

Loppuraportti

Maatilatalouden kehittämisrahaston (Makera) vuosina 2018–2020 rahoittamasta tutkimuksesta

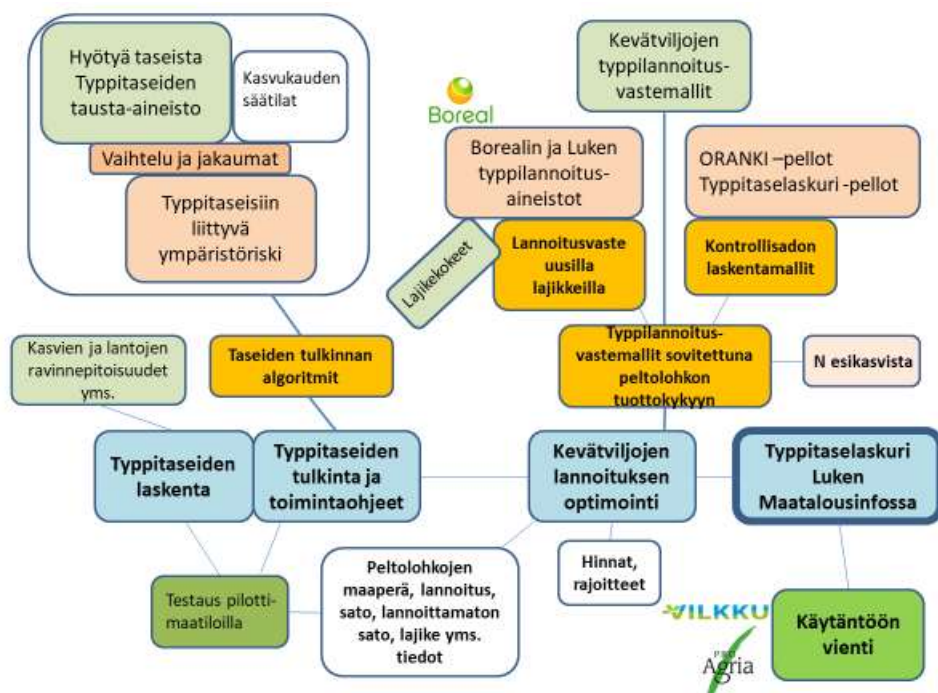
Ravinnetaseilla typpitalous kuntoon (Typpitaselaskuri)

Eila Turtola, Tapio Salo, Antti Miettinen, Lauri Jauhiainen, Janne Kaseva, Elise Ketoja, Elena Valkama, Ari Rajala, Teemu J. Heinimäki, Virpi Alhainen (Luonnonvarakeskus), Sari Peltonen, Pertti Savela (ProAgria Keskusten Liitto), Mika Isolahti (Boreal Kasvinjalostus Oy), Janne Heikkinen (Viljelijälähtöiset vesiensuojelutoimenpiteet Keski-Uudellamaalla)

Sisällys

sivu

1. Hankkeen tavoitteet	2
2. Osapuolet ja yhteistyö	2
3. Tulokset	3
4. Tulosten arviointi	5
5. Tiivistelmä ja toimintasuositukset	6
6. Liitteet	8



1. Hankkeen tavoitteet

Peltolohkon typpitase (lannoitteissa annettu typpi – sadon mukana korjattu typpi, kg/ha) mittaa sekä agronomista onnistumista että ympäristöriskien muodostumista. Ruotsin laajassa Greppa Näringen -neuvontahankkeessa¹ typpitaselaskelmat ovat olennainen osa tiloilla tapahtuvaa ympäristöneuvontaa ja myös Suomessa peltolohkon typpitaseita on laskettu maataloilla ja niitä on raportoitu useissa neuvonnallisissa hankkeissa. Viljelijän kannalta typpitaseet ovat kiinnostavia, koska ne paljastavat annetun typpilannoituksen ja sillä saavutetun sadontuoton välisen tasapainon. Ongelmana on kuitenkin ollut, ettei typpitaseiden sisältämää informaatiota ole kyetty riittävästi hyödyntämään, koska ei ole ollut tarjolla menetelmiä, joilla tuo informaatio saataisiin esiin.

Ravinnetaseilla typpitalous kuntoon (Typpitaselaskuri) -hankkeen tavoitteena oli vastata tähän tarpeeseen kehittämällä työkalu, joka avustaa neuvojaa ja viljelijää vertaamaan peltolohkojen typpitaseita oikeisiin viiteryhmiin, tuottaa tilanteesta tulkinnan ja tarpeen vaatiessa antaa hyödyllisiä toimenpide-ehdotuksia tilanteen parantamiseksi. Työkalun rakentaminen oli mahdollista, koska aikaisemmassa Hyötyä taseista -hankkeessa oli koottu iso tietovaranto typpitaseista ja kehitetty perusteet niiden tulkinnalle. Em. hankkeen tulosten mukaan vuosina 2000–2014 noin neljännes ohra- ja kauralohkojen ja noin puolet kevävehnälohkojen typpitaseista ylitti ympäristöllisen riskirajan (Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 15/2017²). Viljelijän kannalta oli kuitenkin myönteistä, että tutkimuksessa havaittiin olevan mahdollista sekä vähentää haitallisia ympäristövaikutuksia että tuottaa hyviä satoja, kun tuotantopanosten käyttö säädetään pellon tuottokykyyn sopivaksi.

Typpilannoituksen määrä on yksi tärkeimmistä typpitaseeseen vaikuttavista tekijöistä. Tämän vuoksi oli luonnollista sisällyttää laskuriin menetelmä optimoida kevätiljojen typpilannoitusta ja havainnollistaa peltolohkon typpitaseen muutosta viljelijälle taloudellisen tuloksen kautta. Aikaisemmin julkaistu kevätiljojen typpilannoitusvasteiden koonti³ oli jo osoittanut vasteiden riippuvan ilman lannoitusta saavutettavasta satotasosta. Tähän satotasoon vaikuttaa maasta kasvien käyttöön vapautuva typpi ja todennäköisesti myös maan rakenne ja muu kasvukunto, joka vaihtelee peltolohkojen välillä. Peltolohkon tuottokyvyn arviointi otettiin siten lähtökohdaksi typpilannoituksen optimoinnissa. Kantavana ajatuksena oli huomioida peltolohkon ja viljelyn erikoispiirteet niin pitkälle, kuin se käytettävillä aineistoilla ja viljelijän omien peltolohkojen tunnusluvuilla oli mahdollista. Laskurin avustamana typpitaseiden analyysi voisi siten olla parhaimmillaan eduksi sekä ympäristölle että viljelijän taloudelliselle tulokselle.

2. Osapuolet ja yhteistyö

Osallistuvat tahot:

Typpitaselaskuri luotiin tutkimuksen, neuvonnan ja viljelijöiden yhteistyönä. Hankkeen vetovastuussa oli **Luonnonvarakeskus** (Luke). Lukesta työhön osallistuivat Eila Turtola (tutkimuksen johtaminen, typpitaseiden tulkinta, viljelijäyhteistyö, laskurin käyttöohje, raportointi), Tapio Salo (Hyötyä taseista -aineiston käsittely,

¹ <http://www.greppa.nu/>

² TURTOLO, E., SALO, T., MIETTINEN, A., IHO, A., VALKAMA, E., RANKINEN, K., VIRKAJÄRVI, P., TUOMISTO, J., SIPIÄ, A., MUURINEN, S., TURAKAINEN, M., LEMOLA, R., JAUHIAINEN, L., UUSITALO, R., GRÖNROOS, J., MYLLYS, M., HEIKKINEN, J., MERILAITA, S., CANO BERNAL, J., SAVELA, P., KARTIO, M., SALOPELTO, J., FINER, A., JAAKKOLA, M. 2017. Hyötyä taseista. Ravinnetaseiden tulkinta ympäristön ja viljelyn hyödyksi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 15/2017. 70 s. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/538541>

³ VALKAMA, E., SALO, T., ESALA, M., TURTOLO, E. 2013a. 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. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.09.010>

aineiston täydentäminen ProAgrian lohkotietopankista ja Ruokaviraston aineistoista, ORANKI-tutkimuksen peltolohkoaineistot, Typpitaselaskurin peltolohkoaineistot), Antti Miettinen (typpilannoituksen taloudellinen optimointi, optimointimallin Excel-laskuri), Lauri Jauhainen (typpitaseiden tausta-aineiston analyysit, typpitaseiden tulkinnan Excel-laskuri, lajikekoeaineistot), Janne Kaseva (typpilannoitusvasteiden analyysi, valkuaispitoisuuden muutosten analyysi), Elise Ketoja (ilman typpilannoitusta saatavaan satoon vaikuttavien tekijöiden analyysi), Elena Valkama (meta-analyysin konsultointi), Teemu Heinimäki (laskurin ohjelmointi) ja Virpi Alhainen (Luken Maatalousinfo). Lisäksi useat henkilöt Luken Jokioisten laboratoriossa analysoivat peltolohkolta otettuja maa- ja kasvustonäytteitä. Ari Rajala toimitti hankkeen käyttöön tulosaineistoa Luken viljelykokeista.

Boreal Kasvinjalostus Oy:n Mika Isolahti toimitti hankkeen käyttöön Borealin uusimmilla lajikkeilla tehdyt typpilannoituskokeiden tulokset sekä järjesti typpilannoituskokeita tätä hanketta varten. **ProAgria** Sari Peltonen ja Pertti Savela sekä **VILKKU**-hankkeen Janne Heikkinen osallistuvat neuvonantajina Typpitaselaskurin kehitystyöhön, ja ProAgria toimitti tausta-aineistoa täydentävää peltolohkojen typpitaseaineistoa vuosilta 2014–2018. Molemmat neuvontatahot tiedottivat laskurin kehittämisestä viljelijätilaisuuksissaan, joiden kautta saimme myös **viisi vapaaehtoista viljelijää** osallistumaan hankkeeseen. Nämä viljelijät jättivät vuosina 2018–2019 normaalisti lannoitetuille kevätiljapelloilleen lannoittamattomia alueita, joilta Luke määrätti maaperätekijöiden ja satotason välisiä yhteyksiä. Aineisto yhdistettiin aikaisempaan **ORANKI**-hankkeessa vastaavalla tavalla viljelijöiden pelloilta vuosina 2016–2017 hankittuun aineistoon. Laskurista saatiin palautetta viljelijöiltä VILKKU-hankkeen pellonpiennarpäivässä syksyllä 2018 sekä OKRA-maatalousnäyttelyssä kesällä 2019. Hankkeeseen osallistuneet viisi viljelijää ja **kymmenen muuta henkilöä** testasivat ja antoivat palautetta lähes valmiista laskurista maaliskuussa 2020.

3. Tulokset

3.1. Menetelmät ja aineistot

Typpitaseiden tulkinta viiteryhmiin ja ympäristörisktiin perustuen ja suositukset ympäristöriskiä vähentäviksi toimenpiteiksi

Typpitaseiden tulkinnan lähtökohdaksi otettiin peltolohkon liukoisen typen taseen vertaaminen omaan viiteryhmäänsä (Liite 1). Tällöin typpitasetta arvioidaan kahdella kriteerillä: 1) onko typpitase suurempi kuin muissa vastaavissa tapauksissa ja 2) ylittääkö typpitase sen taseen, mitä kyseisellä satotasolla tyypillisesti saadaan. Kriteerien toteutuminen määriteltiin käytössä olevan tausta-aineiston perusteella (vrt. Liite 2). Tausta-aineisto oli kerätty Hyötyä taseista -hankkeessa (Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 15/2017) ja täydennetty vuosien 2014–2018 osalta tässä hankkeessa, ja se sisälsi yli 200 000 viljelytietoa kattaen laajasti erilaisia viljelyolosuhteita ja lannoitustasoja. Aikaisemman tutkimuksen tulosten perusteella typpitaseiden tausta-aineisto luokiteltiin taseisiin, jotka ovat toteutuneet eri viljelykasveilla, alueilla, maaluokilla ja käytettäessä vain mineraalityppeä tai myös kotieläinten lantaa vuosina 2000–2018. Myös kasvukausien säiden aiheuttama vaihtelu huomioitiin.

