ja maaluokan mukaan, kun typpiannostus on annettu **vain väkilannoitteina**. Keskiarvot ovat lineaarisen mallin estimaatteja. Jos luvut puuttuvat, niin havaintoja on ollut liian vähän estimaatin laskemiseen.

	Viljelyyhyke				Ajanjakso					Maaluokka				
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	Eloperäiset	Vmkark	Rmkark	VmSavet	RmSavet
Ei lantaa														
Kaura	19.5±0.3	12.0±0.4	14.5±0.4	18.0±1.0	21.3±0.5	21.4±0.5	14.8±0.4	11.6±0.3	11.0±0.4	5.0±0.4	20.0±0.9	17.2±0.5	18.3±0.4	19.6±1.2
Kevätypsi	48.8±0.5	35.5±1.1	37.1±1.2	-	-	32.1±1.3	45.9±0.7	36.5±0.6	47.4±0.7	16.5±1.6	47.1±0.7	39.9±0.9	51.5±1.4	47.3±1.4
Kevätvehnä	39.3±0.3	24.9±0.6	19.3±0.7	-	31.3±0.6	29.4±0.7	28.1±0.4	21.9±0.4	28.5±0.4	9.5±0.9	32.3±0.4	30.4±0.7	32.5±0.5	34.6±0.9
Ohra	24.4±0.2	18.5±0.3	18.7±0.3	20.8±0.7	27.7±0.4	30.0±0.3	18.3±0.3	12.4±0.3	14.7±0.3	10.1±0.4	25.6±0.2	21.4±0.4	24.5±0.3	21.5±0.8
Syysvehnä	68.8±0.8	55.6±2.0	49.5±3.3	-	74.0±1.8	55.2±2.1	59.5±1.5	50.3±1.5	50.9±1.6	-	59.6±1.7	51.1±3.5	59.2±1.6	62.0±3.1
Sokerijuurikas	44.2±1.4	48.8±3.8	-	-	-	-	-	-	-	-	56.7±3.9	52.1±4.1	-	-
Tärkkelysperuna	-0.5±3.3	1.9±0.7	6.5±1.1	-	-	-	2.3±1.2	3.0±1.2	3.0±1.2	-5.0±1.4	3.5±1.5	2.9±1.9	6.6±4.6	5.0±2.6
Säilörehunurmi	4.2±1.2	4.3±2.6	-8.6±1.3	-0.2±1.9	-	-	3.5±1.3	-1.4±1.1	-2.2±1.3	-4.3±2.2	1.6±1.3	-2.9±1.5	4.3±2.7	1.1±2.4

Lite 11a. Typpitase (keskiarvo ± keskiarvon keskiarvo, kg/ha, laskettuna kokonaistypen mukaan) käytännön peltolohkoaineistossa ja jaettuna viljelyyhykkeen, ajanjakson ja maaluokan mukaan, kun typpiannostuksessa on käytetty **sekä kotieläinten lantaa että väkilannoitteita**. Keskiarvot ovat lineaarisen mallin estimaatteja. Jos luvut puuttuvat, niin havaintoja on ollut liian vähän estimaatin laskemiseen.

	Viljelyyhyke				Ajanjakso					Maaluokka				
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	Eloperäiset	Vmkark	Rmkark	VmSavet	RmSavet
Lantaa														
Kaura	73.8±1.3	71.6±1.8	69.6±1.2	80.3±2.2	98.0±3.7	74.3±2.4	66.3±1.1	68.1±0.9	62.3±1.2	59.2±1.7	76.7±1.3	74.4±1.6	80.2±1.7	78.6±2.7
Kevätypsi	95.8±4.0	-	74.7±3.0	-	-	73.4±11.6	102.7±6.1	98.3±4.4	108.8±6.6	93.3±16.8	97.7±7.2	98.5±9.0	85.8±5.6	101.2±5.2
Kevätvehnä	87.3±2.5	59.2±3.4	64.1±2.6	-	116.6±7.9	41.2±5.7	62.3±2.0	65.6±1.5	65.1±1.8	40.9±4.5	77.3±2.8	63.9±3.8	88.3±2.6	80.4±3.1
Ohra	70.3±1.2	67.6±1.8	65.3±1.1	76.9±1.5	100.1±3.5	64.0±1.7	63.8±1.0	62.0±0.8	60.3±1.0	63.1±1.9	74.3±1.3	67.4±1.5	74.3±1.3	71.2±1.9
Syysvehnä	121.9±6.4	95.7±13.1	84.4±17.4	-	151.5±19.4	82.8±16.0	70.3±9.1	95.1±8.8	103.8±9.0	-	96.1±10.3	98.9±17.4	102.4±10.8	105.4±18.6
Sokerijuurikas,	118.74±10.2										112.0±18.4	88.5±18.3		
Tärkkelysperuna	59.1±8.5	54.0±4.7	51.1±6.9	-	-	49.7±7.6	61.2±5.14	58.1±9.4	49.9±7.6	49.7±7.6	61.2±5.14	58.1±9.4	49.9±7.6	54.8±12.8
Säilörehunurmi	29.9±1.6	28.4±3.7	23.3±1.7	38.9±2.2	-	28.9±1.9	26.7±1.3	34.8±1.5	27.5±2.6	27.5±2.6	37.1±1.6	36.8±2.1	24.5±3.6	24.8±3.2

Liite 11b. Typpitase (keskiarvo ± keskiarvon keskivirhe, kg/ha, laskettuna liukoisen typen mukaan) käytännön peltolohkoaineistossa ja jaettuna viljelyvyöhykkeen, ajanjakson ja maaluokan mukaan, kun typpilannoituksessa on käytetty sekä kotieläinten lantaa että väkilannoitteita. Keskiarvot ovat lineaarisen mallin estimaatteja. Jos luvut puuttuvat, niin havaintoja on ollut liian vähän estimaatin laskemiseen.

	Viljelyvyöhyke				Ajanjakso					Maaluokka				
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	Eloperäiset	Vmkark	Rmkark	VmSavet	RmSavet
Kaura	20.7±0.8	17.1±1.1	15.7±0.8	25.3±1.4	29.1±2.4	21.1±1.5	17.3±0.7	17.7±0.6	13.5±0.8	11.3±1.1	21.8±0.8	20.2±1.0	22.2±1.1	22.9±1.7
Kevätypsi	38.2±2.7	-	-	-	-	12.4±7.8	60.4±4.1	43.8±2.6	36.2±2.9	19.5±7.2	38.8±4.0	35.7±5.0	43.8±3.4	53.3±3.0
Kevätvehnä	35.4±1.6	29.2±2.1	23.0±1.9	-	46.2±5.5	16.6±4.0	29.5±1.4	28.2±1.0	25.6±1.1	7.6±3.0	31.6±1.8	29.3±2.0	40.8±1.8	37.7±2.1
Ohra	23.5±0.7	17.8±1.1	19.4±0.7	28.5±1.0	31.5±2.2	22.4±1.0	19.8±0.6	18.4±0.5	19.4±0.6	15.6±1.1	24.2±0.7	21.4±0.9	27.3±0.8	23.1±1.2
Syysvehnä	64.0±3.1	47.4±4.9	53.4±8.8	-	64.1±9.8	61.0±8.0	51.9±4.4	50.6±3.9	47.1±3.9	-	53.4±4.9	53.9±6.8	55.4±5.5	57.0±9.4
Sokerijuunikas	49.5±6.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	77.1±11.6	68.3±11.3	-	-
Tärkkelysperuna	19.3±3.9	4.6±2.2	7.3±3.2	-	-	-	-	4.9±1.9	15.9±1.9	-2.9±3.5	13.9±2.4	9.5±4.3	12.8±3.5	18.7±5.9
Säilörehnurmi	-7.8±1.4	-6.9±3.4	-12.0±1.6	-0.9±2.1	-	-	-3.9±1.8	-11.3±1.2	-5.4±1.4	-10.4±2.4	-1.2±1.4	-2.2±1.9	-8.9±3.4	-11.9±3.0

