



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
LUONNONVARA- JA YMPÄRISTÖALA

NURMEN KALIUMLANNOITUKSEN VAIKUTUS MAAPERÄÄN JA SÄILÖ- REHUN ELÄINRAVITSEMUKSELLI- SEEN LAATUUN

TEKIJÄT: Tiina Hyvärinen
Arto Pehkonen

Koulutusala Luonnonvara- ja ympäristöala	
Koulutusohjelma Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Tiina Hyvärinen ja Arto Pehkonen	
Työn nimi Nurmen kaliumlannoituksen vaikutus maaperään ja säilörehun eläinravitsemukselliseen laatuun	
Päiväys 23.4.2014	Sivumäärä/Liitteet 78/15
Ohjaaja(t) Pirjo Suhonen, Sinikka Ripatti, Petri Kainulainen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Maa -ja elintarviketalouden tutkimuskeskus Maaninka/Sanna Kykkänen	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Kalium on tärkeä ravinne nurmentuotannossa, mutta korkeat kaliumpitoisuudet säilörehussa aiheuttavat märehitjöössä poikimahalvausta, laidunhalvausta ja utaretulehduksia. Nurmet pystyvät juuristonsa avulla ottamaan kaliumia myös maan omista varannoista. Todelliset maan kaliumvarannot eivät selviä viljavuustutkimuksessa, mutta ne voi tilata analysoitavaksi samalla kun maan viljavuudenkin. Maan reservikaliumpitoisuuksiin vaikuttaa maalaji ja sen lähtömateriaali.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoitus on tutkia eri kaliumlannoitustasojen, lietteen ja edellisten yhdysvaikutusta nurmen satoarvoihin. Lisäksi tutkimme maan viljavuuden muutoksia kokeen aikana. Nurmen kaliumlannoituskoe on toteutettu Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksilla Maaningalla, Ruukissa ja Mikkelissä. Tässä opinnäytetyössä käytettiin aineistona vuosien 2011- 2013 havaitoja ja tuloksia. Koe toteutettiin kolmella eri paikkakunnalla, jotta on saatu mukaan hyvän ja heikon kaliumtilan maita.</p> <p>Kokeessa oli kaksi pääruutua, joista toinen oli saanut noin 30 t/ha lietettä. Lisäksi oli viisi osaruutua kaliumlannoitustasojen mukaan. Kaliumlannoitustasoja olivat 0 kg/ha, 50 kg/ha, 100 kg/ha, 150 kg/ha, 200 kg/ha, joiden lannoitus toteutettiin kaliumkloridilla. Lisäksi kaikki koejäsenet saivat typpi- ja fosforilannoitetta niin, että sekä lietettä saaneiden ruutujen, että saamattomien ruutujen typpi- ja fosforilannoitustasot olivat samat.</p> <p>Kaliumlannoitustason nosto laski D-arvoa ja DCAD-arvoa ja odotetusti nosti kaliumpitoisuutta, kaliumtasetta, K/(Ca+Mg)-suhdelukua ja K/N-suhdelukua. Lietelannoitus laski pääsääntöisesti kuiva-ainesatoa ja nosti kasvin kaliumpitoisuutta, K/(Ca+Mg)-suhdelukua sekä K/N-suhdelukua. Yhdysvaikutuksella oli hyvin vähän tilastollista merkitsevyyttä tässä kokeessa. Melkein koko kokeen ajan eläinravitsemuksen laadun tärkeät satoarvot olivat vaarallisen korkealla tasolla, riippumatta maan kaliumvarantojen määrästä. Kasvien kaliumin luksusotto lienee noston kaliumpitoisuuksia. Koska karjanlannan kalium on suoraan kasvien käytettävissä, oli se myös satoarvoja nostattava tekijä.</p> <p>Todennäköisesti kokeen edetessä maan kaliumin pitoisuudet alkavat laskea pienimmillä lannoitustasoilla. Tällöin pystytään määrittämään optimaalinen kaliumlannoitustaso, jolloin ei köyhdytetä maan kaliumvaroja liiaksi, eikä turhaan tuhlaata resursseja liian suureen lannoitukseen. Tulosten perusteella voidaan päätellä, että kaliumlannoitus tulisi antaa jokaiselle sadolle erikseen. Eri kaliumlannoitustasoilla ei ollut vaikutusta kuiva-ainesatoihin. Lannoitustasolla 0 kg/ha kuiva-ainesadot eivät merkittävästi eronneet muiden lannoitustasojen kuiva-ainesadoista. Aiheesta tarvitaan lisätutkimuksia, jotta pystytään määrittämään, kuinka kauan maan kaliumvarat kestävät.</p>	
Avainsanat Kalium, reservikalium, nurmet, lannoitus, säilörehu, poikimahalvaus, viljavuusanalyysi	

Field of Study Natural Resources and the Environment			
Degree Programme Degree Program in Agriculture and Rural Development			
Author(s) Tiina Hyvärinen and Arto Pehkonen			
Title of Thesis The effect of the potassium fertilization of grass on soil and on the nutrition quality of silage			
Date	23.4.2014	Pages/Appendices	78/15
Supervisor(s) Pirjo Suhonen, Sinikka Ripatti, Petri Kainulainen			
Client Organisation /Partners MTT Agrifood Research Finland Maaninka/Sanna Kykkänen			
<p>Abstract</p> <p>Potassium is an important nutrient for grass production, but high potassium contents of the silage cause milk fever, grass tetany and incidence of mastitis for ruminants. The root systems of grass are capable of using the potassium from the ground's own reserves. The basic soil analysis will not tell the real potassium reserves of the ground, but they can be ordered to be analyzed at the same time. The amount of total potassium in the ground depends on the soil type and its starting material.</p> <p>The purpose of this thesis was to explore the effect of different levels of potassium fertilization, manure as well as the effects of these two on harvest values. In addition, it was studied how the soil fertility changes during the test. The potassium fertilization test was organized in Agrifood research centers in Maaninka, Ruukki and Mikkeli. The observations and results of the years 2012-2013 were used as material in this thesis. The experiment was organized at three different locations in order to include both high and low potassium content soils.</p> <p>The test had two primary areas, one of which had received about 30 t/ha of manure. There were also five secondary areas with different potassium fertilization levels. They were 0 kg/ha, 50 kg/ha, 100 kg/ha, 150 kg/ha, 200 kg/ha and the fertilization was carried out with potassium chloride. In addition, the whole area was fertilized with nitrogen and phosphorus fertilizers. This fertilization was done so that both the test members with manure and without manure got the same amount of nitrogen and phosphorus.</p> <p>Rising potassium fertilization level decreased the D-value and the DCAD value, and as expected, increased the potassium content, the potassium balance, the K/ (Ca + Mg) ratio and the K/N ratio. Manure fertilization mainly decreased the yield of dry matter and increased the potassium content of the plant, the K/ (Ca + Mg) ratio and the K/N ratio. The effect of manure and potassium fertilization used together made very little difference in this experiment. Nearly during the whole experiment the important parameters of the quality of animal nutrition were at a dangerously high level, regardless of the potassium content on the ground. Luxury potassium intake probably increased plant potassium content. Because the potassium of cattle manure is directly available to plants, it was also causing the harvest values to increase.</p> <p>As the experiment progresses, the potassium contents of the ground are likely to begin to decline with the lowest fertilization levels. Thus it is possible to determine the optimal potassium fertilization level, so that the potassium content of the ground will not be too much impoverished and less money would be wasted in expensive fertilizers. Based on the results it can be concluded that the potassium fertilization should be given separately for each harvest. The different levels of the potassium fertilization had no effect on the dry matter yields. The dry matter yields at the fertilization level 0 kg/ha, did not significantly differ from yields at the other fertilization levels. Further researches are necessary to determine how long the potassium contents on ground will last.</p>			
Keywords Potassium, total potassium, grasses, fertilizer, silage, milk fever, basic soil analysis			

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	6
2	KÄSITTEET	8
3	KALIUM MAAPERÄSSÄ	9
4	KALIUM KASVISSA.....	13
4.1	Kasvin kaliuminotto	13
4.2	Kaliumin tehtävät	14
4.3	Kaliumin puute.....	14
4.4	Kalium ja muut kationit.....	15
4.5	Säilörehu.....	15
5	ELÄINRAVITSEMUS.....	17
5.1	Dieetin kationi-anioni-erotus (DCAD).....	18
5.2	Ekvivalenttisuhdeluku (K/ Ca +Mg).....	18
6	KALIUMLANNOITUS	20
6.1	Kaliumlannoituksen määrittäminen.....	21
6.2	Korkea reservikalium	23
6.3	Alhainen reservikalium.....	23
6.4	Kaliumin ja typen suhdeluku (K/N)	24
7	AINEISTOT JA MENETELMÄT.....	26
7.1	Koeasetelma.....	26
7.2	Lannoitus	27
7.3	Maanäytteet	29
7.4	Kokeen niitto ja näytteiden otto	30
7.5	Tilastollinen menetelmä	31
7.6	Luotettavuus	32
8	TULOKSET	34
8.1	Sää.....	34
8.2	Maaperän muutokset	37
8.3	Kuiva- ainesato	43
8.4	D-arvo	45
8.5	Raakavalkuainen	50

8.6	Kaliumtase	51
8.7	Kaliumpitoisuus.....	53
8.8	Kaliumin ja typen suhdeluku K/N.....	56
8.9	Ekvivalenttisuhdeluku K/(Ca+Mg).....	61
8.10	Dieetin kationi-anioni-erotus (DCAD).....	66
9	JOHTOPÄÄTÖKSET	76
10	PÄÄTÄNTÖ.....	78
	LÄHTEET	79

LIITTEET

- Liite 1 Lieteanalyysit
- Liite 2 Tensiometrien tulokset
- Liite 3 Kokeen toimenpiteet
- Liite 4 Maan viljavuuskalium
- Liite 5 Maan varastokalium
- Liite 6 Maan viljavuuskalium
- Liite 7 Maan viljavuusmagnesium
- Liite 8 Kuiva-ainesato
- Liite 9 D-arvo
- Liite 10 Raakavalkuainen
- Liite 11 Kaliumtase
- Liite 12 Kaliumpitoisuus
- Liite 13 K/N suhde
- Liite 14 K/(Ca+Mg)
- Liite 15 DCAD

1 JOHDANTO

Kalium on tärkeä ravinne kasvintuotannossa. Sillä on useita eri tehtäviä kasvin kasvuun ja kehitykseen liittyen. Kaliumin puute heikentää muiden ravinteiden hyväksikäyttöä, mikä johtaa satotappioihin. (Kauppila, R. 2011. 22.) Nurmille kaliumin tarve on erityisen tärkeää, koska niistä kerätään sato 2-3 kertaa vuodessa. Nurmisadon mukana kaliumia poistuu 150–250 kg/ha/vuodessa, kun taas viljasadon mukana kaliumia poistuu vain 12–20 kg/ha/vuodessa. Nurmen kaliumpitoisuus on tärkeä myös märehitijöiden ravitsemuksen kannalta. Nurmilla on taipumus kaliumin luksusottoon, kun sitä on runsaasti saatavilla. (Virkajärvi, P. ym. 2012.) Luksusotto on haitallista sillä suuret rehun kaliumpitoisuudet aiheuttavat märehitijöissä poikimahalvausta, laidunhalvausta ja utaretulehduksia. Säilörehun kaliumpitoisuuden yläraja on 30 g/kg ka. (Tauriainen, S. Sipilä, A. 2006.)

Nurmien kaliumlannoitussuositukset perustuvat viljavuusnäytteeseen, josta analysoidaan viljavuuseli helppoliukoisen kaliumin määrä. Koeaineistojen perusteella on herännyt kysymyksiä siitä, onko viljavuuskalium tarkka kaliumtarpeen määrittäjä. Maalajista riippuen viljavuussuositusten mukainen lannoitus ei ole tuottanut sadonlisää. Ongelmaksi on myös joillakin mailla muodostunut rehun korkea kaliumpitoisuus, vaikka lannoitus on tapahtunut suositusten mukaan. Tätä voidaan osittain selittää karjanlannan käytöllä, mutta kaikilla tiloilla korkea rehun kaliumpitoisuus ei johtunut karjanlannasta. (Virkajärvi, P. Sihto, U. Isolahti, M. 2007.) Tutkimustulosten perusteella onkin epäilty, että reservikalium selittäisi paremmin kaliumlannoituksen avulla saatua sadonlisää, kuin viljavuuskalium. Nurmet pystyvät pitkän kasvukautensa ja tiheän sekä syväälle ulottuvan juuristonsa avulla hyödyntämään maan hitaasti vapautuvia kaliumvaroja. (Virkajärvi, P ym. 2012.)