Ensimmäisen kriteerin osalta tausta-aineistosta laskettiin typpitaseiden mediaanit erikseen jokaiselle viljelykasville. Saatua mediaanitasetta myös korjattiin tausta-aineiston perusteella sen mukaan, mikä oli tarkastelussa oleva alue, vuosi ja maatyyppe sekä käytetäänkö typpilannoitteena myös lantaa vai käytetäänkö pelkästään mineraalilannoitteita. Toinen kriteeri perustuu samaan tausta-aineistoon sovittamalla yksinkertainen lineaarinen regressio typpitaseen ja satotason välille. Regressiosuora sovitettiin erikseen kullekin kasville. Kriteerien 1 ja 2 toteutuminen määrittää typpitaseen tulkinnan suhteessa viiteryhmäänsä.

Typpitasetta arvioidaan myös suhteessa siitä aiheutuvaan ympäristöriskii. Tämä arvio perustuu typpitaseen absoluuttiseen suuruuteen (kriteeri 3). Typpitaselaskurin ehdotukset ympäristöriskiä vähentäviksi toimenpiteiksi perustuvat kaikkiin yllä mainittuihin kolmeen kriteeriin. Ehdotukset muuttuvat sen mukaan, miten tase sijoittuu suhteessa viiteryhmäänsä ja kuinka suuri on siitä aiheutuva ympäristöriski.

Kevätviljojen typpilannoituksen taloudellinen optimointi kivennäismailla

Taloudellisen optimoinnin periaatteena oli laskea typpilannoituksella saavutettava sadonlisä ja sen tuoma lisätulo sekä lannoituksesta aiheutuvat kustannukset, ja tämän jälkeen etsiä typpilannoitustaso, jolla kasvin myyntituottojen ja lannoituskustannusten erotus on mahdollisimman suuri. Optimoinnissa huomioitiin kevätiljojen tuottajahinnat, kevätiljalajikkeiden aikaisuus, peltolohkolla aikaisemmin saavutettu satotaso ja lannoituskustannukset mineraalilannoitteita ja/tai lietelantaa käytettäessä. Rajoitteet perustuivat nitraattiasetukseen, ja jos viljelijä oli sitoutunut maatalouden ympäristökorvausjärjestelmään, rajoitteina käytettiin myös ympäristökorvauksen enimmäislannoitusmääriä (Liite 3). Lajikkeiden aikaisuuden vaikutus satotasoon arvioitiin lajikekoeaineiston perusteella. Typpilannoituksen vasteina hanke hyödynsi aikaisemmin tehdyssä tutkimusyhteenvedossa (Valkama ym. 2013a) kerättyä kevätiljojen typpilannoitusaineistoa ja täydensi aineiston uusimmilla Luken ja Borealin typpilannoituskokeiden aineistoilla sekä muodosti aineiston meta-analyysin avulla uudet vastefunktiot (Liite 4). Valkuaispitoisuuden muutos typpilannoituksen funktiona rakennettiin samalla tavoin täydentämällä jo aikaisemmin kerätty aineisto (Valkama ym. 2013b⁴) uusimmilla aineistoilla (Liite 5). Valkama ym. (2013a) havaitsivat yhteyden typpilannoitusvasteen ja ilman typpilannoitusta saatavan sadon välillä, mutta oli olemassa vain vähän mitattua tietoa siitä, minkä suuruinen sato pelloilla saadaan ilman lannoitusta. Tämän vuoksi ORANKI-hankkeen ja tämän hankkeen peltolohkoilta mitattujen maaperämuuttujien avulla muodostettiin laskuriin ennustemallit, jotka avustavat viljelijää arvioimaan pellon tuottokykyä (Liite 6). Mallit pyrittiin rakentamaan niin, että niiden tarvitsemat tiedot olisivat viljelijöiden saatavilla peltolohkon viljavuustutkimuksista ja viljelyhistoriasta.

3.2. Tulokset: Typpitaselaskuri

Hankkeen tuloksena syntynyt Typpitaselaskuri on uudenlainen menetelmä tarkastella peltojen typpitaseita realistisesti suhteessa samanlaisissa olosuhteissa toteutuneisiin taseisiin ja saada tilanteen pohjalta ehdotuksia typpitaseiden pienentämiseksi. Koska typpilannoitus on yksi tärkeimmistä typpitaseisiin vaikuttavista tekijöistä, laskuri sisältää myös tuoreimmat tietovarannot typpilannoituksen optimointiin kevätiljoilla. Laskuri soveltaa tiedon kunkin peltolohkon tuottokyvyn kanssa ja havainnollistaa typpilannoitustason muuttamisen vaikutuksen viljelyn taloudelliseen tulokseen, peltolohkon typpitaseeseen ja sadon valkuaispitoisuuteen. Tavoitteena on, että laskuria käyttämällä myös peltolohkojen perusparannusten tarve tulisi näkyviin, samoin kuin pellon tuottokyvyn ja typpilannoitustarpeen välinen yhteys.

3.3. Toteutusvaiheen arviointi

Hankkeet toteutus onnistui pääosin ohjausryhmän hyväksymän tutkimussuunnitelman mukaisesti. Yhteistyö neuvonnan kanssa oli hyvin hyödyllistä ja keskustelut viljelijöiden kanssa mielenkiintoisia ja tarpeellisia, jotta

⁴ VALKAMA, E., SALO, T., ESALA, M., TURTOLO, E. 2013b. Grain quality and N uptake of spring cereals as affected by nitrogen fertilization under Nordic conditions: a meta-analysis. *Agricultural and Food Science* 22: 208–222. <https://doi.org/10.23986/afsci.7448>

laskurista tulisi tarkoitustaan vastaava ja käyttökelpoinen työkalu. Myös hankkeen ohjausryhmä⁵ toi aktiivisesti esiin oleellisia näkökohtia. Toteutukselle oli puolestaan ratkaisevaa, että laskuri ohjelmoitiin aluksi Excel-pohjaisena ja Excel-malleja voitiin testata viljelijöiden pelloilta saaduilla realistisilla lähtötiedoilla, jotta välttyttiin turhalta ohjelmointityöltä. Joitakin hankaluksiakin esiintyi. Monien päällekkäisten tutkimusten vuoksi kaikki henkilöt eivät voineet osallistua alun perin suunnitellulla tavalla ja hankkeelle saatiin kolmen kuukauden jatkoaika. Typpilannoituskokeita on tehty viime vuosina vain vähän, ja tästä syystä alkuperäinen tavoite muodostaa kontrollisadon suhteen jatkuvat vastefunktiot jäi saavuttamatta. Myös käytännössä toteutuvista kontrollisadoista (pellon tuottokyky ilman lannoitusta) tarvittaisiin edelleen lisää aineistoa peltolohkoilta, sillä typpilannoituskokeiden kontrolliriuudut eivät välttämättä kata kaikilta osin käytännön viljelyn olosuhteita. Puute korjaantuisi myös sillä tavoin, että viljelijät jättäisivät lannoittamattomia alueita pelloilleen ja saisivat tällä tavoin suoria mittauksia omilta lohkoiltaan.

3.4. Julkaisut tähän mennessä

Typpitaselaskuri <https://maatalousinfo.luke.fi/fi/laskurit/nitrogenbalance>

Typpitaselaskurin käyttöohje, Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 67/2020
<https://jukuri.luke.fi/handle/10024/546356>

VILKKU-koulutustilaisuus viljelijöille 25.3.2020 YouTube *Uusimaaseutu Nylandsbygd*
<https://www.youtube.com/watch?v=VKJpzCII7a8>

Karppinen, P. Paljonko typpeä on paljon? Maatilan Pellervo 8/2020: 29-31

4. Tulosten arviointi

4.1. Tulosten käytännön sovellutuskelpoisuus

Hankkeen ensisijaiset hyödynsaajat ovat viljelijät ja neuvonta. Tuloksia on viety käytäntöön pienelle joukolle viljelijöitä jo hankkeen aikana testaamalla ja käyttämällä Typpitaselaskuria maataloilla. Viljelijöistä pääkohderyhmänä ovat kevätiljojen viljelijät, joille laskuri antaa kaikkein täsmällisintä tietoa myös typpitaseiden ja talouden välisistä yhteyksistä. Monilla kevätiljojen viljelijöillä on viljelykierroissaan lisäksi muitakin kasveja, kuten syysviljoja, rypsiä ja myös sokerijuurikasta, joiden taseita on hyödyllistä tarkastella ja liittää tämä tieto osaksi typpilannoituksen optimointia.

Typpitaselaskurin vakiintuva käyttö neuvonnassa on projektin suora sovellutus ja käytäntöön vienti. Neuvojat voivat käyttää laskuria mm. Neuvo 2020 -palvelussa sellaisilla tilakäynneillä, joissa aiheena ovat ravinteet. Neuvonnan ja viljelijän yhteistyön kautta typpikuormitus voi vähentyä ja typpilannoitus tarkentua parhaalla mahdollisella tavalla, kun toimenpiteet kohdentuvat oikeille peltolohkoille. Jos viljelijät alkavat käyttää laskuria vuodesta toiseen osana viljelyn suunnittelua, kertyvä tieto taseiden parantumisessa on myönteistä ja palkitsevaa.

Monilla maataloilla peltujen typpilannoitus on viime vuosina vakiintunut tietylle tasolle, ja huomio voi satotason vaihteluiden ja typpivasteiden osalta kiinnittyä lähinnä kasvukausien säihin. Kuitenkin typpilannoituksen ja saavutettavan satotason väliseen suhteeseen voi sisältyä systemaattisempia tekijöitä,

⁵ Hankkeen ohjausryhmä: Puheenjohtaja Sini Wallenius (MMM), jäsenet Antero Nikander (MMM, varajäsen Pirjo Salminen), Arja Nykänen (YM, SeAMK), Pasi Mattila (Luke), Airi Kulmala (MTK, varajäsen Liisa Pietola) ja Pekka Heikkilä (Elintarviketeollisuusliitto). Ohjausryhmä oli yhteinen P-kerros -hankkeen kanssa.

jotka saattavat paljastua vasta tyypitaseiden tarkastelun avulla. Esimerkiksi maan heikko rakenne vaikuttaa vasteisiin sitä voimakkaammin, mitä haastavampia kasvukauden sääolot ovat.

Koska viljelykasvien sato peltolohkolla (ml. lohkon sisäinen vaihtelu) on olennainen tieto ravinnetaseiden laskennassa ja optimaalisen typpilannoituksen arvioinnissa, Typpitaselaskurin käyttäminen maatilalla voi kannustaa viljelijää hankkimaan tarkempaa tietoa satotasoista. Typpitaselaskuri-hanke voi siten hyödyttää myös yrityksiä, jotka toimittavat sadon lohkokohdaiseen tai lohkon sisäiseen mittaamiseen tarkoitettuja laitteita ja menetelmiä.

Viljelijöiden ja neuvonnan lisäksi tämä hanke tuottaa maatalous- ja ympäristöhallinnolle yhden mahdollisen työkalun arvioitavaksi suunniteltaessa ympäristökorvauksen toimenpiteitä seuraavalle tukikaudelle. Typen kohdalla peltolohkojen ravinnetaseet voisivat mahdollisesti vähentää ravinnepäästöjä enemmän ja motivoida perusparannuksiin paremmin kuin pelkät nykyisin käytössä olevat enimmäislannoitusmäärät.

Vähitellen eri lähteistä kertyvän uuden ravinnetaseaineiston ja tutkimustiedon päivitys laskuriin on sovittava myöhemmin tutkimuksen, neuvonnan ja rahoittajien kesken.

4.2. Tulosten tieteellinen merkitys

Tarkennetusta tutkimussuunnitelmasta poistettiin tieteellisen julkaisun kirjoittaminen, koska rahoitusta oli leikattu alkuperäiseen hakemukseen nähden. Hankkeen aineistoista, menetelmistä ja tuloksista olisi mahdollista kirjoittaa kaksi tieteellistä julkaisua, ensimmäinen tyypitaseiden vaihtelun taustatekijöistä ja toinen typpilannoituksen satovasteista ja vaikutuksesta valkuaispitoisuuteen uusimmalla aineistolla täydennettynä huomioiden viljelijöiden peltolohkoilla mitatut/mallilla ennustetut tuottokyvyt ilman lannoitusta.