Liite 12. Fosforitase (keskiarvo ± keskiarvon keskivirhe, kg/ha) käytännön peltolohkoaineistossa jaettuna viljelyvyöhykkeen, ajanjakson ja maaluokan mukaan, kun fosforilan- noitus on annettu vain väkilannoitteina. Keskiarvot ovat lineaarisen mallin estimaatteja. Jos luvut puuttuvat, niin havaintoja on ollut liian vähän estimaatin laskemiseen.

	Viljelyvyöhyke				Ajanjakso					Maaluokka				
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	Eloperäiset	Vmkark	Rmkark	VmSavet	RmSavet
Ei lantaa														
Kaura	0.3±0.1	0.2±0.1	2.0±0.1	3.8±0.3	12.6±0.2	2.7±0.2	-0.8±0.1	-2.5±0.1	4.3±0.1	1.8±0.1	1.3±0.1	1.6±0.2	1.0±0.1	2.1±0.4
Kevätypsi	0.1±0.2	-0.5±0.4	0.8±0.4	-	-	2.6±0.5	0.6±0.3	-1.7±0.2	-1.0±0.3	0.5±0.6	0.5±0.3	0.0±0.3	-0.4±0.5	0.0±0.5
Kevätvehnä	0.3±0.1	-0.7±0.2	1.3±0.3	-	13.0±0.2	2.0±0.3	-2.0±0.1	-5.2±0.2	-6.2±0.1	1.1±0.3	-0.5±0.2	-0.2±0.3	0.3±0.2	0.9±0.3
Ohra	1.6±0.1	1.9±0.1	2.2±0.1	3.8±0.3	12.1±0.1	4.7±0.1	1.2±0.1	-1.9±0.1	-4.1±0.1	2.6±0.2	2.4±0.1	2.2±0.1	1.7±0.1	3.1±0.3
Syysvehnä	-2.2±0.4	-1.5±0.8	-3.5±1.5	-	13.8±0.7	-1.5±0.8	-3.8±0.6	-8.8±0.6	-11.7±0.6	-2.0±2.3	-1.7±0.5	-4.0±1.2	-2.3±0.5	-1.9±1.0
Sokerijuunikas	0.9±0.6	4.2±1.2	-	-	-	-	-	-	-	-	3.8±2.6	7.7±2.8	-	10.4±5.9
Tärkkelysperuna	3.1±1.8	4.3±0.4	14.1±0.6	-	-	-	-	9.1±0.6	5.2±0.6	12.4±0.7	5.5±0.8	8.0±1.0	2.9±2.4	7.0±1.4
Säilörehnurmi	-0.3±0.6	1.2±0.7	2.3±0.6	4.1±0.7	16.5±2.9	9.5±0.6	-2.6±0.2	-5.6±0.2	-8.8±0.2	1.5±0.7	2.0±0.6	1.3±0.6	2.9±0.7	1.3±0.7

Liite 13. Fosforitase (keskiarvo ± keskiarvon keskivirhe, kg/ha, laskettuna kokonaistypen mukaan) käytännön peltolohkoaineistossa ja jaettuna viljelyvyöhykkeen, ajanjakson ja maaluokan mukaan, kun fosforilannoituksessa on käytetty **sekä kotieläinten lantaa että väkiliannoitteita**. Keskiarvot ovat lineaarisen mallin estimaatteja. Jos luvut puuttuvat, niin havaintoja on ollut liian vähän estimaatin laskemiseen.

	Viljelyvyöhyke				Ajanjakso					Maaluokka				
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	Eloperäiset	Vmkark	Rmkark	VmSavet	RmSavet
Lantaa														
Kaura	15.6±0.6	20.5±0.8	17.4±0.6	18.8±1.1	30.7±1.8	21.1±1.1	16.4±0.5	12.7±0.4	9.5±0.6	15.5±0.8	18.5±0.6	21.7±0.8	18.7±0.8	15.9±1.3
Kevättypsi	12.9±1.5	-	-	-	-	25.1±4.2	15.3±2.3	7.1±1.5	3.9±1.6	9.3±4.0	17.3±2.2	13.4±2.8	12.8±1.9	11.6±1.7
Kevätvehnä	14.7±1.0	10.7±1.3	16.6±1.1	-	38.9±3.4	11.0±2.4	10.9±0.8	7.1±0.6	2.2±0.7	9.9±1.9	15.9±1.2	13.1±1.2	16.3±1.1	14.8±1.3
Ohra	14.5±0.7	23.3±1.0	15.1±0.6	18.0±0.8	31.4±1.9	18.4±0.9	18.9±0.5	11.3±0.4	8.7±0.5	15.6±1.0	17.3±0.6	24.0±0.8	16.7±0.7	15.1±1.0
Syysvehnä	7.2±4.8	7.1±7.5	0.7±12.0	-	24.1±11.7	-1.4±9.5	-2.0±6.0	-0.5±5.3	4.9±5.3	2.7±18.4	5.4±5.7	3.6±7.9	8.6±6.4	4.8±10.9
Sokerijuurikas,	21.2±4.0				-	-	-	-	-	-	-	29.6±7.6	-	-
Tähtkelysperuna	59.1±8.5	54.0±4.7	51.1±6.9	-	-	-	46.8±4.2	62.7±4.2		49.7±7.6	61.2±5.1	58.1±9.4	49.9±7.6	54.8±12.8
Säilörehunurmi	0.1±0.6	2.5±1.1	3.0±0.6	6.0±0.8	-	5.3±2.0	6.1±0.5	1.2±0.4	-0.9±0.4	4.0±0.8	3.7±0.6	3.2±0.7	1.7±1.0	1.9±1.0

Lite 14. Tyypitaseen vaihtelun prosentuaaliset osuudet käytännön peltolohkoaineistossa sen jälkeen, kun typpilannoituksen vaikutus on poistettu. Peltolohkoilla käytetty **vain väkilannoitetyyppeä**. Typpilannoituksen vaikutus jakautuu maaluokkaan, maaseutukeskukseen ja ajanjaksoon.