Kalium on kallis ravinne ja sen tarpeeton lisääminen maahan on turha kustannus sekä riski rehun laadulle. Kaliumlannoituksen optimoinnissa tärkeässä asemassa on maalaji. Nurmien lannoituksen ongelmaksi on karkeilla kivennäismailla muodostunut kaliumin huuhtoutuminen ja kaliumin luksusotto. Maan luontaiset kaliumvarat vaihtelevat turvemaiden mitättömistä reserveistä savimaiden runsaisiin reserveihin. Maan kaliumvarojen riittävyttä ja kaliumlannoitusta on tästä syystä haluttu tutkia useamman nurmivuoden kokeissa. Karjanlanta on ehdottomasti huomioitava, koska karjanlannan kalium on suoraan kasvien käytettävissä. (Virkajärvi, P ym. 2012.)

Opinnäytetyömme perustuu Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) kaliumlannoituskokeeseen, joka toteutettiin Maaningalla, Ruukissa ja Mikkelissä vuosina 2011–2013. Tämän opinnäytetyön pääpaino on tutkia kaliumlannoitustasojen, lietteen tai niiden yhdysvaikutusta kasviin ja siten eläinravitsemukseen. Esimerkiksi haetaan vastausta kysymykseen, vaikuttaako kaliumlannoitustaso kuiva-ainesatoon tai miten kaliumlannoitustasojen ja lietteen yhdysvaikutus vaikutti rehun kaliumpitoisuuteen. Lisäksi vertaamme maan kaliumvarojen muuttumista kolmen vuoden aikana kolmella koepaikalla. Kaliumlannoitus on toteutettu mineraalilannoituksella ja karjanlannalla. Karjanlanta on tärkeä tekijä tässä tutkimuksessa, koska se sisältää runsaasti kaliumia ja sitä käytetään kaikilla kotieläintiloilla. Nurmien kaliumlannoitusta on aikaisemmin tutkittu ilman karjanlantaa, joten tämän tutkimuksen tarkoituksena on sekä vahvistaa aikaisempia teorioita, että löytää uusia teorioita.

Koe on osa Kehitystä naudanlihantuotantoon (KeNa) – hanketta. Hankkeen tavoitteena on parantaa Suomalaisen naudanlihantuotannon kannattavuutta sekä tehostaa lihanauttilojen ja lihanjalostuksen kilpailukykyä. Hankkeen avulla pyritään myös säilyttämään sekä kasvattamaan naudanlihantuotantoa Suomessa. Hanke on Savonia-ammattikorkeakoulun ja MTT:n yhteishanke, joka toteutetaan vuosina 2011–2014 (Hankkeen tiedot.)

2 KÄSITTEET

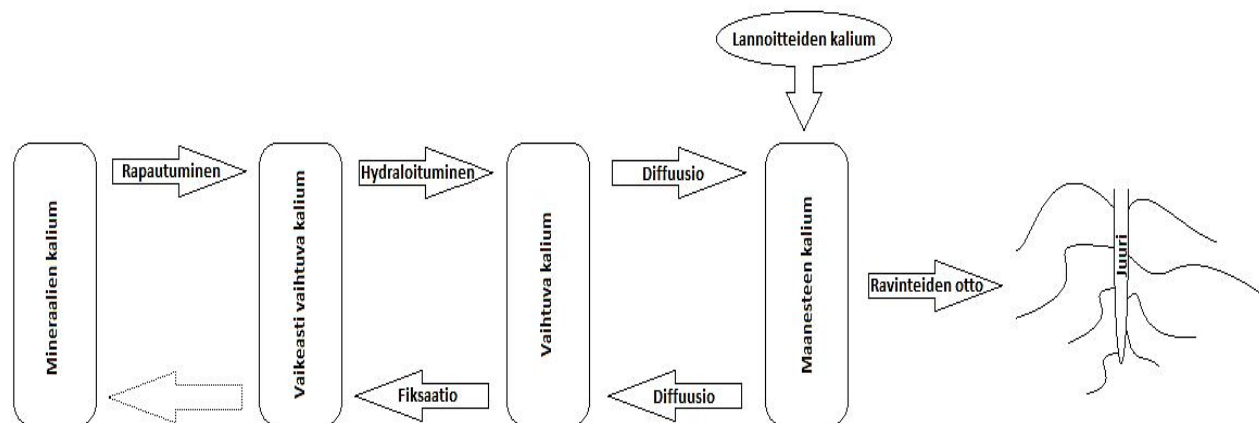
Viljavuuskalium on helppoliukoista kaliumia, joka saadaan selville viljavuustutkimuksen avulla. Reservikalium on happoliukoista kaliumia, joka saadaan selville suolahappouton avulla. Maassa kaliumia esiintyy neljässä eri muodossa. Maanesteen kalium, joka on kasveille käyttökelpoista, helppoliukoista kaliumia, Vaihtuva kalium, joka on kiilteiden pinnalla olevaa kaliumia ja vapautuu maanesteeseen kationinvaihdon avulla, Vaikeasti vaihtuva kalium, joka on lähellä kiilteiden pinta olevaa kaliumia ja vapautuu hydraloitumisen avulla, Mineraalien kalium, joka on esimerkiksi kiilteen rakenteissa olevaa kaliumia ja vapautuu rapautumalla. (Rangel, Y. A. 2008. 22.)

Mineraalit ovat luonnossa esiintyviä kivilajeja. Silikaattimineraalit ovat monimuotoinen mineraaliryhmä johon kuuluvat kiilteet ja kalimaasälpä. Kiilteet ja maasälvät ovat primaarisia mineraaleja, joista rapautumalla muodostuu savimineraaleja eli sekundaarisia mineraaleja kuten biotiitti, vermikuliitti ja illiitti, jotka sisältävät kaliumia. (Hartikainen, H. 2009. 31.)

Savimineraalit koostuvat silikaattikerroksista, joiden välissä on K^+ ioneita. Ioni on sähköisesti varautunut atomi, johon kuuluvat kationit ja anionit. Kationi on positiivisesti varautunut ioni ja anioni negatiivisesti varautunut ioni. Hydraloituminen on vesimolekyylin liittymistä ioniin, joilloin silikaattikerrokset aukeavat ja K^+ vapautuu maanesteeseen. Kationinvaihto eli diffuusio on kationin vapautumista ja sitoutumista maahiukkasiin. Kationinvaihdossa K^+ :n tilalle silikaattikerrokseen tulee Ca, Mg ja Na ioneita. Jos maanesteen kaliumpitoisuus nousee liikaa, maanesteeseen vapautunut K^+ sitoutuu takaisin mineraaliin. Tätä reaktiota kutsutaan Fiksaatioksi. (Hartikainen, H. 2009. 31.)

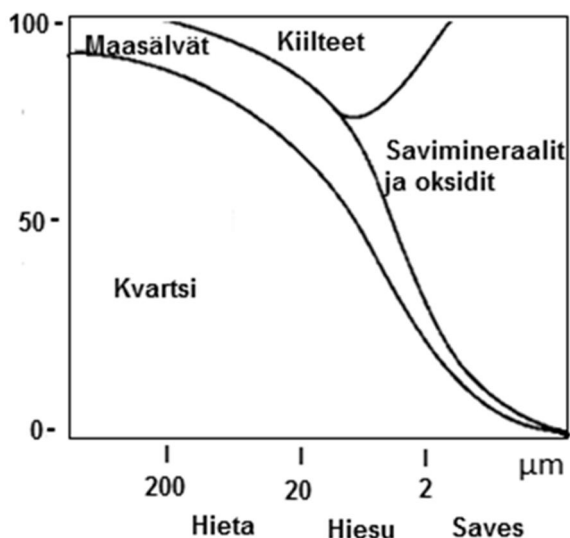
3 KALIUM MAAPERÄSSÄ

Maassa kaliumia esiintyy neljässä eri muodossa: maanesteessä, vaihtuvana kaliumina, vaikeasti vaihtuvana kaliumina sekä mineraalien rakenteissa olevana kaliumina. Maan viljavuuskalium eli helppoliukoinen kalium saadaan selville viljavuustutkimuksen avulla. Siinä selvitetään maanesteen kalium ja maan vaihtuva kalium. Nämä kaliummuodot ovat kasvien käytettävissä. Reservikalium on happoliukoista kaliumia, joka määritetään suolahappouutolla. Tällä menetelmällä saadaan selville maanesteen kalium, vaihtuva kalium sekä osittain vaikeasti vaihtuva kalium. Mineraalien rakenteiden kalium ei juuri näy uutossa. Kun saadusta happouutosta, eli reservikaliummäärityksen tuloksesta vähennetään helppoliukoinen eli viljavuusnäytteestä saatu kaliumtulos, saadaan selville kasveille suoraan käyttökelpottoman eli reservikaliummäärä. Tämä on pääsääntöisesti vaikeasti vaihtuvaa kaliumia. Lisää tietoa viljavuus- ja reservikalium määrittämisestä kohdassa 6.1. (Rangel, Y. A. 2008. 22.) Kaliumpitoisuus maaperässä on keskimäärin 1,2 %. Suomen maaperän kaliumpitoisuus on keskimäärin 2,1 %. Se on keskiarvoa suurempi, koska Suomen maaperä on suhteellisen nuori ja sisältää kaliumin luontaisina lähteinä olevia savimineraaleja. (Saarela, I. 2005, 1/4.) Yksi hehtaari voi sisältää useita jopa satoja tuhansia tonneja kaliumia maan kiilteiden ja kalimääsälpien rakenteissa (Simonsen, M. ym. 2007.) Maan kaliumvarojen uskotaan kestävän seuraavien noin 350 vuoden ajan, mutta ne eivät ole jakautuneet tasaisesti ympäri maailmaa (Rangel, Y. A. 2008.15). Kuvassa 1 on havainnollistettu kaliumin liikkeitä maaperässä. Käsitteet on avattu myöhemmissä kappaleissa.



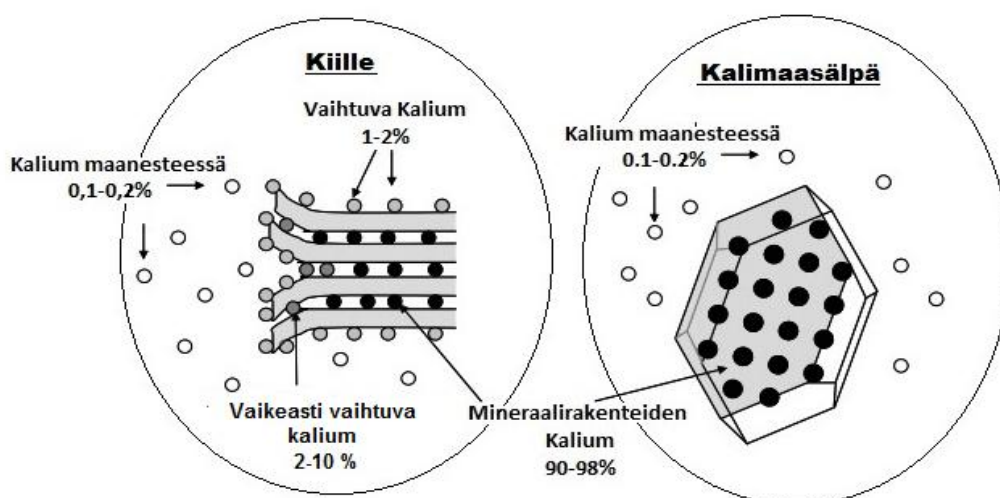
KUVA 1. Molempiin suuntaan osoittavat nuolet tarkoittavat, että poolien välillä on tasapaino. Rangel, Y. A. 2008. 22.

Suurin osa maan kaliumista on kivien mineraalien rakenteissa. Kuvasta 2 nähdään, että mitä karkearakeisempaa maalaji on, sitä enemmän siinä on vaikeasti rapautuvia primaarisia mineraaleja. Hiekka- ja hietamaissa esiintyy eniten kvartseja ja maasälpää. Hiukkaskoon pienentyessä kiilteiden osuus kasvaa maalajin mineraalikoostumuksessa. Hienoin aines eli savimineraali on muodostunut edellä mainittujen primaaristen mineraalien rapautuessa. Savimineraaleja kutsutaan sekundaarisiksi mineraaleiksi. Maalajien mineralogiset erot vaikuttavat kationinvaihtokykyyn ja sitä kautta maan ravinteikkouteen. (Hartikainen, H. 2009. 31.) Mineraalien muodostumisesta asti kalium on ollut niissä kationina (Rangel, Y.A. 2008. 22).



KUVA 2. Hiukkaskoon pienetessä kaliumia sisältävien mineraalien osuus kasvaa. Hartikainen, H. 2009. 31.

