



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mikko Alahonko

NPK-lehtilannoitteen vaikutus vehnän sadon määrään ja laatuun

Opinnäytetyö
Kevät 2024
Agrologi (AMK)



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Agrologi (AMK)

Tekijä: Mikko Alahonko

Työn nimi: NPK-lehtilannoitteen vaikutus vehnän sadon määrään ja laatuun.

Ohjaaja: Arja Nykänen

Vuosi: 2024

Sivumäärä: 58

Kasvien ravinteiden saantiin maaperästä vaikuttaa esimerkiksi maan rakenne, pH, lämpötila ja veden saatavuus. Viljelijä pystyy vaikuttamaan moniin maaperän kasvuolosuhteisiin ja niiden on tärkeä olla kunnossa, jos halutaan hyödyntää tuotantopanokset täysimääräisesti ja saavuttaa suuria satoja. Kasvi ottaa tarvitsemansa ravinteet kuitenkin pääasiassa juurten kautta. Lehtien kautta kasvi pystyy ottamaan ravinteita riippumatta maaperän kasvuolosuhteista, mutta määrät ovat kuitenkin pienempiä. Lehtilannoitusta voidaan hyödyntää lisälannoituksessa, turvata kasvin ravinteiden saantia haastavissa kasvuolosuhteissa tai korjata jonkin hivenravinteen puutosta. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, onko NPK-lehtilannoitteella positiivisia vaikutuksia kevätvehnän sadon määrään ja laadullisiin tekijöihin Opinnäytetyöhön sisältyi viljelykoe, minkä avulla suoritettiin tutkimustiedon kerääminen.

Viljelykoe toteutettiin peltolohkolla Kankaanpään Honkajoella Satakunnassa. Viljelykasvi oli Anniina-kevätvehnä. Koejäsenenä oli NPK-lehtilannoitteella käsitelty alue ja käsittelemätön alue. Kasvukauden aikana koeruuduilta otettiin Yaran Megalab-kasvianalyysijä, joilla määritettiin kasvuston ravinnepitoisuuksia. Lisäksi tehtiin silmämääräistä kasvustohavainnointia ja mittauksia. Sadon määrä punnittiin tuoreena, sekä määritettiin hehtolitrapaino ja valkuaispitoisuus.

Viljelykokeen perusteella NPK-lehtilannoitteella käsitellyltä koeruudulta saavutettiin 211 kg/ha suurempi sato, 7 kg suurempi hehtolitrapaino ja 0,2 % suurempi valkuaispitoisuus kuin käsittelemättömältä koeruudulta. Käsitteilyllä ei havaittu olevan vaikutusta kasvuston ravinnepitoisuuksiin.

¹ Asiasanat: viljelykoe, kasvinravinteet, lannoitteet, viherlannoitus, vehnä

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Natural Resources, Agriculture and Rural Enterprises

Author: Mikko Alahonko

Title of thesis: Effect of NPK foliar fertilizer on quantity and quality of wheat yield.

Supervisor: Arja Nykänen

Year: 2024

Number of pages: 58

Plant nutrition uptake from the soil is affected by many factors, including soil structure, pH, temperature and water availability. The farmer can influence many soil growth conditions and it is important that they are in good condition to be able to utilize production inputs effectively and achieve large yields. However, the plant takes in the nutrients it needs mainly through the roots. Through the leaves, the plant can take in nutrients regardless of soil growth conditions, but the amounts are smaller. Through the leaves it is possible to give extra fertilization, ensure the nutrition intake of the plants in challenging weather conditions or supplement the deficiency of some micronutrients. The goal of this thesis was to explore whether the NPK foliar fertilizer has any positive effects on the quantity and quality of the spring wheat yield. This thesis included a cultivation experiment, which was used to collect all the research data.

The cultivation experiment was carried out in Honkajoki, in western Finland. The variety of spring wheat was Anniina. The cultivation experiment included two different test factors, i.e. a test plot sprayed with NPK foliar fertilizer and an unsprayed test plot. During the growing season Yara Megalab plant analysis was done on both plots to be able to see the nutrient content of wheat. In addition, visual growth observations and measurements were made. The yield was weighed fresh, and the hectoliter weight and protein content were determined.

Based on the cultivation experiment, a higher yield of 211 kg/ha, a higher hectoliter weight of 7 kg, and a 0.2% higher protein content were obtained on the test plots sprayed with NPK foliar fertilizer. The treatment did not have any impact on the nutrition content of wheat.

¹ Keywords: cultivation experiment, plant nutrients, fertilizers, green manure, wheat

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkuuettelo	6
1 JOHDANTO	9
2 KASVIEN RAVINTEIDEN OTTO.....	10
2.1 Juurten kautta.....	10
2.2 Lehtien kautta.....	12
3 PÄÄRAVINTEIDEN MERKITYS KASVILLE	14
3.1 Typpi.....	14
3.1.1 Typen kierto maaperässä	14
3.1.2 Kasvien typenotto ja puutosoireet	18
3.1.3 Typpilannoituksen määrä	20
3.2 Fosfori.....	21
3.2.1 Fosforin kierto	21
3.2.2 Kasvien fosforin otto ja puutosoireet	24
3.2.3 Fosforilannoituksen määrä	25
3.3 Kalium	26
3.3.1 Kaliumin kierto	26
3.3.2 Kasvien kaliumin otto ja puutosoireet.....	28
3.3.3 Kaliumlannoituksen määrä	29
4 ERILAISIA LANNOITEMUOTOJA.....	30
4.1 Väkilannoitteet.....	30
4.1.1 Yleistä väkilannoitteista	30
4.1.2 Ravinnetoisuus ja levitysmenetelmät.....	32
4.2 Karjanlanta	33
4.2.1 Ravinnetoisuus.....	33
4.2.2 Levitysmenetelmät	35

4.3	Viherlannoitusnurmi	37
4.3.1	Hyödyt viljelykierrossa	37
4.3.2	Perustaminen.....	38
4.3.3	Kylvömäärä.....	39
4.3.4	Hoito.....	40
4.4	Lehti- ja nestelannoitteet	41
4.4.1	Yleistä lehti- ja nestelannoitteista	41
4.4.2	Ravinnepitoisuus ja levitysmenetelmät.....	42
5	AINEISTO JA MENETELMÄT	45
5.1	Koejärjestelyt.....	45
5.2	Kasvukauden toimenpiteet	45
5.3	Havainnot ja mittaukset.....	46
5.4	Taloudellinen tarkastelu	46
6	TULOKSET.....	47
6.1	Kasvukauden sää ja kasvustohavainnot	47
6.2	Lehtilannoituksen vaikutus kasvuston ravinnepitoisuuksiin	51
6.3	Lehtilannoituksen vaikutus sadon määrään ja laatuun.....	53
6.4	Talouselaskelma.....	54
7	TULOSTEN POHDINTA	55
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	56
	LÄHTEET.....	57

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo

Kuva 1. Typen puutoksen aiheuttamia kloroosin oireita kasvin vanhimmissa kasvulehdissä (Mia 2015, s.66).	19
Kuva 2. Typpilannoituksen vähentyessä kasvi kasvattaa enemmän juuria suhteessa maanpäällisiin osiin (Mia 2015, s.66).	19
Kuva 3. Kasvuston korkeus ensimmäisten näytteidenoton aikaan 25. kesäkuuta.	50
Kuva 4. Kasvuston korkeus jälkimmäisten näytteidenoton aikaan 3. heinäkuuta.	51
Kuvio 1. Kasvin juuren solurakenne (Simpson 2006, s.418).	11
Kuvio 2. Kasvin lehden sisäisen mesofyllin rakenne (Simpson 2006, s.428).	13
Kuvio 3. Typen kierto luonnossa (Kuva: Johann Dréo, käänttänyt: Stefan Parviainen, Wikimedia commons, 2007).	15
Kuvio 4. Typen pelkistyminen valenssiluvulta 5+ valenssiluvulle0 (Paasonen-Kivekäs ym., 2016, s.195).	18
Kuvio 5. Maaperän fosforivarojen luokittelu biologisen käyttökelpoisuuden mukaan, fosfori varantojen määrät eri pooleissa ja poolien välisten reaktioiden nopeudet (Paasonen-Kivekäs ym., 2016, s.183).	22
Kuvio 6. Kaliumin kiertoa luonnossa kuvataan jakamalla kierron vaiheet 13 eri pooliin (Murrel ym., 2021, s.2)	28
Kuvio 7. Kasvukauden sademäärä (Ilmatieteen laitos, 2024).	48
Kuvio 8. Kasvukauden tehoisa lämpösumma (Farmit.net, 2024).	48
Kuvio 9. Kuukausien keskilämpötilat (Ilmatieteen laitos, 2024).	49

Taulukko 1. Typpilannoituksen enimmäismäärä kg/ha/v eri viljelykasveilla maan multavuuden mukaan ja ympäristötuen sopimusehtojen mukaan tukikaudella 2014–2020 (Yara Suomi, 2021, s.31).....	21
Taulukko 2. Saavutetun satomäärän perusteella lisättävän typpilannoituksen määrä kg/ha/v ja ympäristötuen sopimusehtojen mukaan tukikaudella 2014–2020 (Yara Suomi, 2021, s.31).	21
Taulukko 3. Fosforilannoituksen enimmäismäärät kg/ha vuodessa maan viljavuusluokan perusteella ja ympäristötuen sopimusehtojen mukaan tukikaudella 2014–2020 (Yara Suomi., 2021, s.31).....	25
Taulukko 4. Saavutetun satomäärän perusteella lisättävä fosforilannoituksen määrä kg/ha vuodessa ja ympäristötuen sopimusehtojen mukaan tukikaudella 2014–2020 (Yara Suomi., 2021, s.31).	26
Taulukko 5. Kaliumin lannoitusmäärät viljoilla viljavuustutkimuksen mukaan kg/ha vuodessa ja ympäristötuen sopimusehtojen mukaan tukikaudella 2014–2020 (Yara Suomi., 2021, s.30).....	29
Taulukko 6. Typen tuotanto- ja käyttömäärät kehittyneissä ja kehitysmaissa vuosina 1980–2010 ((López-Valdez & Fernández-Luqueno, 2014, s.7).....	31
Taulukko 7. NPK-ravinteiden käyttömäärät Suomessa vuosina 2000–2021 (International fertilizer association, IFASTAT.org).	32
Taulukko 8. Erilaisten lantojen sisältämien ravinteiden taulukkoarvot (Yara Suomi., 2021, s.27).	35
Taulukko 9. Monivuotisiin viherlannoitusnurmiin soveltuvien kasvilajien kylvömääriä siemenseoksessa (Känkänen 2014, s.22).....	40
Taulukko 10. Käsittelemättömän koeruudun tulokset 25. kesäkuuta.	52
Taulukko 11. Käsiteltävän koeruudun tulokset ennen ruiskutusta 25. kesäkuuta.	52
Taulukko 12. Käsittelemättömän koeruudun tulokset 3. heinäkuuta.	53

Taulukko 13. Käsitellyn koeruudun tulokset ruiskutuksen jälkeen 3. heinäkuuta.....	53
Taulukko 14. Koeruuduilta puidun sadon määrä ja laatu.	54

1 JOHDANTO

Sään ääri-ilmiöt, kuten kuumuus, kuivuus ja märkyys, ovat olleet yleisiä viime kasvukausina, ja ne ovat aiheuttaneet merkittäviä satotappioita monilla alueilla Suomessa ja ulkomailla. Kasvi pystyy hyödyntämään tehokkaasti lehtien kautta annetut ravinteet, koska maaperän kasvuolosuhteilla ei ole vaikutusta lehtien kautta tapahtuvaan ravinteiden ottoon. Esimerkiksi kuivuuden seurauksena kasvin haihdutusvirtaus pienenee, mikä vähentää veden virtausta kasvissa ja ravinteiden kulkeutuminen juurten kautta kasviin hidastuu. Pääravinteiden (NPK) otto tapahtuu pääasiassa juurten kautta, mutta erityisesti kuivissa kasvuolosuhteissa pääravinteiden lehtilannoituksesta voidaan saada hyötyä. Tämän opinnäytetyön avulla haluttiin selvittää, että voidaanko NPK-lehtilannoitteella merkittävästi parantaa kasvin kasvua sekä saavuttaa suurempia ja laadultaan parempia satoja. Lisäksi aiheeseen liittyy olennaisesti toimenpiteen taloudellinen kannattavuus, koska on selvää, että ilman taloudellista hyötyä viljelijän ei kannata tehdä ”ylimääräisiä” viljelytoimenpiteitä.

Opinnäytetyön tutkimusosuuden tueksi etsittiin teoriatietoa erilaisista lähteistä liittyen kasvin ravinteiden ottoon, pääravinteisiin ja erilaisiin lannoitemuotoihin. Kasvien ravinteiden otossa perehdyttiin juurten ja lehtien kautta tapahtuvan ravinteiden oton eri mekanismeihin ja niihin vaikuttaviin tekijöihin. Teoriaosuudessa käsiteltävät ravinteet haluttiin rajata pääravinteisiin, koska tutkimuksen aiheena oli NPK-lehtilannoite. Lehtilannoitteiden lisäksi erilaisten lannoitemuotojen valintaan työn teoriaosuuteen vaikuttivat peltolohkolla käytetty peruslannoitus. Erilaisten lannoitteiden osalta perehdyttiin niiden ravinnepitoisuuteen, käyttömäärään ja vaikutusmekanismiin. Opinnäytetyöhön liittynyt viljelykoe toteutettiin peltolohkolla Kankaanpään Honkajoella Satakunnassa. Kokeen koejäsenenä olivat käsittelemätön ja NPK-lehtilannoitteella käsitelty koeruutu.

2 KASVIEN RAVINTEIDEN OTTO

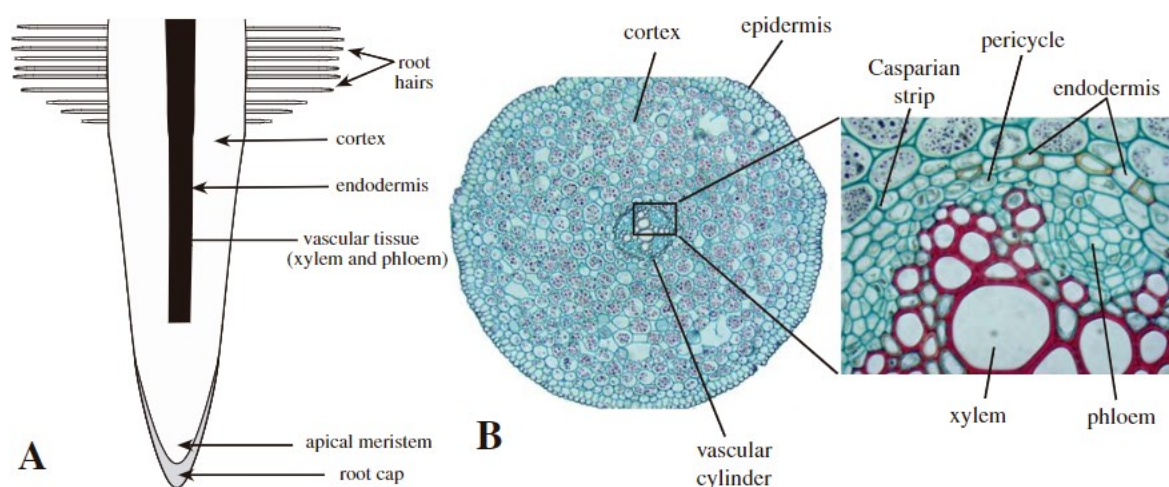
Kasvinviljelyn kannalta on tärkeää ymmärtää eri kasviravinteiden merkityksestä kasvien kasvulle ja kehitykselle (Mia 2015, s.2–9). Siihen liittyy esimerkiksi se, miten ravinteet käyttäytyvät maaperässä erilaisilla maalajeilla ja miten kasvi pystyy ravinteita niistä ottamaan. Kasviravinteita on alettu tutkia tarkemmin 1800-luvulta lähtien, minkä myötä niiden merkitystä on alettu ymmärtämään paremmin. Kasvit tarvitsevat jokaista ravinnetta tietyn määrän, että ravinnetarve täyttyy ja kasvit voivat saavuttaa optimaalisen kasvun. Tästä juontaa juurensa myös niin sanottu minimitekijän laki. Minimitekijän laki tarkoittaa sitä, että se ravinne, jota on vähiten saatavilla kasvin tarpeeseen nähden määrittää lopulta viljelykasvin kehittymismahdollisuudet, eli toisin sanoen satopotentiaalin. Sen takia on tärkeää, että kasvilla on kaikkia ravinteita saatavilla tasapuolisesti, koska tietyn ravinteen selkeää puutosta ei pystytä korvaamaan toisella ravinteella. Ravinteet osallistuvat kasvissa fysiologisiin ja metabolisiin toimintoihin.

2.1 Juurten kautta

Kasvit ottavat ravinteita pääasiassa juurten avulla maaperästä, mutta myös lehtien kautta (Mia 2015, s.2–9). Kasvien juuret voidaan jaotella kahteen eri kategoriaan: ensisijaisiin juuriin ja tilapäisiin juuriin. Ensisijaiset juuret ovat olemassa jo kasvin varhaisesta kehityksestä alkiovaiheesta saakka ja säilyvät yleensä koko kasvin eliniän, kun taas tilapäisiä juuria kehittyy kasvamaan alkiojuurten vaurioitumisen seurauksena. Ravinteet kulkeutuvat kasviin haihdutusvirtauksen eli transpiraation avulla (Alakukku ym., 2009, s.10–12). Haihdutusvirtauksella tarkoitetaan kasvin juurten kautta otettavan veden haihtumista ilmaan kasvin maanpäällisten osien kautta. Haihdutusvirtaus saa aikaan veden virtauksen kasviin, jolloin myös maaveteen lienneet ravinteet alkavat kulkeutua kohti kasvin juuria massavirtauksena. Massavirtauksen avulla kasviin kulkeutuvia ravinteita ovat typpi, kalium, kalsium ja rikki (Mia 2015, s.24–25).

Kasvin juurten kautta tapahtuva ravinteiden otto tapahtuu passiivisesti tai aktiivisesti (Mia 2015, s.29–36). Näiden kahden ravinteiden otto tavan erona on, että aktiivinen ravinteiden otto vaatii aina energiaa, kun taas passiivinen ei vaadi (Mia 2015, s.29–36). Passiivinen ravinteiden otto tapahtuu kasvissa solukalvon ja endodermin casparin renkaan

ulkopuolella massavirtauksen, diffuusion, ionin vaihdon ja osmoosin avulla. Endodermi on solujen joukko, joka ympäröi kasvin juuren jokaista suonikudosta ja jokaista endodermin sisältämää solua ympäröi casparin rengas (Kuvio 1) (Simpson 2006, s.418). Casparin renkaan tarkoituksena on valikoida kaikki kasvin soluihin asti päätyvät ravinteet ja näin torjua mahdollisesti kasviin juurten kautta pyrkiviä myrkyllisiä mineraaleja. Passiivista ravinteiden ottoa kutsutaan alamäki prosessiksi, koska siinä ravinteet kulkeutuvat suuremmasta pienempään pitoisuuteen.