Ei lintaa	Kaura	Syysvehnä	Kevättrypsi	Tärrkelysperuna	Ohra	Kevätvehnä	Syysruis	Sokerijuurikas	Säilörehu
Vuosi	9	3	10	3	11	9	4	51	9
Maaseutukeskus	4	78	6	2	9	20	25	2	9
Vuosi×M.keskus	8	2	4	59	4	14	39	39	14
Maalajiryhmä	11	1	22	32	18	10	12	5	1
pH-luokka	0	0	0	2	1	0	0	2	0
Maatila	65	16	48	2	57	47	20	0	67
Lohko	2	0	10	0	1	0	0	0	0
Mailin selitysaste	0.49	0.19	0.63	0.50	0.30	0.11	0.29	0.48	0.59

Lite 15. Tyypitaseen vaihtelun prosentuaaliset osuudet käytännön peltolohkoaineistossa sen jälkeen, kun typpilannoituksen vaikutus on poistettu. Peltolohkoilla käytetty **sekä kotieläinlantaa että väkilannoitetyyppeä**. Typpilannoituksen vaikutus jakautuu maaluokkaan, maaseutukeskukseen ja ajanjaksoon

Lantaa	Kaura	Tärrkelysperuna	Ohra	Kevätvehnä	Säilörehu
Vuosi	19	14	15	16	5
Maaseutukeskus	7	15	12	6	6
Vuosi×M.keskus	11	0	30	14	12
Maalajiryhmä	0	5	0	1	1
pH-luokka	0	1	2	0	0
Maatila	63	66	41	63	76
Mailin selitysaste	0.77	0.60	0.61	0.88	0.62

Liite 16. Havaintojen valinta kivennäismailta kaikilta ajanjaksoilta, kun satotaso on kasvilajeittain parhaassa kymmenessä prosentissa ja tyypitase alimman kymmenen prosentin joukossa. Mukana myös lantaa saaneet lohkot.

	Tyypitase, kg/ha <	Sato, kg/ha ≥	Havaintoja, kpl	Parhaita havaintoja, kpl	%
Kaura	-10.6	5000	28581	953	3.3
Kevättrypsi	26.1	1997	6679	272	4.1
Kevätvehnä	11.2	5100	30090	831	2.8
Ohra	-5.3	5000	54644	2233	4.1
Sokerijuurikas	18.0	49934	2152	107	5.0
Syysruis	24.2	4500	3656	77	2.1
Syysvehnä	24.5	5800	5431	123	2.3
Säilörehu	-88.0	8200	26704	894	3.3
Tärkkelysperuna	-29.0	41619	16421	1052	6.4
Yhteensä			174358	6542	3.8

Liite 17. Kivennäismaiden parhaiden (liite 16) ja muiden havaintojen (lohkojen) maaperän ominaisuuksien keskiarvot, keskiarvon keskivirheet (SE) ja keskiarvojen erojen tilastollinen merkitsevyys (p<). Mukana kaikki ajanjaksot ja myös lantaa saaneet lohkot.

	Muut	SE	Parhaat	SE	N	p<
P, mg/l	14.5	0.25	15.0	0.30	89666	0.007
pH	6.10	0.014	6.18	0.016	89727	0.001
Ca, mg/l	1966	18.1	2051	20.5	89666	0.001
K, mg/l	156	2.3	162	2.6	89666	0.001
Mg, mg/l	293	5.4	292	6.0	89727	0.536
Ca/Mg	7.8	0.17	8.2	0.19	89666	0.001
K/Mg	0.65	0.020	0.66	0.02	89666	0.570
KVK	2345	26	2496	29.4	89666	0.001

Liite 18. ELY-keskuksen, viljelykasvin, ajanjakson, maaluokan ja lannankäytön jakaumien erot parhaiden havaintojen (korkea satotaso ja alhainen typpitase, liite 16) ja muiden havaintojen välillä kivennäismailla. Lannan käyttö ja kaikki ajanjaksot ovat mukana. Prosenttiosuuden ero kuvaa, kuinka paljon suurempi parhaiden havaintojen osuus on ollut verrattuna muiden havaintojen osuuteen.

ELY-keskus	%	Kasvi	%	Ajanjakso	%
Uusimaa	-5,34	Sokerijuurikas	0,42	<1994	-3,79
Varsinais-Suomi	1,59	Kaura	-1,89	1995-1999	-3,60
Satakunta	5,95	Kevättrypsi	0,34	2000-2004	-3,57
Pirkanmaa	-4,15	Kevätvehnä	-4,74	2005-2009	7,42
Häme	1,80	Ohra	2,90	2010-2014	3,53
Kaakkois-Suomi	-1,44	Säilörehu	-1,71		
Etelä-Savo	-0,69	Syysruis	-0,95		
Pohjois-Savo	-0,25	Syysvehnä	-1,28		
Pohjois-Karjala	-1,28	Tärkkelysperuna	6,92		
Keski-Suomi	-2,27				
Etelä-Pohjanmaa	4,86				
Pohjanmaa	1,52				
Pohjois-Pohjanmaa ja					
Kainuu	-0,23				
Lappi	-0,06				