Kuvasta 3 nähdään kaliumin muotojen sijanti. Mineraalien kalium ja vaikeasti vaihtuva kalium sisältävät 98 % kaikista maaperän kaliumvaroista. Mineraalien kalium on kivilteiden esimerkiksi biotiitin ja kalimaasälpäiden rakenteissa olevaa kaliumia, joka vapautuu rapautumalla. Vaikeasti vaihtuva kalium on rakeiden sisällä, lähellä kivilteiden pintaa olevaa kaliumia, joka ei osallistu kationinvaihtoon vaan vapautuu hydrolyoitumisen avulla. Vaihtuva kalium ja maanesteen kalium sisältävät vain 2 % maaperän kaliumvaroista. Vaihtuva kalium on kivilteiden pinnalla olevaa kaliumia, joka voi vapautua diffuusion eli kationinvaihdon avulla maanesteeseen. Maanesteen kalium on suoraan kasvien käytettävissä olevaa liukoista kaliumia. (Rangel, Y. A. 2008. 22.)

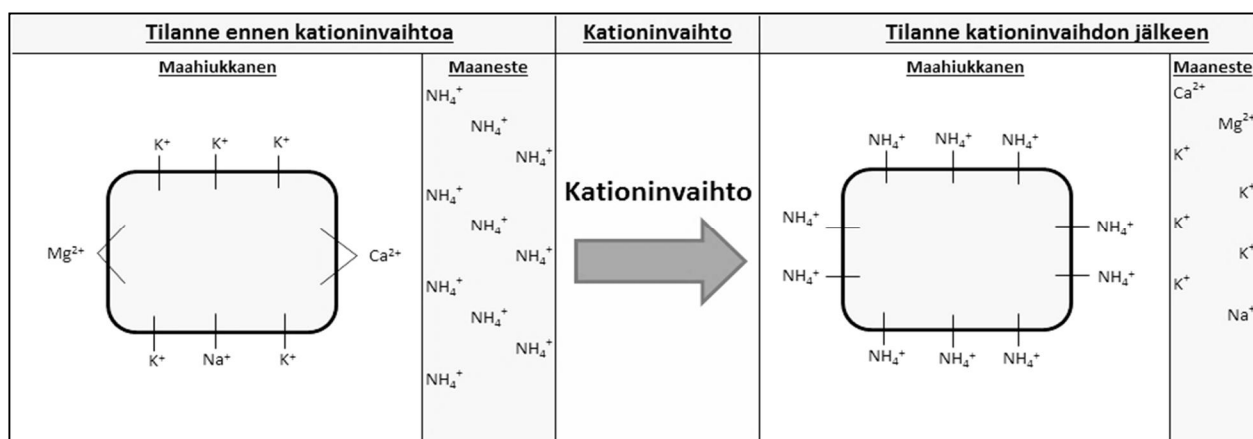


KUVA 3. Kalium maassa. Rangel, Y. A. 2008. 22.

Suomen kallioperässä ja kivennäismaissa pääosa mineraaleista on silikaatteja (Hartikainen, H. 1996. 33). Savimineraalit ovat OH-pitoisia silikaatteja ja niitä esiintyy eniten savefraktiossa sekä hieman myös hiesufraktiossa (Hartikainen, H. 1996. 40). Suomessa savimineraalit ovat pääasiassa muodostuneet kiilteistä kuten biotiitti. Biotiitista rapautunut hieno maa-aines on tärkeimpiä kaliumin luontaisia lähteitä maaperässä. (Hartikainen, H. 1996. 42.) Savimineraalit rakentuvat silikaattikerroksista. Kerros koostuu kahdesta piitetraedri kerroksesta, joiden välissä on alumiinoktaedrikerros. Kerrosten välissä olevat K^+ ionit pitävät positiivisen varauksen avulla kerrokset yhdessä. Kuitenkin ajan mittaan vesi pystyy tunkeutumaan silikaattikerrosten väliin, jolloin K^+ ioni hydraloituu. Hydraloituminen on vesimolekyylien liittymistä ioniin. Vesimolekyylien määrä kasvaa eli hydraloituminen etenee ja vapauttaa energiaa, joka työntää silikaattikerrokset erilleen. Tällöin kerrosten välissä oleva K diffundoituu maaveteen. Tämä reaktio saa aikaan rapautumisketjun, jonka seurauksena syntyy savimineraaleja. (Hartikainen, H. 2009. 32.)

Rapautumisen edetessä kerrokset aukeavat lisää ja eri rapautumisvaiheen mineraaleja nimitetään eri savimineraaleiksi (Hartikainen, H. 2009. 42). Rapautumisen ensimmäistä tuotetta kutsutaan illiitiksi. Illiitti on yleinen savimineraali, johon on sitoutunut paljon kaliumia (Hartikainen, H. 2009. 36.) Myös vermikuliitti on savimineraali. Se on paisuvahilainen kerrosväleissä esiintyvä savimineraali, jonka suuruuteen vaikuttaa kationin laatu. Kationin ollessa Na^+ varastoituu vettä kerrosten väliin yhden molekyylikerroksen verran. Jos kationi on Mg^{2+} , varastoituu vettä kahden molekyylikerroksen verran, jolloin hilaväli kasvaa. Tämä synnyttää lokeroita, joihin maanesteen K^+ hakeutuu takaisin, jos lannoituksen saurauksena maanesteen K^+ -pitoisuus kasvaa liikaa. Tällöin illiittinen rakenne muodostuu uudestaan ja K^+ -ioni sitoutuu vaihtumattomaan muotoon. Tätä ilmiötä kutsutaan fiksaatioksi. (Hartikainen, H. 2009. 36.) Fiksaatio on nopea prosessi, kun taas kaliumin vapautuminen maanesteeseen on hidasta (Zörba, C. Senbayram, M. Peiterc, E. 2013.3).

Diffuusion seurauksena kerrosväleistä poistuvat K^+ -ionit vapautuvat maanesteeseen ja ovat välittömästi kasvien käytettävissä. Ca-, Mg- ja Na-ionit korvaavat kerrosvälien kaliumkationit. Tätä reaktiota kutsutaan kationinvaihdoksi. (Hartikainen, H. 2009. 32.) Kuva 4 havainnollistaa fiksaatiota eli kationinvaihtoa.



KUVA 4. Kationinvaihdon periaate. Todellisuudessa kationinvaihto on hidasta, eivätkä kaikki maahiukkanen kationit vaihdu samanaikaisesti. Hartikainen, H. 2009.

Erot kaliumin maahan sitoutumisessa eri maalajien välillä johtuvat maalajien erilaisista kationinpidätysominaisuuksista. Maalla on kyky sitoa kationeja sellaiseen muotoon, etteivät ne huuhtoudu, mutta ovat kasvien käytettävissä. Tätä kutsutaan kationinvaihtokyvyksi. Kyseessä on tasapainoreaktio, joka vaikuttaa maan sekä kasvin ravinnetalouteen. (Hartikainen, H. 1996. 51.) Maan savespitoisuuden kasvaessa kationinvaihtokapasiteetti ja kationien ekvivalenttinen summa kasvaa. Karkeilla kivennäismailla kationinvaihto on vähäisempää. Multavuuden nostolla maan kationinvaihtoa voidaan parantaa. (Saarela, I. ym. 1998. 16.) Savimaille on tyypillistä pidättää vaihtuvaa kaliumia vaihtumattomaan muotoon, jos maanesteen kaliumpitoisuus kasvaa liikaa. Liiallisen kaliumin pidättäytyminen voi olla hyödyllistä, sillä se estää luksusottoa ja vähentää huuhtoutumista. (Saarela, I. 2005, 1/4.) Kaliumin pidättäytyminen vapauttaa maanesteeseen kalsium- ja magnesiumioneja, jotka parantavat nurmen ruokinnallista laatua (Saarela, I.ym.1998. 16). Turvemailla kaliumin sitoutuminen maahan on heikkoa, koska orgaaninen aines ei sido kaliumia juuri lainkaan vaikeasti vaihtuvaan muotoon. Tämän takia ylimääräinen kalium huuhtoutuu turvemaissa herkästi. (Heikkilä, R. ym. 1990. 8.)

Kaliumia huuhtoutuu savimaista noin 10 kg/ha vuodessa. Kasvien taimettumisvaiheessa voi savimailakin esiintyä kaliumin puutetta, koska kasvien kasvu on nopeaa ja niiden juuret ovat vielä pienet. (Kauppila, R. 2011.) Happoliukoista reservikaliumia on enemmän syvemmällä maassa, jonne nuoren nurmen juuret eivät vielä yletä. Varsinkin ohutturpeisilla suomailta, multamailla sekä kerroksellisilla kivennäismailla merkittävä kaliumin lähde on pohjamaa. (Saarela, I. 2005, 4/4.) Karkeilla kivennäismailla kaliumin huuhtoutuminen on yleisempää. Myös erityisen matala pH ja märkyys lisäävät huuhtoutumisen riskiä. Karkeilla kivennäismailla kaliumin puutteen voi huomata myöhemmässä kasvukauden vaiheessa, kun maan kaliumvarat yllättäen loppuvat. (Kauppila, R. 2011.) Kaliumin huuhtoutumisen ympäristövaikutuksia ei pidetä merkittävänä verrattuna typen ja fosforin huuhtoutumisen riskeihin (Isselstein, J. Kayser, M. 2005).

4 KALIUM KASVISSA

Kalium on kasvin neljänneksi yleisin alkuaine hapen, hiilen ja vedyn jälkeen. Kasvi sisältää kaliumia noin 1,5 % kuiva-aineesta. (Mäntylähti, V. Jaakkola, A. Kari, M. 2009,25.) Kalium on kasvin elävissä soluissa vapaina ioneina (Saarela, I. ym. 1981. 15). Kasvit tarvitsevat kaliumia jatkuvasti kasvuun, kehitykseen ja sadon muodostukseen. Kasviravinteista vain tyypeä on kasvissa enemmän kuin kaliumia. (Kauppila, R. 2011.23.) Kalium kuuluu hyvin liikkuviin ravinteisiin, joita kasvi pystyy siirtämään aktiivisiin kasvosioihin niistä kasvin osista, jotka ovat jo lopettaneet kasvunsa, siksi kaliumin puute näkyy ensiksi vanhoissa kasvosiossa. (Mäntylähti, V. Jaakkola, A. Kari, M. 2009,25.)

Eri kasvilajeilla on erilainen kyky ottaa kaliumia maasta. Erot kaliumin otossa johtuvat kasvilajien erilaisista juurirakenteista kuten tiheydestä, syvyydestä ja hiusjuurten pituudesta. (Zörba, C. Senbayramb, M. Peiterc, E. 2013. 5.) Nurmen juuristo on vahva, tiheä ja ulottuu syvälle maahan, mistä johtuen nurmet ottavat ravinteita tehokkaammin. Erityisesti jos kaliumia on vähän pintamaassa, nurmet ottavat sitä jankosta. (Saarela, I. 2005. 4/4.) Pitkän kasvukautensa ansiosta nurmet pystyvät hyödyntämään hitaasti vapautuvia kaliumvaroja (Saarela, I. ym. 1998. 21). Viimeaikaisissa tutkimuksissa on huomattu, että joidenkin maan mikro-organismien eritteet ja kasvien juuret ovat avainasemassa mineraalien kaliumin vapautumisessa. Mikro-organismien eritteiden happo pystyy vapauttamaan mineraalien rakenteiden kaliumia maanesteeseen. Myös kasvien juuret erittävät happoja, jotka vapauttavat mineraalien kaliumia. (Zörba, C. Senbayramb, M. Peiterc, E. 2013. 2.)

4.1 Kasvin kaliuminotto

Kasvi ottaa kaliumin maanesteestä yhdenarvoisena kationina (K^+). Kasvien juurista kalium kulkee eteenpäin aluksi soluväleissä. Soluvälit ovat huokoista solunseinää sekä tyhjiä aukkoja solujen välissä. Plasmalemma on solukalvo, jonka tehtävä on estää ravinteiden vapaa pääsy soluun. Plasmalemmän läpi pääsevät vain tietyt aineet. Ravinteille on tärkeää päästä solukalvon ohi solulimaan, jotta ne pääsevät osallistumaan kasvin aineenvaihduntatapahtumiin. Koska kalium on helposti liikkuva kationi, se läpäisee plasmalemmän hyvin. Sieltä kalium siirtyy protoplasmaan eli solulimaan. Solunseinässä olevien plasmodesmi-aukkojen avulla solulimaan päässyt kalium voi kulkeutua kaikkialle kasviin. Tätä solujenseinissä olevien aukkojen verkostoa nimitetään symplastiksi. Symplastisen reitin kuljetuskapasiteetti on kuitenkin liian hidas kasvin tarpeisiin. Kasviin onkin muodostunut johtosolu-koita, yhtenäisiä putkia, jotka kuljettavat ravinteita nopeammin. Kalium ja muut ravinneionit kulkevat putkiloissa massavirtauksen eli transpiraatiovirtauksen mukana juurista lehtiin. Lehdistä varastointipaikkaan kulku tapahtuu siiviläputkissa. Yhteyttämistuotteet kulkevat siiviläputkissa liuoksen avulla. Siiviläputken liuos sisältää mm. sokereita ja orgaanisia happoja, mutta myös kaliumia. Liuoksen kaliumpitoisuus edesauttaa virtausnopeutta, ja edistää näin yhteyttämistuotteiden kuljetusta. (Jaakkola, A. 1996. 211–214.)