Kuvio 1. Kasvin juuren solurakenne (Simpson 2006, s.418).

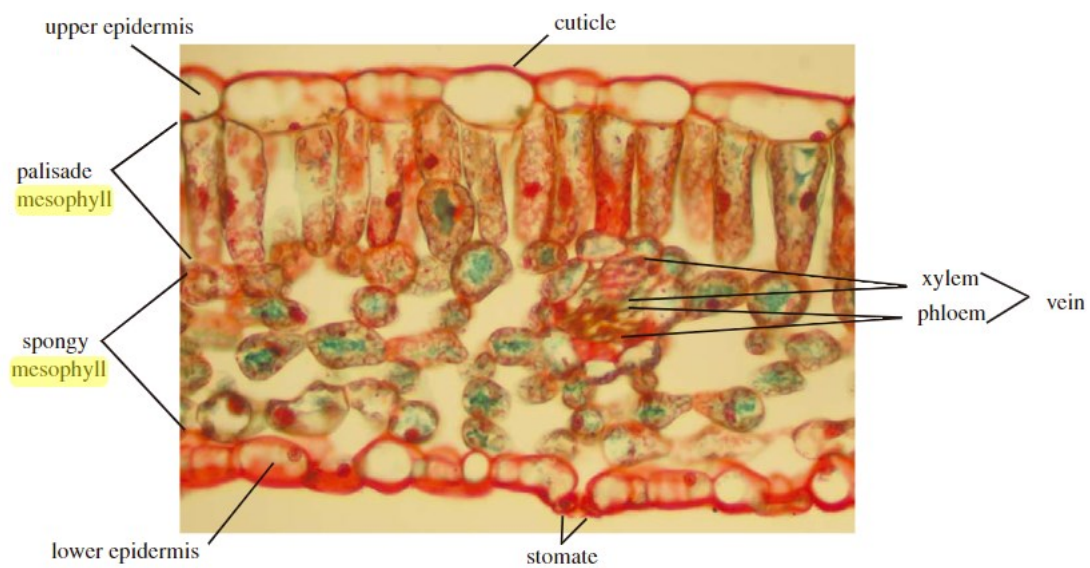
Aktiivista ravinteiden ottoa kutsutaan ylämäkiprosessiksi, koska siinä ravinteet kulkeutuvat pienemmästä suurempaan pitoisuuteen (Mia 2015, s.32–35). Aktiiviseen ravinteiden ottoon tarvittava energia saadaan kasvilla kemiallisten reaktioiden myötä muodostuvasta ATP:stä. ATP on yksi kasveissa esiintyvistä fosfaattiyhdisteistä, johon kasvi varastoi fotosynteesistä saatua energiaa (Mia 2015, s.72). Aktiivinen ravinteiden otto voidaan jakaa kahteen eri tapaan, ensisijaiseen ja toissijaiseen (Mia 2015, s.32–35). Ensisijainen aktiivinen ravinteiden otto tapahtuu ATP:stä saadulla energialla. Toissijaisessa ravinteiden otossa tarvittava energia saadaan pääasiassa käytettyjen solujen ioneista.

Kasvin ravinteiden ottoa säännöstelee geenit, joita löytyy omansa jokaiselle ravinteelle. Nämä geenit tuottavat m-RNA kopioita, jotka muuntavat proteiineja jokaiselle ravinteelle sopivaksi niiden kuljetusta varten. Ravinteita kuljettavat proteiinit sijaitsevat solukalvon

huokosissa ja ne säännöstelevät jokaisen ravinteen pääsyä kasvin sytoplasmaan (Naeem ym., 2017, s.6). Proteiinin tehtävä on kuljettaa tiettyä ravinnetta kasvin juurikarvasolujen solukalvon läpi sytoplasmaan, että kasvi pystyy käyttämään sen metaboliassa. Sytoplasmaksi kutsutaan kaikkea solukalvon sisäpuolella olevia organismeja, pois lukien tuma (Simpson 2006, s.409–410). Kasvit säättävät metabolisten entsyymien määrää, joko ylös tai alas, ravinteiden riittävyyden mukaan (Naeem ym., 2017, s.3). Kasvit ottavat ravinteita maaperästä ionimuodossa. Ravinteiden ioneilla on sähköinen varaus, joka on joko positiivinen tai negatiivinen (Rajala & Mattila 2021). Positiivisesti varautuneet ionit ovat kationeja ja negatiivisesti varautuneet anioneja. Kationeja ovat esimerkiksi ammonium-N, Ca, Mg, K, Na, Fe, Mn, Cu, Zn, Ni ja Se. Anioneita ovat puolestaan nitraatti-N, P, S, Cl, Mo ja Si. Boori (B) on ravinne, jolla ei ole sähköistä varausta lainkaan.

2.2 Lehtien kautta

Kasvit pystyvät ottamaan kaikkia ravinteita myös lehtien kautta, mutta määrät ovat pienempiä juurten kautta tapahtuvaan ravinteiden ottoon verrattuna (Mia 2015, s.45–50). Eri ravinteiden välillä on eroa niiden imeytymisessä ja hyväksikäytössä lehtien kautta otettuna. Ravinteita, joita kasvi tarvitsee suhteellisen pienen määrään, voidaan antaa hyvin lehtien kautta. Tällaisia ravinteita ovat esimerkiksi hivenravinteet. Pääravinteiden tarve on yleensä niin suuri, että kasvi ei pysty niitä lehtien kautta ottamaan riittävästi ravinnetarpeeseensa nähden. Ravinteet imeytyvät kasviin passiivisesti lehtien ilmarakojen, linssien ja ektodesmatan kautta. Suurin osa imeytyy ektodesmatan ja ilmarakojen kautta. Ravinteet alkavat kulkeutua lehdistä muihin kasvin osiin pian imeytymisen jälkeen. Kulkeutuminen tapahtuu sekä passiivisesti että aktiivisesti. Lehdille ruiskutettavien ravinteiden pitää olla liuotettu veteen, että ne voivat imeytyä lehtien sisälle mesofylliin. Mesofylli on kloroplasteista eli viherhiukkasista koostuva parenkymisolukko, joka mahdollistaa fotosynteesin (Simpson 2006, s.427–429). Yleensä, mutta ei aina, mesofyllin solurakenne voidaan jakaa kahteen erityyppiin, pystysuoriin paalumaisiin soluihin ja vaakasuoriin soluihin (Kuvio 2).



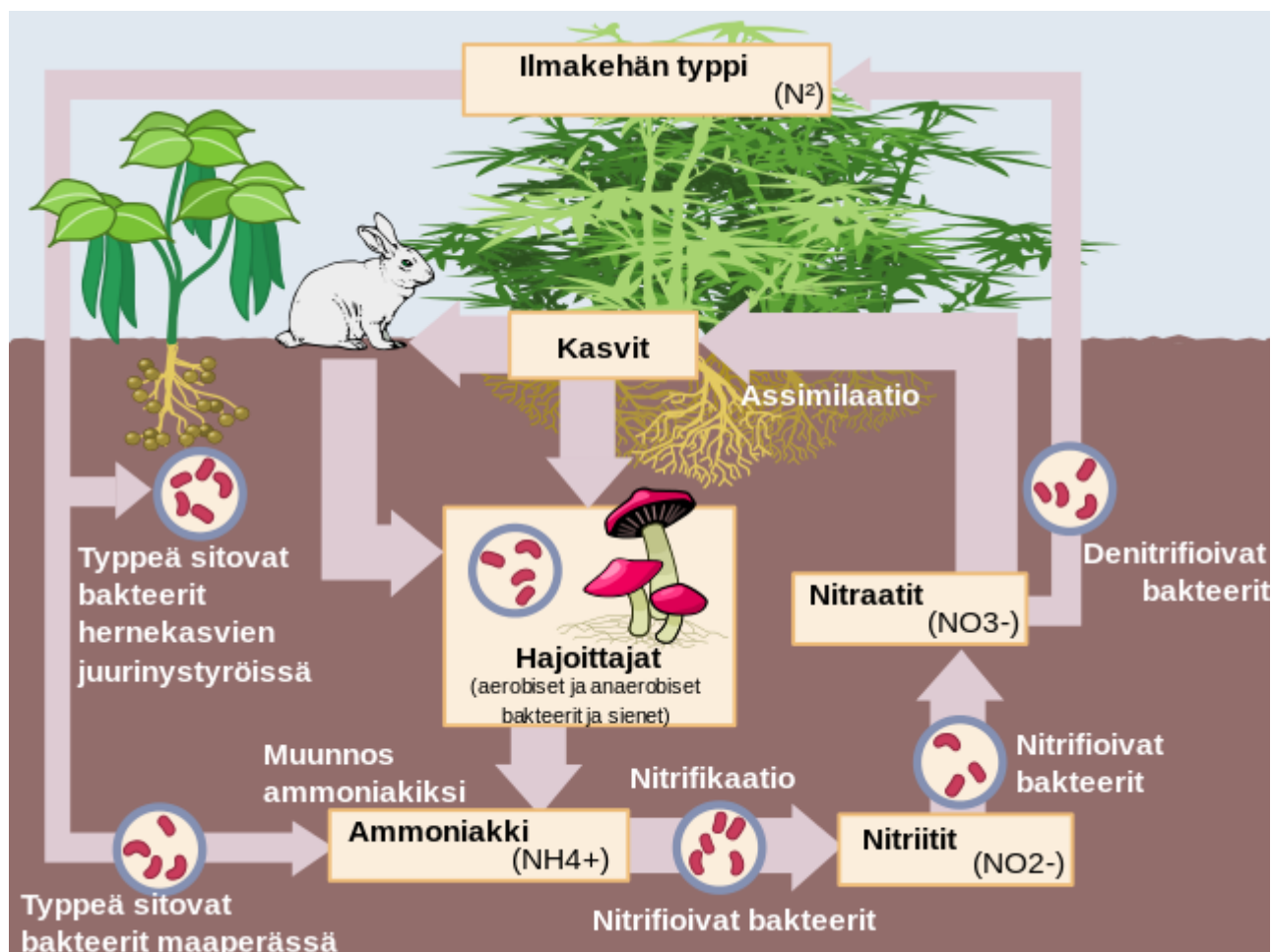
Kuvio 2. Kasvin lehden sisäisen mesofyllin rakenne (Simpson 2006, s.428).

3 PÄÄRAVINTEIDEN MERKITYS KASVILLE

3.1 Typpi

3.1.1 Typen kierto maaperässä

Typen käyttäytyminen maapallolla on täysin erilaista esimerkiksi fosforiin verrattuna. Typpi on luonnossa aktiivisesti kiertävä ravinne, kun taas suurin osa maapallon fosforivarannoista on sitoutuneena maaperään vaikealiukoiseen muotoon (Paasonen-Kivekäs ym., 2016, s.191–204). Typpi kiertää maapallolla ilmakehän, maaperän, vesistöjen, merten sekä kasvien ja muiden eliöiden välillä (Kuvio 3). Suurin osa maapallon typpivarannoista 99,8 % on ilmakehässä N_2 -typpikaasuna. Muita ilmakehässä esiintyviä typpikaasuja ovat typpioksiduuli N_2O , typpimonoksidi NO , typpidioksidi NO_2 ja ammoniakki NH_3 . Typen kiertokululla tarkoitetaan sitä, kun ilmakehässä oleva typpi sitoutuu maaperässä tai vedessä orgaanisiksi yhdisteiksi ja vapautuu erilaisten mikrobiologisten prosessien kautta jälleen takaisin ilmakehään. Kasvit eivät yleensä pysty suoraan hyödyntämään ilmakehän N_2 -typpiä, koska se sisältää kolmoissidoksen, jonka purkaminen vaatii erittäin paljon energiaa. Ainoastaan maaperässä elävät typensitojakasvien bakteerit tai vesistössä elävät syanobakteerit pystyvät entsyymiensä avulla sitomaan ilmakehän N_2 -typpikaasua ja pelkistämään sen soluissaan ammonium-muotoon, jota kasvi pystyy käyttämään metaboliassaan. Vesistössä elävät syanobakteerit tarkoittavat puhekielessä sinileviä. Maaperässä elävät typensitojabakteerit luokitellaan kolmeen eri luokaan symbioottisiin, puolisympioottisiin ja maassa vapaasti eläviin bakteereihin (Paasonen-Kivekäs ym., 2016, s.191–204). Symbioottiset bakteerit elävät typensitojakasvien juurinystyröissä ja puolisympioottiset löyhässä vuorovaikutuksessa kasvien juurten kanssa.



Kuvio 3. Typen kierto luonnossa (Kuva: Johann Dréo, käänäntänyt: Stefan Parviainen, Wikimedia commons, 2007).

Tunnetumpia typensitotjabakteereita ovat palkokasvien juurinyströissä elävät Rhizobium-sukuiset bakteerit (Paasonen-Kivekäs ym., 2016, s.191–204). Symbioottisessa typensidonnassa juurinyströissä elävät bakteerit saavat energiansa isäntäkasvin muodostamista yhteyttämistuotteista ja kasvi saa bakteereilta tarvitsemansa typen. Osa typpeä sitovista bakteerista on energiaomavaraisia, eli ne eivät tarvitse energiaa isäntäkasviltaan. Tällaisia omavaraisia vapaana eläviä bakteereja ovat esimerkiksi tietyt syanobakteerit. Tietyt heinät ja viljat pystyvät hyötymään biologisesta typensidonnasta, vaikka kasvien juurissa ei olisi-kaan juurinyströitä, tällöin on kyseessä puolisyntioottinen typensidonta. Puolisymbioottinen typensidonta tapahtuu kasvien juurten pinnalla tai niiden läheisyydessä elävien bakteerien avulla. Suomessa heinien typensitoina on tavattu Klebsiella-, Enterobacter- ja

Pseudomonas-sukuihin kuuluvia bakteereja (Paasonen-Kivekäs ym., 2016, s.191–204). Erityisesti timoteilla ja juolavehnällä esiintyy tehokasta puolisyntyyttävää typensidontaa, joka voi tuottaa suurimmillaan kymmeniä kilogrammoja hehtaarille vuodessa. Palkokasvien, kuten apilan tai sinimailasen symbioottinen typensidonta voi pohjoismaisissa olosuhteissa tuottaa muutamia satoja kilogrammoja typpeä hehtaarille vuodessa. Maaperässä vapaasti elävät typensitojabakteerit sitovat typpeä muutamasta grammasta muutamaan kymmeneen kilogrammaan hehtaarille vuodessa.

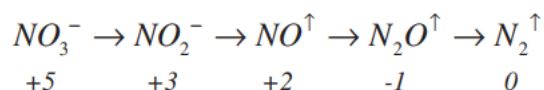
Typpi on yksi yleisimmistä alkuainesta maapallolla ja myös yksi kasvien tärkeimmistä ravinteista (Mia 2015, s.51). Kasvi tarvitsee typpeä esimerkiksi aminohappojen ja proteiinin muodostamiseen. Kasvien tarvitsemista ravinteista tyypellä on suurin vaikutus kasvien kasvuun ja kehitykseen. Kasvinviljelyssä typpi on ravinteista avainasemassa, koska sen vaikutus kasvinviljelyn tuottavuuteen on niin merkittävä (Mia 2015, s.51). Maaperä sisältää maalajin mukaan luonnostaan enemmän tai vähemmän typpeä. Tästä maaperän sisältämästä typestä kuitenkin noin 99 % on sitoutuneena orgaaniseen ainekseen, mikä vaatii mikrobien hajotuksen (Mia 2015, s.51). Tätä hajotusprosessia kutsutaan mineralisaatioksi, minkä myötä orgaanisessa aineksessa sitoutuneena oleva typpi vapautuu kasveille käyttökelpoiseen muotoon.

Mineralisaatiossa tapahtuvia hajoamisreaktioita ovat ammonifikaatio ja nitrifikaatio. (Paasonen-Kivekäs ym., 2016, s.191–204). Mineralisaation mahdollistavat mikrobit sitovat osan vapautuvasta typestä omaan käyttöönsä, eli typpi immobilisoituu. Nettomineralisaatiota syntyy, kun hajotettavassa orgaanisessa aineksessa on typpeä yli hajottajamikrobien oman tarpeen, eli silloin prosessi tuottaa kasveille käyttökelpoista typpeä. Tämän vuoksi hajotettavan orgaanisen aineksen hiili-typpisuhteella on suuri merkitys nettomineralisaation muodostumiselle. Orgaanisen aineksen tulee sisältää riittävästi typpeä suhteessa hiilen määrään. Hiili-typpisuhteen tulee olla alhainen alle 20, eli 20/1. Tällöin typpeä on yli mikrobien oman tarpeen ja muodostuu nettomineralisaatiota. Mineralisaation myötä orgaaniseen ainekseen sitoutunut typpi vapautuu ammoniakkina NH_3 . Maan pH vaikuttaa mineralisaation jälkeiseen typen käyttäytymiseen maaperässä. Alle 7 pH:ssa typpi muuttuu ammoniakista NH_3 ammonium NH_4^+ -muotoon, kun taas hyvin emäksisessä ympäristössä typpi säilyy pääasiassa ammoniakkina NH_3 . Seuraavaksi ammonium NH_4^+ -typpi hapettuu

ensin nitriitiksi NO_2^- , joka hapettuu edelleen nitraatiksi NO_3^- . Tämä reaktio on nimeltään nitrifikaatio.

Nitrifikaatioprosessia ylläpitää kemoautotrofiset bakteerit, jotka käyttävät hiililähteenään hiilidioksidia ja bikarbonaatti-ioneja (Paasonen-Kivekäs ym., 2016, s.191–204). Nitrifikaatioon pystyviä bakteerilajeja on olemassa vain muutamia, joista yleisimmät on ammonium-tyyppiä nitriitiksi hapettava Nitrosomonas ja nitriittiä nitraatiksi hapettava Nitrobacter. Nitrifikaatio voi tapahtua ainoastaan hapellisissa olosuhteissa, joten maan rakenteella on siihen suuri vaikutus. Maan pitää olla rakenteeltaan ilmavaa, että sinne pääsee tarpeeksi happea ja vedenläpäisy toimii. Nitrifikaation toiminnan kannalta maaperä ei saa olla liian hapanta ja lämpötilan tulee olla otollinen. Ammonifikaatio voi puolestaan tapahtua hapellisissa tai hapettomissa olosuhteissa, lähes jäätyneessä maassa ja hyvin happamissa olosuhteissa. Maaperässä tulee olla riittävästi kosteutta, että ammonifikaatio ja nitrifikaatio voivat toimia optimaalisesti. Nitrifikaation kannalta veden täyttämä huokostilavuus maaperässä ei saa nousta yli 60 %:n, koska silloin hapen pääsy maahan vähenee merkittävästi.