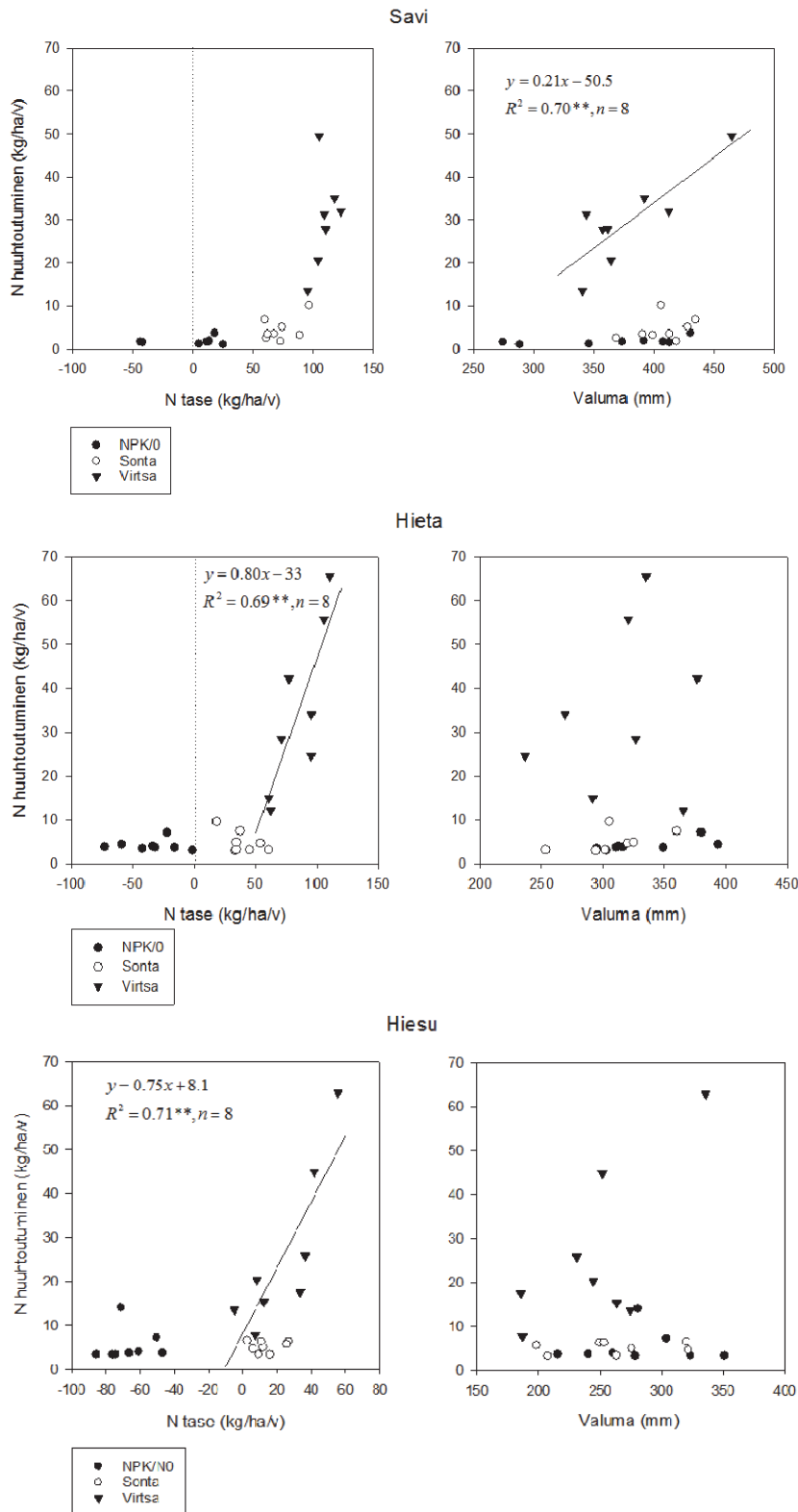
Maaluokka	%	Lanta	%
VmKark	-0,42	Ei lantaa	-2,47
RmKark	3,14	Lantaa	2,47
VmSavet	-5,65		
RmSavet	2,93		

Liite 19. Happamien sulfaattimaiden esiintymisen todennäköisyyden vaikutus kauran, kevätvehnän, ohran ja tärkkelysperunan liukoisen tyypin lannoitukseen, satotasoihin ja tyypitaseisiin Uudenmaan, Varsinais-Suomen, Satakunnan, Kaakkois-Suomen, Etelä-, Keski- ja Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskusten alueilla. Tärkkelysperunan osalta ELY-keskuksista jätettiin pois Kaakkois-Suomi ja Pohjois-Pohjanmaa, joista havaintoja oli alle 20 kpl. Jos taulukon lukuarvoilla on samalla rivillä sama yläviite, niin ne eivät eroa toisistaan tilastollisesti merkitsevästi ($p>0.05$).

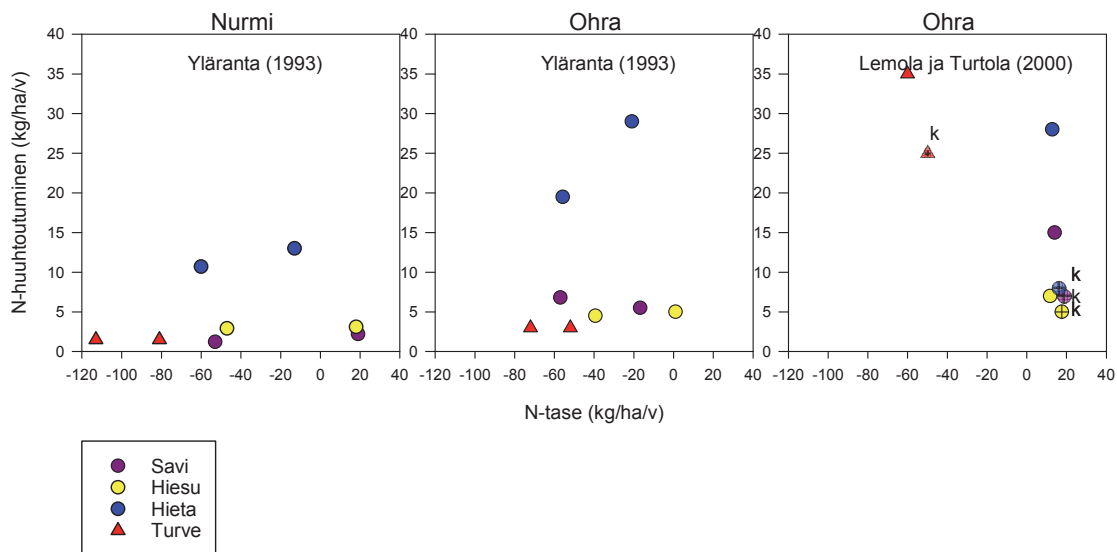
	Happamien sulfaattimaiden esiintymisen todennäköisyys			
Satotaso kg/ha	Suuri tai kohtalainen	Pieni	Erittäin pieni	Ei arviota
Kaura	4048 ^a	3897 ^b	3484 ^d	3671 ^c
Kevätvehnä	4474 ^a	3927 ^c	3962 ^{bc}	3985 ^b
Ohra	4142 ^a	4066 ^b	3835 ^c	3814 ^c
Tärkkelysperuna	29270 ^a	30989 ^b	34451 ^c	30983 ^b

Typpilannoitus kg/ha	Suuri tai kohtalainen	Pieni	Erittäin pieni	Ei arviota
Kaura	82,6 ^a	79,6 ^b	82,7 ^a	81,4 ^a
Kevätvehnä	107,0 ^a	97,4 ^c	103,6 ^b	98,0 ^c
Ohra	86,5 ^a	85,5 ^b	82,7 ^c	84,8 ^d
Tärkkelysperuna	75,0 ^b	77,0 ^c	69,7 ^a	76,2 ^b