5. Tiivistelmä ja toimintasuositukset

Peltolohkon tyypitase (lannoitteissa annettu typpi – sadon mukana korjattu typpi, kg/ha) mittaa sekä viljelyn onnistumista että ympäristöriskien muodostumista. Suomessa peltojen tyypitaseita on laskettu maatiloilla useissa neuvonnallisissa hankkeissa, mutta taseiden sisältämää informaatiota ei ole kyetty riittävästi hyödyntämään. Typpitaselaskuriin luotiin menetelmä tulkita tyypitaseita ja avustaa viljelijöitä tarvittaessa tyypitaseiden pienentämisessä ja typpilannoituksen optimoinnissa. Laskentatyökalun kehittämisen lähtökohtana oli, että haitalliset ympäristövaikutukset vähenevät satotason kärsimättä, kun tuotantopanosten käyttö säädetään pellon tuottokykyyn sopivaksi. Valmis laskuri löytyy Luken Maatalousinfosta.

Laskurin käyttäjä pääsee hyödyntämään suureen tietopohjaan perustuvaa analyysiä peltolohkojen typpitaloudesta ja saa kokonaistilanteeseen soveltuvia toimintaohjeita ympäristöriskin pienentämiseksi. Käyttäjä näkee tilanteen suhteessa oikeaan viiteryhmään ja tarvittaessa laskuri auttaa tyypitaseita pienentävien toimenpiteiden valinnassa. Kattava vertailu suhteessa muiden viljelijöiden peltoihin on hyödyllistä niillekin viljelijöille, jotka ovat jo aikaisemmin laskeneet tyypitaseita peltolohkoiltaan useiden vuosien ajalta ja tuntevat hyvin peltolohkojensa tuottokyvyn. Vaikuttavuus kohdentuu parantuvaan typpitalouteen sekä typen huuhtoutumisen ja kasvihuonekaasun N_2O päästöjen vähentymiseen.

Laskuri sisältää myös uudenlaisen, kullekin peltolohkolle sovitettun menetelmän arvioida taloudellisesti optimaalista typpilannoitusta kevätiljoilla. Optimointi huomioi peltolohkolla aikaisemmin saavutetun

satotason sekä tuottokyvyn ilman lannoitusta, jolloin taloudellinen tarkastelu on lohko kohtaista. Lopputuloksena on parhaimmillaan sekä ympäristöriskien pienentyminen että parempi taloudellinen tulos.

Hanke tuotti seuraavat toimentasuositukset:

- Typpilannoituskokeita on tehty viime vuosina hyvin vähän, vaikka mm. viljeltävät lajikkeet ja viljelytekniikka ovat kehittyneet ja ilmasto on muuttunut. Tulisi harkita, miten tietopuutteet voidaan täyttää, ja olisiko muutosten vuoksi tarpeellista perustaa Suomeen tärkeimpien viljelykasvien monivuotiset typpilannoituskokeet.
- Kasvintuotannossa ei edelleenkään mitata lohko kohtaista satotasoa tarkasti kuin pienellä osalla peltoalasta. Tämä seikka on omiaan hämärtämään tehtyjen viljelytoimien, kuten lannoituksen, todellista vaikutusta satotasoon, sillä peltolohkojen ominaisuudet ja tuottokyky vaihtelevat eikä lohkoilta yhteensä saatu kokonaissato kuvasta yksittäisten lohkojen tilannetta saatikka suurtakaan vaihtelua lohkojen sisällä. Tilanne voidaan nähdä erittäin suurena esteenä kasvintuotannon tehostumisen ja myös ympäristön kannalta. Satotason tarkka tunteminen tulisi olla yksi tärkeimmistä lähiajan tavoitteista peltoviljelyssä.
- Taloudellisesti optimaalisen typpilannoituksen arvioimiseksi olisi hyödyllistä tuntea myös ilman lannoitusta saavutettava satotaso. Viljelijöitä tulisikin kannustaa jättämään pelloille lannoittamattomia alueita ja mittaamaan niiden satotaso.
- Nyt valmistuneen laskurin jatkokehityksessä tulisi huomioida useampia kierrätyslannoittelajeja. Käyttäjää avustamaan tulisi luoda myös dynaamisia apuohjelmia ennustamaan keväällä maan kasveille käyttökelpoista typpimäärää riippuen talvikauden säätiloista. Esikasvin, orgaanisten typpilannoitteiden ja toteutuneen typpitaseen vaikutuksen suora laskenta mahdollistaisi laskurin käytön esimerkiksi luomuviljelyssä. Typpilannoituksen vastemallien muokkaaminen jatkuviksi luokiteltujen sijasta täydentämällä puuttuvia data-alueita laskennallisesti loisi edellytykset laskurin sujuvalle käytölle täsmäviljelyssä.

6. Liitteet

Liite 1. Typpitaseiden tulkinta viiteryhmiin ja ympäristöriskiin perustuen sekä toimenpide-ehdotukset ympäristöriskin vähentämiseksi

L1.1. Typpitaseen tulkinta suhteessa viiteryhmään

Typpitaseiden tulkinnan lähtökohtana on taseen vertaaminen omaan viiteryhmäänsä. Tällöin typpitasetta arvioidaan kahdella kriteerillä: 1) onko typpitase suurempi kuin muissa vastaavissa tapauksissa ja 2) ylittääkö typpitase sen taseen, mitä kyseisellä satotasolla tyypillisesti saadaan. Kriteerien toteutuminen määriteltiin käytössä olevan tausta-aineiston perusteella. Tausta-aineisto on kuvattu tarkemmin liitteessä 2.

Ensimmäisen kriteerin osalta tausta-aineistosta laskettiin typpitaseiden mediaanit erikseen jokaiselle viljelykasville. Tätä mediaanitasetta korjataan laskurissa tausta-aineiston perusteella sen mukaan, mikä on tarkastelussa oleva alue, vuosi ja maalaji ja käytetäänkö typpilannoitteena myös lantaa vai käytetäänkö pelkästään mineraalilannoitteita. Tausta-aineisto on päivitetty vuoteen 2018 asti. Koska viimeisimmiltä vuosilta tausta-aineisto ei ole yhtä kattavaa kuin vuoteen 2016 asti, uusimpien vuosien osalta typpitaseen vuosikorjaus tehdään kyseisen vuoden kasvukauden säätiötojen perusteella. Ilmatieteen laitoksen säätiötoista lasketaan sadesummat kesäkuukausille. Saatuja sadesummaa verrataan vuorotellen aikaisempien vuosien vastaaviin sadesummiin. Erotukset korotetaan toiseen potenssiin ja näistä lasketaan ns. neliösumma. Typpitaseen vuosikorjaus otetaan siltä (aikaisemmalta) vuodelta, jolle em. tavalla laskettu neliösumma on pienin, eli sääprofiili muistuttaa eniten kyseistä uusinta vuotta. Aineiston täydentyessä vuosikorjauksesta voidaan luopua.

Toinen kriteeri perustuu samaan tausta-aineistoon sovittamalla yksinkertainen lineaarinen regressio typpitaseen ja satotason välille (kuva L1.1). Regressiosuora sovitettiin erikseen kullekin kasville. Kriteerien 1 ja 2 avulla typpitaseista ja niihin liittyvistä satotasoista muodostuu kuvan L1.1 mukaiset alueet. Pellon typpitaseen sijainti alueiden jakamassa kentässä osoittaa, miten tase sijoittuu suhteessa viiteryhmäänsä.

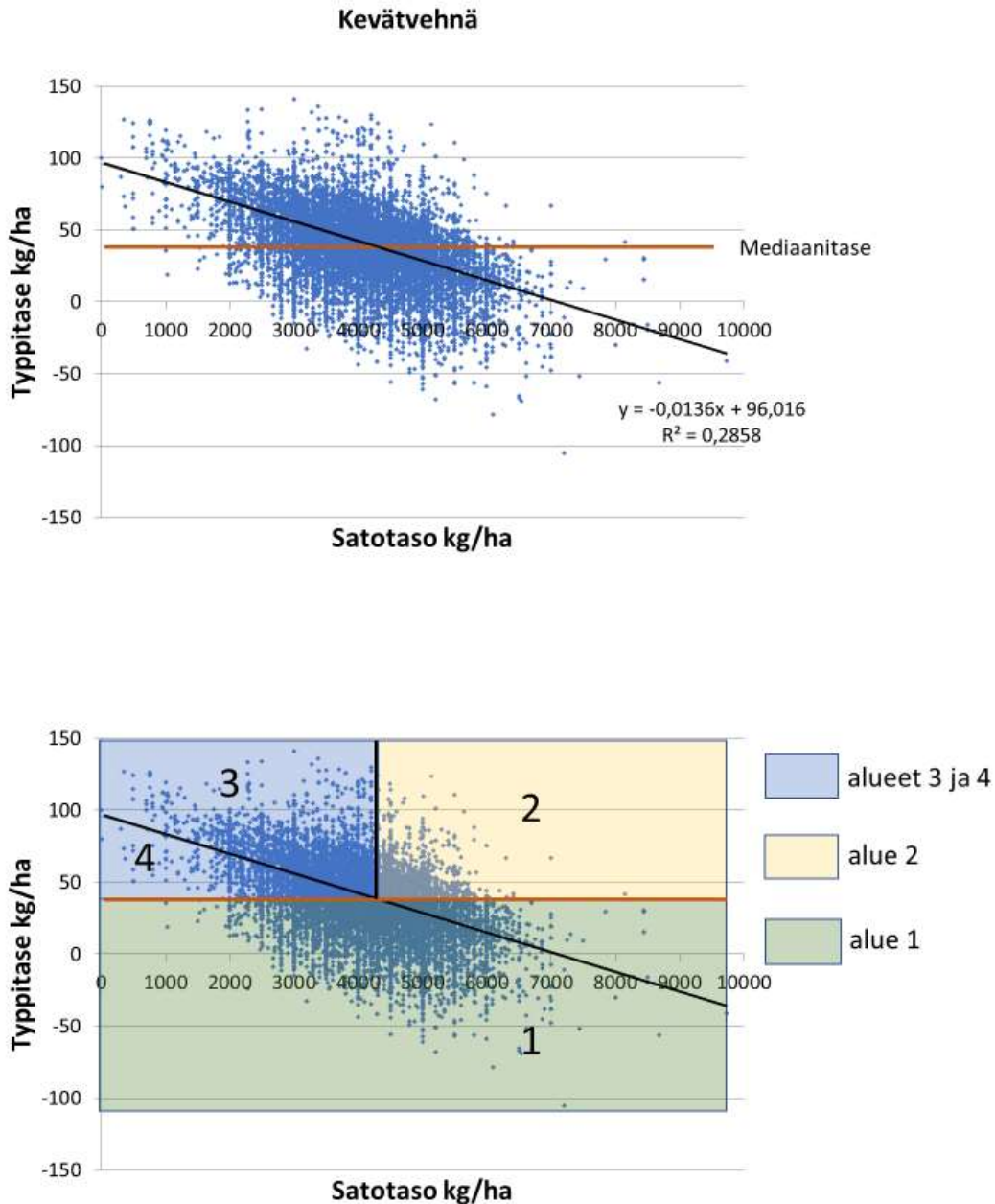
L1.2. Typpitaseen tulkinta suhteessa ympäristöriskiin

Typpitasetta arvioidaan myös suhteessa siitä aiheutuvaan ympäristöriskiin (kriteeri 3). Tämä arvio perustuu typpitaseen lukuarvoon ts. sen kvantitatiiviseen suuruuteen. Ympäristöriskissä huomioidaan ennen kaikkea typen huuhtoutumisen riski, mutta myös kasvihuonekaasu dityppioksidin päästöjen riski kasvaa typpitaseen noustessa.

Ympäristöriskin arvioinnissa sovellettavat typpitaseiden lukuarvot säilörehunurmelle ja muille kasveille on esitetty taulukossa L1.1. Jos laskurin antama arvio ympäristöriskistä on 'pieni', typpitaseesta ei todennäköisesti aiheudu lisääntyntä huuhtoumariskiä. Jos riski on 'hieman kohonnut', typpitaseesta voi aiheutua lisähuuhtoumaa esimerkiksi runsaiden sateiden seurauksena. 'Selvästi kohonnut' riski puolestaan tarkoittaa, että typpihuutoumat todennäköisesti kasvavat pellolle käyttämättä jääneen liukoisen typen vuoksi.