Maaperässä oleva nitraattityppi voi myös muuttua kaasumaisiksi typpiyhdisteiksi maassa tapahtuvan bakteeritoiminnan seurauksena (Paasonen-Kivekäs ym., 2016, s.191–204). Tätä reaktiota kutsutaan nimellä denitrifikaatio. Denitrifikaatiobakteerit hajottavat maaperässä olevaa orgaanista ainesta ja ne pystyvät elämään hapellisissa tai hapettomissa olosuhteissa. Orgaanisen aineksen hajottamisen tapahtuessa vähähappisissa olosuhteissa denitrifikaatiobakteerit voivat alkaa käyttämään nitraatin happea soluhengityksessään, jolloin nitraatti alkaa pelkistyä typpikaasuksi. Täydellisessä denitrifikaatiossa nitraatti alkaa pelkistyä asteittain typpikaasuksi valenssiluvulta 5+ valenssiluvulle 0 (Kuvio 4). Täydellistä denitrifikaatiota N_2 -kaasuksi tapahtuu kuitenkin harvoin ja syntyvien kaasujen välinen suhde voi vaihdella paljon. Maaperän olosuhteet vaikuttavat oleellisesti denitrifikaation toteutumiseen. Denitrifikaatiota tapahtuu yleensä enemmän, kun maan happipitoisuus on alhainen. Hapen pääsy maaperään hidastuu tai estyy liiallisen kosteuden ja/tai tiivistymisen seurauksena. Denitrifikaatiota esiintyy enemmän savimaissa kuin karkeammassa kivennäismaissa. Tämä johtuu siitä, että savimaat ovat alttiimpia tiivistymiselle. Otollisimmat olosuhteet denitrifikaatioon on, kun maa on märkää ja lämmintä, se sisältää runsaasti liukoista orgaanista hiiltä ja pH on 6–8.



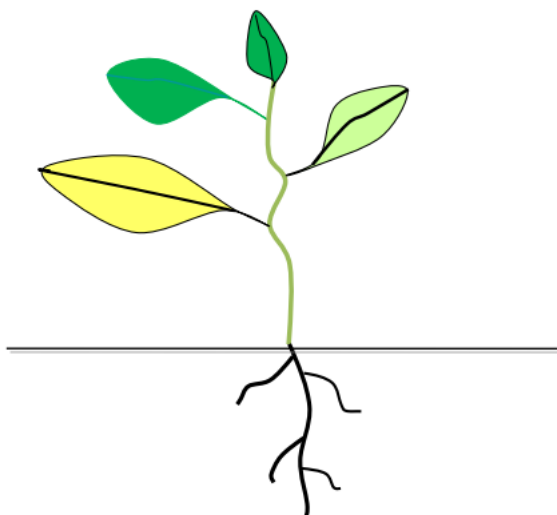
Kuvio 4. Typen pelkistyminen valenssiluvulta 5+ valenssiluvulle 0 (Paasonen-Kivekäs ym., 2016, s.195).

3.1.2 Kasvien typenotto ja puutosoireet

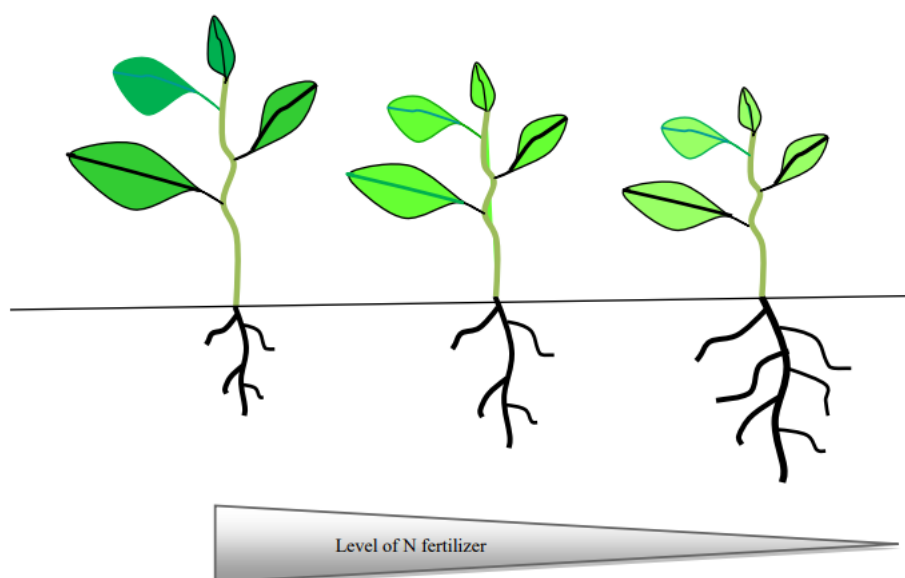
Kasvit ottavat maasta typpeä yleensä kahdessa eri muodossa nitraatti NO_3^- ja ammonium NH_4^+ (Mia 2015, s.53–54). Molemmilla näillä typen muodoilla on omat hyvät ja huonot puolensa. Nitraattityppi on herkkä huuhtoutumiselle, kun taas ammoniumtyppi pystyy kiinnittymään savimineraaleihin, mikä vähentää huuhtoutumista ainakin savipitoisilla maalajeilla. Ammonium-ioni NH_4^+ on positiivisesti varautunut ja se pystyy kiinnittymään negatiivisesti varautuneeseen maahiukkaseen sähköisesti (Paasonen-Kivekäs ym., 2016, s.197). Nitraattitypen imeytyminen kasviin on kasville aina aktiivinen energiaa kuluttava prosessi (Mia 2015, s.53–54). Ammoniumtyppi puolestaan imeytyy kasviin aktiivisesti ja passiivisesti. Passiivinen imeytyminen ei ole energiaa kuluttava prosessi. Ammoniumtyppi parantaa kasvin H_2PO_4^- fosfaattianionin ottoa, mutta vähentää K^+ -, Ca^{2+} - ja Mg^{2+} -anionien ottoa. Nitraattityppi taas parantaa K^+ -, Ca^{2+} - ja Mg^{2+} -anionien ottoa. Ammoniumtyypellä on maaperän pH:ta laskeva vaikutus.

Typellä on ravinteista suurin vaikutus kasvien kasvuun ja kehittymiseen. Sen myötä myös typen puutoksesta aiheutuu paljon haittaa kasville. Kasvien kasvu ja kehittyminen hidastuu, jolloin ne saattavat jäädä kitukasvuiseksi ja kukinta voi myöhästyä (Mia 2015, s.64–67). Typen puutoksessa kasvin kyky sietää bioottisia ja abioottisia stressitekijöitä heikkenee, jolloin se tulee esimerkiksi alttiimmaksi kasvitaudeille. Typen puutoksessa kasvi alkaa käyttämään enemmän energiaa juurten kasvattamiseen, minkä seurauksena juuret kehittyvät enemmän suhteessa kasvin maan päällisiin osiin (Kuva 2). Viljalkasveilla typen puutos aiheuttaa esimerkiksi jyväkoon pienenemistä ja jyvien määrän vähenemistä tähkässä/röyhässä. Sen myötä typellä on ravinteena suuri vaikutus viljelykasvin tuottaman sadon määrään ja viljelyn taloudelliseen kannattavuuteen. Yleisin typen puutoksen oire kasvissa on lehtien vaaleneminen eli kloroosi (Kuva 1). Sen myötä lehtien väri muuttuu usein vaaleanvihreäksi. Vakavassa typen puutoksessa kasvin vanhemmat lehdet voivat muuttua täysin

keltaisiksi ja pudota kokonaan pois (Mia 2015, s.64–67). Kasvin lehtien kääntöpuolelle voi ilmaantua punaista tai violettiä väriä typen puutoksessa, jolloin oireet vastaavat hieman fosforin puutoksen oireita.



Kuva 1. Typen puutoksen aiheuttamia kloroosin oireita kasvin vanhimmissa kasvulehdissä (Mia 2015, s.66).



Kuva 2. Typpilannoituksen vähentyessä kasvi kasvattaa enemmän juuria suhteessa maanpäällisiin osiin (Mia 2015, s.66).

3.1.3 Typpilannoituksen määrä

Vehnän typpilannoitussuositus on 70–120 kg/ha vuodessa, kun satotavoitteena on 4 000 kg/ha (Taulukko 1). Typpilannoituksen määrää voidaan nostaa saavutetun satotason mukaisesti aina 170:een kg/ha asti (Taulukko 2). Nitraattiasetuksen mukaan kevätvehnälle saa kivennäismailla antaa typpeä enintään 170 kg/ha vuodessa, kun taas eloperäisillä mailla maksimi on 130 kg/ha vuodessa (Valtioneuvoston asetus eräiden maa- ja puutarhataloudesta olevien päästöjen rajoittamisesta 1250/2014). Eloperäisillä mailla ja multavilla kivennäismailla typen vapautuminen on suurempaa, jolloin lannoitustarve on vähäisempi. Maan kasvukunnosta huolehtiminen on tärkeää, koska hyvässä kasvukunnossa olevasta maasta vapautuu paremmin ravinteita kasvien käyttöön ja lannoitustarve on vähäisempi. Hyvässä maaperässä kasvit pystyvät hyödyntämään paremmin annettuja lannoitteita ja sen myötä saadaan parempi satovaste viljelyn tuotantopanoksille.

Taulukko 1. Typpilannoituksen enimmäismäärä kg/ha/v eri viljelykasveilla maan multavuuden mukaan ja ympäristötuen sopimusehtojen mukaan tukikaudella 2014–2020 (Yara Suomi, 2021, s.31).

Viljat, öljy- ja palkokasvit sekä sokerijuurikas				
Typpilannoituksen enimmäismäärä kg/ha/v maan multavuuden perusteella				
Kasvi/saavutettu satotaso kg	Vähämultaiset ja multavat maat	Runsasmultaiset maat	Erittäin runsasmultaiset maat	Eloperäiset maat
Ohra ja kaura, seosviljat 4000 kg	100	90	80	60
Kevätvehnä 4000 kg	120	110	100	70
Syysruis syksyllä	30	30	20	20
Syysruis, keväällä 3000 kg	100	90	80	40
Kevätruis 3000 kg Pellava, maissi, öljyhamppu, auringonkukka	90	80	70	50
Syysvehnä, ruisvehnä, spelttvehnä ja syysohra, syksyllä	30	30	30	20
Syysvehnä, ruisvehnä, spelttvehnä ja syysohra, keväällä 4000 kg	120	110	100	70
Muut viljat ja muut seoskasvustot 4000 kg	90	80	70	50
Syysrypsi ja syysrapsi (heinä-elokuussa)	50	50	50	40
Kevätrypsi, kevätrapsi, syysrypsi, syysrapsi ja ruistankio, keväällä 1750 kg, muut peltokasvit	110	100	90	60
Herne, härkäpapu, makea lupiini	45	45	45	30
Sokerijuurikas	140	140	140	120

Taulukko 2. Saavutetun satomäärän perusteella lisättävän typpilannoituksen määrä kg/ha/v ja ympäristötuen sopimusehtojen mukaan tukikaudella 2014–2020 (Yara Suomi, 2021, s.31).

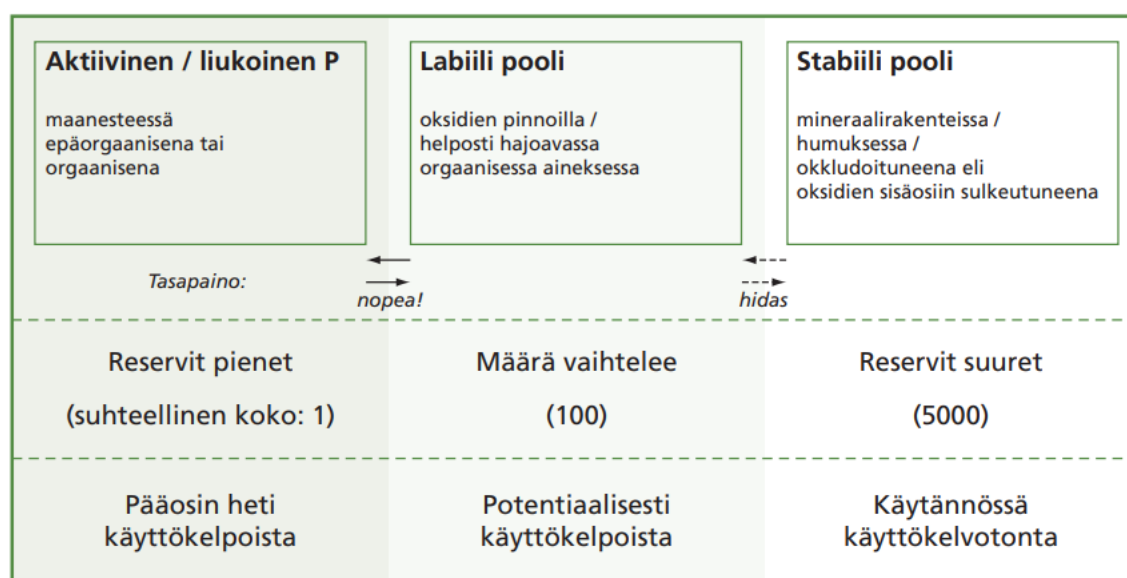
Saavutetun satomäärän perusteella lisättävä typpilannoituksen määrä (kg/ha/v)						
Satotasokorjaus Lisäys kg	0 kg	+ 10 kg	+ 20 kg	+ 30 kg	+ 40 kg	+ 50 kg
Kevätruis	3000	3500	4000	4500	5000	5500
Muut viljat	4000	4500	5000	5500	6000	6500
Kevätkylvöiset öljykasvit	1750	2000	2250	2500	2750	3000

3.2 Fosfori

3.2.1 Fosforin kierto

Suomen maaperä sisältää luonnostaan runsaasti yhtä yleisintä fosforimineraalia nimeltään apatiitti. Apatiitti on kuitenkin erittäin huonosti liukenevaa eikä sen sisältämä fosfori ole

siten suoraan kasveille käyttökelpoista, minkä vuoksi fosforilannoitteiden käyttö maataloudessa on usein tarpeellista (Paasonen-Kivekäs ym., 2016, s.182–190). Maaperän sisältämä fosfori voidaan jakaa kolmeen luokkaan sen biosaatavuuden perusteella 1) aktiivinen eli liukoinen, 2) labiili eli helposti mobilisoituva ja 3) stabiili eli erittäin huonosti käytettävissä oleva fosfori (Kuvio 5). Fosforia rapautuu maaperän fosforivarastoista kasvien käyttöön pieniä määriä, mutta prosessi on aivan liian hidas täyttämään kasvien fosforin tarvetta. Lisäksi tulee huomioida, että rapautumisessa vapautuneesta fosforista vain hyvin pieni osa jää liukoiseksi maanesteeseen, koska vapautunut fosfori pyrkii sitoutumaan nopeasti maaperässä olevien Al- ja Fe-oksidihydroksidien pinnoille. Maaperässä olevat mykorrhizasienet pystyvät joissakin määri liuottamaan fosforia kasvien käyttöön apatiitista ja labiiliin pooliin kuuluvista oksidien hiukkaspinnoilta. Oksidien hiukkaspinnoille sitoutuneen fosforin liukeneminen maaveteen riippuu fosforin sitoutumislujuudesta.



Kuvio 5. Maaperän fosforivarojen luokittelu biologisen käyttökelpoisuuden mukaan, fosfori varantojen määrät eri pooleissa ja poolien välisten reaktioiden nopeudet (Paasonen-Kivekäs ym., 2016, s.183).

Sitoutumislujuus määräytyy sen mukaan, miten täynnä oksidien hiukkaspinnat ovat. Mitä enemmän hiukkaspinnoilla on sitoutunutta fosforia, niin sitä pienempi on sen sitoutumislujuus. Fosforin sitoutuminen on voimakasta happamassa maaperässä ja sen myötä saata- vuutta voidaan parantaa kalkitsemalla (Paasonen-Kivekäs ym., 2016, s.182–190). Kalkitus

vaikuttaa positiivisesti fosforin saatavuuteen monen biologisen ja fysikaalisen mekanismin kautta. Yksi niistä on maan pH:n nousun myötä tapahtuva hiukkaspinnan negatiivisen varauksen kasvu. Toinen on mikrobiologisen aktiivisuuden lisääntyminen, mikä edesauttaa orgaanisen fosforin vapautumista. Kuonakalkit sisältävät liukoisia silikaattianioneja, jotka pyrkivät sitoutumaan oksidipinnoille ja parantavat kilpailullaan fosfaatin saatavuutta. Myös urealla, eli virtsalla on havaittu olevan lyhytaikainen maan pH:ta erittäin korkeaksi nostava vaikutus. Jyrkkä pH:n nousu aiheuttaa maaperässä orgaanisen aineksen liikkeellelähtöä ja sen myötä liukoisien fosforin pitoisuuden on havaittu jyrkästi nousevan. Ureasta johtuva pH:n nousu lisää fosforin liukoisuutta enemmän, kuin kalkitsemalla aikaansaatu pH:n nousu. Urean aikaansaama pH:n nousu on kuitenkin lyhytaikainen, koska ureatypen nitrifikaatio happamoittaa maata vähitellen uudestaan. Aktiivisen ja labiilin fosforipoolin välillä vallitsee pyrkimys tasapainoon (Paasonen-Kivekäs ym., 2016, s.182–190). Esimerkiksi, kun pellolle levitetään lannoitteena fosforia, niin sen myötä maaveden liukoisien fosforin osuus alkaa nousta maaperässä, mikä johtaisi fosforipitoisuuden epätasapainoon näiden kahden poolin välillä. Sen myötä osa lannoitteena annetusta fosforista siirtyy hiukkaspinnoille labiiliin pooliin, mikä johtaa tasapainoon aktiivisen- ja labiilin fosforipoolin välillä. Ajan mittaan labiilia fosforia voi myös okludoitua oksidien huokosiin sisäosiin. Tällöin fosfori poistuu aktiivisesta kierrosta ja siirtyy stabiiliin pooliin, missä se on käytännössä biologisesti käyttökelvotonta.