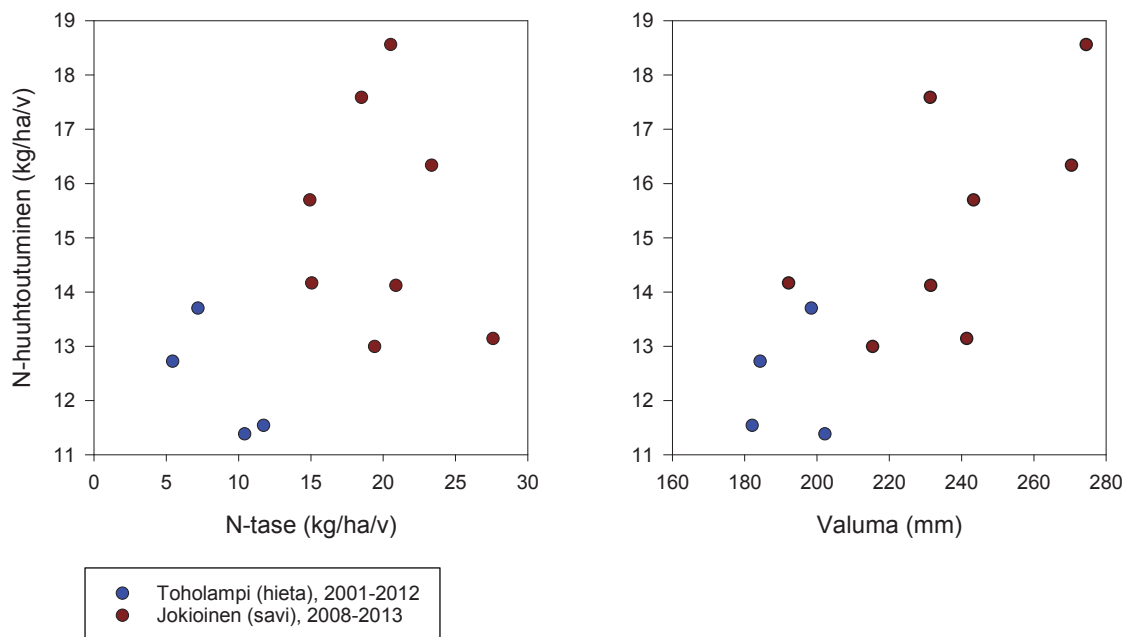
Typpitase kg/ha	Suuri tai kohtalainen	Pieni	Erittäin pieni	Ei arviota
Kaura	9,4 ^a	9,5 ^a	20,1 ^c	15,9 ^b
Kevätvehnä	21,3 ^a	22,7 ^a	29,6 ^b	22,2 ^a
Ohra	14,5 ^a	15,3 ^a	16,9 ^b	19,6 ^c
Tärkkelysperuna	-2,7 ^a	-5,8 ^b	-16,8 ^c	-6,1 ^b



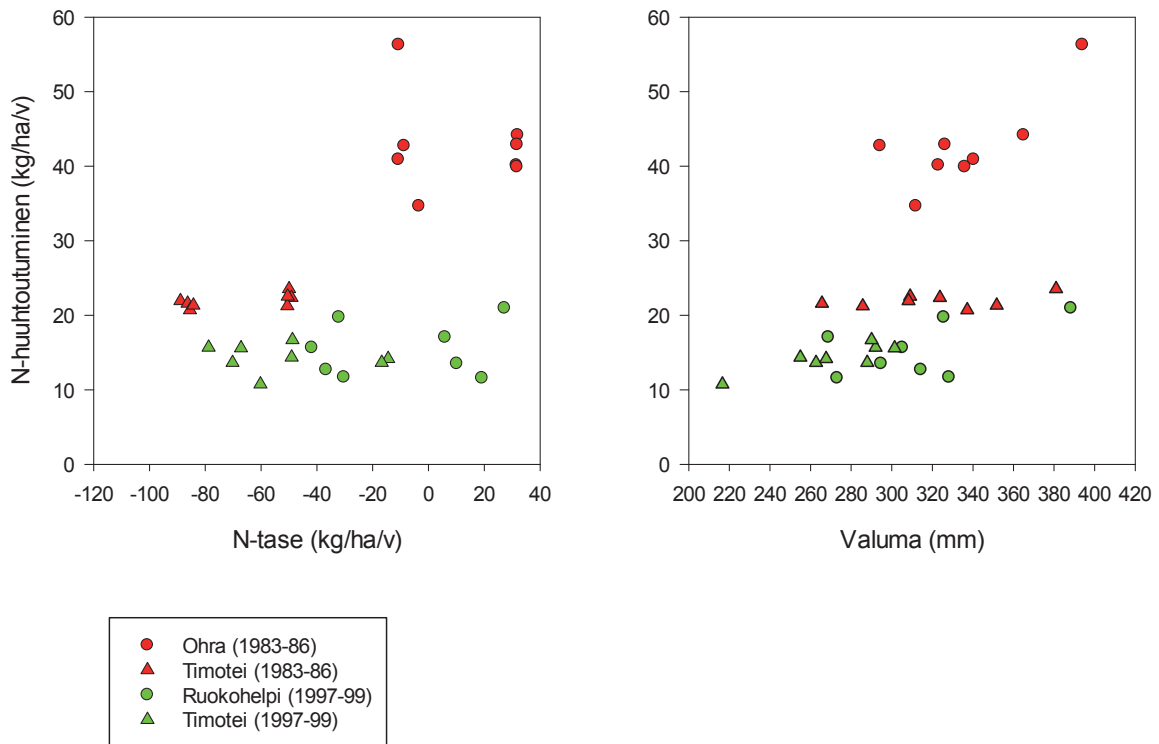
Liite 20. Tyypitaseen (laskettuna kokonaistypen mukaan) ja typpihuhtouman yhteys laidunnurmella savi-, hieta- ja hiesumaalla käytettäessä typpilannoitteena NPK-lannoitetta, sontaa tai virtsaa. Lysimetrikenttä, Jokioinen.



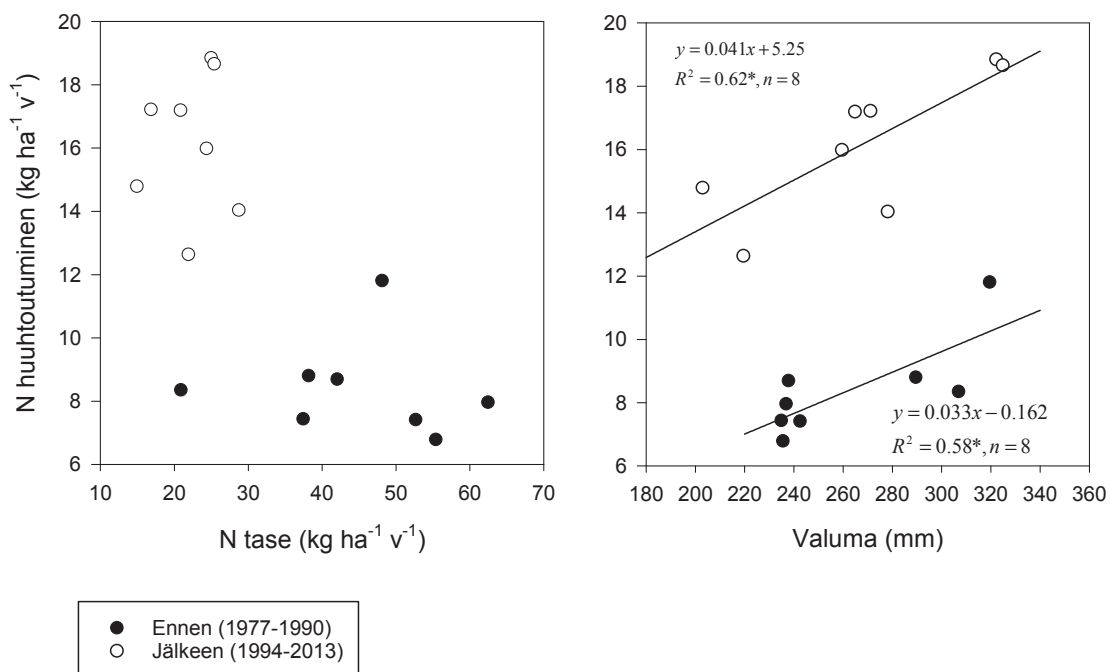
Liite 21. Typpitaseen ja huuhtouman yhteys nurmella ja ohralla eri maalajeilla (vasemmalla ja keskellä, Ylärinta ym. 1993) sekä ohralla ilman aluskasvia ja aluskasvin kanssa (oikealla, Lemola ja Turtola 2000) käytettäessä väkilannoitetyyppeä. Aluskasvin pisteet merkitty ristillä. Lysimetrikenttä, Jokioinen.