L1.3. Toimenpide-ehdotukset ympäristöriskin vähentämiseksi

Typpitaselaskurin ehdotukset ympäristöriskiä vähentäviksi toimenpiteiksi perustuvat kaikkiin yllä mainittuihin kolmeen kriteeriin. Ehdotukset muuttuvat sen mukaan, miten tase sijoittuu suhteessa viiteryhmäänsä ja kuinka suuri on siitä aiheutuva ympäristöriski.



Kuva L1.1. Yläkuvassa on kevätvehnän tausta-aineiston pisteparvi, mediaanityppitase ja toteutuneiden satotasojen ja typpitaseiden välinen regressiosuora. Alakuvassa on muodostettu alueet 1–4 mediaanin, regressiosuoran ja niiden leikkauspisteen avulla. Kevätvehnää kasvaneen peltolohkon typpitaseen tulkinta perustuu saadun satotason ja typpitaseen muodostaman pisteen sijaintiin alueilla 1–4.

Esimerkiksi, mikäli kriteeri 1 ei täyty eli typpitase jää mediaanitaseen alle, päädytään kuvan L1.1 alueelle nro 1. Typpitase on tässä tilanteessa pienempi kuin puolella viiteryhmästä. Tällöin tarkastellaan kriteerin 3 mukaisesti, aiheutuuko typpitaseesta kohonnut ympäristöriski. Jos riski on hieman kohonnut tai selvästi kohonnut, laskuri antaa taulukon L1.2 mukaisesti ehdotuksia ympäristöriskiä vähentäviksi toimenpiteiksi. Taulukossa L1.2 toimenpiteet on sovitettu kevätilviljoille ja kivennäismaille. Muille kasveille ehdotettavat toimenpiteet noudattavat samaa periaatetta, mutta ne on sovitettu vastaamaan ko. kasville tyypillisiä

mahdollisuuksia muuttaa viljelykäytäntöjä. Eloperäisille maille ehdotettavat toimenpiteet myös poikkeavat hieman kivennäismaista.

Jos taas sekä kriteeri 1 että 2 toteutuvat, eli tyypitase ylittää mediaanitaseen ja ylittää myös satotasolleen tyypillisen taseen, päädytään alueille nro 2 tai 3 sen mukaan, onko satotaso suurempi kuin kahden kriteerin leikkauspisteen mukainen sato (kts. kuva L1.1). Molemmilla alueilla 2 ja 3 laskurin toimenpide-ehdotukseen sisältyy typpilannoituksen vähentäminen. Jos satotaso on jäänyt alemmaksi kuin kriteerien leikkauspisteen satotaso, ehdotetaan tämän lisäksi myös perusparannustoimenpiteitä. Perusparannusta ehdotetaan myös alueella nro 4, jossa mediaanitase ylitetään (kriteeri 1 toteutuu), mutta tyypitase jää alle regressiosuoran mukaisen taseen (kriteeri 2 ei toteudu). Tällöin ei kuitenkaan ehdoteta enää lannoituksen vähentämistä vaan laskuri tulkitsee tilanteen korjautuvan etenkin perusparannusten avulla⁶. Näillä kaikilla alueilla sijaitsevia tyypitaseita tarkastellaan lisäksi yllä kuvatulla tavalla myös kriteerin 3 mukaisesti ja laskurin ehdottamat toimenpiteet reagoivat arvioidun ympäristöriskin mukaisesti.

Kriteerit pilkkovat kuvan L1.1 mukaisesti tyypitaseet alueisiin. Kriteeri 2 (tyypitaseen ja satotason välinen yhteys) jakaa kuvan kahteen osaan ja tämä jako määräytyy kasvilajin mukaan eikä siten riipu esimerkiksi tarkasteluvuodesta. Sen sijaan kriteerin 1 (olosuhteiden mukainen mediaani) aiheuttama jako vaihtelee kasvilajin lisäksi myös vuoden, alueen, maatyypin ja lannan käytön mukaan, sillä nämä tekijät vaikuttavat kukin omalla tavallaan tyypitaseisiin. Koska mediaanitase muuttuu säätekijöiden vuoksi, sama tyypitase voi johtaa eri vuosina erilaiseen suositukseen, riippuen siitä, onko tase suuri vai pieni suhteessa niihin taseisiin, mitkä kyseisenä vuonna ovat toteutuneet muilla vastaavanlaisessa viljelyssä olleilla pelloilla. Yksittäisen peltolohkon tase voi myös sijoittua keskelle em. alueita, jolloin tehty suositus on varmemmalla pohjalla verrattuna tilanteeseen, jossa tase on kahden alueen rajalla. Tämän vuoksi on eduksi katsoa, millaisia toimenpide-ehdotuksia laskuri antaa samalle lohkolle eri vuosina.

Taulukko L1.1. Typpitaselaskurin arvio ympäristöriskin (typen huuhtouman) suuruudesta suhteessa tyypitaseeseen (kg/ha) kivennäismailla ja eloperäisillä mailla (multa, turve).

	Kivennäismaat			Eloperäiset maat	
Ympäristöriskin suuruus	Pieni	Hieman kohonnut	Selvästi kohonnut	Pieni	Selvästi kohonnut
Säilörehunurmi	< 50	50–100	> 100	< 50	≥ 50
Muut laskuriin sisältyvät kasvit	< 20	20–40	> 40	< 0	≥ 0

⁶ Epäedullinen sää tai muu poikkeustekijä kuten taudin tai tuholaisen runsas esiintyminen voivat joskus heikentää ratkaisevasti satoa. Tämän vuoksi on tärkeää seurata viljelyn onnistumista lohko-kohtaisesti usean vuoden ajan ja merkitä muistiin kaikki viljelyn lopputulokseen oleellisesti vaikuttaneet asiat. Näin on mahdollista löytää ne viljelyn osatekijät ja toimenpiteet, jotka ovat ratkaisevia viljelyn lopputuloksen kannalta kyseisellä peltolohkolla.

Taulukko L1.2. Typpitaselaskurin toimenpide-ehdotukset kivennäismailla viljeltäville kevätiljoille perustuen sekä ympäristöriskiiin (joita vastaavat typpitaseen lukuarvot taulukossa L1.1) että typpitaseen ja satotason sijaintiin suhteessa viiteryhmään (typpitaseen sijainti alueilla 1–4, kuva L1.1).

Typpitase ja satotaso suhteessa viiteryhmään (alueet 1–4)	Typpitase suhteessa ympäristöriskiiin		
	Typpihuuhtouman riski on pieni	Typpihuuhtouman riski on hieman kohonnut	Typpihuuhtouman riski on selvästi kohonnut
Typpitase on vertailuaineiston paremmalla puolella (tase on mediaaniarvoa pienempi) (alue 1)	Tilanne hyvä, toimenpiteitä ei tarvita	Kerääjäkasvien viljely Typpilannoituksen kriittinen tarkastelu	Kerääjäkasvien viljely Typpilannoituksen vähentäminen
Satotaso on kohtuullisen hyvä tai hyvä ja typpitase on suuri satotasoon nähden (alue 2)	Typpilannoituksen kriittinen tarkastelu	Kerääjäkasvien viljely Typpilannoituksen vähentäminen	Typpilannoituksen vähentäminen Kerääjäkasvien viljely
Satotaso on kohtuullisen heikko tai heikko ja typpitase on suuri satotasoon nähden (alue 3)	Maan rakenteen ja/tai vesitalouden parantaminen Viljelykierto Typpilannoituksen kriittinen tarkastelu	Maan rakenteen ja/tai vesitalouden parantaminen Viljelykierto Kerääjäkasvien viljely Typpilannoituksen vähentäminen	Maan rakenteen ja/tai vesitalouden parantaminen Typpilannoituksen vähentäminen Kerääjäkasvien viljely Viljelykierron kriittinen tarkastelu
Satotaso on kohtuullisen heikko tai heikko ja typpitase on vertailuaineiston heikommalla puolella (tase on mediaania suurempi) (alue 4)	Maan rakenteen ja/tai vesitalouden parantaminen Viljelykierto	Maan rakenteen ja/tai vesitalouden parantaminen Viljelykierto Kerääjäkasvien viljely	Maan rakenteen ja/tai vesitalouden parantaminen Viljelykierron kriittinen tarkastelu Kerääjäkasvien viljely

Liite 2. Tyypitaseiden tausta-aineisto

Tausta-aineisto sisältää laajasti erilaisia viljelyolosuhteita ja lannoitustasoja. Se on luokiteltu taustamuuttujien mukaan (kasvilaji, maaluokka (kivennäis- / eloperäinen maa), lannan käyttö, alue ja vuosi) (taulukko L.2.1).

Taulukko L2.1. Peltolohkojen lukumäärät tausta-aineistossa eriteltyinä tärkeimpien taustamuuttujien mukaan.

Kasvilaji	Havaintoja	Yhteensä
Kaura	40 672	
Ohra	69 054	
Kevätvehnä	37 149	
Syysvehnä	6 564	
Rypsi	7 660	
Syysruis	4 965	
Tärkkelysperuna	17 694	
Sokerijuurikas	2 465	
Säilörehunurmi	45 329	
		231 552
Lohkon maaluokka		
Eloperäinen	20 819	
Vähämultainen karkea kivennäismaa	75 579	
Runsasmultainen karkea kivennäismaa	38 594	
Vähämultainen savimaa	54 442	
Runsasmultainen savimaa	42 118	
		231 552
Ajanjakso		
1988-1994	11 293	
1995-1999	14 963	
2000-2004	42 558	
2005-2009	74 126	
2010-2014	61 494	
2015-2018	27 118	
		231 552

Maantieteelliset alueet

1 Uusimaa, V-Suomi, Kaakkois-Suomi	100 930
2 Satakunta, Häme	34 770
3 Pirkanmaa, E-Savo, P-Karjala, E-Pohjanmaa, Pohjanmaa	72 624
4 Keski-Suomi, P-Savo, P-Pohjanmaa, Kainuu	22 264
5 Lappi	301
	231 552

Lannan käyttö loholla

Ei	177 004
Kyllä	54 548
	231 552

Tausta-aineistoon sisältyy tutkimus-, neuvonta- ja seurantahankkeiden keräämät peltolohkojen tyypitaseet vuosilta 1988–2014 (Turtola ym. 2017) täydennettynä ProAgrian lohkotietopankin vuosien 2014–2017 ja Ruokaviraston viljaotannon vuosien 2014–2018 aineistoilla. Aineistosta on edelleen muodostettu viiteryhmiä edeltävän liitteen 1 kuvauksen mukaisesti.

Liite 3. Kevätviljojen typpilannoituksen taloudellinen optimointi

Typpitaselaskuri avustaa viljelijää kauran, ohran ja keväthehännän typpilannoituksen suunnittelussa kivennäismailla. Lannoitteena voidaan käyttää mineraalilannoitetta ja/tai naudan tai sian lietelantaa.

Laskurilla ratkaistaan optimilannoitus, jolla peltolohkolla viljeltävälle kasville saadaan suurin mahdollinen ennakoitu hehtaarituo⁷ eli kasvin myyntituottojen ja lannoituskustannusten erotus. Laskuri laskee myös peltolohkolle taloudellisesti optimaalisen typpilannoituksen perusteella tulevan typpitaseen ja ilmoittaa sadon valkuaispitoisuuden.

L3.1. Rajoitettu optimointiongelma

Matemaattisesti ilmaistuna laskuri valitsee peltolohkolla (mineraalilannoitteessa ja/tai naudan tai sian lietelannassa) lisättävän liukaisen typen määrän, X , siten, että tavoitefunktio – joka koostuu viljan myyntituottojen $pf(X)$ ja lannoituskustannusten $c(X)$ erotuksesta – maksimoituu siten, että hehtaarille lisättävä liukaisen typen määrä, X , ei ylitä rajoitteita A .

$$\max_X [pf(X) - c(X)]$$

siten että $X \leq A$

Tavoitefunktiossa p tarkoittaa viljan tuottajahintaa ja $f(X)$ typpilannoituksen satovastefunktiota, joka kuvaa sitä kuinka paljon hehtaarille lisätty liukoinen typpi X tuottaa viljasatoa. Rajoitteet, A , perustuvat lainsäädäntöön. Lisäksi jos viljelijä on sitoutunut maatalouden ympäristökorvausjärjestelmään, rajoitteina käytetään myös ympäristökorvauksen enimmäislannoitusmääriä.