Maaperässä luontaisesti esiintyvän fosforin määrässä on alueellisia eroja, koska sen esiintyvyyteen vaikuttavat esimerkiksi kallioperän laatu, sekä maan tekstuuri, kehitysaste ja viljelyhistoria (Paasonen-Kivekäs ym., 2016, s.182–190). Karkeat maalajit sisältävät heikommin fosforia kuin hienojakoisemmat maalajit. Fosforipitoisuus vaihtelee myös maaperän eri kerrosten välillä. Pintamaa sisältää enemmän fosforia, kuin alemmat maakerrokset. Koska fosfori on huonosti liikkuva ravinne maassa, on kasvin juurten kehittymisellä suuri vaikutus sen saatavuuteen kasveille. Laajan juuriston avulla kasvit pystyvät ottamaan fosforia laajemmalla alueella maasta. Maan fysikaalisilla ominaisuuksilla on suuri vaikutus kasvien juurten kehittymismahdollisuuksille ja ravinteiden saannille (Paasonen-Kivekäs ym., 2016, s.182–190). Maan tulee olla rakenteeltaan ilmavaa, että juuret saavat happea ja vedenläpäisy toimii. On kuitenkin tärkeää, että maassa on myös varastoituneena vettä kasvien käyttöön. Kasvinviljelyssä fosforilannoituksella pyritään turvaamaan kasvin riittävä fosforin

saanti jo kasvin varhaisessa kehitysvaiheessa, jolloin kasvin fosforin tarve on suurimmillaan.

3.2.2 Kasvien fosforin otto ja puutosoireet

Muiden pääravinteiden tavoin myös fosfori on tärkeä ravinne kasvien kasvulle ja kehitykselle. Fosfori kuljettaa ja varastoi energiaa kasvilla, toimii monien kasvin muodostamien yhdisteiden rakenneosana ja osallistuu kasvin hapettumisreaktioon (Mia 2015, s.72). Näistä ominaisuuksista tärkeimpänä pidetään fosforin kykyä kuljettaa ja varastoida energiaa. Kasvi varastoi fotosynteesistä saatua energiaa fosfaattiyhdisteisiin myöhempää käyttöä varten. Näitä fosfaattiyhdisteitä ovat adenosiinitrifosfaatti (ATP), adenosinidifosfaatti (ADP), adenosiinimonofosfaatti (AMP), guanosiinitrifosfaatti (GTP), uridiinifosfaatti (UTP), sytidiinitrifosfaatti (CTP) (Mia 2015, s.72). Fosfaatti yhdisteisiin varastoitua energiaa kasvi käyttää esimerkiksi tärkkelyksen, sakkaroosin ja selluloosan synteesissä sekä aktiivisessa ravinteiden otossa. Kasvi ottaa tarvitsemansa fosforin maaperästä pääasiassa H_2PO_4^- - ja HPO_4^{2-} -fosfaatti-ioneina, joiden saatavuus riippuu niiden pitoisuudesta maaperässä ja maan pH:sta (Mia 2015, s.69).

Fosforin puutos haittaa kasvin optimaalista kasvua ja kehitystä ja sitä voi esiintyä kaikilla kasveilla. Fosforin puute hidastaa kasvin kasvua, pienentää solujen ja lehtien kokoa sekä vähentää viherhiukkasten aktiivisuutta fotosynteesissä (Mia 2015, s.73–74). Fosforin puutos myös myöhästyttää kasvin kukintaa ja vähentää kukkien määrää, jolla on suuri vaikutus kasvin sadon muodostumiseen. Kasvien fosforin tarve on yksilöllinen ja jotkut kasvit ovat herkempiä puutokselle kuin toiset. Erityisesti porkkana, salaatti, pinaatti, omenat ja karviaiset ovat herkkiä fosforin puutokselle (Mia 2015, s.73–74). Yleensä fosforin puutoksen tunnistaa kasvin vanhemmissa lehdissä esiintyvistä tumman vihreästä tai violetista väristä, mutta joskus fosforin puutoksen oireet saatetaan sekoittaa typen puutokseen. Fosforin puutosta saattaa esiintyä erityisesti huuhtoutumiselle alttiilla maa-alueilla ja myös alhainen maan pH edesauttaa fosforin puutoksen muodostumista. Kylmät sääolosuhteet esimerkiksi keväällä voivat aiheuttaa tilapäistä fosforin puutosta kasvilla (Mia 2015, s.73–74). Fosforin puutosta voidaan ennaltaehkäistä hyvillä viljelykäytännöillä ja huolehtimalla maan kasvukunnosta. Fosforin puutosta ennaltaehkäiseviä toimenpiteitä voi olla

esimerkiksi maan pitäminen kasvipeitteisenä talven yli, maan pH:n ylläpitäminen hyvällä tasolla kalkitsemalla ja pellon vesitalouden toimiminen.

3.2.3 Fosforilannoituksen määrä

Fosforilannoitteiden runsaalla käytöllä on haittapuolensa. On tutkittu, että hyvässä kasvukunnossa ja pidempään viljellyillä pelloilla kasvit pystyvät hyödyntämään tyypillisesti 80–90 % pellole levitetystä fosforista (Plaxton & Lambers 2015, s.4). Sen sijaan hiljattain maatalouskäyttöön raivatuilla maa-alueilla kasvit pystyvät hyödyntämään jopa vain 20 % lannoitteena levitetystä fosforista. Tämän seurauksena ylimääräinen fosfori, jota kasvit eivät ole käyttäneet vuoden aikana, sitoutuu maapartikkeleihin, leviää eroosion mukana tai huuhtoutuu. Fosforin huuhtoutuminen on yksi merkittävä tekijä vesistöjen rehevöitymiselle ja myrkyllisten sinilevien kasvulle. Maatalousmaan fosforivarantojen määrän muutosta arvioidaan fosforitaseella, jossa viljelykasvin sadon ottamasta fosforimäärästä vähennetään peltoon lannoitteena lisätyn fosforin määrä, näin saadaan selville, onko fosforitase positiivinen vai negatiivinen (Paasonen-Kivekäs ym., 2016, s.182–190). Tyypillisesti viljelykasvin sadon ottama fosforimäärä vaihtelee kasvilajin ja satotason mukaan yleensä väillä 10–25 kg/ha. Viljojen fosforilannoitus suositus on 0–34 kg/ha vuodessa satotavoitteen ollessa 4 000 kg/ha (Taulukko 3). Fosforilannoituksen tarve määritetään maanäytteiden perusteella todettavasta fosforin viljavuusluokasta. Fosforin lannoitusmäärää voidaan nostaa porrastetusti saavutetun satotason perusteella (Taulukko 4). Fosforilannoituksen maksimi määrä on viljakasveilla 40 kg/ha vuodessa.

Taulukko 3. Fosforilannoituksen enimmäismäärät kg/ha vuodessa maan viljavuusluokan perusteella ja ympäristötuen sopimusehtojen mukaan tukikaudella 2014–2020 (Yara Suomi., 2021, s.31).

Fosforilannoituksen enimmäismäärät kg/ha/v maan viljavuusluokan perusteella							
Kasvi	Huono	Huononlainen	Välttävä	Tyydyttävä	Hyvä	Korkea	Arveluttavan korkea
Viljat, öljykasvit, palkokasvit	34	26	16	10	5	0	-
Viljat, öljykasvit, palkokasvit lantapoikkeus	34	26	16	15	15	-	-
Sokerijuurikas	63	63	60	43	26	14	5

Taulukko 4. Saavutetun satomäärän perusteella lisättävä fosforilannoituksen määrä kg/ha vuodessa ja ympäristötuen sopimusehtojen mukaan tukikaudella 2014–2020 (Yara Suomi., 2021, s.31).

Saavutetun satomäärän perusteella lisättävä fosforilannoituksen määrä (kg/ha/v)			
Kasvi Lisäys kg	0 kg	+ 3 kg	+ 6 kg
Ruis, satotaso	3000	4000	5000
Vehnä, kaura, ohra, satotaso	4000	5000	6000
Öljykasvit, satotaso	1750	2250	2750

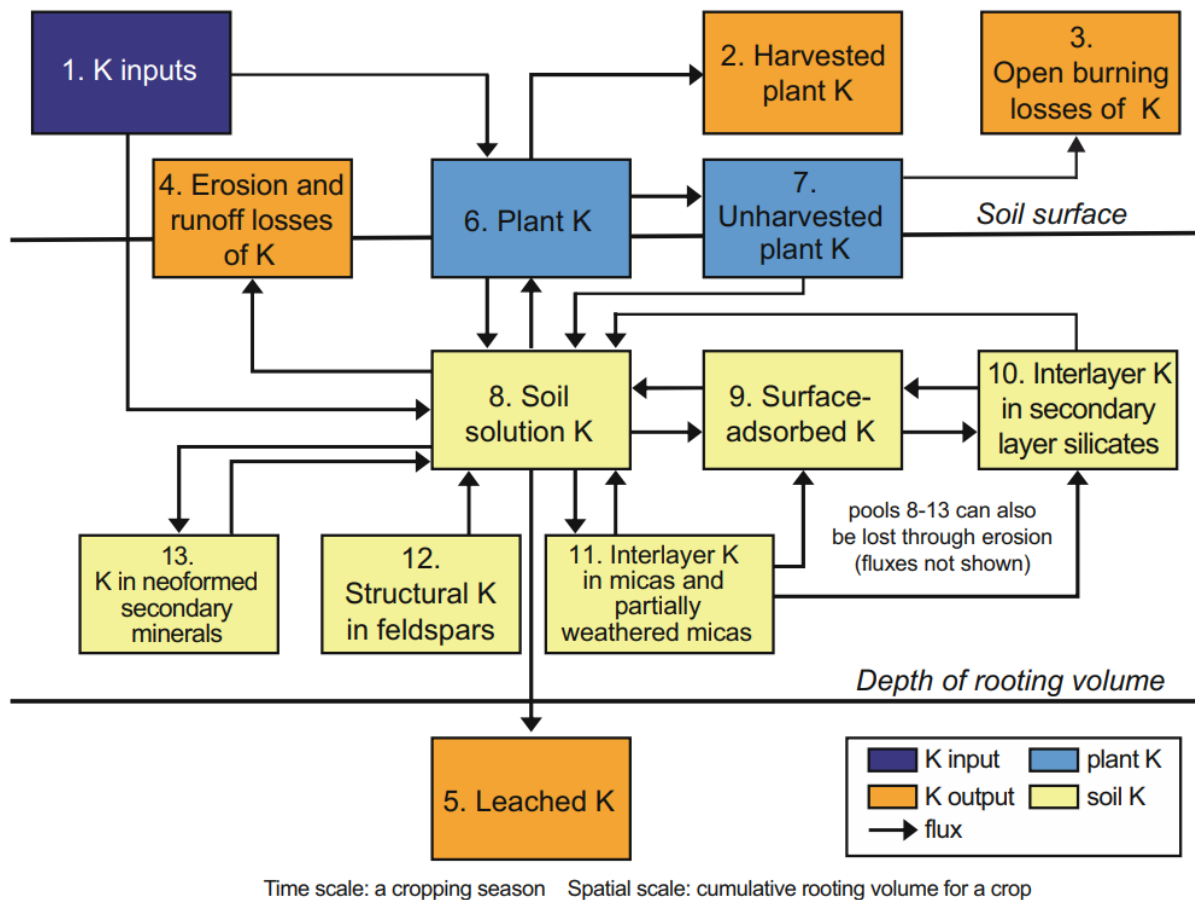
3.3 Kalium

3.3.1 Kaliumin kierto

Kaliumin kiertoa luonnossa kuvataan jakamalla kierron eri vaiheet omiin pooleihin ja kaliumin kiertotavasta näiden poolien välillä (Kuvio 6). Näitä pooleja on yhteensä 13 kappaletta, joista pooli 1 kuvaa kaliumin lisäystä maaperään, poolit 2–5 kaliumin poistumista, poolit 6–7 kasvien sisältämää kaliumia ja poolit 8–13 maaperän sisältämää kaliumia (Murrel ym., 2021, s.2–7). Näiden poolien avulla kuvataan kaliumin kiertoa yhden kasvukauden tai korkeintaan 2–4 vuoden aikana. Kaliumin pitoisuus maaperässä voi lisääntyä monella eri tavalla, kuten orgaanisten tai epäorgaanisten lannoitteiden avulla, sade- tai kasteluvien mukana tai muilta alueilta eroosion tuomana. Kaliumin poistumista maaperästä kuvaavat poolit 2–5 sisältävät kaliumin poistumisen pellolta korjattava sadon mukana, pellolle jääneen kasvimassan hajoamisen ja eroosion ja huuhtoutumisen mukana poistuvan kaliumin. Pooli 6 kuvaa kaikkea kasvin sisältämää kaliumia, sisältäen kaikki kasvin maanpäälliset ja maanalaiset osat. Pooli 7 kuvaa sadonkorjuun jälkeen pellolle jäävän kasvimassan sisältämää kaliumia. Pooli 8 kuvaa maanesteessä liukoisena olevaa kaliumia. Tästä poolista 8 kasvit ottavat kaiken juurten kautta tulevan kaliumin K^+ -ionimuodossa. Pooli 9 kuvaa negatiivisesti varautuneille pinnoille sitoutunutta kaliumia. Näitä pintoja löytyy maaperän orgaanisesta aineksesta, fyllosilikaattimineraaleista, sekä raudan ja alumiinin oksideista.

Pooli 10 kuvaa silikaattimineraalikerrostuman välissä olevaa kaliumia. Silikaattimineraalit ovat muodostuneet kiilteiden ja maasälvän muuntautumisessa. Kaliumin sitoutumislujuudessa mineraalikerrostumien väliin on kuitenkin eroja eri mineraalien välillä. Sitoutumislujuus määrittää, miten helposti kalium vapautuu maaveteen kasvien käytettäväksi ja sen

myötä sillä on vaikutusta kasvien kaliumin saatavuuteen. Pooli 11 kuvaa kiilteiden ja osittain rapautuneen kiillekerrostuman välissä olevaa kaliumia (Murrel ym., 2021, s.2–7). Tärkeimpiä kaliumia sisältäviä kiilteitä ovat biotiitti ja muskoviitti. Kiilteille tyypillistä on, että ne eivät vapauta kaliumia ilman, että niihin kohdistuu kemiallisia tai fysikaalisia voimia. Pooli 12 kuvaa tektosilikaattimineraaleihin kuuluvan maasälvän sisältämää kaliumia. Kalium ei ole kuitenkaan sitoutunut näihin mineraaleihin yhtä tiukasti kuin muut elementit rakenteessa. Sen myötä rakenteessa esiintyvä liukeneminen sallii muiden kationeiden pääsyn rakenteeseen, minkä myötä rakenteessa heikoimmin sitoutuneena oleva kalium siirtyy vapaaksi maaveteen, eli pooliin 8. Pooli 13 kuvaa uudelleen muodostuneita kaliumpitoisia mineraaleja. Kaliumpitoisia mineraaleja muodostuu uudelleen, kun maavedessä oleva kalium (pooli 8) reagoi muiden maaperää sisältävien ionien kanssa. Esimerkki tällaisesta mineraalista on taranakiitti, joka on muodostunut kaliumin ja fosforilannoitteiden sisältämien yhdisteiden reagoimisen seurauksena happamissa olosuhteissa.



Kuvio 6. Kaliumin kiertoa luonnossa kuvataan jakamalla kierron vaiheet 13 eri pooliin (Murrel ym., 2021, s.2)

3.3.2 Kasvien kaliumin otto ja puutosoireet

Kalium osallistuu kasvissa moniin fysiologisiin toimintoihin ja on välttämätön kaikkien elävien solujen toiminnalle (Mia 2015, s.75). Kalium aktivoi entsyymejä, vaikuttaa proteiinisynteesiin, lisää yhteyttämistä ja osallistuu osmoottisen paineen säätelyyn eli veden liikkumiseen kasvissa (Mia 2015, s.77–79). Kaliumin aktivoimilla entsyymeillä on tärkeä rooli kasvin soluissa tapahtuvien kemiallisten reaktioiden muodostumisessa, koska ne tuovat yhteen reaktioissa tarvittavia molekyylejä (Mia 2015, s.77). Kaliumin tiedetään aktivoivan vähintään 60 erilaista tällaista entsyymiä. Kalium myös neutralisoi useita orgaanisia anioneja ja muita yhdisteitä, asettaen niiden pH:n 7 ja 8 väliin. Kasvit ottavat kaliumin maasta K^+ -ionimuodossa ja sen saatavuuteen maaperästä vaikuttaa esimerkiksi maan kosteus ja lämpötila, pH, kationinvaihto kapasiteetti ja savimineraalien tyyppi (Mia 2015, s.76–77).

Kasvien kaliumin ottoon vaikuttaa kasvin geneettiset ominaisuudet, kasvuaste ja haihdutusnopeus. Kaliumin otto tapahtuu pääasiassa massavirtauksena. Kalium ylläpitää vesijännitystä kasvilla osmoottisen paineen säätelyn kautta ja on sen myötä erittäin liikkuva ravinne kasvilla.

Kaliumin puutoksella on merkittäviä haittavaikutuksia kasvin kasvulle ja kehitykselle. Kaliumin puutos aiheuttaa kasvin yhteyttämisen heikkenemistä ja tärkeän ATP-fosfaattiyhdisteen tuotannon vähenemistä (Mia 2015, s.78). Kasvi varastoi yhteyttämisestä saatua energiaa fosfaattiyhdisteisiin, joista yksi on nimeltään ATP. Kun ATP:n tuotanto kasvilla vähenee, myös siitä riippuvaisten prosessien toiminta kasvilla hidastuu (Mia 2015, s.78). Kaliumin puutokselle otollisimpia alueita ovat hiekkaiset maat, joissa kaliumia huuhtoutuu herkästi (Mia 2015, s.80). Kalium sitoutuu pääasiassa savimineraaleihin ja siksi sen huuhtoutuminen hiekkamailla on todennäköisempää kuin savipitoisilla maalajeilla (Mia 2015 s.75). Kaliumin puutoksen tunnistaa yleensä kasvin vanhempiin lehtiin muodostuvasta lehden kärjen kuolemista. Kaliumin puutoksesta kärsivät kasvit ovat myös alttiita vesistressille, koska kalium on tärkeä ravinne veden liikkumiseen kasvilla (Mia 2015, s.80).

3.3.3 Kaliumlannoituksen määrä

Kaliumin lannoitustarve määritetään maanäytteiden perusteella todetun kaliumin viljavuusluokan mukaan. Kaliumin lannoitustarpeessa huomioidaan myös olkien tai muiden kasvijätteen sisältämä kalium. Näiden tietojen pohjalta kaliumin lannoitustarve asettuu välille 10–90 kg/ha vuodessa (Taulukko 5).

Taulukko 5. Kaliumin lannoitusmäärät viljoilla viljavuustutkimuksen mukaan kg/ha vuodessa ja ympäristötuen sopimusehtojen mukaan tukikaudella 2014–2020 (Yara Suomi, 2021, s.30).