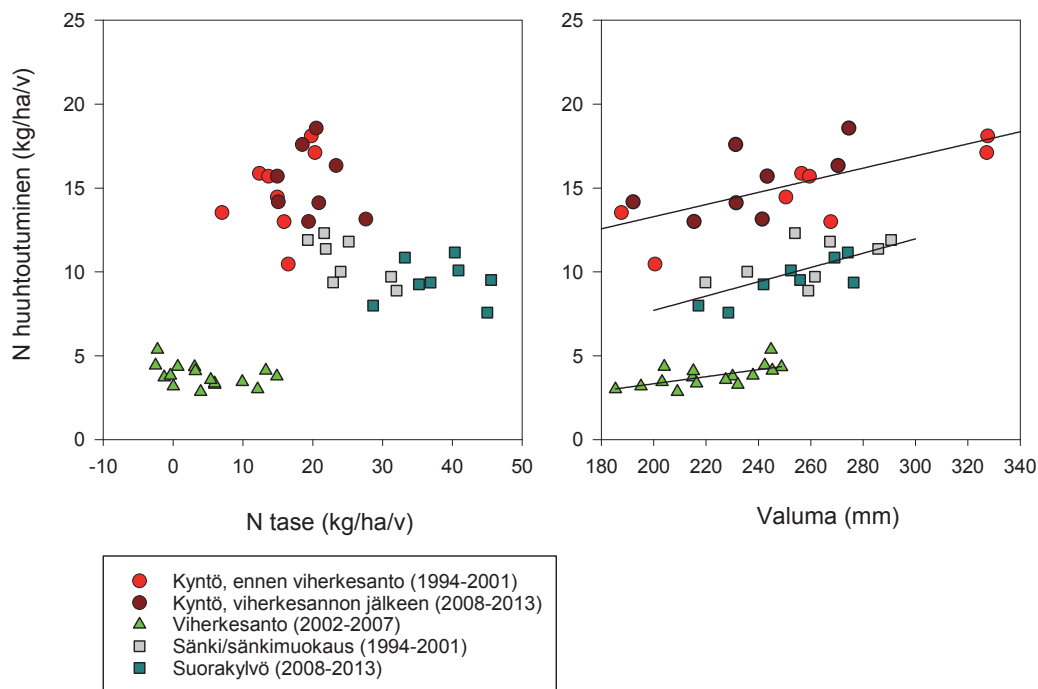
Liite 22. Typpitaseen ja typpihuuhtouman (vasemmalla) ja valunnan ja typpihuuhtouman (oikealla) välinen yhteys ohraa viljeltäessä käytettäessä väkilannoitetyyppeä. Hietamaa: siniset pisteet; savimaa: punaiset pisteet. Syysmuokkaus tehty kyntäen. Hietamaan ja savimaan huuhtoumakentät.



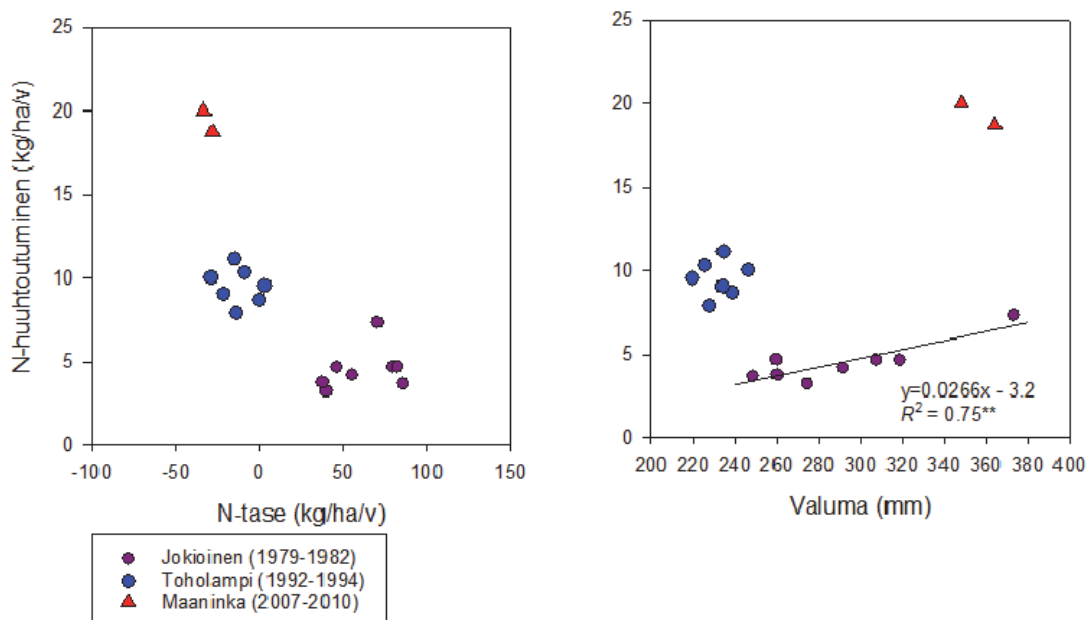
Liite 23. Typpitaseen ja typpihuuhoutuman yhteys turvemaalla ohraa ja nurmea viljeltäessä käytettäessä väkilannoitetyypeä. Turvemaan huuhtoumakenttä, Tohmajärvi.