4.2 Kaliumin tehtävät

Kaliumilla on kasvilla monia tehtäviä, mutta muut kationit pystyvät tarvittaessa korvaamaan useat niistä. Tärkein kaliumin tehtävä on solunesteen osmoottisen potentiaalin säätely. Myös monet muut ravinteet vaikuttavat osmoottiseen potentiaaliin, mutta kaliumia on solunesteessä eniten. Osmoottisen potentiaalin kautta kalium vaikuttaa kasvin vesitalouteen. (Jaakkola, A. 229.) Kasvin soluun vettä imeytyy osmoosin avulla. Tästä seuraa solunsisäistä nestejännitystä. Nestejännitys lisää pehmeiden solukoiden kasvua ja jäykkyyttä, jonka ansiosta pehmeävaraiset kasvit ja niiden lehdet pysyvät pystyssä. (Jaakkola, A.196.) Kasvi tarvitsee vettä myös yhteyttämisessä raaka-aineena, ja yhteyttämisuotteiden kuljetukseen tarvitaan ATP-energiaa. (Fagerstedt, K. Linden, L. Santanen, A. Vainola, A. 2008.87.) Kaliumin puutteen seurauksena ATP- energiaa ei muodostu tarpeeksi ja yhteyttämisuotteiden kuljetus häiriintyy. Tällöin kasvin kasvu ja kehitys heikkenee. Näin kaliumilla on tärkeä rooli myös yhteyttämisen onnistumisessa. (Kauppila, R. 2011.23.) Kalium säätelee ilmarakojen sulkeutumista ja avautumista, mistä riippuu kasvin hiilidioksidin saanti sekä transpiraatio eli veden haihtuminen. (Jaakkola, A. 229.) Ilmarakojen kautta kasviin kulkeutuu kaasuja kuten hiilidioksidia. Kasvi tarvitsee hiilidioksidia yhteyttämiseen. Ilmarakoja ympäröivät huulisolut sisältävät kaliumia. Huulisolujen turgorpaine laskee ja ilmarako sulkeutuu, jos haihdunta on liian voimakasta. Haihdunnan ollessa liian heikkoa, soluihin kertyy vettä, turgor lisääntyy ja ilmaraoit avautuvat. (Jaakkola, A. 200.)

Tärkein kylmänkestävyyteen vaikuttava ravinne on kalium. Kalium säätelee solun suolapitoisuutta, josta jäätymispisteen aleneminen riippuu. (Jaakkola, A. 230.) Entsyymit ovat valkuaisaineita ja niiden toiminnan kannalta paras kasvien solunesteen pH on 7-8. Kalium pitää yllä tätä pH:ta. Kalium on välttämätön ravinne valkuaisaineiden muodostuksessa sekä toimii myös entsyymien aktivaattorina. Kalium aktivoi yli kuuttakymmentä entsyymiä, jotka tekevät mahdollisiksi erilaiset kemialliset reaktiot kuten yhteyttämisen. Yhteyttämisen häiriintyessä lehtiala ja lehtivihreän muodostuminen vähenee. (Kauppila, R. 2011.23.)

4.3 Kaliumin puute

Kasvilla kaliumin puutosoireet näkyvät lehtien kärkien kellastumisena eli kloroosina. Sairaana ja terveen solukon välissä näkyy selvä ero. Kaliumin puutteen ollessa runsasta lehdet muuttuvat ruskeiksi, solukko kuolee ja kasvusto voi näyttää palaneelta. Ilmiötä kutsutaan nekroosiksi. (Saarela, I. 2005, 4/4.) Kaliumin puute aiheuttaa niin kutsuttua päiväkuivumista, jossa kaliumin puutteen takia solujen turgorpaine pysyy matalana, huulisolut eivät sulkeudu ja vesi pääsee haihtumaan vapaasti kasvista. Kaliumin puute voi häiritä myös hiilihydraattimetaboliaa. Hiilihydraatteja ei kulkeudu tarpeeksi kasvin varteen soluseinämien muodostumista varten ja tämä aiheuttaa lakoontumista. (Jaakkola, A. 230.) Kaliumin puutteessa myös suurimolekyylisten hiilihydraattien kuten tärkkelyksen sekä sellulosaan synteesi estyy, ja kasviin muodostuu pienimolekyylisiä hiilihydraatteja. Tämän seurauksena mikrobiston hengitys kiihtyy, koska sokereita on siirtynyt kasvualustaan. (Jaakkola, A. 230.) Myös lehtiin kerääntyy sokereita, minkä seurauksena kasvi altistuu tauti- infektiolle (Manninen, P. Mäkelä, P. 2007).

4.4 Kalium ja muut kationit

Kalium on vilkasliikkeinen kationi, jolla on taipumusta etuilla muita kationeja. Kaliumin ottoa maasta ei yleensä voida rajoittaa lisäämällä muita kationeja. Magnesium ja kalsium ovat kationeja, joita kalium syrjäyttää tehokkaasti. Keväturmessa magnesiumia ja kalsiumia on vähemmän, jolloin kaliumin suhde niihin muodostuu merkittäväksi. Kuitenkin savimaissa magnesiumipitoisuus voi nousta, koska maahan lisätty kalium vaihtaa magnesiumin maanesteeseen ja pidättäytyy itse. Kaliumin puutteen takia natriumpitoisuus voi nousta kasveissa, jotka muuten torjuvat sitä tehokkaasti. Kaliumin ja natriumin kemialliset ominaisuudet muistuttavat toisiaan, joten ne voivat osittain korvata toistensa tehtäviä. (Saarela, I. 2005, 3/4.)

Kaliumilla ja typellä on molemmilla tärkeä rooli kasvin kasvussa ja kehityksessä. Kaliumin ja typen keskinäinen riippuvuus johtuu kasvin ravinnetarpeen ja kasvin rakenteen välisestä yhteydestä. (Saarela, I. 2005, 2/4.) Kasveille saatavilla oleva typpilähde ja typen muodot maaperässä vaikuttavat kaliumreaktioihin. Typpilannoitus sisältää ammonium- (NH_4^+) ja nitraattityppeä (NO_3^-). K^+ ja NH_4^+ ovat samankokoisia ja omaavat yhtäsuuren varauksen, minkä takia ne kilpailevat samoista vaihtopaikoista maapartikkeleissa. Voimakas NH_4^+ -lannoitus vaikuttaa kaliumin saatavuuteen pitkällä ja lyhyellä aikavälillä. Lyhyellä aikavälillä NH_4^+ lisää kaliumipitoisuutta maanesteessä sitoutuessaan itse maahiukkasiin vapauttaen samalla kaliumkationeita maanesteeseen. Pitkällä aikavälillä se heikentää vaihtuvan ja vaihtumattoman kaliumin määrää maassa. Saatavilla olevan typen muoto vaikuttaa myös kaliumin imeytymiseen juurten pinnoille ja kasvien kalvoille. (Bar Tal, A.2011.)

Kasveilla on taipumus ottaa kaliumia maasta yli omien tarpeidensa, jos sitä on runsaasti tarjolla. Tätä kutsutaan luksusotoksi. (Kauppila, R. 2011.23.) Runsaan typpilannoituksen sekä karjanlannan käytön on todettu lisäävän sadon kaliumipitoisuutta. Lannoituksen mukana tuleva ammoniumtyyppi muuttuu maassa melko nopeasti nitraattitypeksi. Nitraattityppi kertyy pääasiassa kasviin ja on kaliumionin vastaioni. Tästä johtuen nitraattityppi lisää kaliuminottoa ja tarvetta kasvissa. (Saarela, I. ym.1981. 12.) Typen saanti on runsaampaa savimailla, koska ammoniumionit pidättäytyvät heikkommin savimineraaleihin (Saarela, I. ym. 1998. 16).

4.5 Säilörehu

Kaliumin luksusotosta ei ole haittaa kasville, mutta se nostaa säilörehun kaliumipitoisuutta, mikä on haitallinen eläimille (Kauppila, R. 2011.23). Sadon optimaalinen kaliumipitoisuus kuiva-ainetta kohti laskettuna vaihtelee kasvin kehitysasteen mukaan. Nuori nurmi tarvitsee runsaasti kaliumia ja muita ravinteita, koska se kasvaa runsaasti. Kasvuston kaliumipitoisuus laskee, kun vanhat kaliumia sisältävät lehdet varisevat maahan. (Kauppila, R. 2011.23.) Myös nurmen vanhetessa sen kaliumipitoisuus laskee, koska kasvi siirtää kaliumia juuristoonsa (Heikkilä, R. Huhta, H. Koikkalainen, K. Virkjärvi, P. 1990). Säilörehunurmen ensimmäinen sadon kasvustorakenne on erilainen kuin myöhempien satojen. Siksi ravinteita on runsaammin ensimmäisessä sadossa. (Kleemola, J. Ylihalla, M. 2009. 28.)

Kasvukauden aikana nurmihehtaari voi käyttää kaliumia 205 kg. Säilörehuasteella riittävä kaliumpitoisuus on noin 2,4 % (Saarela, I. 2005, 2/4), mikä tarkoittaa 20–25 g/kg kuiva-aineesta. Kasvit alkavat kärsiä kaliumin puutteesta, jos kaliumpitoisuus laskee alle 20 g/kg kuiva-aineesta. Liiallisen kaliumlannoituksen pitoisuus on yli 30 g/kg kuiva-aineesta. (Kauppila, R. 2011. 23.) Rikkakasvit nostavat säilörehun kaliumpitoisuutta, koska niissä on kaliumia jopa 40–70 grammaa kuiva-ainekilossa. Esimerkiksi pelto-ohdakkeessa on kaliumia 61 g/kg ka, voikukassa 48 g/kg ka ja niittyleinikissä 43 g/kg ka kuiva-ainekilossa. (Saarijärvi, K. Kananen, M. 2013.) Myös säilörehun esikuivatus nostaa kaliumpitoisuutta. Puristenesteen mukana poistuu runsaasti kaliumia tuoresäilötystä rehusta, mutta ei esikuivatusta rehusta. (Tauriainen, S. Sipilä, A. 2006.)

5 ELÄINRAVITSEMUS

Kalium on heti fosforin ja kalsiumin jälkeen tärkein kivennäinen naudoille. Märehtijöillä on suurempi kaliumin tarve kuin yksimahaisilla. Naudan elimistössä kalium osallistuu hermoston toimintaan, lihaskäynnityksen muodostamiseen, nestetasapainon ylläpitoon, elimistön happamuuden säätelyyn sekä hapen ja hiilidioksin kuljetukseen. (Tauriainen, S. Sipilä, A. 2006.) Kalium osallistuu myös aineenvaihduntaan, munuaisten, sydämen, luuston ja lihasten toimintaan. Kalium on solunsisäinen kationi ja sitä on eniten elimistön pehmeissä kudoksissa, pääasiassa lihaksissa. Maidossa on kaliumia, koska maito muodostuu solujen sisällä. (Harrison, J. Jenkins, T. Kincaid, R. Block, E. White, R.)

Kaliumin puutetta ei naudoilla yleensä esiinny, vaan ongelma on pikemminkin päinvastainen. Naudat saavat rehuista kaiken kaliumin, mitä ne eri tuotantovaiheissa tarvitsevat. Naudan koko rehuannoksen kaliumin yläraja on 25 g/kg ka, ummessa oleville naudoille se on hieman pienempi 20 g/kg ka. Naudat voivat sietää korkeitakin kaliumpitoisuuksia (70 g/kg ka), mutta se vähentää muiden kivennäisaineiden hyväksikäyttöä. Suuret pitoisuudet nurmirehussa heikentävät magnesiumin imeytymistä pötsissä ja altistavat lypsylehmiä utaretulehduksille ja poikimahalvauksille. (Tauriainen, S. Sipilä, A. 2006.)

Poikimahalvaus on lehmän yleisin aineenvaihduntasairaus. Suomessa poikimahalvausta esiintyy noin 5 %:lla lehmistä. Poikimahalvausta ei yleensä esiinny hiehoilla, vaan useaan kertaan poikineilla suurituotoksisilla lehmillä. (Tiuhonen, T. Pyörälä, S. 2005.) Riski poikimahalvaukseen kasvaa jokaisella poikimakerralla 9 %. Erityisesti riski on suuri, jos lehmä on lihava. Poikimahalvauksen esiintymisessä on huomattu alueellista vaihtelua. Uudellamaalla ja Pohjois-Savossa poikimahalvauksia esiintyy puolet enemmän kuin esimerkiksi Pohjanmaalla. (Saarijärvi, K. 2013. 20.)