Kaliumin käyttö viljoilla viljavuustutkimuksen mukaan, kg/ha						
	Viljavuusluokka					
	Huono	Huononlainen	Välttävä	Tyydyttävä	Hyvä	Korkea
Viljat, öljykasvit, herne						
▪ oljet peltoon	60	50	30	20	10	
▪ oljet korjattu	90	70	50	40	20	10
▪ suojavilja	90	70	50	40	20	10

4 ERILAISIA LANNOITEMUOTOJA

4.1 Väkilannoitteet

4.1.1 Yleistä väkilannoitteista

Teollisten väkilannoitteiden avulla on pystytty vastaamaan maailmanlaajuisesti kasvavaan ruoan tarpeeseen, koska ne ovat mahdollistaneet suuren nousun viljelykasvien satotasoissa (López-Valdez & Fernández-Luqueno, 2014, s.4–5). Väkilannoitteiden avulla on myös pystytty välttämään viljelysmaiden typpipitoisuuden laskua. Kasveille käyttökelpoisen typen määrä maaperässä alkaa laskea, jos typpeä ei lisätä korvaamaan sadon mukana poistunutta typpeä ja sama pätee myös muiden ravinteiden kohdalla. Typpipitoisuuden lasku johtaisi asteittain myös orgaanisen aineksen vähenemiseen maaperässä. Väkilannoitteet aiheuttavat muutoksia myös maaperän mikrobiologisiin toimintoihin ja niiden liiallinen käyttö aiheuttaa ravinteiden huuhtoutumista. Väkilannoitteiden valmistamisesta aiheutuu paljon päästöjä ilmakehään, maaperään ja vesistöihin, koska niiden valmistuksessa käytetään fossiilisia polttoaineita.

Tällä hetkellä väkilannoitteiden valmistuksesta aiheutuu maailmanlaajuisesti 717 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia kasvihuonekaasu päästöjä (International fertilizer association, 2022, s.4–15). Päästöjen vähentäminen on tällä hetkellä yksi suurimmista prioriteeteista mineraalilannoitteita valmistavassa teollisuudessa. Vuonna 2050 päästöjen pitäisi olla 69–72 % nykyistä pienemmät, kun huomioidaan kaikki tällä hetkellä tiedossa olevat keinot valmistuksesta ja käytöstä aiheutuvien päästöjen vähentämiseen. Maanviljelijät pystyvät vähentämään väkilannoitteista aiheutuvia päästöjä kiinnittämällä huomiota ravinteiden käytön tehokkuuteen. Typenkäytön tehokkuutta mitataan ”nitrogen use efficiency” (NUE) laskentamenetelmällä. Menetelmässä verrataan kasvien sadon mukana poistuneen typen määrää viljelyalueelle tulevaan kokonaistypen määrään vuositasolla. Kokonaistypen määrään lasketaan mineraali- ja orgaanisen lannoitteiden typpi, biologinen typensidonta ja ilmakehästä tuleva laskeuma. Lannoituksessa on tärkeää, että ravinteita annetaan kasvin tarpeeseen nähden oikea määrä ja oikea-aikaisesti. On arvioitu, että maailman viljelysmaista noin 85

%:lla esiintyy typen puutosta, 73 %:lla fosforin puutosta ja 55 %:lla kaliumin puutosta (International fertilizer association, 2023).

Suurin osa teollisista typpilannoitteista valmistetaan ja käytetään kehitysmaissa. Kehittyneissä maissa typpilannoitteiden tuotanto- ja käyttömäärät ovat laskeneet tasaisesti vuosien 1980–2010 välillä (Taulukko 6). Kehitysmaissa trendi on ollut päinvastainen, ja siellä lannoitteiden tuotanto- ja käyttömäärät ovat kasvaneet moninkertaisiksi saman ajanjakson aikana. Eri maanosien välillä on eroja siinä, mitä typen muotoa lannoitteena käytetään. Maailmanlaajuisesti eniten käytetty typpilaatu on urea ja sen käyttö on suurinta Etelä-Amerikassa, Oseaniassa ja monissa Aasian maissa, kuten Kiinassa ja Intiassa. Euroopassa yleisimmin käytettäviä typpilaaatuja ovat kalsium-ammoniumnitraatti (CAN) ja ammonium-nitraatti (AN). Pohjois-Amerikassa ammoniakki, typpiliuokset ja urea ovat yleisimmin käytettäviä typpilaaatuja. Suomessa NPK-ravinteiden käyttömäärissä laskeva trendi on jatkunut myös vuosina 2000–2021 (Taulukko 7). Suomessa käytettävien väkilannoitteiden tyyppi on yleensä ammonium- ja/tai nitraattimuodossa (Alakukku ym., 2009, s.40–44). Ammonium- ja nitraattimuodossa oleva typpi on nopeavaikutteista, koska se on kasveille suoraan käyttökelpoista heti maaveteen liuettuaan. Amidityppi eli urea on ammonium- ja nitraattityppeä hidasliukoisempaa, koska se muuttuu maaperässä ensin ammoniumtypeksi ennen kuin se on kasveille käyttökelpoista.

Taulukko 6. Typen tuotanto- ja käyttömäärät kehittyneissä ja kehitysmaissa vuosina 1980–2010 ((López-Valdez & Fernández-Luqueno, 2014, s.7).

Developed Countries (ton nutrients)							
	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980
Consumption	31,056.5	28,979.8	29,116.6	29,562.7	35,864.8	39,119.9	36,376.4
Production	37,680.4	37,049.5	36,906.6	38,782.7	36,689.7	46,279.4	44,278.1
Developing countries (ton nutrients)							
	2010	2005	2000	1995	1990	1985	1980
Consumption	73,195.5	63,947.3	52,953.1	48,661.9	40,912.3	30,930.2	24,116.3
Production	71,488.4	60,144.7	49,716.9	43,055.9	35,274.0	26,477.8	18,672.4

Source: IFA, 2013.

Taulukko 7. NPK-ravinteiden käyttömäärät Suomessa vuosina 2000–2021 (International fertilizer association, IFASTAT.org).

Vuosi	2021	2015	2010	2005	2000
Typpi (N)	133	148	159	158	167
Fosfori (P)	23	21	28	45	52
Kalium (K)	36	37	41	67	80

Teollisten väkilannoitteiden sisältämä typpi saadaan ilmasta, mutta muut ravinteet ovat peräisin maaperän malmista (Alakukku ym., 2009, s.40–44). Esimerkiksi fosfori on peräisin maaperän apatiitista ja kalium maaperän kaliumsuoloista. Maaperästä louhittu malmi rikastetaan, minkä ansiosta sen käytettävyys paranee ja ravinnepitoisuus kasvaa.

4.1.2 Ravinnepitoisuus ja levitysmenetelmät

Kasvit ottavat ravinteita maasta epäorgaanisessa muodossa, joko anioneina tai kationeina (Yara Suomi, 2021, s.15). Mineraalilannoitteissa ravinteet ovat valmiiksi epäorgaanisessa muodossa ja siten heti kasveille käyttökelpoisia. Jos lannoitteena käytetään karjanlantaa tai muuta orgaanista lannoitetta, on lannoitusta hyvä täydentää mineraalilannoitteella turvaamaan kasvin ravinteiden saantia etenkin kasvukauden alussa, koska ravinteiden vapautumiseen orgaanisista lannoitteista vaikuttaa maaperän lämpötila ja kosteus. Viljojen lannoittamiseen löytyy kattava valikoima lannoitteita erilaisiin lannoitustarpeisiin (Yara Suomi, 2021, s.80). Markkinoilta löytyy NPK-lannoitteita, joissa on typen lisäksi myös fosforia ja kaliumia. On myös typpilannoitteita, jotka eivät sisällä lainkaan fosforia ja vain vähän kaliumia. Lannoitteiden sisältämä typpi on nitraatti- ja ammoniummuodossa, fosforista 60 % on vesiliukoista ja 40 % sitraattiliukoista. NPK-lannoitteista on saatavilla myös hivenravinteita sisältäviä lannoitteita. Markkinoilta löytyy lisäksi kloorivapaita lannoitteita, jotka ovat tarkoitettu ensisijaisesti juuresten, vihannesten, hedelmien ja marjojen viljelyyn. Niiden hivenravinnepitoisuus on monipuolisempi kuin NPK-lannoitteissa, typpipitoisuus on alhaisempi, fosforipitoisuudessa ei ole eroa ja kaliumpitoisuus on suurempi.

Sijotuslannoitus on yleisin Suomessa käytettävä lannoitusmenetelmä (Alakukku ym., 2009, s.71–74). Sijotuslannoituksessa lannoite sijoitetaan riviin kasvin juurten lähelle. Se parantaa kasvien ravinteiden saantia, etenkin fosforin, joka on huonosti liikkuva ravinne maaperässä. Sijotuslannoituksella saavutetaan parempi ravinteiden hyväksikäyttöaste esimerkiksi hajalevitykseen verrattuna. Pintalevitystä käytetään pääasiassa kasvukauden aikaisiin lisälannoituksiin. Pintaan levitetyt ravinteet eivät liukene kasvin käytettäväksi ilman vettä ja tämä tulee huomioida levitysjankohdassa. Lannoitteen pintalevitys kannattaa ajoittaa juuri ennen sadetta, että ravinteet alkavat mahdollisimman nopeasti liueta kasvin käytettäväksi. Pintaan voidaan levittää esimerkiksi typpeä, kaliumia ja rikkiä, mutta fosfori tulee antaa aina sijotuslannoituksena, koska se on huonosti liikkuva ravinne maaperässä. Lisälannoituksessa apuna voidaan käyttää satelliittikuvia hyödyntäviä sovelluksia, joiden avulla nähdään lohkon kasvuston biomassan määrä paikkakohtaisesti (Yara Suomi, 2021, s.6–7). Biomassakarttojen avulla voidaan arvioida typen lisälannoitustarvetta lohkon eri osissa ja sen pohjalta laatia lannoituskarttoja. YaraAtfarm on esimerkki tällaisesta sovelluksesta.

4.2 Karjanlanta

4.2.1 Ravinnepitoisuus

Lanta on erittäin monipuolinen ja ravinnerikas lannoite, koska se sisältää kaikkia niitä pää- ja hivenravinteita, joita eläimet syömästään rehusta saavat. Lannan ravinnepitoisuuteen vaikuttaa eläinten ruokinnassa käytettävien rehujen ravinnepitoisuudet, eläimen kasvuaste ja rehun hyväksikäyttökyky. Esimerkiksi mitä enemmän sikojen rehu sisältää valkuaista ja fosforia, sitä suurempi on myös lannan typpi- ja fosforipitoisuus (Alakukku ym., 2009, s.5–21). Eläinten ravinnontarve muuttuu eri kasvunvaiheissa ja sen myötä myös lannan ravinnepitoisuus muuttuu. Esimerkiksi porsailla syödyn rehun hyväksikäyttö on tehokkaampaa kuin emakoilla ja sen myötä porsaiden lanta sisältää suhteessa vähemmän typpeä ja fosforia kuin emakoiden lanta.

Kasvit pystyvät ottamaan maaperästä vain maaveteen liuenneita ravinteita. Lanta sisältää sekä liukoisessa muodossa olevia ravinteita että orgaanisessa aineksessa sitoutuneena olevia ravinteita (Alakukku ym., 2009, s.5–21). Virtsan sisältämä typpi muuttuu

maaperässä hyvin nopeasti liukoiseen muotoon. Sonnan sisältämä typpi on puolestaan sitoutuneena orgaaniseen ainekseen ja vaatii mikrobien hajotuksen. Orgaanisessa aineksessa sitoutuneena oleva typpi vapautuu kasveille käyttökelpoiseksi mineralisaation myötä. Mineralisaatiota tapahtuu jo kuivalannan varastoinnin aikana ja siihen vaikuttaa varastointitapa, kuivikkeet ja olosuhteet. Lannan sisältämästä fosforista noin 15 % on orgaanisessa muodossa ja loput 85 % on epäorgaanisessa muodossa, eli kasveille heti käyttökelpoista. Fosforin liukoisuuteen vaikuttaa eläinlaji, eläimen ikä, lannan käsittely ja varastointi. Maaperän fosforipitoisuudella on vaikutusta lannan sisältämän vesiliukoisen fosforin käyttäytymiseen maassa. Jos maaperän fosforipitoisuus on alhainen, lannoitteena lisättyä epäorgaanista fosforia sitoutuu hiukkasten vaihtopinnoille ja vain osa jää maaveteen liukoiseen muotoon. Vastaavasti jos maaperän fosforipitoisuus on korkea, suurin osa lisätystä fosforista jää maaveteen liukoiseen muotoon ja on myös alttiina huuhtoutumiselle. Lannan sisältämää kaliumia voidaan pitää väkilannoitekaliumin veroisena, koska se on lähes täysin vesiliukoista ja sen käyttökelpoisuus on hyvä.

Lannan sisältämän ammoniumtyypen määrään ja käyttökelpoisuuteen vaikuttavat lannan varastointi, käsittely ja levitysmenetelmät (Alakukku ym., 2009, s.5–21). Merkittävimpänä vaarana näiden eri vaiheiden aikana on typen haihtuminen ammoniakkinä. Kuivalannan varastoinnin aikana tapahtuva kompostoituminen voi aiheuttaa typen sitoutumista orgaaniseen ainekseen, jolloin liukoisen typen määrä lannassa vähenee. Huuhtoutumiselle alttiin nitraattityypen määrä lannassa voi kuitenkin lisääntyä kompostoitumisen seurauksena. Lannalla on positiivinen vaikutus maaperän ravinnevarojen vapautumiseen, koska sen sisältämä orgaaninen aines aktivoi maaperän mikrobitoimintaa. Mikrobit tuottavat hiilidioksidia ja orgaanisia happoja, jotka liuottavat maaperään pidättyneitä ravinteita. Eri eläinten lannat sisältävät tietyn määrän neutraloivaa kalkkia, joka pyrkii nostamaan maan pH:ta. Toisaalta ammoniumtyypen muuttuminen nitraatiksi, eli nitrifikaatio, taas laskee maan pH:ta. Näin ollen lannan levitys ei juurikaan aiheuta muutosta maan pH:ssa.

Lannalla pystytään yleensä tyydyttämään kasvin fosforintarve, mutta ei typpentarvetta (Alakukku ym., 2009, s.25). Lanta sisältää paljon fosforia ja kaliumia suhteessa typen määrään. Tämän takia lantaa käytettäessä fosforilannoituksen enimmäismäärän raja tulee vastaan ennen, kuin saavutetaan kasvin tarpeeseen nähden riittävä typpilannoitustaso. Täydennyslannoittaminen väkilannoitteella on suotavaa myös sen takia, että lannan

sisältämän typen vapautuminen on niin riippuvaista levityksen ajankohdasta, menetelmästä ja tasaisuudesta. Väkilannoitteella pystytään turvaamaan kasvin typensaantia vaihtelevissa olosuhteissa. Lantojen ravinnepitoisuuksissa per/m³ on eroja eri eläinten välillä (Taulukko 8). Eroa on myös lietelannan ja kuivikelannan sisältämän typen määrässä ja koostumuksessa. Kuivikelantojen sisältämän kokonaistypen määrä on suurempi saman eläinlajin lietelantaan verrattuna. Liukoisen typen osuus kuivikelanassa on kuitenkin pienempi kuin lietelannassa.

Taulukko 8. Erialaisten lantojen sisältämien ravinteiden taulukkoarvot (Yara Suomi., 2021, s.27).

Lannan sisältämien ravinteiden taulukkoarvot				
Lantalaji	Liukoinen typpi kg/m ³	Kokonaistyyppi kg/m ³	Kokonaisfosfori kg/m ³	Kalium kg/m ³
Naudan kuivikelanta	1,1	4,0	1,0	3,2
Naudan lietelanta	1,7	2,9	0,5	2,9
Naudan virtsa	1,5	2,5	0,1	4,5
Sian kuivikelanta	1,2	4,6	2,8	2,8
Sian lietelanta	2,2	3,4	0,8	1,9
Sian virtsa	1,3	2,0	0,2	1,5
Lampaan ja vuohen kuivikelanta	1,0	4,9	1,3	6,5
Hevosen kuivikelanta	0,4	2,6	0,5	2,0
Kanan kuivikelanta	4,2	9,4	5,6	4,5
Broilerin kuivikelanta	2,7	8,7	3,6	4,5
Kalkkunan kuivikelanta	3,2	8,0	4,4	6,9
Ketun kuivikelanta	1,4	6,5	12,7	1,2
Minkin kuivikelanta	0,9	5,2	12,1	1,3

Ympäristökorvauksen sitoimisehtojen taulukkoarvot. Kaliumarvot keskiarvoja näytteistä, ei tuen ehto.

4.2.2 Levitysmenetelmät

Lietelantaa voidaan levittää peltoon neljällä eri menetelmällä: hajalevitys, letkulevitys, sijoituslevitys ja vetoletkulevitys. Eri levitysmenetelmien välillä on eroja esimerkiksi työn sujuvuudessa, pellon tiivistymisen välttämiseksi, levitystasaisuudessa, ravinteiden haihtumisessa ja ravinteiden saatavuudessa kasveille (Alakukku ym., 2009, s.75–76). Hajalevityksessä lanta levitetään pellon pintaan lietevaunut perässä olevan lietesuihkun hajotuslevyn avulla. Pintalevityksessä suurimpana riskinä on typen haihtuminen ammoniakkinä. Muokattulle maalle levittäminen kuitenkin vähentää typen haihtumisen riskiä merkittävästi, koska muokattu maa imee lietteen tehokkaasti itseensä. Varmin keino typen haihtumisen

välttämiseksi on lietteen multaaminen mahdollisimman pian levityksen jälkeen. Hajalevityksessä on päällekkäisajon tarve, että levitysjäljestä saadaan mahdollisimman tasainen. Hajalevitysmenetelmän levitystasaisuus ei kuitenkaan ole yhtä tasainen kuin esimerkiksi letku- ja sijoituslevitysmenetelmillä. Sääolosuhteilla on merkittävä vaikutus siihen, miten herkästi typpeä haihtuu lannanlevityksen yhteydessä. Lämmin ja tuulinen sää lisää haihtuntaa, kun taas sateinen tai kostea sää vähentää haihtumista.

Letkulevitysmenetelmässä lanta levitetään pellon pintaan nauhamaisesti lietevaunun perässä olevan puomien ja niistä roikkuvien letkujen avulla. Puomista roikkuvat letkut laahavat maanpintaa pitkin ja levittävät lannan tasaisesti nauhaan noin 30 cm välein. Letkulevitys on hajalevitystä parempi vaihtoehto etenkin, jos lantaa levitetään viljan oraille tai nurmille, koska se on hellävaraisempi (Alakukku ym., 2009, s.76–77). Nurmipelloilla myös rehun hygienian säilyminen parempana, kun lanta pyritään levittämään kasvien tyvelle. Kasvustoon levitettäessä myös typen haihtuminen on merkittävästi vähäisempää hajalevitykseen verrattuna, noin 30–40 %. Paljaalle maalle levitettäessä lanta tulee kuitenkin yhtä lailla mullata, kuten hajalevityksessä. Työleveys letkulevityksessä voi olla jopa 24 m, mutta Suomen olosuhteissa usein 16 m saattaa olla riittävä työleveys. Letkulevitysjärjestelmän jakolaitteisto on nykyään usein varustettu silppuavilla terillä, jotka silppuavat lietteen seassa olevia oljenpätkiä tai muuta orgaanista ainesta. Näin vältetään levitysputkien tukkeutumista, jotka ovat läpimitaltaan vain 30–50 mm.