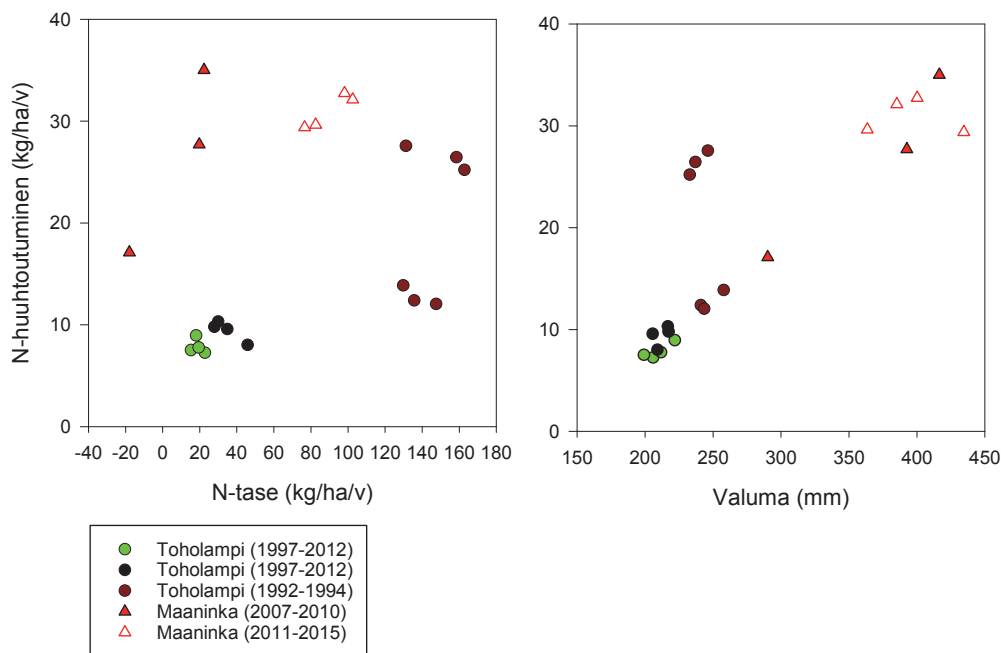
Liite 24. Salaojituksen kunnostamisen vaikutus typpitaseen ja typpihuuhoutuman (vasemmalla) ja valunnan ja typpihuuhoutuman (oikealla) väliseen yhteyteen ohraa viljeltäessä käytettäessä väkilannoitetyypeä. Ennen ojitusta: mustat pisteet; ojituksen jälkeen: valkoiset pisteet. Savimaan huuhtoumakenttä, Jokioinen.



Liite 25. Typpitaseen ja typpihuuhtouman (vasemmalla) ja valunnan ja typpihuuhtouman (oikealla) välinen yhteys kevätiljoilla käytettäessä erilaisia muokausmenetelmiä ja väkilannoitetyyppeä. Syysmuokkauksena kyntö ennen viherkesantovaihetta ja sen jälkeen: punaiset ja ruskeat pisteet; sänkimuokaus tai sänki: vaalean harmaat pisteet; suorakylvö: tumman harmaat pisteet; viherkesanto: vihreät pisteet. Savimaan huuhtoumamenttä, Jokioinen.



Liite 26. Typpitaseen ja huuhtouman yhteys nurmenviljelyssä käytettäessä väkilannoitetyyppeä. Savimaan ja hietamaan huuhtoumamentät Jokioisilla ja Toholammilla, hietamaan lysimetrikenttä Maaningalla.



Liite 27. Typpitaseen (laskettuna kokonaistypen mukaan) ja typpihuhtouman (vasemmalla) ja valunnan ja typpihuhtouman (oikealla) välinen yhteys nurmenviljelyssä käytettäessä väkilannoitusta ja naudantalaa (paitsi vihreät pallot: joinakin vuosina biologista typensidontaa). Toholampi hietamaa; Maaninka hietamaan lysimetrikenttä, jolla muita kenttiä suurempi valunta. Lanta levitettiin Toholammilla vuosina 1992–1996 pinta-levityksenä tai syyselevityksenä (ylemmät punaiset pisteet) ja vuosina 1997–2012 sijoittamalla, Maaningalla vuosina 2007–2010 letkulevityksenä ja vuosina 2011–2015 sijoittamalla.

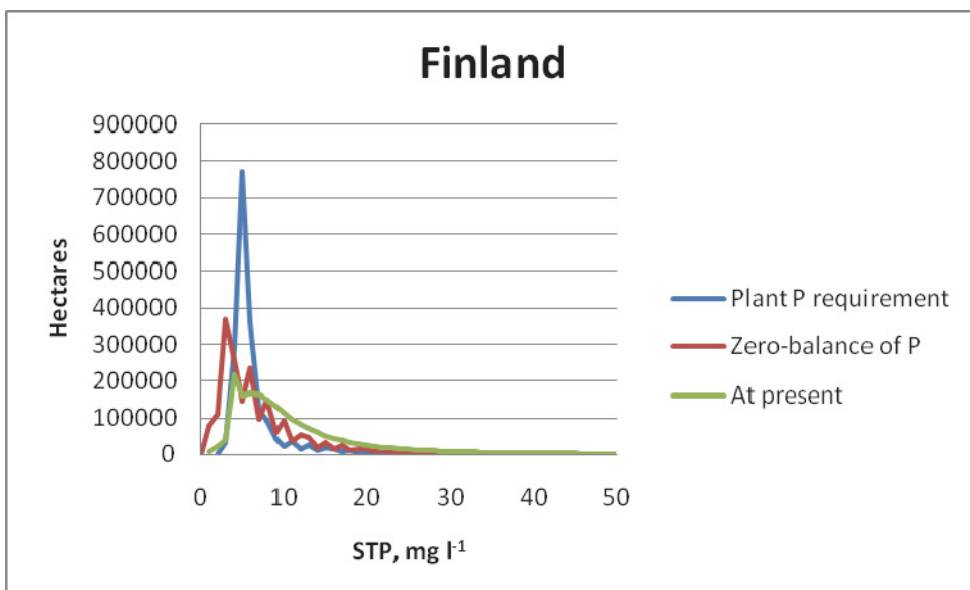
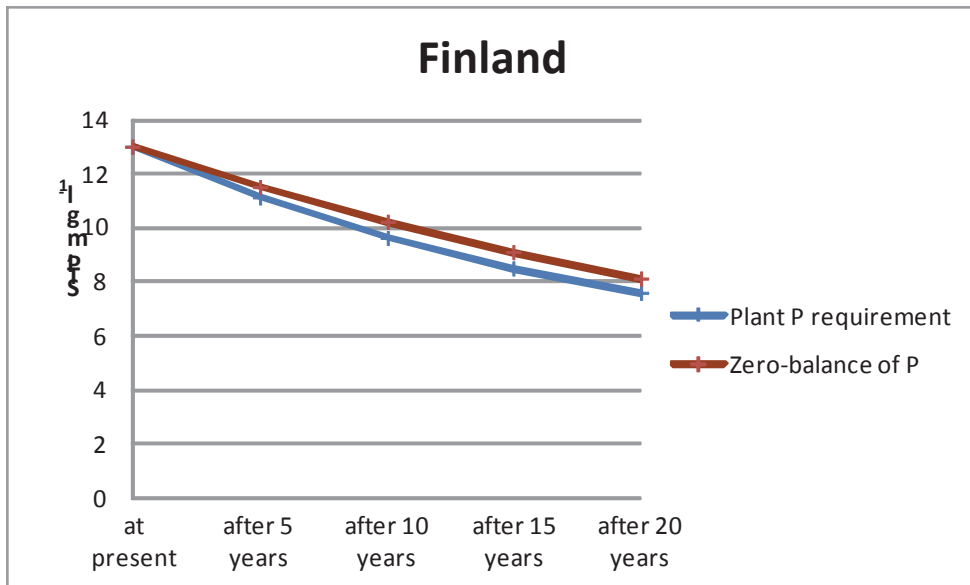
Liite 28. Fosforitase ja fosforihuhtouma.