L3.2. Tavoitefunktio

Optimoinnissa käytettävä tavoitefunktio koostuu viljan myyntituottojen (€/ha) ja lannoituskustannusten erotuksesta (€/ha). Viljan myyntituotot saadaan laskettua kertomalla tuottajahinta (€/tonni) saadun sadon määrällä (tonnia/ha).

L3.2.1. Viljan tuottajahinta

Typpitaselaskuri pyytää laskurin käyttäjää määrittelemään optimoinnissa käytettävän kevätiljan tuottajahinnan. Koska viljasta tuottajalle maksettava hinta on lannoitusta suunniteltaessa usein epävarma, optimointiongelma kannattaa ratkaista useaan kertaan käyttämällä erisuuruisia viljan hintoja. Tällöin laskurin käyttäjä voi vertailla, kuinka herkästi taloudellisesti optimaalinen typpilannoitus muuttuu viljasta maksettavan hinnan muuttuessa.

⁷ Optimoinnissa ei huomioida toteutuviin viljan tuottajahintoihin ja viljasatoihin liittyvää epävarmuutta. Näin ollen myyntituotto ja kasvinviljelystä saatava hehtaarituo⁷ eli kasvin myyntituotto ja lannoituskustannusten erotus.

L3.2.2. Typpilannoituksen satovastefunktio

Viljasadon suuruus määräytyy optimoinnissa typpilannoituksen satovastefunktion perusteella. Kevätviljojen typpilannoitusvasteista ja optimoinnin lähtökohtina olevista Mitscherlich-satovastefunktioista on kerrottu liitteessä 4.

Panoksena käytetyn liukoisen typen määrän lisäksi hehtaarisadon suuruuteen vaikuttavat peltolohkolta ilman typpilannoitusta saatava sato, viljeltävän lajikkeen aikaisuus, peltolohkolta aiemmin samantyyppisellä lajikkeella saatu sato ja tuolloin käytetty typpilannoitus sekä tavanomaista suuremman liukoisen typen määrä peltolohkolla ennen kasvukauden alkua. Näiden muuttujien avulla typpilannoituskokeiden tuloksiin perustuvia Mitscherlich -satovastefunktioita hienosäädetään ottamaan huomioon tarkasteltavan peltolohkon ominaisuudet.

Jos viljelijä tietää peltolohkolta ilman typpilannoitusta saatavan sadon suuruuden (kg/ha) aikaisuudeltaan keskimääräisellä lajikkeella, hän voi syöttää tiedon laskuriin tai vaihtoehtoisesti käyttää typpitaselaskuria ilman typpilannoitusta saatavan satoarvion laskemiseksi. Peltolohkojen tuottokyvystä ilman typpilannoitusta saatavan satoarvion laskemisesta on kerrottu tarkemmin liitteessä 6.

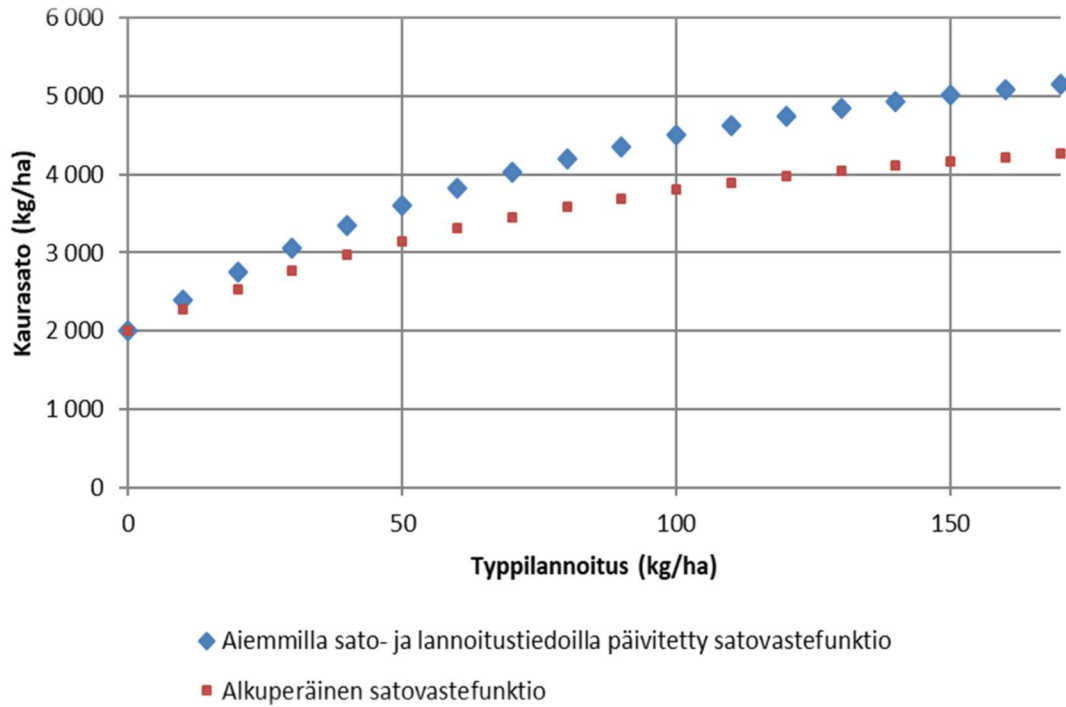
Laskurissa on oletettu, että myöhäisen ja aikaisen lajikkeen vaikutus ilman typpilannoitusta saataviin kaura- ja kevätehnäsatoihin on $\pm 5\%$. Eli myöhäiset kaura- ja kevätehnälajikkeet tuottavat viisi prosenttia enemmän hehtaarisatoa kuin aikaisuudeltaan keskimääräiset lajikkeet, ja aikaiset kaura- ja kevätehnälajikkeet tuottavat viisi prosenttia vähemmän hehtaarisatoa kuin aikaisuudeltaan keskimääräiset lajikkeet. Arviot perustuvat lajikekokeista saatuihin tuloksiin. Ohralla ei löydetty yhteyttä lajikkeen aikaisuuden ja keskisadon välille. Ohrissa on sekä kaksi- että monitahoisia lajikkeita, mikä vaikeuttaa vertailua. Myöhäisemmät ohrat saattavat olla keskimäärin satoisampia kuin aikaisemmat, mutta ero ei ole niin selvä eikä todennäköisesti niin suuri kuin kauralla ja kevätehnällä.

Peltolohkon ominaisuuksia ja viljelyhistoriaa hyödynnetään kysymällä viljelijältä (aikaisuudeltaan samantyyppisellä lajikkeella kuin mitä hän nyt aikoo viljellä) aiemmin saadun tyypillisen hehtaarisadon suuruutta sekä tyypilliseen satoon liittyvää typpilannoitusta (liukoisen typen määrää kg/ha). Saatujen tietojen avulla satovastefunktio hienosäädetään kulkemaan viljelijän ilmoittaman pisteen kautta.

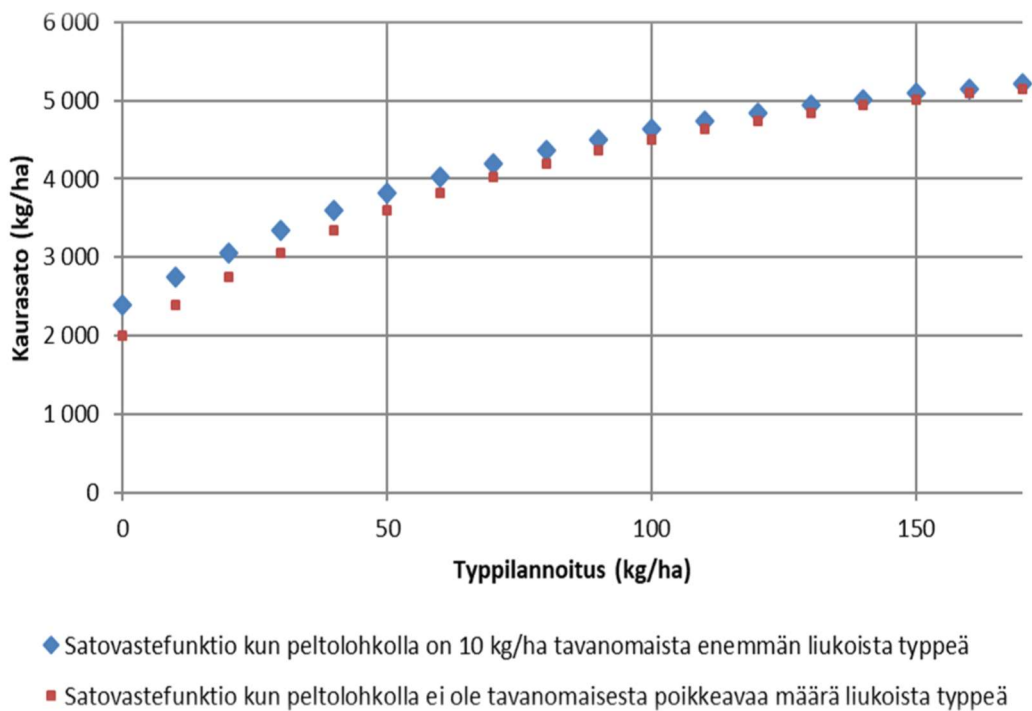
Kuvassa L3.1 on esitetty tilanne, jossa peltolohkolta saatu tyypillinen kaurasato aikaisuudeltaan keskimääräisellä lajikkeella on ollut 4 500 kg/ha, kun typpilannoitus on ollut 100 kg/ha liukoista typpeä. Tästä syystä paikallisiin oloihin tarkennettu ja aiemmilla sato- ja lannoitustiedoilla päivitetty satovastefunktio kulkee pisteen (100, 4 500) kautta. Peltolohkolta ilman typpilannoitusta saatava kaurasato on viljelijän oman ilmoituksen mukaisesti 2 000 kg/ha.

Typpitaselaskuri huomioi myös peltolohkolla keväällä, kasvukauden alussa olevan tavanomaista suuremman liukoisen typen määrän. Tällöin satovastefunktio siirtyy koordinaatistossa vasemmalle ja typpilannoituksella saadaan aiempaa suurempi sato.

Kuvassa L3.2 on esitetty, miten kauran satovastefunktio siirtyy koordinaatistossa kymmenen yksikköä vasemmalle, kun peltolohkolla on keväällä 10 kg/ha tavanomaista enemmän liukoista typpeä. Tällöin ilman typpilannoitusta saavutetaan samansuuruinen hehtaarisato (2 395 kg/ha) kuin se, joka saavutettaisiin kymmenen kilogramman hehtaarikohtaisella liukoisen typen lisäyksellä, jos lohkolta ei ole tavanomaisesta poikkeavaa määrää liukoista typpeä. 90 kilogramman liukoisen typen lisäyksellä hehtaaria kohden saadaan kaurasatoa 4 500 kg/ha eli saman verran kuin mitä saadaan sadan kilogramman hehtaarikohtaisella typpilannoituksella silloin, kun peltolohkolla ei ole tavanomaisesta poikkeavaa määrää liukoista typpeä.



Kuva L3.1. Peltolohkon ominaisuuksien ja viljelyhistorian hyödyntäminen optimoinnissa käytettävän satovastefunktion hienosäädössä.



Kuva L3.2. Satovastefunktion siirtymä, kun peltolohkolla on 10 kg/ha tavanomaista enemmän liukoista typpeä kasvukauden alussa.

L3.2.3. Lannoituskustannukset

Optimoinnissa käytettävän tavoitefunktion toinen puoli koostuu lannoituskustannuksista. Kustannukset ovat hieman erilaisia riippuen siitä, käytetäänkö lannoitteena mineraalilannoitetta vai lietelantaa.

L3.2.3.1. Lannoituskustannukset mineraalilannoitteita käytettäessä

Mineraalilannoitteita käytettäessä laskuri kysyy käyttäjältä lannoitetoimittajaa ja lannoitteiden hankinta-aikaa. Jos laskurin tietokannassa ei ole tietoja lannoitteiden hankinta-ajalta (samalta kuukaudelta), käytetään lannoitteen hintatietona kullekin lannoitetoimittajan tunnetulle, aktiiviselle lannoitteelle viimeisintä käyttäjän määrittämää ajanhetkeä edeltävää hintatietoa. Kyselyn perimmäisenä tarkoituksena on selvittää optimoinnissa käytettävän liukoisen typen kilohinta.