Sijoituslevityksessä lanta levitetään maahan 8–10 cm syvyyteen kiekkovantaiden tai jousipiikkivantaiden tekemään uraan. Menetelmän hyviä puolia on, että lanta sijoitetaan optimaaliseen syvyyteen kasvien juurten ravinteiden oton kannalta, lisäksi levityksestä syntyvä hajuhaitta ja typen haihtuminen vähenee merkittävästi eikä erillistä multausta välttämättä tarvita (Alakukku ym., 2009, s.77–78). Hyvin tehty sijoituslevitys vähentää typen haihtumisen lähes nollaan, mutta huonoimmillaan typen haihtuminen on samaa luokkaa kuin letkulevityksessä. Sijoituslevitys vähentää myös ravinteiden pintahuhtoutumisen riskiä, erityisesti fosforin. Pellon pintakerroksen fosforipitoisuus nousee fosforin pintalevityksen seurauksena, jolloin se on alttiina huuhtoutumiselle. Tämän takia sijoituslevitys on hyvä menetelmä etenkin nurmille.

Vetoletkulevitysmenetelmässä lanta pumpataan letkuja pitkin traktorin perässä vedettävään levittimeen. Levitysyksikkö voi olla toimintaperiaatteeltaan hajalevitin, letkulevitin tai sijoituslevitin (Alakukku ym., 2009, s.72–73). Lanta pumpataan lantavarastosta letkuja pitkin pellon reunaan ja siitä edelleen traktorin perässä olevaan levittimeen. Sen myötä menetelmästä saadaan suurin hyöty, kun levitys tapahtuu mahdollisimman lähellä lantavarastoa, korkeintaan 2 km etäisyydellä. Suuri lohkokoko on eduksi tälle menetelmälle, mutta lohkokolla mahdollisesti olevat esteet, kuten sähkötolpat, vaikeuttavat levittämistä. Vetoletkulevityksessä käytettävä levityskalusto on suhteellisen kevyt perinteiseen lietevaunuun verrattuna ja sen myötä riski pellon tiivistymiseen on pienempi.

Kuivalanta levitetään aina hajalevityksenä pellon pintaan siihen tarkoitetulla kuivalannan levitysvaunulla. Nykyaikaisissa kuivalantavaunuissa levitystarkkuus on huomattavasti parantunut (Alakukku ym., 2009, s.79). Erityisesti tarkkuuslevittimillä päästään tasaiseen levitystarkkuuteen. Tarkkuuslevittimessä on murskaintelat, jotka silppuavat lantaa tasalaatuisemmaksi ennen kuin se menee koneen levitinlautasille, jotka levittävät lannan peltoon. Kivalannan ravinteiden saatavuuden kannalta on tärkeää mullata lanta mahdollisimman pian levityksen jälkeen. Silloin maan mikrobit alkavat hajottamaan lantaa, jolloin ravinteita vapautuu kasvien käyttöön. Suosimalla kevätlevitystä ja lannan multaamisella vähennetään lannan ravinnepäästöjä.

4.3 Viherlannoitusnurmi

4.3.1 Hyödyt viljelykierrossa

Monipuolinen viljelykierto on kasvinviljelyn perusta, jonka pohjalta viljelyä tulee suunnitella. Monipuolinen viljelykierto on tehokas tapa vähentää rikkakasvipainetta, kasvitautien- ja tuholaisten esiintymistä (Kleemola 2013, s.2). Viherlannoitusnurmi on hyvä lisä viljelykiertoon erityisesti kaikille kasvinviljelytiloille, joilla ei muuten viljeltäisi nurmea. Viherlannoitusnurmi parantaa maan rakennetta, sitoo typpeä ja nostaa ravinteita syvemmältä maasta muokkauskerrokseen. Viherlannoitusnurmi tuottaa suuren biomassan peltoon, mikä hajotessaan lisää maan multavuutta. Lisääntynyt multavuus parantaa maan vedenpidätyskykyä, ravinteikkuutta ja puskuroi pH:n vaihtelua. Suurin typpilannoitushyöty monivuotisilla suojaviljaan perustetuilla viherlannoitusnurmilla saavutetaan jo ensimmäisenä

varsinaisena viherlannoitusvuotena (Känkänen 2014, s.4). Maan rakennetta parantava vaikutus sen sijaan lisääntyy, kun nurmen annetaan kasvaa vähintään kaksi vuotta. Viherlannoitusnurmen siemenseoksissa käytettävät syväjuuriset kasvit, kuten puna-apila, sinimailanen, valkomesikkä tai ruokonata tunkeutuvat syvällä maahan jättäen juurikanavia, mikä parantaa maan veden läpäisykykyä, ilman kulkeutumista maaperään ja satokasvien juurten kasvua tulevana vuosina (Kleemola 2013, s.2). Syväjuuriset kasvit myös nostavat ravinteita muokkauskerrokseen syvemmältä maaperästä.

Viherkasvuston typpipitoisuudella on vaikutusta kasvien käyttöön vapautuvan typen määrään (Känkänen 2014, s.19–21). Kasvin maanpäällisten osien typpipitoisuus määritetään mittaamalla kasvustonäytteen kuiva-aine pitoisuus, josta voidaan määrittää sen typpipitoisuus. Typpipitoisuuden ollessa yli 1,7 % kasvusto sisältää typpeä yli hajottajamikrobien tarpeen, jolloin typpeä vapautuu kasvien käyttöön, eli syntyy nettomineralisaatiota. Puna-apilan ja mailasen maanpäällisten osien typpipitoisuudeksi on kokeissa mitattu 2,5–3,5 %. Toisaalta menetelmä on hieman kyseenalainen, koska monivuotisilla viherlannoitusnurmillä on viljelykokeiden mukaan havaittu olevan merkittävä viljasadon määrää nostava vaikutus, vaikka vihermassan typpipitoisuus olisi ollut 1,7 % tai jopa vähän alle. Suojaviljaan perustetun monivuotisen puna-apilaa sisältävän nurmen typpilannoitusvaikutus on suurempi kuin keväällä perustetun yksivuotisten apilanurmen (Känkänen 2014, s.19–21). Hyvin palkokasvipitoisesta viherlannoitusnurmesta saatavan typpihyödyn on laskettu olevan noin 70 kg/ha, ensimmäiselle satovuodelle nurmen jälkeen. Toisena satovuonna monivuotisen viherlannoitusnurmen jälkeen typpi hyöty on vielä noin 20 kg/ha. Helsingin yliopiston ja maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen tutkimuksissa on puhtaan palkokasvukasvuston mitattu sitovan typpeä ilmasta jopa 150–200 kg/ha, tästä ainakin puolet vapautuu seuraavan satokasvin käyttöön (Kleemola 2013, s.5).

4.3.2 Perustaminen

Viherlannoitusnurmen menestymistä ajatellen peltolohkon tulee olla kasvukunniltaan vähintään kohtuullisessa kunnossa. Maaperän tulee sisältää tasapainoisesti kaikkia ravinteita, lisäksi pH:n ja kuivatuksen tulee olla kunnossa (Kleemola 2013, s.9). Toimiva kuivatus on tärkeä, koska useimmat nurmikasvit eivät siedä liiallista märkyyttä. Maan pH:lla on vaikutusta typensitobakteerien toimintaa. Typensitobakteerien toiminnan kannalta

optimaalinen pH-luku on 6 tai vähän sen yli. Alle 5,5 pH:ssa typensitobakteerien toiminta heikkenee selvästi ja sen myötä myös viherlannoitusnurmella tavoiteltava lannoitusvaikutus heikkenee.

Yleisin tapa perustaa monivuotinen viherlannoitusnurmi on kylvö suojaviljaan kesanto-vuotta edeltävänä vuotena. Puhtaan nurmikasvuston perustamisen ongelmana saattaa olla pintamaan liiallinen kuivuminen kylvön jälkeen, minkä myötä nurmisiemenet itävät heikosti (Kleemola 2013, s.9–12). Erityisesti savimailla kylvö suojaviljaa on todettu varmimmaksi tavaksi perustaa nurmikasvusto. Suojaviljaan perustettavan viherlannoitusnurmen etuna on, että nurmikasvit ehtivät kasvattamaan vahvan juuriston ennen talvea ja ovat sen myötä valmiita lähtemään kasvuun heti aikaisin keväällä. Kasvukausi on pidempi kevätkylvöiseen nurmeen verrattuna ja sen myötä lannoitusvaikutus, ja maata parantava vaikutus ovat suuremmat. Suojaviljaan perustettaessa nurmisiemenseokseen tulee valita monivuotisia lajeja, jotka talvehtivat talven yli. Satokasvin kylvösiemen määrää voidaan vähentää 10–20 %, että aluskasviksi kylvetty nurmi saisi riittävästi valoa. Pitää kuitenkin varoa, että satokasvin kasvusto ei jää liian harvaksi, jolloin aluskasvit voivat kasvaa liian reheviksi ja hankaloittaa sadonkorjuuta (Kleemola 2013, s.9–12). Erityisesti puna-apilalla on taipumusta kasvaa hyvin reheväksi, jos se saa liikaa valoa ja kasvutilaa. Viherlannoitusnurmi tarvitsee kylvönyhteydessä korkeintaan 10 kg/ha starttityppeä, jos siemenseos sisältää typensitopakasveja. Aluskasvit pitää ottaa huomioon viljan rikkakasvitorjunnassa, koska etenkin apila ei kestä kaikkia rikkakasvin torjunta-aineita. Puna-apila kestää ainakin seuraavia rikkakasvin torjunnassa käytettäviä tehoaineita bentatsoni, MCPA tai fluatsifoppi-P-butyyli.

4.3.3 Kylvömäärä

Viherlannoitusnurmen siemenseoksen pitää tukiehtojen mukaan sisältää typensitopakasveja vähintään 20 % siementen painosta, että siihen on mahdollista saada kaikki sille myönnettävät maataloustuet (Kleemola 2013, s.9). Pellon sisällä saattaa olla suuriakin vaihteluita kasvuolosuhteissa esimerkiksi erilaisilla maalajeilla (Känkänen 2014, s.9–13). Tämän takia nurmen perustamisessa kannattaa suosia monia eri kasvilajeja sisältäviä siemenseoksia. Eri kasvilajit menestyvät erilaisissa olosuhteissa ja näin pystytään varmistamaan, että kasvustosta tulisi mahdollisimman peittävä koko pellon alueella. Monivuotisissa

viherlannoitusnurmissa käytetään yleensä typensitojakasvina puna-apilaa tai alsikeapilaa, tai seoksena näitä molempia. Puna-apila on yleinen ja viljelyvarma lajike. Alsikeapila kuitenkin menestyy eloperäisillä mailla ja kosteilla kasvupaikoilla puna-apilaa paremmin. Sillä on matalampi juuristo kuin puna-apilalla, mutta se talvehtii varmemmin. Kasvun varmistamiseksi lohkon eri osissa myös valkoapila saattaa olla hyvä lisä siemenseokseen. Sen kasvutapa on matala, eikä sillä ei ole paalujuurta. Valkoapila ei myöskään viihdy kovin raskailla maalajeilla ja on arka kuivuudelle (Känkänen 2014, s.9–13). Siemenseoksen on hyvä sisältää myös heinäkasveja lisäämään monimuotoisuutta ja estämään palkokasvien sitoman typen huuhtoutumista. Heinäkasvit myös tehostavat palkokasvien typensidontaa sitomalla maasta liukoista typpeä, lisäksi niiden juuristo on tiheä ja kuohkeuttaa hyvin ylempiä maakerroksia. Yleisesti monivuotisissa viherlannoitusnurmissa käytettäviä heinäkasveja ovat timotei, nurminata, ruokonata (Taulukko 9). Siemenseokseen on tärkeää löytää kasvilajien, lajikkeiden ja kylvömäärien puolesta omille pelloille ja tarkoitukseen sopiva ratkaisu (Känkänen 2014, s.22).

Taulukko 9. Monivuotisiin viherlannoitusnurmiin soveltuvien kasvilajien kylvömääriä siemenseoksessa (Känkänen 2014, s.22).

Viherlannoitusnurmissa käytettävien monivuotisten kasvien siemenmääriä	
Viljelykasvi	Siemenmäärä seoksissa, kg/ha
Puna-apila	2-10
Alsikeapila	2-8
Valkoapila	1-2
Sinimailanen	5-10
Timotei	5-10
Nurminata	5-7
Ruokonata	5-7

4.3.4 Hoito

Viherlannoitusnurmea hoidetaan niittämällä, mutta aina sekään ei ole välttämätöntä (Känkänen 2014, s.14). Niittämistarvetta arvioidaan aistinvaraisesti kasvuston rikkakasvipitoisuuden ja vanhenemisen mukaan. Rikkakasvipaineen ollessa suuri suositellaan vähintään kolmea niittokertaa kesässä, mutta jos rikkakasveja on vain vähän, niittokertoja voidaan vähentää tai jättää niitto kokonaan tekemättä. Etenkin jos monivuotisia rikkakasveja

esiintyy kasvustossa, niittäminen on tarpeen. Monivuotisilla rikkakasveilla, kuten juola-vehnä, peltovalvatti tai pelto-ohdake, niittäminen kannattaa ajoittaa rikkakasvin herkim-pään vaiheeseen eli kompensatiopisteeseen. Kompensatiopisteellä tarkoitetaan rikka-kasvin kasvunvaihetta, jolloin sen juuristossa olevat ravinnevarat ovat vähimmillään. Juola-vehnää on vaikea saada torjuttua niittämällä etenkin kevyillä mailla, mutta peltovalvatin ja pelto-ohdakkeen määrän usein vähenee niittämällä. Toinen syy niittämiselle voi olla tarve uudistaa vanhentunutta kasvustoa ja parantaa näin sen typensidontaa. Palkokasvien ty-pensidonta on tehokkaimmillaan kukinnan alkuvaiheessa, minkä jälkeen se alkaa hiipua. Niittämällä saadaan luotua uutta kasvua nurmeen ja edistettyä sen typensidontaa. Tässä tapauksessa jo yksi hoitoniitto kesässä on riittävä ja myös suositeltavaa.

Lähtökohtaisesti viherlannoitusnurmi lopetetaan kyntämällä kasvusto huolellisesti. Suosi-teltavaa on, että kasvimassaa ei haudata muokkaamalla yli 20 cm syvyyteen, koska eten-kin raskailla mailla vaarana on kasvimassan joutuminen vähähappisiin olosuhteisiin, jolloin typpeä alkaa haihtua ilmaan kaasuna (Känkänen 2014, s.15–17). Typen vapautumiseen kasvimassasta vaikuttaa maan mikrobien aktiivisuus, joka on sitä suurempaa, mitä lämpi-mämpää ja kosteampaa maa on. Tämä tulee huomioida muokkauksen ajankohdassa, si-ten että kasvimassaa ei suositella muokattavaksi maahan liian aikaisin ennen seuraavan kasvin kylvöä, koska vaarana on vapautuneiden ravinteiden huuhtoutuminen. Kasvusto voidaan muokata syksyllä jo aikaisemmin, jos tarkoituksena on kylvää syyskylvöisiä kas-veja. Silloin syyskylvöiset kasvit hyödyntäisivät vapautuvia ravinteita. Jos maahan ei ole tarkoitus kylvää syksyllä mitään, muokkaus tulee tehdä niin myöhään kuin mahdollista. Sil-loin maa on kylmää, mikrobien aktiivisuus vähäistä ja typen vapautuminen pientä. Jos vi-herlannoitusnurmen jälkeen tarkoituksena on kylvää kevätkylvöisiä kasveja, lähtökohtai-sesti suositellaan maan muokkaamista vasta keväällä.

4.4 Lehti- ja nestelannoitteet

4.4.1 Yleistä lehti- ja nestelannoitteista

Ravinteiden antaminen lehtien kautta on tehokasta, koska imeytyminen kasviin on no-peaa, eikä maaperän olosuhteilla ole merkitystä lehdille ruiskutettavien ravinteiden hyö-dynnettävyyteen (Mia 2015, s.45–50). Jos maaperän olosuhteet eivät ole suotuisat

esimerkiksi jonkin hivenravinteen saatavuuden kannalta, lehtilannoituksella voidaan saavuttaa ravinteen parempi saatavuus kasville. Esimerkiksi matala- tai korkea pH vaikuttaa eri ravinteiden saatavuuteen eri tavalla. Kuivissa olosuhteissa lehtilannoitus on tehokas menetelmä antaa ravinteita kasville, koska veden puute vähentää myös juurten kautta virtaavien ravinteiden saantia. Optimaalisella lehtilannoituksella voidaan saavuttaa 12–25 %:n sadonlisä. Lehtilannoituksella saattaa olla myös huomattava sadon laatua parantava vaikutus.

Lannoitemarkkinoilta on saatavilla myös nestemäisiä maalannoitteita monipuolisesti erilaisiin lannoitustarpeisiin (Suomen nestelannoite Oy, 2024). Positiivisen varauksensa ansiosta lannoitteiden ravinteet pystyvät sitoutumaan negatiivisesti varautuneeseen maaperään, mikä vähentää huuhtoutumisen ja haihtumisen riskiä. Lannoitteet ovat ureapohjaisia ja niiden sisältämä typpi on suurimmaksi osaksi amidimuodossa. Amidityppi on ammoniumtyypen tavoin kasville energiatehokas käyttää, koska se on suoraan hyödynnettävissä kasvin proteiinien synteesissä. Nitraattityypen käyttäminen vaatii enemmän energiaa kasvilta, koska se hapettuu kasvissa ensin nitriitiksi, sen jälkeen ammoniumiksi ja amideiksi, ennen kuin se on hyödynnettävissä proteiinien synteesissä.

4.4.2 Ravinnepitoisuus ja levitysmenetelmät

Lehtilannoitus on hyvä menetelmä korjata kasvuston hivenravinteiden, kuten mangaanin, boorin, kuparin tai sinkin puutosta (Alakukku ym., 2009, s.45). Hivenravinteiden käyttömäärät ovat korkeintaan muutamia satoja grammoja per/ha, joten ravinnepuutos pystytään hyvin korjaamaan kasvustoon ruiskuttamalla (Alakukku ym., 2009, s.76). Hivenravinteiden hyväksikäyttö on tehokkaampaa kasvin lehtien kautta kuin juurten kautta. Hivenlehtilannoitteita on saatavilla monen ravinteen seoksina tai vain yhtä ravinnetta sisältävänä. Hivenravinteiden lisäksi kasvustoon voidaan nykyään lisätä ruiskuttamalla lähes kaikkia ravinteita. Esimerkiksi fosforin lehtilannoituksesta on saatu hyviä tuloksia (Yara UK, i.a.). Kylmä sää keväällä kasvin varhaisessa kasvuvaiheessa saattaa aiheuttaa fosforin puutosta. Fosforilehtilannoitus parantaa kasvin juurten kasvua, minkä myötä veden- ja ravinteiden otto maasta paranee ja kasvi kestää paremmin abioottisia stressitekijöitä, kuten kuumuutta ja kuivuutta. Fosforilehtilannoituksella kasvin kasvuasteella 25–29 eli

pensastumisen loppu/korrenkasvun alku on havaittu olevan merkittävä juurten kasvua parantava vaikutus.