Poikimahalvaus aiheutuu kalsiumaineenvaihdunnan häiriintymisestä. Lisäkilpirauhanen säätelee kalsiumtasapainoa veressä. Kalsiumpitoisuuden laskiessa vereen alkaa erittyä parathormonia (PTH), joka kiihdyttää kalsiumaineenvaihduntaa ja lisää veren kalsiumpitoisuutta. PTH-hormoni pyrkii korjaamaan kalsiumtasapainoa aktivoimalla kalsiumin takaisinottoa munuaisista ja lisäämällä kalsiumin imeytymistä ruuansulatuskanavasta ja irrotusta luustosta. Magnesiumvaje häiritsee PTH-hormonin tuotantoa lisäkilpirauhasessa sekä sen vastetta munuaisissa, ruuansulatuskanavassa ja luustossa. Rehun suuri kaliumpitoisuus (yli 30 g/kg ka) häiritsee magnesiumin imeytymistä muuttamalla pötsin seinämän sähköistä potentiaalia. Sen lisäksi kalium nostaa veren pH:ta, mikä on haitallista PTH-hormonin toiminnalle. Poikimisen jälkeen kalium ei enää ole haitallinen, vaan se voi vaikuttaa jopa positiivisesti lehmän tuottamaan maitomäärään. (Saarijärvi, K. 2013.17–18.)

Poikimahalvauksen oireita ovat syönnin ja märehtimisen väheneminen, ruumiin lämpötilan lasku, pulssin hidastuminen ja lihaskräppäys. Lopulta lehmä ei enää pysty nousemaan ylös vaan jää maakuulle, kun hermoston toiminta lamaantuu. (Tiuhonen, T. Pyörälä, S. 2005.) Poikimahalvauksen seurauksena jälkeisten jääminen on yleistä. Lehmä altistuu myös utaretulehduksille ja juoksumahan siirtymälle. Syömättömyyden jatkuessa lehmä voi sairastua asetonitautiin. (Rautala, H.)

1996.36.) Kaliumia on kuitenkin saatava joka päivä, koska se ei varastoidu elimistöön kuten kalsium, magnesium ja fosfori, jotka varastoituvat luuhun. Ylimääräinen kalium elimistössä erittyy virtsaan. (Ammerman, C. B. Goodrich, R. D. 2012. 522.)

5.1 Dieetin kationi-anioni-erotus (DCAD)

Kaliumin rooli karjan ruokinnassa on vahvasti sidottu käsitteeseen DCAD (Diet Cation-Anion Difference) eli dieetin kationi-anioni-erotus. DCAD- arvo tarkoittaa rehun sisältämien kivennäisaineiden positiivisten ja negatiivisten sähkövarausten erotusta. Rehun DCAD-arvo lasketaan yleensä neljästä pääkivennäisten pitoisuuksista kaliumista ja natriumista, jotka ovat kationeja eli positiivisesti varautuneita ioneja sekä kloorista ja rikistä, jotka ovat anioneja eli negatiivisesti varautuneita ioneja. (Harrison, J. Block, E. Kincaid, R. Normand, S. White, R. 1.)

Koko rehuannoksen DCAD-arvo on tärkeä ottaa huomioon tunnuskaudella, koska se vaikuttaa lehmän kalsiumaineenvaihduntaan. Kalsiumaineenvaihdunnan häiriintymisen takia poikimahalvaukset ja utaretulehdukset yleistyvät. Kalsiumvajeesta kärsivä lehmä vuotaa maitoa, koska vetimien suljelijahakset eivät toimi kunnolla. Bakteerit lisääntyvät maahan vuotaneessa maidossa ja lisäävät utaretulehdusriskiä. Ennen poikimista rehun DCAD-arvon tulisi olla mahdollisimman alhainen, suositus on -50 mEq/kg ka. Poikimahalvauksen riski kasvaa, kun arvo ylittää 250 mEq/kg ka. Suomalaisilla rehuilla negatiivisen DCAD-arvon saavuttaminen on kuitenkin vaikeaa. Tavallisimmat Suomessa mitatut DCAD-arvot ovat 200–300 mEq/kg ka. Säilörehujen, jotka sisältävät runsaasti rikkakasveja, DCAD-arvo voi olla yllättävän korkea. Pelkän voikukan DCAD-arvo on yli 750 mEq/kg ka ja leinikkien 550 mEq/kg. (Saarijärvi, K. Kananen, M. 2012), (Saarijärvi, K. 2013. 18.)

Suomessa rehuista analysoidaan harvoin kloori- ja rikkipitoisuuksia, minkä vuoksi DCAD-arvon laskeminen on mahdotonta. Peruskivennäisanalyyseissä eivät näy rikki- ja klooripitoisuudet, joten ne pitää tilata erikseen. Analyysikustannus on noin 50–70 euroa. DCAD-arvo lasketaan kaavalla $[(K^+ + Na^+) - (Cl^- + S^{2-})]$. Rehun DCAD-arvo laskee kasvuston vanhetessa. Erityisen paljon laskevat kalium- ja rikkipitoisuudet kuitupitoisuuden ja kasvuston massan lisääntyessä. Säilörehunurmet ovat Suomessa yleensä timoteivaltaisia. Timotein korrenkasvu on voimakasta, jonka seurauksena kationi- ja anionipitoisuudet ovat matalat. Maalaji vaikuttaa myös rehun DCAD-arvoon, koska hiesu- ja savi- mailla on luonnostaan korkeampi reservikaliumpitoisuus. Näillä mailla rehun kaliumpitoisuus on korkea ja klooripitoisuus matala. Jos rehun kaliumpitoisuus nousee yli 35 g/kg ka, DCAD-arvo voi kohota jopa yli 500 mEq/kg ka. (Saarijärvi, K. Kananen, M. 2012.)

5.2 Ekvivalenttisuhdeluku (K/ Ca +Mg)

Toinen huomioitava asia kivennäisruokinnassa on kaliumin suhde kalsiumiin ja magnesiumiin K/(Ca+Mg) (Saarela, I. 2005, 3/4). Erityisesti nuorena nurmessa on korkea kaliumpitoisuus, joka häiritsee muiden kivennäisaineiden imeytymistä ja metaboliaa. Magnesiumin ja kalsiumin alhaiset pitoisuudet sekä suuret määrät kaliumia aiheuttavat naudoille hypomagnesemian, eli laidunhalvauksen. (Grunes, D. L. Welch, R. M. 1989. 3485.) Veren magnesiumpitoisuuden lasku aiheuttaa laidun-

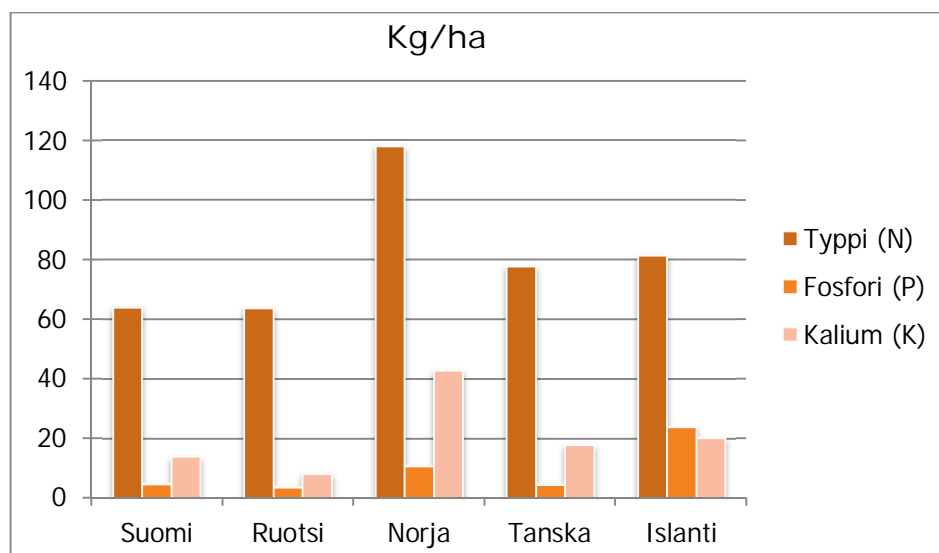
halvauksen, josta seuraa ärtyneisyyttä, aggressiivisuutta, kouristuksia ja suun vaahtoamista. Kehon lämpötila alkaa nousta, eläin seisoo paikallaan ja sen sydän lyö nopeammin. Jos tautia ei hoideta, se johtaa eläimen kuolemaan. Laidunhalvaukselle kaikkein alteimpia ovat vastapoikineet, suurituotoksiset vanhemmat lehmät. Magnesiumin imeytyminen heikkenee naudän ikääntyessä. (Klingerman, C. M. 2007. 2.)

Nurmen $K/(Ca+Mg)$ ekvivalenttisuhdeluvun tulisi olla 2,2. Ekvivalenttisuhdeluku lasketaan kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin grammamääräisistä milliekvivalenttipainoista kuiva-ainetta kohti (mEq). (Grunes, D. L. Welch, R. M. 1989. 3485.) Laidunhalvauksen riski kasvaa, jos nurmen Mg pitoisuus on alle 2 g/kg ka, K pitoisuus yli 30 g/kg ka ja Ca pitoisuus alle 4 g/kg ka. Typen ja kaliumin kevätlannoituksen on todettu nostavan nurmen $K/(Ca+Mg)$ suhdetta. Typpilannoitus lisää kasvin kaliumin ottoa sekä nostaa maan kaliumpitoisuutta. Suhdelukua voidaan parantaa kalkitseamalla, varsinkin jos maan pH on alhainen. (Aydin, I. Uzun, F. 2008. 34.) Virtsan käyttö lannoitteena lisää typen, sinkin ja kaliumin pitoisuuksia kasvissa ja vähentää magnesiumin ja kalsiumin suhteellisia pitoisuuksia (Isselstein, J. Kayser, M. 2005). Kasvilajivalinnalla voidaan myös vaikuttaa kivennäisten suhteisiin. Palkokasveissa on runsaasti kalsiumia ja magnesiumia ja vähemmän kaliumia, jolloin $K/(Ca+Mg)$ suhdeluku on matalampi, kuin heinänurmissa. Toisaalta runsas kalsiumpitoinen rehu ummessaolokaudella voi altistaa lehmän poikimahalvaukselle. (Nykänen, A. Hannukkala, A. Rinne, M. Salo, T. 2010. 5.)

6 KALIUMLANNOITUS

Nurmisatojen tuottaminen taloudellisesti edellyttää kaliumlannoituksen optimoimista maan kaliumtilan mukaiseksi. Kaliumlannoituksen ongelmaksi on nurmilla muodostunut kaliumkloridin (KCl) helpoliukoisuus savesköyhillä mailla ja kasvien taipumus kaliumin luksusottoon. (Heikkilä, R. Huhta, H. Koikkalainen, K. Virkajärvi, P. 1990. 4.) Vuosittain kaliumia poistuu pellolta noin 150–250 kg/ha säilörehusatojen mukana. Jyväsatujen mukana kaliumia poistuu 20 kg/ha, mikä on pieni määrä verrattuna säilörehusatoihin. (Saarela, I. 2005, 1/4.) Koska nurmista korjataan 2–3 satoa kasvukauden aikana, tarvisevat ne runsaasti kaliumia (Virkajärvi, P.y.m. 2012). Nurmen maksimikasvunopeuteen tarvitaan säilörehun korjuuvaiheessa 15–20 g kaliumia kuiva-ainekiloa kohti. Jos säilörehun kaliumpitoisuus on yli 30 g/kg ka, kertoo se selvästi ylimäärästä. (Kleemola, J. 2011, 26.) Cooke (1982) on osoittanut, että kaliumpitoisuuden ylittäessä 20 g/kg ka, ei kaliumlannoitus lisää merkittävästi satoa, mutta eläinten sairastumisriski kasvaa. Talibudeen y.m. (1976) ovat todenneet, että maan kaliumvarojen ollessa vähäiset kasvi ryöstää maan kaliumvaroja, jotka vähenevät ja satotaso pienenee. Kaliumlannoituksen jälkeen kasvi reagoi nopeasti lisättyyn lannoitukseen, ja satotaso nousee kunnes saavutetaan kaliumlannoituksen ja sadontuoton optimikohta. Vaikka kasvi ottaa vielä kaliumia, ei satotaso enää nouse. (Heikkilä, R.y.m. 1990. 14.)

Ravinteita voidaan lisätä maahan teollisesti valmistetuilla väkilannoitteilla, karjanlannalla tai muilla orgaanisilla lannoitteilla. Teollisesti valmistettuihin lannoitteisiin kaliumia saadaan kaivamalla maaperästä kaliumsuoloja. Yleensä suolat konsentroidaan lannoitteen tai lannoitteen raaka-aineen käyttöä varten. Konsentraatin ansiosta kalium on vesiliukoista ja näin nopeasti kasvien käytettävissä. Väkilannoitteen kalium liukenee maahan, josta kasvit ottavat sen käyttöönsä. (Mäntylähti, V. Jaakkola, A. Kari, M. 2009. 4.) Väkilannoitteissa kalium on usein kaliumkloridi (KCl) muodossa. Muita lannoitteissa käytettäviä kaliummuotoja ovat kaliumsulfaatti (K_2SO_4) ja kaliumnitraatti (KNO_3). (Johnston, A.E.) Kuviossa 1 nähdään kalium- sekä vertailun vuoksi typpi- ja fosforilannoitteiden keskimääräinen käyttö Pohjoismaissa kg/ha. (Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus 2012.) Voidaan huomata, että Norjassa lannoitteiden käyttö on suurempaa kuin muissa Pohjoismaissa. Suomessa ja Ruotsissa lannoitteiden käyttö on vähäisintä.