Liukoisen typen kilohinta ratkaistaan NPK-lannoitteiden hankintahintojen ja yhdistelmälannoitteiden sisältämien ravinnemäärien perusteella. Kilohinta perustuu pienimpien virheneliösummien minimointiin ravinnehintoja (N, P, K) estimoitaessa. Jos liukoisen typen kilohinta on käyttäjän tiedossa, hinnan voi syöttää laskuriin myös suoraan. Mikäli liukoisen typen kilohinta on esimerkiksi 1,20 €/kg ja tarvittava taloudellisesti optimaalinen lannoitemäärä hehtaarille on 90 kg liukoista typpeä, tulee liukoisen typen hankintakustannukseksi 108 €/ha.

Laskurissa on oletettu, että mineraalilannoitteen levitystyössä työn tuntihinta on 25 €/h ja työnmenekki on 0,5 h/ha kun levitettävä liukoisen typen määrä on enintään 150 kg/ha. Annettuja oletusarvoja työn tuntihinnalle ja työnmenekille voi muuttaa.

Lisäksi on oletettu, että työnmenekki on kaksinkertainen, jos lohkolle levitettävä liukoisen typen määrä ylittää 150 kg/ha vuodessa. Ns. nitraattiasetuksen (1250/2014) mukaan levitettävä lannoitemäärä on tällöin jaettava vähintään kahteen erään, joiden levittämisen välisen ajan on oltava vähintään kaksi viikkoa.

Lannoitustyön kustannus on oletusarvoja käyttämällä näin ollen 12,50 €/ha, jos levitettävä liukoisen typen määrä on enintään 150 kg/ha. Jos levitettävä liukoisen typen määrä on tätä suurempi, on hehtaarikustannus kaksinkertainen eli oletusarvoja käytettäessä 25,00 €/ha.

L3.2.3.2. Lannoituskustannukset lietelantaa käytettäessä

Laskurissa on oletettu, että karjanlannalla ei ole hankintahintaa, mutta viljelijälle aiheutuu kustannuksia karjanlannan kuljettamisesta peltolohkolle ja lannan levittämistä peltoon. Tästä syystä laskuri pyytää käyttäjää määrittelemään levitykseen tarvittavan siirtoajon sekä levityksen kustannukset. Laskuriin tallennettu oletusarvo lannan siirtoajon kustannuksesta levityksen yhteydessä on 0,41 €/m³/km (Palva 2019). Oletusarvo lietelannan levityskustannukselle on 2,80 €/m³ (Palva 2019). Oletusarvoja voi tarvittaessa muuttaa.

Samalla kun käyttäjältä kysytään lannan siirtoajon ja levityksen kustannuksia, häntä pyydetään myös määrittämään karjanlannassa olevat pitoisuudet liukoiselle typelle, kokonaistypelle ja kokonaisfosforille. Oletusarvot naudat ja sian lietelannan ravinnepitoisuuksille on esitetty taulukossa L3.1.

Taulukko L3.1. Oletusarvot naudän ja sian lietelannan ravinnepitoisuuksille.

Ravinnepitoisuus (kg/m ³)	Naudan lietelanta	Sian lietelanta
Kokonaisfosfori	0,5	0,8
Liukoinen typpi	1,7	2,2
Kokonaistyyppi	2,9	3,4

Yhteenvedon voidaan todeta, että oletusarvoja käytettäessä lietelannan kuljettaminen ja levittäminen puolen kilometrin päässä olevalle peltolohkolle maksaa 3,01 €/m³. Naudan lietelannassa liukoista tyyppiä on 1,7 kg/m³ ja sian lietelannassa 2,2 kg/m³, joten liukoisen tyyppien hinnaksi tulee naudän lietelantaa käytettäessä 1,77 €/kg ja sian lietelantaa käytettäessä 1,37 €/kg esimerkkipeltolohkolle kuljetettuna ja levitettynä.

L3.3. Rajoitteet

Optimoinnissa rajoitteina ovat ns. nitraattiasetus (1250/2014) sekä maa- ja metsätalousministeriön asetus (5/16) lannoitevalmisteista annetun maa- ja metsätalousministeriön asetuksen muuttamisesta. Jos viljelijä on sitoutunut maatalouden ympäristökorvausjärjestelmään, rajoitteina käytetään myös valtioneuvoston asetuksessa ympäristökorvauksesta (235/2015) määritellyjä typpilannoituksen hehtaariohjeita enimmäismääriä. Lisäksi peltolohkolle enintään levitettävän lantamäärän määrittelyssä hyödynnetään tietoja lantapoikkeuksen käytöstä ja fosforin tasausjakson pituudesta.

L3.3.1. Nitraattiasetus

Valtioneuvoston asetus (1250/2014) eräiden maa- ja puutarhataloudesta peräisin olevien päästöjen rajoittamisesta eli ns. nitraattiasetus koskee kaikkia viljelijöitä. Asetuksen 11 §:n mukaan liukoisen tyyppien vuotuinen enimmäismäärä kivennäismailla ohralle, kauralle ja seosviljoille on 160 €/ha ja kevätvehnälle 170 kg/ha. Jos liukoisen tyyppien lannoitusmäärä ylittää 150 kg/ha vuodessa, määrä on jaettava vähintään kahteen erään, joiden levittämisen välisen ajan on oltava vähintään kaksi viikkoa.

Nitraattiasetuksen perusteella tuotantoeläinten lannassa ja orgaanisissa lannoitevalmisteissa vuosittain levitettävä kokonaistyyppien määrä saa olla enintään 170 kg/ha. Jos viljelijä ei ole sitoutunut maatalouden ympäristökorvausjärjestelmään, rajoittaa nitraattiasetuksen mukainen kokonaistyyppien enimmäismäärä (170 kg/ha) käytännössä usein peltolohkoille vuosittain levitettävän karjanlannan enimmäismääriä.

L3.3.2. Lannoitevalmisteista annetut asetukset

Maa- ja metsätalousministeriön asetus (5/16) lannoitevalmisteista annetun maa- ja metsätalousministeriön asetuksen (24/11) muuttamisesta sääntelee fosforilannoitusta kaikilla maatiloilla. Asetuksen 11 §:n mukaan analysoidun vesi- tai ammoniumsitraattiliukoisen fosforin määrä saa olla maataloudessa korkeintaan 325 kg/ha viiden vuoden käyttöjaksona annettuna.

L3.3.3. Maatalouden ympäristökorvausjärjestelmä

Maatalouden ympäristökorvausjärjestelmässä on määritellyt typpi- ja fosforilannoituksen enimmäismäärät, joita on noudatettava ympäristökorvausjärjestelmään sitoutuneiden viljelijöiden peltolohkoilla.

Typpilannoituksen vuotuiset enimmäismäärät ohralle, kauralle, seosviljoille ja kevätevehnälle on määritetty valtioneuvoston asetuksessa ympäristökorvauksesta (235/2015) ja ne on esitetty taulukossa L3.2., kun peltolohkolla saavutettu satotaso on 4 000 kg/ha.

Taulukko L3.2. Typpilannoituksen enimmäismäärät (kg/ha/v) ympäristökorvaukseen sitoutuneilla maataloilla, kun saavutettu satotaso on 4 000 kg/ha.

	Vähämultaiset ja multavat maat	Runsasmultaiset maat	Erittäin runsasmultaiset maat	Eloperäiset maat
Ohra, kaura ja seosviljat	100	90	80	60
Kevätevehnä	120	110	100	70

Taulukossa L3.2. lueteltuihin enimmäismääriin voidaan tehdä saavutettuun satotasoon tehtävät typpilannoitemäärien enimmäislisäykset, jotka on esitetty taulukossa L3.3.

Taulukko L3.3. Saavutettuun satotasoon tehtävät typpilannoitemäärien enimmäislisäykset (kg/ha/v).

Typpilannoituksen lisäys	0	10	20	30	40	50
Saavutettu satotaso	4 000	4 500	5 000	5 500	6 000	6 500

Näin ollen maatalouden ympäristökorvausjärjestelmään sitoutuneella maatilalla lannoitteiden mukana annettavan liukoisen typen enimmäismäärä riippuu peltolohkon multavuudesta ja aiemmin saavutetusta satotasosta. Jos runsasmultaisella peltolohkolla viljellään ohraa ja saavutettu satotaso on ollut 4 700 kg/ha, vuotuinen typpilannoituksen lisäys on taulukoiden L3.2. ja L3.3. perusteella enintään 90 kg/ha + 14 kg/ha = 104 kg/ha.

Ympäristökorvausjärjestelmään sitoutuneilla maataloilla fosforilannoituksen enimmäismäärät määräytyvät viljavuusluokan perusteella (taulukko L3.4). Saavutetun satomäärän perusteella fosforilannoitukseen voidaan tehdä satotasokorjauksia taulukon L3.5 mukaisesti.

Tilat, joilla on kotieläimiä, voivat käyttää lantapoikkeusta taulukon L3.4 mukaisesti, jos lohkolle ei levitetä fosforia muutoin kuin lannassa kasvukauden aikana. Lantapoikkeusta käytettäessä ei voi käyttää taulukon L3.5 mukaista satotasokorjausta.

Taulukko L3.4. Fosforilannoituksen enimmäismäärät (kg/ha/v) viljavuusluokan perusteella ympäristökorvaukseen sitoutuneilla maataloilla.

	Huono	Huononlainen	Välttävä	Tyydyttävä	Hyvä	Korkea	Arveluttavan korkea
Viljat, öljy- ja palkokasvit	34	26	16	10	5	0	-
Viljat, lantapoikkeukset	34	26	16	15	15	-	-

Taulukko L3.5. Saavutetun satomäärän perusteella korjattava fosforilannoituksen määrä (kg/ha/v).

Lisäys kg/ha/v	0	3	6
Muut viljat	4 000	5 000	6 000

Ympäristökorvausjärjestelmään sitoutunut viljelijä voi soveltaa fosforimääriin fosforin tasausta, jolloin fosforilannoituksessa vuosittainen yli- ja alijäämä voidaan tasoittaa tasausjakson aikana. Tasausjakson enimmäispituus on viisi vuotta. Fosforintasausta on aloitettava, kun sallittu vuosittainen fosforitaso ylitetään. Fosforintasausta voidaan aloittaa myös fosforimäärän alittaessa sallitun vuosittaisen enimmäismäärän. Tasausjakson alkaminen ja päättyminen on kirjattava lohko-kohtaisiin muistiinpanoihin. Lantapoikkeusta käytettäessä fosforilannoituksessa voidaan myös käyttää fosforintasausta, mutta ei satotasokorjausta.

L3.4. Optimoinnin tulos

Optimoinnin tulos eli arvio tarkasteltavalla peltolohkolla viljeltäväksi suunnitellun kevätiljan taloudellisesti optimaalisesta typpilannoituksesta raportoidaan typpitaselaskurin sivulla Arvio taloudellisesta optimista. Laskuri kertoo millaisella lannoituksella – esim. 59 m³ naudan lietelantaa (jossa on liukoista typpeä 100 kg) ja 0 kg mineraalilannoitetyypeä hehtaaria kohti – paras taloudellinen hehtaarituohto voidaan saavuttaa. Laskuri raportoi myös viljan myyntituotot (€/ha) sekä lannoituksen kustannukset (€/ha) ja laskee typpilannoituksella saadun sadonlisän (kg/ha) suuruuden ja typpilannoituksen avulla saadun lisätulon (€/ha) arvon.

Lisäksi typpitaselaskuri raportoi sadon valkuaispitoisuudet taloudellisesti optimoidulla typpilannoituksella saadulla satotasolla ja aiemmin peltolohkolta saadulla tyypillisellä satotasolla ja niitä vastaavilla lannoituksilla. Taloudellisen optimin laskennassa ei kuitenkaan ole huomioitu valkuaispitoisuuden muutoksen mahdollista vaikutusta viljan hintaan. Typpilannoituksesta ja kevätiljojen valkuaispitoisuuden muutoksesta on kerrottu liitteessä 5.

Laskuri laskee peltolohkolle myös typpitaseet, jotka syntyvät taloudellisesti optimaalisen lannoituksen ja sadon perusteella sekä peltolohkolla aiemmin käytetyn tyypillisen lannoituksen ja lohkolta tyypillisesti saadun sadon perusteella. Näin ollen typpitaselaskurin avulla voidaan tarkastella, pieneneekö vai suureneeko ympäristöriski, jos lannoitus muutetaan taloudellisesti optimaaliseksi.