Markkinoilta löytyy sekä nopeavaikutteisia lehtilannoitteita että pitkävaikutteisia suspensiolehtilannoitteita (Yara Suomi, 2021, s.49–61). Lehtilannoitteiden käyttömäärät viljoille ovat valmisteen mukaan 1–5 l/ha/käsittely. Lehtilannoitetta voidaan ruiskuttaa tarvittaessa uudelleen aina 7–10 vuorokauden välein, mutta yleensä 2–3 ruiskutuskertaa riittää korjaamaan pahankin ravinnepuutoksen. Lehtilannoitteita voidaan sekoittaa useimpien kasvinsuojeluaineiden kanssa samaan tankkiseokseen. Sekoitettavuuden eri kasvinsuojeluaineiden kanssa voi tarkistaa valmistajan nettisivulta löytyvästä sekoitustaulukosta. Lehtilannoitteita voidaan käyttää myös kylvösiemenen peittäyksessä.

Lehtilannoitteiden käyttämisessä vaarana on kasvuston vioittuminen, eli yleensä palaminen, jos niitä käytetään yhdessä sopimattomien kasvinsuojeluaineiden kanssa tai jos sää on liian kuuma (Mia 2015, s.45–50). Kasvuston vioittumisen riskiä voidaan pienentää tarkistamalla yhteensopivuus eri kasvinsuojeluaineiden kanssa, käyttämällä riittävän suurta vesimäärää ja välttämällä ruiskutusta suorassa auringon paisteessa. Lisäksi kuumuus aiheuttaa kasvien ilmarakojen sulkeutumisen, minkä seurauksena lehtien kautta annettavien ravinteiden päätyminen kasvin käyttöön heikkenee. Parhaita ajankohtia lehtilannoitteiden ruiskuttamiseen ovat ilta ja aikainen aamu.

Pääravinteista typpi on yleisin kasvustoon ruiskuttamalla lisättävä ravinne (Alakukku ym., 2009, s.76). Typpiruiskutuksessa on vaarana kasvuston vioittuminen, jos typen käyttömäärä on liian suuri, vesimäärä liian pieni tai olosuhteet epäsuotuisat. Näissä tilanteissa kasvin lehtien vioittumista aiheuttavat esimerkiksi suolaliuokset ja urea. Abioottiset stressitekijät, kuten kuumuus tai kuivuus, lisäävät vioittumisen riskiä. Vioittumisen riskiä voidaan pienentää käyttämällä lannoitesuuttimia, jolloin suurin osa lannoitteesta valuu maahan eikä jää kasvin lehdille. Lannoitesuuttimilla typen käyttömäärää voidaan nostaa, koska tällöin kasvi ottaa ravinteet pääasiassa juurten kautta. Lehdille ruiskuttaessa turvallinen ureatypen maksimimäärä on 15 kg/ha, kun käytetään vettä 400 l/ha. Hyvissä olosuhteissa ureatypen maksimimäärä on 30 kg/ha. Typen käyttömäärää pitää laskea, jos käytetään jotain muuta typpilaatua tai pienempää vesimäärää.

Nestemäisten maalannoitteiden käyttömäärä on yleensä 50–300 l/ha (Suomen nestelannoite Oy, 2024). Käyttömäärä määräytyy kasvin työntarpeen mukaan. Lannoitetta ei tarvitse laimentaa vedellä enne käyttöä. Levittämiseen käytetään aina lannoitesuuttimia, joista lannoite valuu maahan norona tai pisaroina.

5 AINEISTO JA MENETELMÄT

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää lehtilannoitteena ruiskutettavan NPK-kasviravinteen vaikutusta kevätvehnän sadon määrään ja laadullisiin tekijöihin, kuten hehtolitrapainoon ja valkuaispitoisuuteen. Lisäksi tutkittiin vaikutusta kasvuston ravinnepitoisuuksiin. Viljelykoe toteutettiin Kankaanpään Honkajoella Satakunnassa.

5.1 Koejärjestelyt

Viljelykokeessa käytetyn peltolohkon maalaji oli hienohieta (HHt). Viljavuustutkimuksen mukaan koeruujuen alueella peltolohkon multavuusluokka on multava (m), pH 6,1, kalsium (Ca) 1490 mg/l, fosfori (P) 15 mg/l, kalium (K) 120 mg/l, magnesium (Mg) 250 mg/l ja rikki (S) 5,3 mg/l. Vuonna 2021 lohkolle perustettiin monivuotinen viherlannoitusnurmi suojaviljaan. Nurmisiemenseos kylvettiin keväällä viljankylvön yhteydessä kylvökoneen heinäsiemenen kylvölaitteella. Nurmisiemenseos sisälsi timoteita 5 kg/ha, nurminataa 5 kg/ha ja puna-apilaa 3 kg/ha, eli yhteensä seoksen kylvömäärä oli 13 kg/ha. Siemenseos sisälsi typensitojakasveja 23 % siemenen painosta. Vuoden 2022 lohko oli viherlannoitusnurmella ja kasvustolle tehtiin yksi hoitoniitto kesän aikana. Kasvukaudella 2023 kevätvehnälle ruiskutetaan Neko NPK -kasviravinnetta lehtilannoitteena. Kasviravinne sisältää typpeä 7 %, fosforia 2 % ja kaliumia 2 % nesteen painosta, joka on 1,125 kg/l (Neko, 2024). Liuos sisältää ammoniumtyppeä 3 %, ureatyppeä 2,3 % ja nitraattityppeä 1,6 %. Suositeltu käyttömäärä viljoille on 10–15 l/ha, sekoitettuna 200 l vettä/ha, 1–3 käsittelykertaa kasvukaudella.

5.2 Kasvukauden toimenpiteet

Viherlannoitusnurmi muokattiin kyntämällä keväällä 2023. Ennen kyntöä lohkolle levitettiin sianlietelantaa 30 tn/ha. Lietelannasta tuli typpeä 45 kg/ha, fosforia 9,6 kg/ha ja kaliumia 30 kg/ha. Lohkolle kylvettiin Anniina-kevätvehnä 21. toukokuuta. Vehnän kylvötiheys oli 750 kpl itävää siementä/m² (270 kg/ha). Lohkolle ruiskutettiin mangaania lehtilannoitteena 1,5 l/ha 19. kesäkuuta. Neko NPK -kasviravinnetta ruiskutettiin 13 l/ha rikkatorjunnan yhteydessä 26. kesäkuuta. Lehtilannoitus sisälsi typpeä 1 kg/ha, sekä fosforia ja kaliumia 0,3 kg/ha. Lohkolle jätettiin 12 m x 130 m kokoinen käsittelemätön alue, jolle ei ruiskutettu

Neko NPK -lehtilannoitetta. Käsittelemättömälle alueelle tehtiin erikseen rikkatorjunta. Rikkatorjuntaan käytettiin MCPA-rikkatorjunta-ainetta 1,5 l/ha.

5.3 Havainnot ja mittaukset

Kasvukauden aikana koeruuduilta otettiin yhteensä neljä Yara Megalab -kasvianalyysiä. Yara Megalab -kasvianalyysiä varten kasvustosta leikattiin kasvustonäytteet, jotka lähetettiin postissa laboratorioon analysoitavaksi (Yara suomi, 2024). Näytteenottopaketteja on saatavilla maatalouskaupoista. Kasvianalyysin avulla voidaan todeta annetun lannoituksen riittävyttä sekä saada selville mahdollisia piileviä ravinnepuutoksia. Analyysitulosten mukana tulee lannoitussuositukset ravinnepuutoksen korjaamiseksi. Valittavana on kaksi erilaista analyysipakettia: suppea ja laaja kasvianalyysi. Suppea analyysi sisältää pääravinteiden lisäksi mangaanin, boorin ja rikin tulokset. Laaja analyysi sisältää edellisten lisäksi vielä kalsiumin, magnesiumin, raudan, kuparin ja sinkin tulokset.

Ennen sadonkorjuuta molemmilta koeruudilta määritettiin satokomponentit, eli laskettiin keskiarvo tähkien lukumäärästä m²:llä ja jyvien lukumäärästä per/tähkä. Sadon määrä mitattiin 2,5 m x 10 m kokoisilta koeruudilta, jotka puitiin leikkuupuimurilla. Puitu vilja valui suoraan leikkuupuimurin viljasäiliön viljaelevaattorin alla olleeseen saaviin, että tuloksesta saatiin mahdollisimman tarkka. Molempien koeruutujen sato punnittiin digitaali-vaa'alla, lisäksi mitattiin hehtolitraino ja valkuaispitoisuus. Valkuaispitoisuuden mittaamiseen käytettiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun NIR-laitetta.

5.4 Taloudellinen tarkastelu

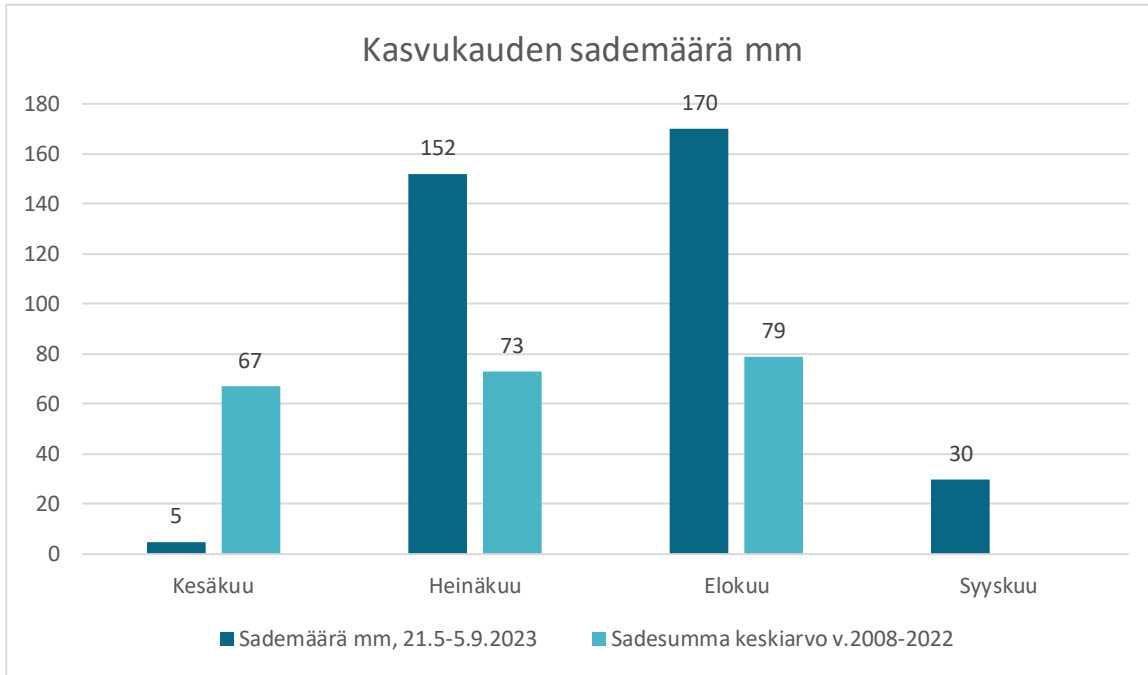
NPK-lehtilannoituksen taloudellista kannattavuutta arvioitiin hehtaarikohtaisesti vähentämällä saadun lisäsadon arvosta lehtilannoitteen kustannus. Lehtilannoitteen ruiskuttaminen ei vaatinut erillistä ajokertaa, koska se ruiskutettiin tankkiseoksena rikkatorjunta-aineiden kanssa. Jos ruiskutus olisi vaatinut erillisen ajokerran, myös siitä aiheutuvat kustannukset, kuten polttoaine, olisi pitänyt huomioida laskelmassa.

6 TULOKSET

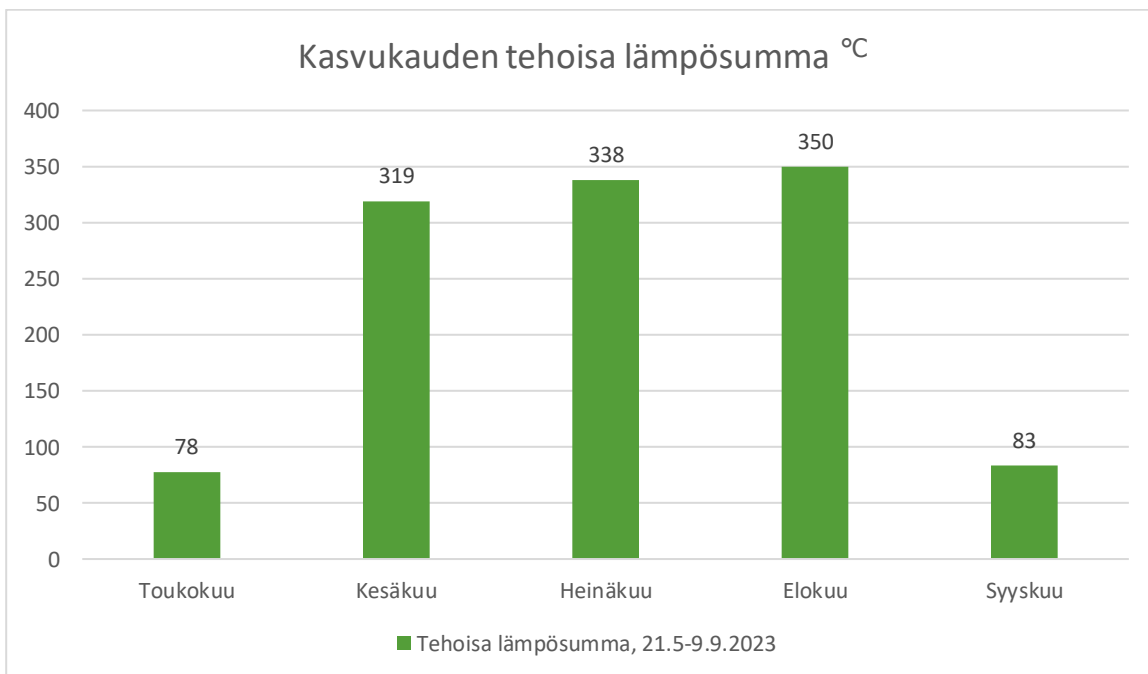
6.1 Kasvukauden sää ja kasvustohavainnot

Kasvukauden alun sää oli kuuma ja kuiva. Kylvön jälkeen ensimmäinen vesisade 5 mm saatiin vasta kesäkuussa juhannuksena (Kuvio 7). Heinä- ja elokuussa vettä satoi runsaasti. Syyskuussa vettä ehti sataa vielä 30 mm ennen sadonkorjuuta. Koko kasvukauden aikana kylvöstä sadonkorjuuseen vettä satoi yhteensä 357 mm. Sademäärä on mitattu omalla sademittarilla, joka sijaitsi linnuntietä 4 km:n päässä peltolohkolta. Kasvukauden ”täysille” kasvukuukausille on vertailuksi laskettu sadesumman keskiarvo vuosilta 2008–2022. Sadesumman keskiarvon laskentaan käytettiin Ilmatieteen laitoksen säädataa Kankaanpään Niinisalon mittauspisteeltä. Kesäkuun 2023 sadesumma oli 62 mm vähemmän pitkän aikavälin keskiarvoon verrattuna. Heinäkuussa 2023 vettä satoi 79 mm enemmän ja elokuussa 91 mm enemmän pitkän aikavälin keskiarvoon verrattuna. Heinä- ja elokuu olivat siis reilusti tavanomaista sateisempia.

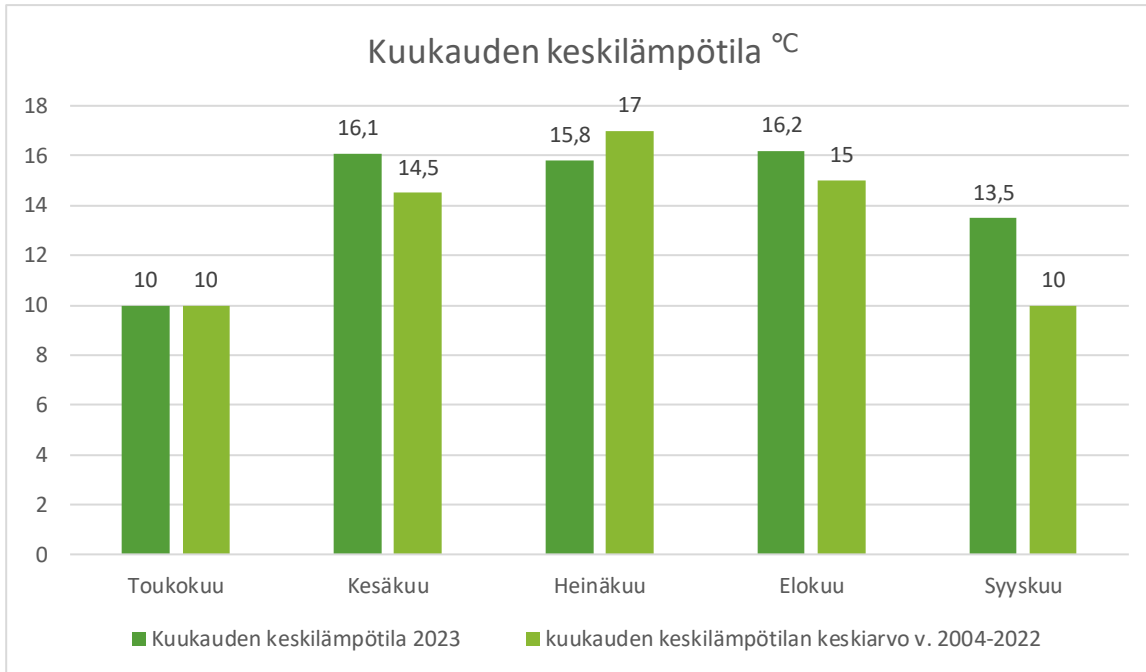
Tehoisa lämpösumma kertymä oli kasvukaudella kylvöstä sadonkorjuuseen yhteensä 1168 °C. Tehoisan lämpösumman säädata on peräisin Kankaanpään Niinisalon mittauspisteeltä, joka on lähin alueella sijaitseva sääasema. Kesäkuukausien kesä-, heinä- ja elokuun keskilämpötilat olivat hyvin samansuuruiset (Kuvio 9), mikä näkyy myös tehoisan lämpösumman tasaisena kertymisenä (Kuvio 8). Myös keskilämpötiloista on laskettu vertailuksi keskiarvo vuosilta 2004–2022. Toukokuun 2023 keskilämpötila oli 10 °C, eli tismalleen sama kuin pitkän aikavälin keskiarvo. Kesäkuu 2023 oli 1,6 °C-, elokuu 1,2 °C- ja syyskuu 3,5 °C keskimääräistä lämpimämpiä. Heinäkuu 2023 oli 1,2 °C keskimääräistä kylmempi.