KUVIO 1. Typpi-, fosfori- ja kaliumlannoitteiden keskimääräiset käyttömäärät pohjoismaissa.

Biotiitin on havaittu olevan hyvä kaliumlannoite vähän vaihtuvaa kaliumia sisältäville turvemaille ja karkeille kivennäismaille, koska kalium vapautuu biotiitistä hitaasti. Täten biotiitin tuoma vaikutus kaliumlannoituksessa kestää 2–3 vuotta. Biotiittiä muodostuu Siilinjärven mm. apatiittikaivoksen sivutuotteena. Biotiitti sisältää kaliumin lisäksi myös kalsiumia ja magnesiumia. Sillä on myös lievä maata neutraloiva vaikutus. Biotiittiä kannattaa levittää yleensä nurmen perustuksen yhteydessä noin 5–10 t/ha ja täydentää tarvittaessa helppoliukoisella kaliumlannoituksella. (Forsman, K. Virtanen, E. Pulkkinen, J. 2006.)

Lannan kalium on lähes aina liukoisessa muodossa (K^+) ja on näin suoraan kasvien käytettävissä. Osa kaliumista on hajottajapieneliöstön soluissa, mutta mikrobiston kuoltua kalium vapautuu kasvien käytettäväksi. Lannan kaliumia voidaankin suoraan verrata väkilannoitteiden kaliummääriin. (Kempainen, E. 1996. 266.) Karjanlannan on myös todettu lisäävän maan kationinvaitokapasiteettia ja näin edistävän kasvin kaliumpitoisuutta (Virkajärvi, P. ym. 2012). Tilojen tuotostietojen perusteella lypsylehmä tuottaa vuodessa noin sata kiloa kaliumia. Kasvin ravinnetarpeeseen nähden lannassa on kaliumia yli tarpeiden. (Joki-Tokola, E. 2010.) Erityisesti virtsa sisältää runsaasti kaliumia noin 80 %, koska märehitjän aineenvaihdunnassa ylimääräinen kalium erittyy virtsaan. 10 % eläimen päivittäin ottamasta kaliumista poistuu ulosteissa ja noin 10 % maidon mukana. Virtsa voi lisätä nurmen kaliumpitoisuutta 40 g kuiva-ainekiloa kohti. (Tauriainen, S. 2009. 85.) Naudanlietelannalla lannoittaessa esimerkiksi levitysmäärä 20 tonnia/ha sisältää kaliumia noin 60 kg, joka on 25–40 % säilörehusadon mukana poistuneesta kaliummäärästä. (Kleemola, J. 2011, 26.)

6.1 Kaliumlannoituksen määrittäminen

Maan kaliumlannoitustarve määritetään viljavuusanalyysillä maanäytteestä. Maanäytteitä otetaan yksi näyte jokaista viittä hehtaaria kohden tai vähintään yksi näyte/viljelykasvi. Paras aika näytteen otolle on keväällä heti roudan sulamisen jälkeen, ennen toukokuuta tai syksyllä ennen maan routautumista. Perustutkimuksella maanäytteestä selviävät maalaji, multavuus, pH, johtoluku, makroravinteista kalsium, fosfori, kalium, magnesium sekä rikki. Maanäytteestä saadaan selville maan liukoisten, kasveille käyttökelpoisten, ravinteiden määrä. (Maanäytteiden otto-ohjeet.) Viljavuusanalyysissä ravinteet määritetään uutomenetelmän avulla. Uuttonesteenä käytetään hapanta ammoniumasettaattia, joka on ammoniumasettaatin ja etikkahapon vesiliuos ja sen pH on 4,65. Viljavuusanalyysin kaliumluku muuttuu maassa nopeasti, joten tulos on voimassa vain yhden tai kaksi vuotta. (Jaakkola, A. 1996. 248.)

Viljavuusanalyysi ei kuitenkaan kerro maan reservikaliumin määrää. Tärkeimmiltä säilörehupelloilta kannattaisi teettää reservikaliumin määrittäminen, jo pelkästään kaliumlannoitteen kalleuden takia. Reservikaliumin määrittämiseen tarvittavat maanäytteet voidaan ottaa samalla kertaa viljavuusnäytteiden kanssa. Samaa tyyppiä olevilta kasvulohkoilta otetaan vähän maata ja niistä kootaan oma näyte-erä. Tärkeää ei ole, että jokaista 5 ha kohti otetaan oma näyte, alue voi olla suurikin, kunhan peltomaa on samantyyppistä. Samalla voidaan ottaa maanäyte myös jankosta, jolloin saadaan tietoon myös sen reserviravinteet. Maan reservikaliumin määrittämiseksi näytteestä on tilattava analysoita-

vaksi maan ravinnereservit. Saatu tulos on voimassa 10–20 vuotta ja sen hinta on noin 20 €. (Virka-järvi, P. Saarijärvi, K. Nykänen, A. 2010. 63.) Reservikalium määritetään happouutolla, jossa maata uutetaan kuumalla hapolla kaksi tuntia. Uute koostuu 10 millilitrasta maata ja 50 millilitrasta 1-molaarista kloorivetyhappoa. (Saarela, I. 2001.)

Viljavuustutkimuksen tulokset esitetään arvoina mg/l, joita verrataan lannoiteoppaan suositusarvoihin. Lannoiteoppaasta ei löydy reservikaliumin suositusarvoja. Kaliumin tarve kg/ha vuodessa on esitetty viljavuusluokkien perusteella. (Viljavuustutkimuksen tulkinta ja ravinnesuositukset ympäristötuen mukaan.) Taulukosta 1 nähdään viljavuusluokka, sato ja sen mukainen lannoitusmäärä kg/ha. Norjassa ei ole käytössä ns. luokakohtaista lannoitus-suositusta vaan lannoitus tapahtuu maan reservikaliumvarojen ja niittojen perusteella. Kuviosta 1 voidaan huomata, että Ruotsissa ja Norjassa lannoitusmäärät ovat suurempia, kuin Suomessa. Vaikka Ruotsissa kaliumlannoitus-suositukset ovat suuremmat kuin Suomessa, voidaan taulukosta 1 huomata, etteivät Ruotsin lannoitusmäärät ole suurempia kuin Suomessa. Norjassa sekä kaliumlannoitus-suositukset että kaliumlannoituksen käyttö on suurinta. Keskimääräinen kaliumpitoisuus on Suomessa 2,1 % (Saarela, I. 2005. 1/4), Ruotsissa noin 1,7–3,1 % (Rangel, Y. A. 2008. 49) ja Norjassa on mitattu 1,6–2,7 % (Holmqvist, J. ym. 2003. 158) välillä olevia lukuja. Maiden kaliumpitoisuuksissa ei ole suurta eroavaisuutta.

TAULUKKO 1. Kaliumin lannoitus-suositukset Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa, Viljavuustutkimuksen tulkinta ja ravinnesuositukset ympäristötuen mukaan. 2013. Riktlinjer för gödsling och kalkning. 2013. Gjødsling til gras. 2013.

Suomi		Suosituslannoitus määrät kg/ha					
		Viljavuusluokka					
		Huono	Huononlainen	Välttävä	Tyydyttävä	Hyvä	Korkea
Säilörehunurmet 2 satoa	Kevät levitys	70	50	40	10	0	
	2. sadolle	90	80	70	50	30	
Säilörehunurmet 3 satoa	Kevät levitys	50	40	30	10	0	
	2. sadolle	60	60	50	40	20	
	3. sadolle	60	60	50	40	30	

Ruotsi

	Sato	K-poistuma	Suosituslannoitus määrät kg/ha luokassa:				
	t/ha	kg/ha	I	II	III	IV	V
Niitto 1	6	150	120	80	40	0	0
Niitto 2	6	150	160	120	80	40	0

Norja

	Suosituslannoitus määrät kg/ha			
	Sato	K	N	P
Niitto 1	4000	70	110	16
Niitto 2	6000	115	190	20
Niitto 1 + laidun	5500	110	180	21
Niitto 3	7000	145	240	25
Niitto 2+ laidun	6000	138	230	24
Niitto 4	7000	160	260	25

Viljavuuspalvelu Oy on tehnyt selvityksen keskimääräisestä reservikaliumtasosta pelloilla. Selvityksessä oli mukana noin 1000 näytettä, joiden mukaan peltojen keskimääräinen reservikaliumpitoisuus on noin 1250 mg/l maata. Tämä tulos kertoo tutkimuksien mukaan, että maan kaliumpitoisuus riittää takaamaan nurmen kaliumin saannin. Mutta sitä, kuinka nopeasti kaliumpitoisuus alkaa laskea ja satotaso heiketä ilman kaliumlannoitusta, ei tiedetä. Maa- ja elintarviketalouden erikoistutkija Perttu Virkajärven mukaan tätä asiaa olisi pitänyt tutkia jo aikaa sitten, mutta nykytilanteessa rahoituksen löytäminen pitkäaikaiseen kokeeseen on ongelmallista. (Kleemola, J. 2011, 27.)

6.2 Korkea reservikalium

Reservikaliumtuloksen tulkinta vaihtelee hieman eri lähteiden mukaan. Esimerkiksi, jos reservikaliumtulos on 700 mg/l maata, voidaan se näiden tietojen mukaan lukea sekä korkeaksi että alhaiseksi arvoksi. Kirjallisuudesta ei löydy tarkkoja arvoja, joten asiaan liittyy vielä tutkittavaa. Reservikalium tuloksen ollessa välillä 600–1500 mg/l maata nurmien kaliumlannoitusta voidaan vähentää. (Virkajärvi, P. 2010.) On myös esitetty että kaliumpitoisuus on arveluttavan korkea, kun se on savimailla yli 800 mg/l maata ja hietamailla 500 mg/l maata. (Jansson, H. Yli-Halla, M. Tuhkanen, H.) Kasvien tarpeisiin nähden kaliumin lisääminen nostaa säilörehun kaliumpitoisuutta ja on turha kustannuserä. Jos säilörehun kaliumpitoisuus on yli 30 g/kg ka, kannattaa seuraavalle sadolle tehtävässä lannoituksessa vähentää kaliumlannoitusta 10–20 kg/ha. Korkean reservikaliumin mailla alhainenkaan viljavuuskalium ei ole ongelma, koska reservikaliumia vapautuu kasvien käyttöön, minkä lisäksi karjanlannan kalium pidättäytyy tehokkaasti maahan. Näitä maita ovat savi- ja savespitoiset maat sekä kiilteitä sisältävät hienot hiedat. Rannikolla, Satakunnasta pirkamaalle ulottuvalla vyöhykkeellä, ja paikoitellen Pohjois-Savossa, Pohjanmaalla, Sotkamossa ja Pohjois-Karjalassa on runsaan reservikaliumin maita. Pohjois- ja Itä-Suomessa ne ovat vähäisiä, koska siellä on paljon turvemaita. (Virkajärvi, P. 2010.) Maan luontaiset kaliumvarat voivat savimailla riittää tuottamaan hyviä nurmisatoja useiksi vuosiksi joko ilman tai vähäisemmälläkin kaliumlannoituksella (Saarela, I. 2005, 4/4). Jäykällä savimailla nurmisadon mukana poistuva parisataa kiloa kaliumia ei vaikuta maan kaliumtilaan juuri mitenkään (Saarela, I. 2005, 3/4). Hietamaiden kaliumpitoisuus perustuu hiedan lähtömateriaaliin. Jos lähtömateriaali on kiille, se voi sisältää runsaasti reservikaliumia. Kalimaasälvän reservikaliumpitoisuus on puolestaan vähäinen. (Saarijärvi, K. Kananen, M. 2013. 30.)

Kasvien kaliuminotto voi olla niin voimakasta, ettei sitä voida rajoittaa vähentämällä lannoitusta. Näin ollen korkea ekvivalenttisuhte $K/(Ca+Mg)$ ja korkea DCAD-arvo säilyvät ongelmana säilörehussa. Säilörehun korkea kaliumpitoisuutta voidaan ennaltaehkäistä magnesiumipitoisella kalkitukella. Kivennäisaineiden suhteita (DCAD) säilörehussa tasapainottaa apiloiden lisääminen kasvuun. Koiranheinän ja italianraiheinän viljelyä korkean kaliumtilan mailla tulisi välttää, koska niiden ominaiskaliumpitoisuus on korkea. (Virkajärvi, P. 2010.)