Liite 4. Kevätviljojen typpilannoitusvasteet

Alkuperäinen typpilannoitusvasteiden tietokanta (Valkama ym. 2013a, b) koostui julkaistuista ja julkaisemattomista raporteista ja kokeista, jotka oli tehty MTT:n tutkimusasemilla, muilla kokeellisilla tiloilla ja viljelijöiden pelloilla Suomessa. Tähän lisättiin uudempia 2010-luvulla Luken, Borealin ja Yaran koekentillä toteutettuja kokeita vastaten noin neljännestä koko datasta. Ohrhavaintoja oli noin 150, vehnähavaintoja 70 ja kaurahavaintoja 20. Uusia ohra- ja vehnäkokeita löytyi useampia, mutta kaurakokeita vain muutama. Erityisesti kaurakokeet erosivat toteutukseltaan huomattavasti muusta tietokannasta, joten ne jätettiin ulkopuolelle.

Käytimme Valkaman (2013a) tapaan epälineaarista Mitscherlich-mallia, jossa y on lannoitetun koejäsenen prosentuaalinen satohyöty ilman typpilannoitusta viljeltyyn kontrollisatoon nähden ja x on koejäsenelle lisätty typpitaso (kg/ha). Alla olevat parametrit a (teoreettinen maksimisato) ja b (kuvaa käyrän jyrkkyyttä) estimoitiin tilastollisen mallin avulla.

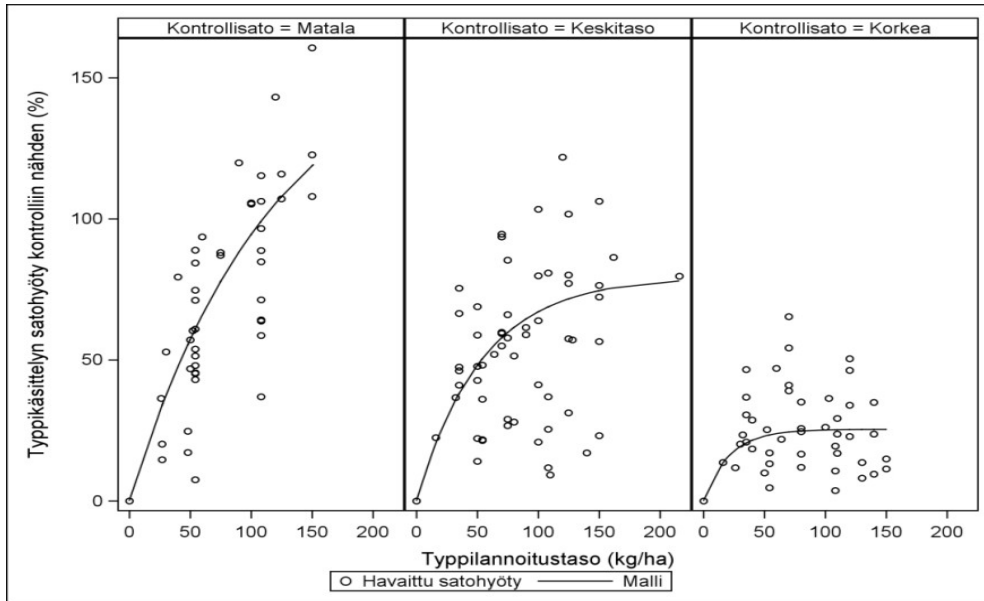
$$y = a(1 - e^{-bx}) \quad , \quad y = \left(\frac{\bar{X}_{\text{lannoitettu}}}{\bar{X}_{\text{kontrolli}}} - 1 \right) \times 100$$

Mitscherlich-mallille on ominaista, että y kasvaa x :n myötä tiettyyn pisteeseen asti, kunnes käyrä tasaantuu saavutettuaan lakipisteensä, mutta ei lähde laskemaan. Näin ollen malli ei huomioi esimerkiksi korkean typpilannoituksen aiheuttamaa lakoutumisen riskiä. Lannoittamattoman kontrolli-sadon tasolla on selkeä vaikutus Mitscherlich-mallien käyrien muotoon, joten kontrollisadot jaettiin kolmeen kategoriaan (matala, keskitaso ja korkea), joiden rajat olivat 2 000 kg/ha ja 3 000 kg/ha. Ohralla alarajaksi nostettiin 2 300 kg/ha laajentuneen datan perusteella, minkä lisäksi muutama rajan läheisyydessä oleva koe siirrettiin viereiseen luokkaan, jos koe noudatteli selvästi paremmin viereisen luokan satohyötykäyrää.

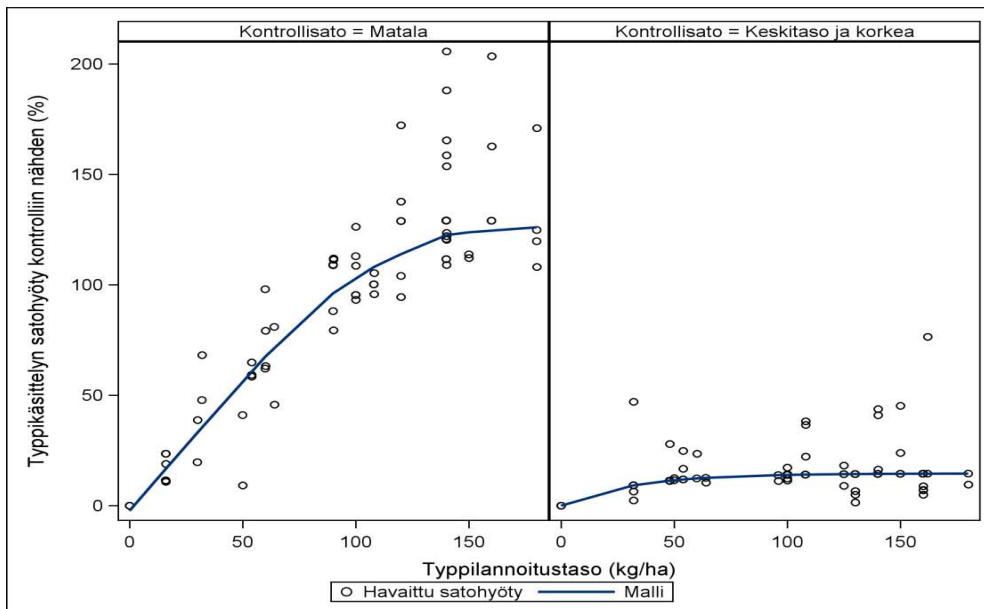
Meta-analyysissä kokeita painotetaan niiden laajuuden mukaisesti, jolloin laajojen ja pitkäaikaisempien kokeiden painoarvo kasvaa, mikä parantaa mallien parametriestimaattien tarkkuutta ja testien tehokkuutta. Painotukset laskettiin erikseen ja annettiin lisäoptiona viljakohtaisissa Mitscherlich-malleissa, jotka analysoitiin SAS:n NLIN-proseduurilla.

Alla olevissa kuvissa L4.1–L4.3 on esitetty mallit kullekin kevätiljalle kontrollisadon kategorioiden mukaisesti lajiteltuna. Koska kontrollisatojen luokkarajoilla typpivaste voi muuttua paljon, laskuriin asetettiin myös kaikkien luokkarajojen ympärille (± 150 kg/ha) mallit, jotka saatiin käyttämällä ao. viereisten luokkien yhdistettyä aineistoa⁸.

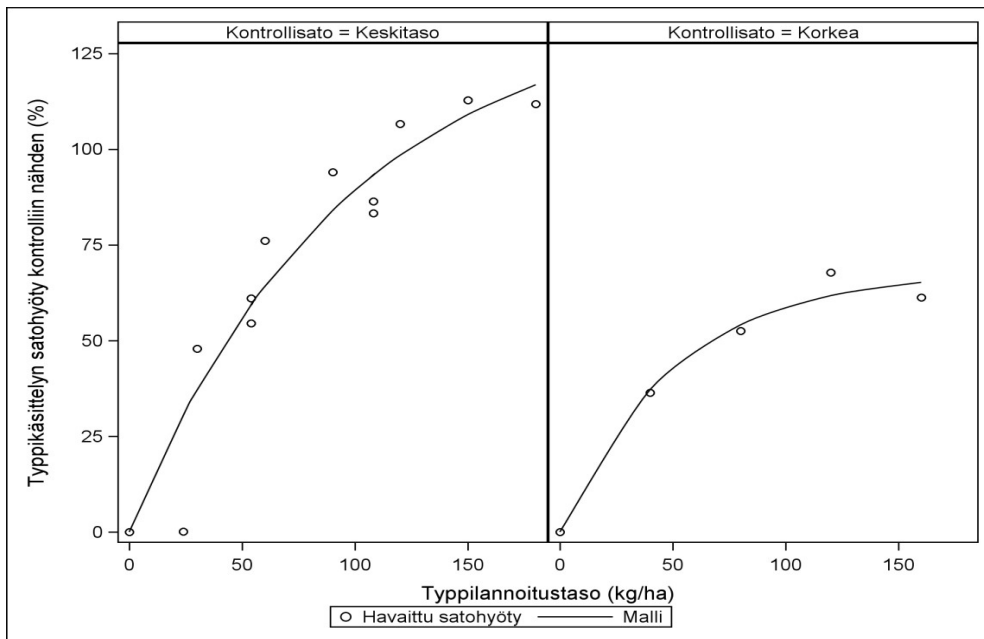
⁸ Kevätvehnällä luokkarajan b -parametrin arvoksi asetettiin 0,0214.



Kuva L4.1. Ohran satovastefunktiot eri kontrollisadon tasoille.



Kuva L4.2. Kevätvehnän satovastefunktiot eri kontrollisadon tasoille.



Kuva L4.3. Kauran satovastefunktiot eri kontrollisadon tasoille.

Liite 5. Typpilannoitus ja kevätilviljojen valkuaispitoisuus

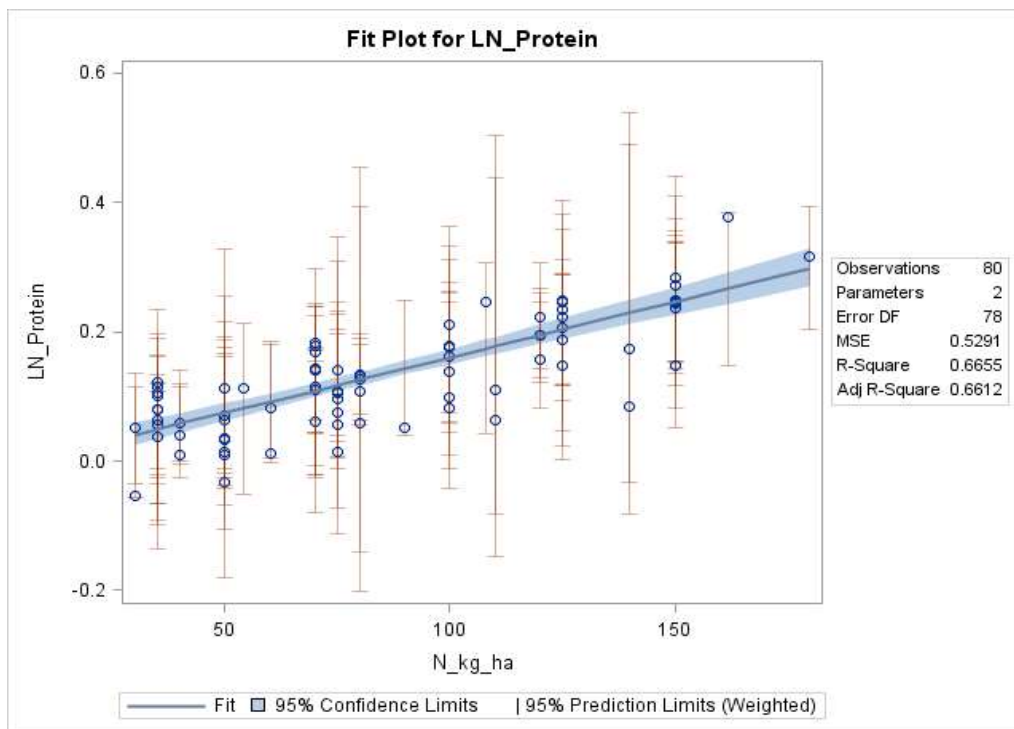
Tietokanta koostui julkaistuista ja julkaisemattomista raporteista ja kokeista, jotka tehtiin MTT:n tutkimusasemilla, muilla kokeellisilla tiloilla ja viljelijöiden pelloilla Suomessa (Valkama ym. 2013b). Uusimpia 2010-luvulla Borealin ja Yaran koekentillä toteutettuja kokeita lisättiin aikaisempaan tietokantaan, ja uuden datan osuus oli noin viidennes koko datasta. Havainnoista noin 80 oli ohrasta, 25 vehnästä ja 12 kaurasta. Erityisesti uudet kaurakokeet erosivat toteutukseltaan muusta tietokannasta, joten ne rajattiin ulkopuolelle. Valkuaispitoisuustarkasteluissa muutkin yksivuotiset kokeet, joiden osuus korostui 2010-luvulla, rajattiin ulkopuolelle datan yhtenevyyden parantamiseksi.