Fosforitaseiden suuruutta ja niiden ympäristövaikutuksia on mahdollista arvioida perustuen aikaisempiin tutkimuksiin (Uusitalo ja Aura 2005, Uusitalo ym. 2016, Valkama ym. 2009, 2011) sekä tässä tutkimuksessa julkaistuun nurmien fosforilannoitusvasteiden yhteenvetoon (Valkama ym. 2016a). Yllä mainituista tutkimuksista löytyy yhteys viljojen ja nurmien fosforilannoitusvasteiden ja fosforitaseiden välillä kuten myös vaikutussuhteet fosforitaseista maan fosforiluvun muutokseen ja siitä edelleen liukoisen fosforin huuhtoumariskiä.

Aikaisempi tutkimus on osoittanut, että (1) liukoisen fosforin kuormitus pellolta kasvaa sitä suuremmaksi, mitä korkeampi on pellon helppoliukoisen fosforin pitoisuus (Suomessa maan viljavuusfosfori) (Turtola ja Yli-Halla 1999, Uusitalo ja Aura 2005), ja että (2) helppoliukoisen fosforin pitoisuuden vaikuttaa pellon fosforitase, riippuen myös maan ominaisuuksista (Uusitalo ym. 2016). Näin fosforin kohdalla on osoitettu olevan suora vaikutussuhde pellon fosforitaseen ja huuhtouman välillä, vaikkakin 3) vaikutus fosforitaseesta ja sen taustalla olevasta lannoituksesta välittyy fosforilukuun ja huuhtoumaan sitä hitaammin, mitä matalampi pellon fosforiluku on lähtötilanteessa.

Aikaisemmissa tutkimushankkeissa on myös arvioitu, millä tavoin muutokset fosforilannoituksessa ja sen seurauksena toteutuissa fosforitaseissa voisivat muuttaa pellon viljavuusfosforipitoisuutta koko Suomessa (Lemola ym. 2014). Esimerkiksi alla olevan kuvan esittämässä fosforipitoisuuden kehityksessä lähtökohtana on ollut peltojen fosforipitoisuuden jakauma vuosina 2005-2009, ja tästä lähtien on laskettu fosforipitoisuuden muutos (perustuen Uusitalon ym. 2016 tuloksiin) kaksikymmentä vuotta eteenpäin kahdella eri tavalla lannoitettaessa. Ensimmäisessä tapauksessa fosforilannoitus on säädetty vastaamaan tasoa, jolla saavutetaan 90 % maksimisadosta ("kasvien tarve", Valkama ym. 2011, 2016a mukaan) ja toisessa tapauksessa tasolle, jossa lannoitus on yhtä suuri kuin

sadossa poistuva fosforimäärä ("nollatase"). Kahdenkymmenen vuoden kuluttua peltojen keskimääräinen fosforipitoisuus on lähes samalla tasolla, ja sen myötä toteutuva fosforikuormituskin olisi koko maan tasolla arviolta varsin samansuuruinen. Tosin kuormituksen alueellinen jakautuminen olisi erilainen. Eroa olisi myös saavutetuissa satotasoissa, sillä nollataseen tapauksessa kasvit voisivat kärsiä joillakin pelloilla fosforin puutteesta, kun taas toisilla pelloilla fosforia annettaisiin yli kasvien tarpeen.



Ylempi kuva: Lemola ym. (2014) julkaisema arvio Suomen peltojen keskimääräisen viljavuusfosforiluvun (STP, mg l⁻¹) kehityksestä kahdenkymmenen vuoden aikana kahdella eri periaatteella lannoitettaessa. Sininen viiva kuvaa viljavuusfosforiluvun kehitystä, jossa fosforilannoitusta annettaisiin määrä, joka tuottaisi 90 % maksimisadosta (Plant P requirement), ja punainen viiva tilannetta, jossa fosforilannoitus vastaisi pelloilta sadon mukana poistuvaa fosforimäärää (Zero-balance of P). Alempi kuva: Viljavuusfosforiluvun jakauma nykytilanteessa (vihreä) ja kahdenkymmenen vuoden kuluttua kahdella eri yllä mainitulla periaatteella lannoitettaessa (sininen ja punainen).

Em. Lemolan ym. (2014) laskelmassa 'kasvien fosforitarve' -lannoituskäytäntö asetettiin sellaiseksi, että se tuottaisi 90 % maksimisadosta. Taloudellisesti optimaalisen fosforilannoituksen määrä riippuu kuitenkin lannoitteen ostohinnasta ja sadon myyntihinnasta, ja on ostolannoitteita käytettäessä yleensä tätä pienempi. Viljelijöiden käyttöön on kehitetty Lukessa Fosforilaskuri-ohjelma (<https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/kasper/pelto/peltopalvelut/fosforilaskuri>), jonka avulla voi optimoida viljojen fosforilannoitusta. Laskuri perustuu em. tutkimusyhteenvetoihin lannoitusvasteista ja peltojen fosforiluvun kehityksestä, ja se havainnollistaa viljelijälle myös lannoituskäytännöstä aiheutuvan fosforiluvun muutoksen. Kotieläinlannan osalta vastaava talouslaskenta on vaikeampaa, tosin viljelijä voi asettaa em. laskuriin arvioimansa hinnan myös lannalle.

Tämän tutkimuksen kokoamassa käytännön peltolohkoaineistossa fosforitaseet olivat viimeisellä tarkastelujaksolla keskimäärin hieman negatiivisia, kun käytettiin vain väkilannoitefosforia, ja yleensä alle 10 kg/ha, kun käytettiin myös kotieläinten lantaa (Liitteet 12 ja 13). Kotieläinlantaa käytettäessä keskimääräiset fosforitaseet olivat siten suurempia kuin em. skenaarioissa.

Fosforilannoitus antaa yleensä selvästi pienempiä satovasteita kuin typpilannoitus, joten fosforilannoitus vaikuttaa typpilannoitusta suuremmin taseeseen. Sisävesien kannalta fosforikuormitus on yleensä typpikuormitusta merkittävämpi, ja esimerkiksi nurmivaltaisilla alueilla olisi tärkeää välttää nurmien yllilannoitusta fosforilla. Nurmien typpilannoitusvaste on sen sijaan huomattava ja hyvän nurmisadon avulla peltojen fosforitase negatiivinen, mikä pitkällä aikavälillä pienentää fosforin huuhtoutumista.

Vaikka fosforilannoituksen, fosforitaseen ja syntyvän fosforikuormituksen väliset yhteydet ovat suoraviivaisemmat kuin typpellä, lannoitusmuutosten vaikutukset ilmenevät hitaammin. Nopeita fosforitaseen ja lannoitusmäärän aiheuttamia muutoksia huuhtoumassa voi esiintyä silloin, kun fosforia levitetään pintalannoituksena toistuvasti (Turtola ja Yli-Halla 1999). Samoin kyntöä matalammassa muokkauksessa (Uusitalo ym. 2007), erityisesti suorakylvössä, fosforitaseen vaikutus huuhtouman muutokseen on nopeampi kuin voimme ennustaa kehitettyjen yhtälöiden avulla. Viimemainittuja ilmiöitä ei voitu mallintaa Hyötyä taseista -tutkimuksen resurssilla.



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000