6.3 Alhainen reservikalium

Reservikaliumtuloksen jäädessä välille 0-1000 mg/l maata, nurmen kaliumlannoitus tulee toteuttaa ympäristötuen ehtojen mukaan. Lannoituksen voi suunnitella viljavuuskaliumin perusteella. Säilöre-

hun kaliumpitoisuuden ollessa alle 20 g/kg ka kannattaa kaliumlannoitusta nostaa seuraavalle sadolle 10–20 kg/ha. (Virkajärvi, P. 2010.) Viljavuuskaliumin ollessa tyydyttävä tai välttävä voidaan tuottaa hyvä ensimmäinen sato ilman kaliumlannoitusta. Suuret sadot vähentävät maan luontaisia kaliumvaroja nopeasti, mikä on otettava huomioon seuraavan sadon lannoituksessa. (Saarela, I. 2005, 4/4.) Kaliumlannoitus tulee antaa jokaiselle sadolle erikseen ja nurmen vanhetessa lannoitusmäärää voi nostaa. Kenttäkokeet ovat osoittaneet, että kaliumlannoituksella on saatu korkeampi sadonlisä nurmen vanhetessa. Vanhemmille nurmille suositellaan syospainotteista kaliumlannoitusta. Biotiitti on hyvä lannoite, kun halutaan nostaa maan kaliumpitoisuutta. Alhaisen reservikaliumpitoisuuden mailla väkilannoitteiden ja karjanlannan pidättäytyminen on heikkoa. Näitä maita ovat karut moreenimaat, karkeat hietamaat ja turvemaat. (Virkajärvi, P. 2010.) Köyhimmillä turve- ja hiekkamailla kaikki ensimmäisen satovuoden aikana poistunut kalium täytyy korvata lannoituksella viimeistään toisena nurmivuonna. Tämä ei ole käytännössä mahdollista, koska kyseiset maalajit eivät sido juurikaan kaliumia ja tällöin kalium on altis huuhtoutumiselle. Maan ollessa kuiva täytyy välttää liukoisen kaliumlannoituksen levittämistä. Liukoiset suolat aiheuttavat veden puutteessa kasville räsitystä ja suolatressiä. On todettu, että turvemailla sopiva kaliumlannoitustaso on ollut 80 kg/ha, joka on ollut riittävä rehunlaadun kannalta. Kivennäismaissa ensimmäisen vuoden nurmien kevätlannoituksen kaliumtarve voidaan hoitaa pelkästään lannalla tai se voidaan korvata suojaviljan väkilannoituksella. Suojaviljan jäänteistä kuten sängestä vapautuu myös kaliumia maahan. Säilörehun laadun kannalta ensimmäisen sadon lannoitukseen kannattaa käyttää typpi- rikkilannoitetta. (Saarela, I. 2005. 3/4.)

Kaliumin saannin merkitys korostuu etenkin kasvin alkukehityksen aikana. Tässä kasvin kehityksen vaiheessa kaliumvaatimus on erityisen suuri, jolloin maanesteen kaliumpitoisuuden tulisi olla korkea. Maanesteen kaliumpitoisuuden ollessa alhainen voi kaliumista tulla kasvua rajoittava tekijä. Kasvin alkukehityksen aikana kärsitty kaliumin puutos näkyy myöhemmin kasvun heikkenemisenä. (Heikkilä, R. Huhta, H. Koikkalainen, K. Virkajärvi, P. 1990. 12.)

6.4 Kaliumin ja typen suhdeluku (K/N)

Yleensä typen määrä on eniten kasvua rajoittava ravinne nurmenviljelyssä. Runsas typpilannoitus lisää kaliumin tarvetta kasvissa ja kaliumista voi tulla kasvua rajoittava ravinne. Talibudeen ym (1976) ovat tutkiessaan kaliumin ja typen suhdetta huomanneet, että kasvit rajoittavat kaliumin ottoa typen puutteessa ja typen ottoa kaliumin puutteessa, vaikka toisesta ravinteesta ei olisi puutetta. Duell ja Trout (1972) ovat myös huomanneet että korkea kaliumin määrä suhteessa typen määrään aiheuttaa sadon korkean kaliumpitoisuuden. Tästä voidaan päätellä, että typpi vaikuttaa kasvin kaliumin ottoon. (Heikkilä, R. Huhta, H. Koikkalainen, K. Virkajärvi, P. 1990. 12–13)

Lannoituksessa onkin huomioitava, että kaliumin tarpeeseen vaikuttaa myös kasvin typen saanti. Kaliumin ja typen suhteen tulisi olla 0,85 - 1, jotta päästään maksimitoihin. Penny ym. (1980) ovat todenneet, että lannoitettaessa typellä 38 kg/ha/niitto ja kaliumilla 31 kg/ha/niitto maan kaliumpitoisuus säilyi hyvänä ja rehun kaliumpitoisuus pysyi sopivana. K/N suhde oli 0,82:1, josta he ovat päättelleet, että lannoitettaessa tämä K/N suhde täyttää nurmen ravinnevaatimukset. He kuitenkin huomasivat, että kokeen edetessä rehun kaliumpitoisuus laski hieman joka vuosi. (Heikkilä, R. Huhta, H.

Koikkalainen, K. Virkajärvi, P. 1990. 14.) Koikkalainen ym. (1990) mukaan nurmenviljelyssä ei kannata pyrkiä kaliumin osalta nostamaan viljavuusluokkaa, jos se on viljavuusluokkaa hyvä alempi. Viljavuusluokan nostoon tarvittavien kaliummäärien tulisi olla erittäin suuria, ainakin yhtä suuria kuin typpimäärät. Suurten kaliumlannoitusmäärien johdosta kasvien kaliumpitoisuus nousee eläimen kannalta vaarallisen korkeaksi. Heikosti kaliumia pidättävillä mailla, kuten turvemaileda, maan kaliumluku laskee aina nurmenviljelyssä, jos kaliumlannoitus on riittävän suuri satotason säilyttämiseksi, mutta riittävän alhainen rehunlaadun kannalta. (Heikkilä, R. Huhta, H. Koikkalainen, K. Virkajärvi, P. 1990.41–44.)

7 AINEISTOT JA MENETELMÄT

Nurmen kaliumlannoitustarvekokeen toteuttaja on Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MTT). MTT:n tehtävä on kehittää Suomen ruokajärjestelmän vastuullisuutta, kilpailukykyä sekä luonnonvarojen kestävää hyödyntämistä. MTT:n tutkimustoiminta on jaettu neljään eri tutkimusyksikköön, joita ovat biotekniikka ja elintarvikkeet, kotieläimet, kasvit ja talous. Nurmen kaliumlannoitustarvekoe toteutettiin kolmella eri MTT:n tutkimusasemalla Maaningalla, Ruukissa ja Mikkelissä vuosina 2011–2013. Koe on toteutettu kolmessa eri paikassa, jotta saatiin mukaan hyvän (Maaninka ja Mikkeli) ja heikon (Ruukki) kaliumtilan maita. Kuvassa 5 on kaliumlannoituskoe Maaningalla vuonna 2013.



KUVA 5. Kaliumlannoituskoe Maaningalla. Arto Pehkonen, 2013.

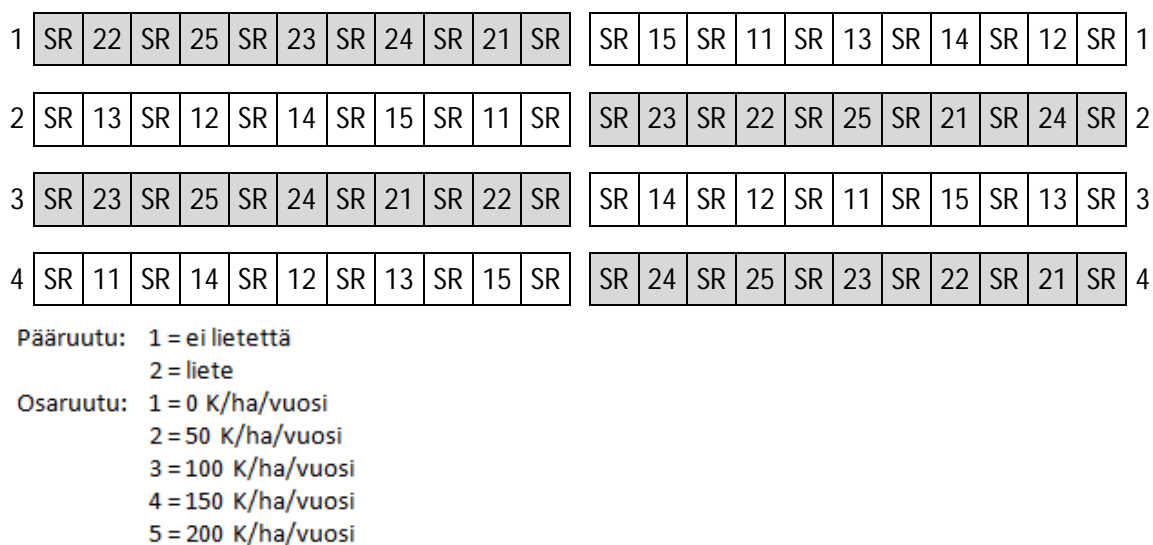
Opinnäytetyön pääpaino on selvittää, miten eri kaliumlannoitustasot, lietteen käyttö / käyttämättömyys ja edellä mainittujen yhdysvaikutus vaikuttavat säilörehun satoarvoihin. Tärkeimmiksi muuttujiksi olemme valinneet DCAD-arvon, $K/(Ca+Mg)$ suhdeluvun, kaliumpitoisuuden, kaliumtaseen ja K/N suhdeluvun. Lisäksi tutkimme, mitä muutoksia maan viljavuudessa tapahtuu kokeen aikana. Raportoimme myös kokeen aikaiset sääolosuhteet ja pohdimme, olisiko säällä ollut merkitystä tuloksiin.

7.1 Koeasetelma

MTT Maaningalla, Ruukissa ja Mikkelissä perustettiin nurmen kaliumlannoituskoe vuonna 2011. Ensimmäinen vuosi oli kokoviljavuosi ja vuodet 2012–2013 nurmivuosia. Koeruuduille kylvettiin nurminata-timoteiseos. Kokeessa oli neljä kerrannetta ja jokaisella kerranteella oli kymmenen eri koejäsentä. Jokaisella koejäsenellä oli erilainen lannoituskäsittely. Ruudun koko oli $1,5 * 8$ metriä. Jokai-

sen koeruudun välissä oli suojaruutu (SR). Suojaruudun tarkoitus oli estää tutkittavien ruutujen vaikutusta toisiinsa. (Tutkimussuunnitelma.)

Kuvasta 6 näkyy, että koe oli jaettu osa- ja pääruutuihin. Pääruutuina olivat karjanlantaa saaneet/saamattomat ruudut. Osaruutuina käytettiin eri kaliumlannoitustasoja. Ykkösellä alkavat ruudut (vaalea) eivät saaneet karjanlantaa, kun taas kakkosella alkavat ruudut (tummat) saivat. Osaruudut oli jaettu viiteen eri kaliumlannoitustasoon, jotka näkyvät kuvan 6 alareunassa. Esimerkiksi jos ruudun numero on 24, siinä aloittava numerona (2) kertoo, että ruudulle on laitettu karjanlantaa. Jälkimmäinen numero (4) kertoo, että ruutu on saanut kaliumtason numero neljä mukaisen lannoituksen. (Tutkimussuunnitelma.)



KUVA 6. Kaliumlannoituskokeen kartta Maanigalta.

7.2 Lannoitus

Lannoitus toteutettiin käyttämällä Suomensalpietaria, joka sisältää typpeä 27 %, fosforia 0 % ja kaliumia 1 % (27-0-1), Fosforiravinnetta, joka sisältää typpeä 1 %, fosforia 9 % ja kaliumia 0 % (1-9-0) ja Kalisuolaa, joka sisältää typpeä 0 %, fosforia 0 % ja kaliumia 50 % (0-0-50). Toisessa pääruuduista käytettiin myös karjanlantaa, jonka ravinnearvot esimerkiksi liite 1 mukaan Maaningalla vuonna 2013 olivat liuk.N=2,4 kg/t, kok.N=3,9 kg/t, P=0,6 kg/t ja K=4,0 kg/t. Perustamisvuonna 2011 karjanlantaa laitettiin 40 t/ha ja kaliumlannoitustasoista puolet. Esimerkiksi osaruudut, joilla on 50 kg/K/ha, ovat saaneet vain 25 kg/K/ha. Nurmivuosina 2012–2013 lannoitus on jaettu kahteen eri kertaan. Ensimmäiselle sadolle jokaiselle ruudulle laitettiin Suomensalpietaria niin, että typpilannoitustasoksi saatiin 100 kg/ha. Pääruuduille, joille ei laiteta karjanlantaa, laitettiin 16 kg/P/ha fosforiravinne-lannoitetta. Osaruutujen kaliumlannoitus tehtiin kaliumsuolalla niin, että lannoitusmäärä jaettiin puoliksi ensimmäiselle ja toiselle sadolle. Kuvassa 7 on koeruutujen väkilannoitelevitin.