Kuvio 7. Kasvukauden sademäärä (Ilmatieteen laitos, 2024).



Kuvio 8. Kasvukauden tehoisa lämpösumma (Farmit.net, 2024).



Kuvio 9. Kuukausien keskilämpötilat (Ilmatieteen laitos, 2024).

Kasvukauden aikana koeruudilta otettiin yhteensä neljä Yara Megalab -kasvianalyysiä, kaksi molemmilta. Ensimmäiset näytteet otettiin 25. kesäkuuta, päivä ennen lehtilannoitusta. Kasvusto oli tuolloin 30–35 cm korkea ja tulossa lippulehtivaiheeseen (kasvuaste BBCH 36–37) (Kuva 3). Alkukesän kuumat ja kuivat sääolosuhteet aiheuttivat kasvuston nopean kehitysrytmin. Tähän mennessä vettä ei ollut satanut vielä lainkaan ja kasvusto kärsi kuivuudesta. Rikkatorjunnan tekeminen tämän aikaisemmin ei olisi ollut järkevää, koska rikkakasveja ei juuri ollut tai ne olivat hyvin pieniä. Tarkoituksena oli myös, että kasvustossa olisi riittävän suuri lehtimassa ennen NPK-lehtilannoitteen ruiskuttamista.



Kuva 3. Kasvuston korkeus ensimmäisten näytteidenoton aikaan 25. kesäkuuta.

Toiset näytteet otettiin 3. heinäkuuta, kahdeksan päivää käsittelyn jälkeen. Kasvusto oli tuolloin 50–55 cm korkea ja tulossa tähkään (kasvuaste BBCH 50–55) (Kuva 4). Koeruutujen kasvustoissa ei ollut silmin havaittavia eroja.



Kuva 4. Kasvuston korkeus jälkimmäisten näytteidenoton aikaan 3. heinäkuuta.

6.2 Lehtilannoituksen vaikutus kasvuston ravinnepitoisuuksiin

Ennen NPK-lehtilannoitusta otettujen näytteiden perusteella pääravinteiden pitoisuus oli hyvä molemmilla koeruuduilla ennen lehtilannoitteen ruiskuttamista, eikä lisälannoitustarvetta ollut. Käsiteltävän koeruudun näytteen mangaanipitoisuus oli selvästi heikompi ja alle tavoitearvon, vaikka molemmat ruudut saivat mangaania lehtilannoitteena 19. kesäkuuta (Taulukko 11). Käsittelemättömän koeruudun näytteen mangaanipitoisuus oli hyvä

(Taulukko 10). Rikki- ja booripitoisuudet olivat molempien koeruutujen näytteissä alle tavoitearvon ja lisälannoitusta suositeltiin.

Taulukko 10. Käsittelemättömän koeruudun tulokset 25. kesäkuuta.

Analysit	Tulos	Ohjearvo	Tulkinta	Kommentit
B (mg/kg dm)	3.3	4.0	melko matala	YaraVita Bortrac 150, 1 l/ha + 200 l vettä.
Mn (mg/kg dm)	58.0	31.0	Normaali	Ei lannoitustarvetta
S (g/kg dm)	1.60	3.00	Matala	YaraBela Sulfan N26, S14 tai YaraVita Thiotrac 300, 5 l/ha + 200 l vettä.
K (g/kg dm)	37.00	33.00	Normaali	Ei lannoitustarvetta
P (g/kg dm)	3.90	3.60	Normaali	Ei lannoitustarvetta
N (g/kg dm)	39.30	32.00	Normaali	Ei lannoitustarvetta

Taulukko 11. Käsiteltävän koeruudun tulokset ennen ruiskutusta 25. kesäkuuta.

Analysit	Tulos	Ohjearvo	Tulkinta	Kommentit
B (mg/kg dm)	3.5	4.0	melko matala	YaraVita Bortrac 150, 1 l/ha + 200 l vettä.
Mn (mg/kg dm)	21.0	31.0	Matala	YaraVita Mantrac Pro, 1-2 l/ha + 200 l vettä.
S (g/kg dm)	1.30	3.00	Hyvin matala	YaraBela Sulfan N26, S14 tai YaraVita Thiotrac 300, 5 l/ha + 200 l vettä.
K (g/kg dm)	34.00	33.00	Normaali	Ei lannoitustarvetta
P (g/kg dm)	4.20	3.60	Normaali	Ei lannoitustarvetta
N (g/kg dm)	37.20	32.00	Normaali	Ei lannoitustarvetta

Kahdeksan päivää lehtilannoitteen ruiskuttamisen jälkeen otettujen näytteiden perusteella jokaisen pääravinteiden pitoisuus oli molemmilla koeruuduilla edelleen yli tavoitearvon (Taulukot 12 & 13). Fosforin pitoisuus oli molemmissa näytteissä jopa korkea. Korkea fosforipitoisuus voi johtua siitä, että kasvi ei ole pystynyt hyödyntämään lannoitteena annettua fosforia tarpeeksi hyvin kasvukauden alussa mahdollisesti kuivuuden takia. Ennen jälkimäisten näytteiden ottoa kasvusto ehti saada vettä, mikä on voinut parantaa juurten

ravinteiden ottoa ja ravinteiden virtausta kasvissa. Sen seurauksena kasvi alkoi saada riittävästi fosforia, mikä on aiheuttanut kasvuston korkea fosforipitoisuuden.

Taulukko 12. Käsittelemättömän koeruudun tulokset 3. heinäkuuta.

Analyysit	Tulos	Ohjearvo	Tulkinta	Kommentit
B (mg/kg dm)	2.8	4.0	Matala	YaraVita Bortrac 150, 1 l/ha + 200 l vettä.
Mn (mg/kg dm)	27.0	28.0	melko matala	YaraVita Mantrac Pro 1 l/ha + 200 l vettä.
S (g/kg dm)	1.50	2.50	Matala	YaraBela Sulfan N26, S14 tai YaraVita Thiotrac 300, 5 l/ha + 200 l vettä.
K (g/kg dm)	32.00	25.00	Normaali	Ei lannoitustarvetta
P (g/kg dm)	3.90	2.60	Korkea	Ei lannoitustarvetta
N (g/kg dm)	32.20	20.00	Normaali	Ei lannoitustarvetta

Taulukko 13. Käsitellyn koeruudun tulokset ruiskutuksen jälkeen 3. heinäkuuta.

Analyysit	Tulos	Ohjearvo	Tulkinta	Kommentit
B (mg/kg dm)	3.1	4.0	melko matala	YaraVita Bortrac 150, 1 l/ha + 200 l vettä.
Mn (mg/kg dm)	21.0	28.0	melko matala	YaraVita Mantrac Pro 1 l/ha + 200 l vettä.
S (g/kg dm)	1.50	2.50	Matala	YaraBela Sulfan N26, S14 tai YaraVita Thiotrac 300, 5 l/ha + 200 l vettä.
K (g/kg dm)	31.00	25.00	Normaali	Ei lannoitustarvetta
P (g/kg dm)	4.50	2.60	Korkea	Ei lannoitustarvetta
N (g/kg dm)	30.80	20.00	Normaali	Ei lannoitustarvetta

6.3 Lehtilannoituksen vaikutus sadon määrään ja laatuun

Käsitellyn koeruudun kasvuston tiheys oli 838 tärkää/m² ja käsittelemättömän 774 tärkää/m² (Taulukko 14). Käsitellyn koeruudun tiheys oli 64 tärkää/m² suurempi kuin käsittelemättömän. Jyvien lukumäärä oli kuitenkin käsitellyllä ruudulla 6 jyvää/tärkää pienempi. Sato puitiin koeruuduilta, jotka olivat kooltaan 2,5 m x 10 m (25 m²). Käsitellyltä

koeruudulta saatiin 211 kg/ha enemmän satoa kuin käsittelemättömältä. Hehtolitraino oli mittausten mukaan käsitellyllä koeruudulla 7 kg suurempi. Hehtolitraino on mitattu kuivaamattomasta ja puhdistamattomasta sadosta. Valkuaispitoisuus oli käsitellyllä ruudulla 0,2 % suurempi.

Taulukko 14. Koeruuduilta puidun sadon määrä ja laatu.

	Tähkiä kpl/m ²	Jyviä kpl/tähkä	Sato kg/ha	Hlp kg	Valk %
Käsittelemätön	774	36	3 676	65,5	12
Käsitelty	838	30	3 887	72,5	12,2

Koko lohkolta puidusta ja kuivatusta sadosta otetun näytteen mukaan hehtolitraino oli 79,5 kg, sakoluku 63, valkuainen 14,5. Huonon sakoluvun takia vehnä ei ollut leipäviljakelpoista. Kovien sateiden vuoksi sadonkorjuuta ei päästy aloittamaan ajoissa, minkä seurauksena vehnä iti tähkään, mikä laski sakolukua.

6.4 Talouslaskelma

Viljelykokeen perusteella NPK-lehtilannoituksella saatiin 211 kg/ha enemmän satoa. Vehnä ei ollut leipäviljakelpoista, joten laskennassa käytetään rehuvehnän hintaa. Kaikki tässä laskelmassa olevat hinnat ovat ALV 0 %. Rehuvehnän hinta 4.3.2024 on ostajasta ja toimituspaikasta riippuen 162–197 €/tn. Keskihinta on tällöin noin 180 €/tn. NPK-lehtilannoituksen avulla saadun lisäsadon arvo hehtaaria kohden on $0,211 \text{ tn} \times 180 \text{ €/tn} = 37,98 \text{ €}$. Neko NPK -kasviravinteen litrahinta on 2,24 €/l, 210 l tynnyrissä ostettuna. Tällä hinnalla laskettuna ruiskutuksen hehtaarikustannus on 29,12 €/ha. Voittoa syntyy tässä tapauksessa 8,86 €/ha.

7 TULOSTEN POHDINTA

NPK-lehtilannoitteen satovaikutuksia pitäisi tutkia enemmän ja useampana kasvukautena, että saataisiin tutkimustuloksia, joista voitaisiin laskea luotettavampia tuloksia. Kasvukauden alku 2023 oli kuuma ja kuiva. Ensimmäiset vesisateet saatiin vasta kesäkuun lopussa juhannuksena. Tämän takia vehnä kärsi kuivuudesta ja kasvusto kehittyi ennenaikaisesti normaaliin kasvurytmiin verrattuna. Kun otetaan huomioon virhemarginaali, ei ole täysin varmaa, että kokeen tuloksessa syntynyt ero johtui yksinomaan NPK-lehtilannoitteesta. Yksi kokeen tulokseen mahdollisesti vaikuttanut tekijä on peruslannoituksen tasaisuus, jossa saattoi olla paikallisia vaihteluita. Peruslannoituksena oli viherlannoitusnurmi ja sianlietelanta, joka levitettiin pintaan hajalevityksenä. Luotettavimman tuloksen saa, jos viljelykoe toteutetaan niin, että peruslannoituksen tasaisuus on paremmin hallittavissa esimerkiksi käyttämällä ainoastaan väkilannoitetta.

Toisaalta NPK-lehtilannoituksen kannalta olisi ollut hyvä, että ruiskutus olisi ajoittunut paremmin kasvin satoisuusikkunaan eli pensomisvaiheeseen. Pensomisvaiheessa annettu lisälannoitus saattaa lisätä tähkän jyvälukumäärää, johon myöhäisemmällä lisälannoituksella ei enää voida vaikuttaa. Kasvukauden alkupuolen kuivuuden takia kasvuston lehtimassa oli tuossa kehitysvaiheessa vielä niin pieni, että suurin osa ruiskutetusta lehtilannoitteesta olisi mennyt maahan eikä kasvin lehdille, niin kuin oli tarkoitus. Kuivuuden takia myös rikkakasvien itäminen kesti kauan ja kun tarkoituksena oli torjua rikkakasvit samalla ruiskutuskerralla lehtilannoituksen kanssa, ruiskutus viivästy. Kokeen tulokset vaikuttavat muuten uskottavilta, mutta ero hehtolitrainossa kuulostaa epäilyttävän suurelta. Yhden kasvukauden tutkimuksen perusteella ei voida todeta varmaksi, että NPK-lehtilannoitteella olisi tällä käyttömäärällä ollut näin suurta vaikutusta hehtolitrainoon. Asiaa puoltaa myös se, että tilalla on saatu Anniina-kevätevehnästä yhtä hyviä ja parempiakin hehtolitrainoja ilman lehtilannoitteita, kuin nyt saatiin NPK-lehtilannoitteella käsitelystä koeruudusta.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kasvukauden aikana otettujen Yara Megalab -kasvianalyysien perusteella NPK-lehtilannoitteella ei havaittu olevan vaikutusta kasvuston ravinnepitoisuuteen. Ainut merkittävä tulos kasvianalyysien tuloksissa oli NPK-lehtilannoitteen ruiskuttamisen jälkeen otetuissa näytteissä oleva korkea fosforipitoisuus. Fosforipitoisuus oli korkea molemmilla koeruudilla, eikä se siten voinut johtua NPK-lehtilannoitteesta. Kasvianalyysien perusteella pääravinteiden (NPK) pitoisuus oli kaikissa näytteissä vähintään hyvä, eikä lisälannoitus tarvetta ollut.

Tehtyjen mittausten perusteella vehnän sadon määrässä, satokomponenteissa ja laadullisissa tekijöissä oli eroja koeruutujen välillä. Käsitellyn koeruudun kasvuston tiheys oli 838 tähkää/m² ja käsittelemättömän 774 tähkää/m². Käsitellyn koeruudun tiheys oli 64 tähkää/m² suurempi, kuin käsittelemättömän. Jyvien lukumäärä oli kuitenkin käsitellyllä ruudulla 6 jyvää/tähkä pienempi. Käsitellyltä koeruudulta saatiin 211 kg/ha enemmän satoa kuin käsittelemättömältä. Hehtolitraino oli mittausten mukaan käsitellyllä koeruudulla 7 kg suurempi. Hehtolitraino on mitattu kuivaamattomasta ja puhdistamattomasta sadosta. Valkuaispitoisuus oli käsitellyllä ruudulla 0,2 % suurempi.

Sadon määrän ero on niin pieni, että se voi kuulua virhemarginaaliin eikä se johtunutkaan NPK-lehtilannoitteesta. Peruslannoituksen tasaisuudessa (viherlannoitusnurmi & karjanlanta) on voinut olla paikallisia eroja, mikä on voinut vaikuttaa kokeen tuloksiin. Vastaavanlainen viljelykoe olisi jatkossa parempi toteuttaa siten, että peruslannoituksen tasaisuus olisi paremmin hallittavissa, esimerkiksi väkilannoitteella. Siten voidaan saada luotettavampia tuloksia itse NPK-lehtilannoitteen vaikutuksesta.

LÄHTEET

Alakukku, L., Jaakkola, A., Kari, M., Kleemola, J., Mäntylähti, V., Partanen, E., Peltonen, J., Puustinen, M., Savela, P., Sipiläinen, T., Tauriainen, S., & Yli-Halla, M. (2009). *Ravinteet kasvintuotannossa*. ProAgria keskusten liitto.

Alakukku, L., Palva, R., Alasuutari, S., & Harmoninen, T. (2009). *Lannan käsittely ja käyttö*. ProAgria keskusten liitto.

Farmit.net. (2024). Sää. <https://www.farmit.net/weather-service>

Ilmatieteen laitos. (2024). *Havaintojen lataus*. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>

International fertilizer association (IFA). (2023). *IFASTAT*. <https://www.fertilizer.org/market-intelligence/ifastat/>

International fertilizer association (IFA). (2023). *Where are fertilizers used*. <https://www.fertilizer.org/about-fertilizers/where-are-fertilizers-used/>

International fertilizer association (IFA). (2022). *Systemiq reducing emissions from fertilizer use*. <https://www.fertilizer.org/resource/reducing-emissions-from-fertilizer-use-executive-summary/>

Kleemola, J., (2013). *Viherlannoitusopas*. TEHO Plus -hankkeen julkaisu.

Känkänen, H., (2014). *Viherlannoitusopas*. ProAgria keskusten liitto.

López-Valdez, F., & Fernández-Luqueno, F. (2014). *Fertilizers: Components, uses in agriculture and environmental impacts*. Nova Publishers.

Mia, M. A.B. (2015). *Nutrition of crop plants*. Nova Publishers.

Murrel, T. S., Murrel, T. S. e., Mikkelsen, R. L. e., Sulewski, G. e., Norton, R. e., & Thompson, M. L. e. (2021). *Improving potassium recommendations for agricultural crops* (1st ed. 2021.). Springer Nature.

Naeem, M. e., Ansari. A. A. e., & Gill. S. S. e. (2017). *Essential plant nutrients: uptake, use, efficiency, and management* (1st ed. 2017). Springer international publishing.

Neko. (2024). *Lannoitteet: Neko kasviravinne NPK 7-2-2-neste*. <https://www.neko.fi/product/neko-kasviravinne-npk-7-2-2/>

Paasonen-Kivekäs, M., Peltomaa, R., Vakkilainen, P. & Äijö, H. (2016). *Maan vesi- ja ravinnetalous*. Salaojayhdistys ry. https://www.salaojayhdistys.fi/wp-content/uploads/2022/05/web_maanvesijaravinnetalous_B5_2016.pdf

Plaxton, W. & Lambers, H. (2015). *Phosphorus metabolism in plants*. Wiley Blackwell.

Rajala, J. & Mattila, T, J. (2021). *Kationinvaihtokapasiteetti ja maiden ominaisuudet (2019)*.

Simpson, M. G. (2006). *Plant systematics*. Elsevier/Academic press.

Suomen nestelannoite Oy. (2024). <https://www.suomennestelannoite.fi/>

Valtioneuvoston asetus eräiden maa- ja puutarhataloudesta olevien päästöjen rajoittamisesta 1250/2014. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20141250>

Yara Suomi. (2024). Yara Megalab. <https://www.yara.fi/lannoitus/tyokalut/yara-megalab/>

Yara Suomi. (2021). *Lannoiteopas 2021–2022*.

Yara UK. (i.a). *Energising cereal crops with well timed foliar phosphate*. <https://www.yara.co.uk/crop-nutrition/agronomy-advice/energising-crops-with-foliar-phosphate/>