Muuttujien väliset yhteydet olivat kaikilla viljoilla vahvasti lineaarisia, joten käytimme Valkaman (2013b) tapaan lineaarista regressiomallia, jossa x-akselilla on lohkolle lisätty typpitaso (kg/ha) ja y-akselilla logaritmoitu käsitellyn lohkon prosentuaalinen valkuaisatohyöty kontrollilohkoon nähden

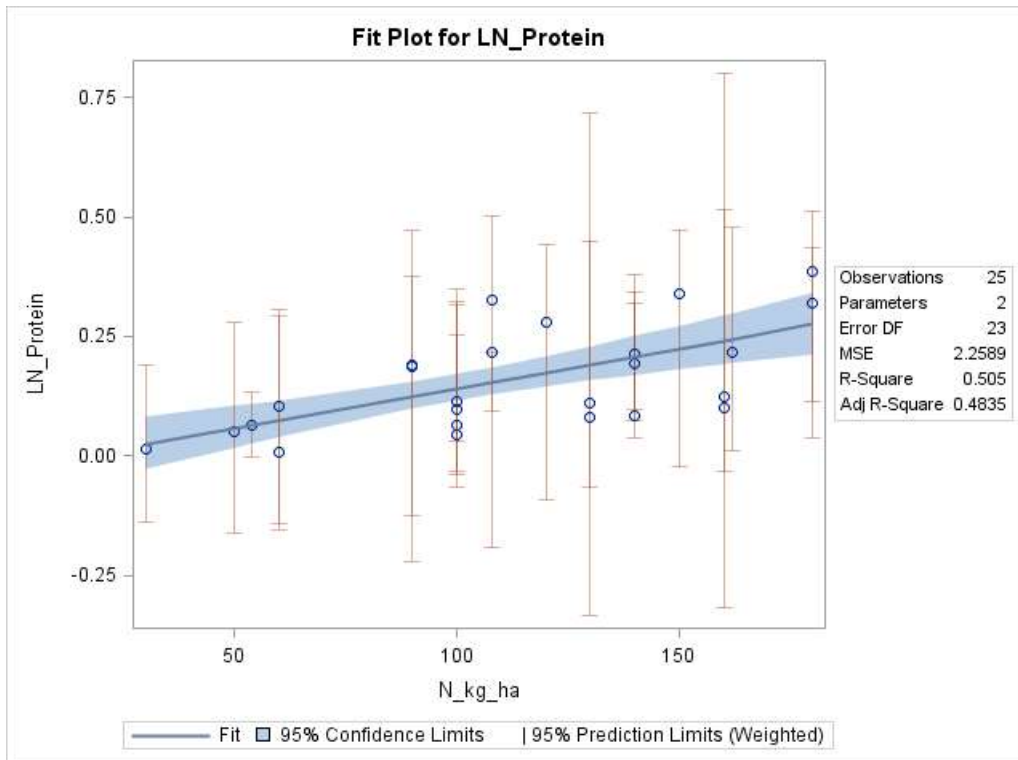
$$\ln r = \ln \left(\frac{\bar{X}_{\text{lannoitettu}}}{\bar{X}_{\text{kontrolli}}} \right).$$

Meta-analyysissä kokeita painotetaan niiden laajuuden mukaisesti, jolloin laajojen ja pitkäaikaisempien kokeiden painoarvo kasvaa, mikä parantaa mallien parametristimaattien tarkkuutta ja testien tehokkuutta. Painotukset laskettiin erikseen ja annettiin lisäoptiona viljakohtaisissa regressiomalleissa, jotka analysoitiin SAS:n REG-proseduurilla.

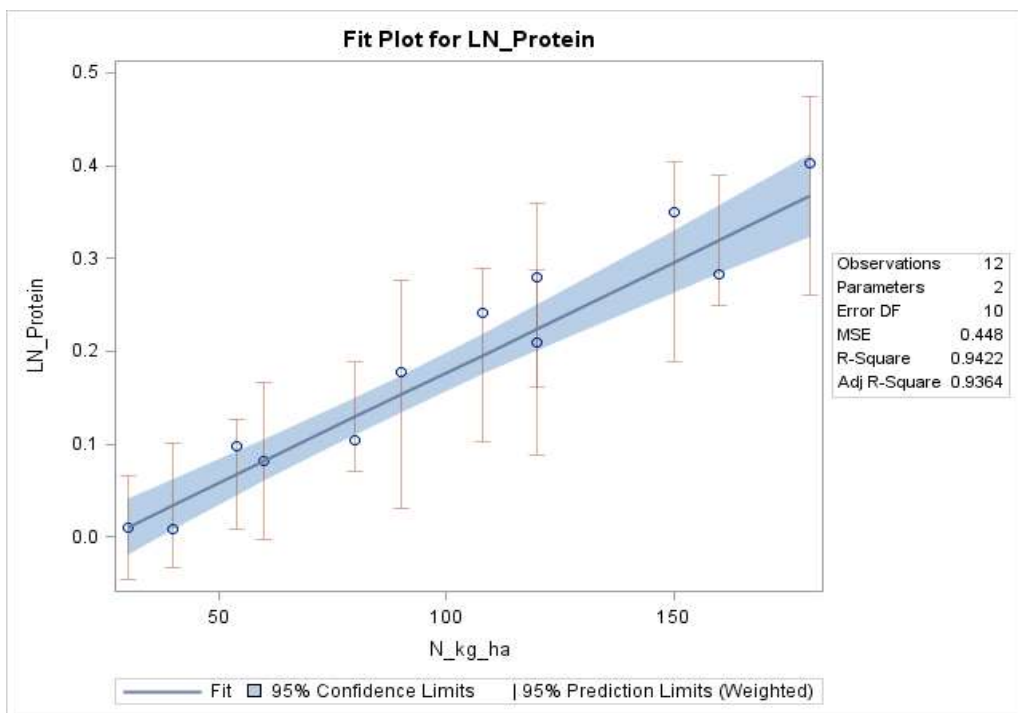
Alla olevissa kuvissa L5.1–L5.3 on esitetty lineaariset mallit viljoittain.



Kuva L5.1. Ohran valkuaispitoisuuden ja typpilannoituksen välinen lineaarinen malli.



Kuva L5.2. Kevätvehnän valkuaispitoisuuden ja typpilannoituksen välinen lineaarinen malli.



Kuva L5.3. Kauran valkuaispitoisuuden ja typpilannoituksen välinen lineaarinen malli.

Liite 6. Peltolohkon satotaso ilman lannoitusta

Ilman typpilannoitusta saatuja viljojen satotasoja mallinnettiin tilastollisesti maaperästä otettujen näytteiden ja viljelymenetelmistä kerättyjen tietojen perusteella. Aineiston muodostivat ORANKI-hankkeessa 2016–2017 kerättyjen 46 lohkon ja Typpitaselaskuri-hankkeessa 2018–2019 kerättyjen 20 lohkon tulokset. Lannoittamattomia satomäärityksiä aineistoissa oli neljän vuoden ajalta yhteensä 70.

Maanäytteistä analysoitiin: kokonaishiili ja kokonaistyyppi, pH, johtoluku, viljavuusravinteet (P, K, Mg, Ca), kationinvaihtokapasiteetti, maalajitejakauma, tilavuuspaino ja juurten lukumäärä sekä laskettiin hiilen ja typen suhde ja saveksen ja hiilen suhde. Viljelytiedot olivat: viljelyvyöhyke, sijaintikunta, tilan nimi, lohkon viljalaji ja -lajike, lannan ja orgaanisten lannoitevalmisteiden käyttö koivuonna ja aikaisempina vuosina, viljelijän arvio lohkon tuottokyvystä (heikko tai hyvä) sekä lohkojen etäisyys toisistaan. Kasvustosta mitattiin lannoitetun ja lannoittamattoman alueen jyväsato ja jyvien typpipitoisuus.

Tilastollisten mallien rakentamisessa käytettiin 65 satohavainnon ja 51 peltolohkon aineistoja. ORANKI- ja Typpitaselaskuri-hankkeissa oli mukana joitakin samoja lohkoja. Sijaintiin liittyvät muuttujat (kunta, peltolohkon sijainti kunnan alueella, peltolohkojen etäisyydet tilan sisällä) asetettiin satunnaisvaikutuksiksi. Tilastollisessa mallinnuksessa saatiin kahdella laskentamallilla (malli 1a ja malli 2) samantasoiset selitysasteet lannoittamattomalle sadolle. Kullekin kevätiljalle saatiin omat mallinsa.

Malleja käytettäessä on syytä huomata, että niiden taustalla olevassa maanäyteaineistossa oli vain muutamia tapauksia, jotka luokittelevat erittäin runsasmultaisiin kivennäismaihin. Tämän vuoksi aineiston pohjalta kehitetyt mallit eivät välttämättä ennakoivat erittäin runsasmultaisilla kivennäismailla saatavaa lannoittamatonta satotasoa yhtä luotettavasti kuin muilla kivennäismailla. Parhaiten mallit toimivat multavilla ja runsasmultaisilla kivennäismailla.

Malli 1 käyttää viljavuustutkimuksen perustutkimuksesta saatavia tietoja

Johtoluvun jäädessä pienemmäksi kuin 1,73 luokittelevina tekijöinä ovat lohkon sadontuottokyky ja orgaanisten lannoitevalmisteiden käyttöhistoria. Taulukossa L6.1 on esimerkkinä kauran vakiot ja kertoimet.

Taulukko L6.1. Kauran lannoittamattoman sadon kertoimet mallissa 1a (johtoluku < 1,73).

Lannan käyttö	Tuottokyky	Vakio	Mg	Mg ²	KVK	pH	Jl
Käytetty	Hyvä	5 789,85	-6,1673	0,002463	107,19	-771,25	1 368,26
Käytetty	Heikko	5 226,47	-6,1673	0,002463	107,19	-771,25	1 368,26
Ei	Hyvä	5 467,98	-6,1673	0,002463	107,19	-771,25	1 368,26
Ei	Heikko	4 904,60	-6,1673	0,002463	107,19	-771,25	1 368,26

Jos johtoluku ylittää arvon 1,73, sovelletaan mallia 1b, jossa kauran kertoimet ovat taulukon L6.2 mukaiset.

Taulukko L6.2. Kauran lannoittamattoman sadon kertoimet mallissa 1b (johtoluku $\geq 1,73$).

Lannan käyttö	Tuottokyky	Vakio	Mg	Mg ²	KVK	pH
Käytetty	Hyvä	6 598,02	-7,5664	0,002349	168,79	-764,28
Käytetty	Heikko	6 134,07	-7,5664	0,002349	168,79	-764,28
Ei	Hyvä	6 144,69	-7,5664	0,002349	168,79	-764,28
Ei	Heikko	5 680,74	-7,5664	0,002349	168,79	-764,28

Malli 2 käyttää hiilen ja typen suhdetta

Mallia voidaan soveltaa, jos johtoluvun arvo on pienempi kuin 1,73. Luokittelevana tekijänä on vain lohkon sadontuottokyky. Hiilen ja typen suhde ja johtoluku nostavat lannoittamattoman kaurasadon arviota (taulukko L6.3).

Taulukko L6.3. Kauran lannoittamattoman sadon kertoimet mallissa 2.

Tuottokyky	Vakio	C/N	Johtoluku
Hyvä	-3 980,85	306,80	2 428,84
Heikko	-4 708,15	306,80	2 428,84