KUVA 7. Väkilannoitteidenlevityskone. Heikki Havukainen, 2013.

Toiselle sadolle pääruuduille levitettiin karjanlantaa 30 t/ha sekä täydennystyyppi salpietarilla. Näin toimittiin, jotta typpilannoitustaso olisi sama kaikissa koejäsenissä. Myös fosforilannoitus oli sama (16 kg/ha) kaikilla koejäsenillä. Toisella lannoituksella levitettiin myös kalisuolaa samoin kuten ensimmäisen sadon lannoituksella. Yhteensä kumpikin lannoituskerta on näin ollen tuonut typpeä 200 kg/ha, fosforia 16 kg/ha ja kaliumia osaruutujen porrastuksen mukaan 0-200 kg/ha. Karjanlannan mukana tullutta kaliumia on noin 90–120 kg/ha, joten kokonaisuudessaan kaluimlannoitustaso voi olla jopa noin 290–320 kg/ha. (Tutkimussuunnitelma.) Taulukko 2 on esimerkki toteutuneesta lannoituksesta Maaningalla vuonna 2013.

TAULUKKO 2. Toteutunut lannoitus Maaningalla vuonna 2013.

1. LANNOITUS		Lannoitus				Lannoitteiden ravinteet		
Pääruutu	Osaruutu	Liete t/ha	SS kg/ha	Fosforiravinne kg/ha	Kalisuola kg/ha	N kg/ha	P kg/ha	K kg/ha
1	1	0	370	178	0	100	16	0
1	2	0	370	178	50	100	16	25
1	3	0	370	178	100	100	16	50
1	4	0	370	178	150	100	16	75
1	5	0	370	178	200	100	16	100
2	1	0	370	178	0	100	0	0
2	2	0	370	178	50	100	0	25
2	3	0	370	178	100	100	0	50
2	4	0	370	178	150	100	0	75
2	5	0	370	178	200	100	0	100
2. LANNOITUS		Lannoitus				Lannoitteiden ravinteet		
Pääruutu	Osaruutu	Liete t/ha	SS kg/ha	Fosforiravinne kg/ha	Kalisuola kg/ha	N kg/ha	P kg/ha	K kg/ha
1	1	0	364	0	0	100	0	
1	2	0	364	0	55	100	0	27,5

1	3	0	364	0	101	100	0	50,5	
1	4	0	364	0	154	100	0	77	
1	5	0	364	0	196	100	0	98	
2	1	29	171	0	0	158	17	115	
2	2	29	171	0	55	158	17	140	
2	3	29	171	0	101	158	17	165	
2	4	29	171	0	154	158	17	190	
2	5	29	171	0	196	158	17	215	
3. LANNOITUS		Lannoitus				Lannoitteiden ravinteet			
Pääruutu	Osaruutu	Liete t/ha	SS kg/ha	Fosforiravinne kg/ha	Kalisuola kg/ha	N kg/ha	P kg/ha	K kg/ha	
1	1	0	148	0	0	40	0	0	
1	2	0	148	0	0	40	0	0	
1	3	0	148	0	0	40	0	0	
1	4	0	148	0	0	40	0	0	
1	5	0	148	0	0	40	0	0	
2	1	0	148	0	0	40	0	0	
2	2	0	148	0	0	40	0	0	
2	3	0	148	0	0	40	0	0	
2	4	0	148	0	0	40	0	0	
2	5	0	148	0	0	40	0	0	

7.3 Maanäytteet

Koalueelta otettiin perustamisvuotena alkumaanäytteet joka kerranteelta. Ne otettiin pintakerroksesta (0–25cm) ja jankosta (25–50 cm). Nurmivuosina maanäyte otettiin syksyisin joka ruudusta sekä pintakerroksesta että jankosta. Näytteille tehtiin perusviljavuustutkimus. Lisäksi niistä selvitettiin rikki, reservikalium ja orgaaninen hiili sekä mekaaninen maa-analyysi. (Tutkimussuunnitelma.) Reservikalium määritettiin happoutolla, jossa maata uutettiin kuumalla hapolla. Kymmenen millilitraa maata ja viisikymmentä millilitraa 1- molaarista kloorivetyhappoa uutettiin kaksi tuntia. Tällä menetelmällä saatiin selville maan reservikalium ja viljavuustutkimuksella maan helppoliukoinen kalium. (Saarela, I. 2001). Käytetystä karjanlannasta otettiin kustakin levityserästä kaksi rinnakkaisnäytettä, jolle tehtiin laaja lanta-analyysi. (Tutkimussuunnitelma.)

Kokeen maalaji on hieta. Hietamaat (Ht) jaetaan hienoihin hietoihin (HHT) ja karkeisiin hietoihin (KHt). Hietamaat ovat parhaita viljelysmaita Suomessa. Hienohieta pidättää hyvin ravinteita sekä vettä ja on ilmavaa. Karkeahieta läpäisee hyvin vettä, eikä ole altis kuorettumaan, se on kuohkeaa ja sitä on helppo muokata. (Hartikainen, H.1996. 28) Koelohkot on valittu maan reservikaliumpitoisuuksien mukaan. Maaningan lohkot edustavat korkean reservikaliumin maata, kun taas Ruukin lohkot matalaa. Mikkelin lohkojen pitoisuudet ovat siltä väliltä. Tuloksia vertailtaessa toisiinsa voidaan tutkia kaliumlannoitustasojen hyötyjä eri maiden reservikaliumpitoisuuksien mukaan. Alkumaanäytteet näkyvät taulukossa 3. Alkumaanäytteet ovat otettu Maaningalla syksyllä 2011, Mikkeliissä ja Ruukissa keväällä 2012.

TAULUKKO 3. Alkumaanäytteet Maaninka, Mikkeli ja Ruukki

	Maaninka				Mikkeli				Ruukki			
	0-25 cm		25-50 cm		0-25 cm		25-50 cm		0-25 cm		25-50 cm	
Maalaji	HHT		HHT		HHT/KHt		KHt		KHt		KHt/HtMr	
Multavuus	rm		m		rm		m/vm		rm/m		vm	
pH	6,6	Korkea	6,5	Hyvä	6,09	Tyydyttävä	5,99	Tyydyttävä	7,0	Korkea	7,0	Korkea
Johtoluku	1,5		1,1		0,61		0,44		2		1	
Ca, mg/l	1770	Tyydyttävä	1218	Välttävä	1020	Välttävä	605	Huononlainen	1525	Tyydyttävä	1475	Tyydyttävä
P, mg/l	19,5	Hyvä	9,3	Tyydyttävä	6,1	Välttävä	3	Huononlainen	29	Hyvä	25	Hyvä
K, mg/l	76,9	Välttävä	72,25	Välttävä	88,1	Välttävä	60	Huononlainen	90,7	Välttävä	58,3	Huononlainen
Mg, mg/l	164	Tyydyttävä	159,6	Tyydyttävä	120	Tyydyttävä	96	Välttävä	160	Tyydyttävä	130	Tyydyttävä
S mg/l	11	Tyydyttävä	9,4	Välttävä	5,4	Huononlainen	5,3	Huononlainen	-	-	13	Tyydyttävä
Varasto- K	2739	Korkea	2587	Korkea	1218	Korkea	2016	Korkea	448	Alhainen	787	Alhainen/Korkea

7.4 Kokeen niitto ja näytteiden otto

Maan kosteutta mitattiin koko kasvukauden ajan tensiometreillä. Keväällä kokeelle asennettiin neljä tensiometriä, jotka olivat 20 cm:in ja 40 cm:in syvyydessä. Tensiometriä ollessa eri syvyyksissä voidaan tarkkailla maan kosteutta eri kerroksissa. Mittarin lukemat tarkastettiin kahdesti viikossa ja havainnot kirjattiin ylös. Tensiometriä kuviot ovat liitteessä 2. (Tensiometri Irrrometer SR.) Nurmen kevät- ja syystiheudet mitattiin silmämääräisesti.



KUVA 8. Niittoihin käytetty Haldrup 1500 – niittokone (oik.). Arto Pehkonen, 2013.

Kaikki koekäsenet niitettiin kolmesti kasvukauden aikana. Kuvassa 8 on koeruutujen niittokoneet. Niitto tehtiin Haldrup 1 500 – niittokoneella 5 cm:in sänkeen. Niittokoneessa on vaaka, joka punnitsee koko ruudun tuoresadon. Jokaisen ruudun tuoresadosta otettiin edustava nurminäyte pussiin. Nurminäytteestä punnittiin 200 g silputtua heinää, joka laitettiin laatikossa kuivausuuniin. Näytteitä kuivatettiin uunissa kuudessakymmenessä asteessa kahden vuorokauden ajan. Näytteiden kuivuttua ne punnittiin ja kuivapainot merkittiin samaan excel-taulukkoon tuorepainojen kanssa. Näytteet pussitettiin heti uunista oton jälkeen ja lähetettiin analysoitavaksi Valio Oy:n Seinäjoen laboratorioon ja

MTT:n kotieläintuotannon tutkimuslaboratorioon Jokioisille. Näytteistä analysoitiin MTT:n kotieläintuotannon tutkimuslaboratoriossa Jokioisilla pääkivennäiset Ca, Mg, P, K sekä Na, S, Cl DCAD arvon määrittämiseksi. Valio Oy teki näytteistä nurmianalyysin (kuivattu raaka-aine). Kokeeseen liittyvien toimenpiteiden, kuten koejäsenten niittopäivät, löytyvät liitteestä 3.

7.5 Tilastollinen menetelmä

Tässä opinnäytetyössä tutkimusmenetelmänä käytetään kvantitatiivista eli määrällistä tutkimusta. Määrällinen tutkimus on tutkimusmenetelmä, jossa kohdetta kuvataan ja tulkitaan numeroiden ja tilastojen avulla. Tässä opinnäytetyössä etsitään asioiden välisiä riippuvuuksia, joita havainnollistetaan taulukoiden ja kuvioiden avulla. Määrällisessä tutkimuksessa haetaan vastausta kysymyksiin mikä, missä, kuinka usein ja kuinka paljon. (Holopainen, M. Pulkkinen, P. 2008.21.)

Tilastollinen vertailu tehtiin SAS 9.3 -tilasto-ohjelman MIXED -proseduurilla MTT:n tutkijoiden toimesta. Tilastokäsittely tehtiin erikseen kullekin koepaikkakunnalle. Kunkin vuoden ja niiton sadon määrää ja laatua kuvaava aineisto käsiteltiin erikseen. Tilastollisesti tarkasteltiin sekä pääruudun (ei lietettä – liete) että osaruutujen (K-lannoitustasot) vaikutusta. Lannoituskäsittelyt (joko K-lannoitustaso tai liete) ja niiden yhdysvaikutus olivat mallissa kiinteinä tekijöinä. Mallin satunnaisina muuttujina olivat kerranne ja kerranne * liete -yhdysvaikutus. Parivertailut lannoitekäsittelyiden välillä tehtiin Tukeyn testillä.

Maanäytteiden tulokset analysoitiin käyttäen kiinteinä muuttujina lannoituskäsittelyjä (joko K-lannoitustaso tai liete), näytteenottosyvyyttä ja näiden yhdysvaikutuksia (liete * K-lannoitustaso, liete * syvyys, K-lannoitustaso * syvyys, liete * K-lannoitustaso * syvyys). Satunnaisina tekijöinä mallissa olivat kerranne, kerranne * näytteenottosyvyys -yhdysvaikutus sekä kerranne * liete yhdysvaikutus. Näytteenottosyvyys oli toistotekijänä Compound Symmetry- kovarianssirakenteella. Poikkeavat havainnot poistettiin aineistosta tarpeen mukaan. Yksittäisissä tapauksissa, joissa varianssien yhtäsuuruus-oletus ei täyttnyt, käytettiin muuttujamuunnoksia.

SAS- ajojen tuloksien analysoinnissa käytimme apuna merkitsevyytensä eli p-arvoa. P-arvo kertoo todennäköisyyden sille, että sama tulos olisi saatu täysin sattumalta. Mitä pienempi p-arvo on sitä, varmemmin tulos on merkitsevä eikä sattumalta saatu. Testatun tuloksen katsotaan olevan tilastollisesti merkittävä jos $p < 0,05$. Yleensä rajana käytetään 0,05 ja sitä käytettiin myös tässä opinnäytetyössä. Merkitsevien muuttujien löytymisen jälkeen arvioitiin sen merkitystä käytännössä tukey-arvon avulla. Tukey-arvon avulla saadaan selville esimerkiksi se, mikä lannoitustason muutos vaikuttaa saatuun tulokseen. Jos p-arvon mukaan kaliumlannoitus vaikuttaa kuiva-aineeseen, saadaan tukey-arvon avulla selville mikä kaliumlannoitustason muutos on merkittävin vaikuttaja. (Heikkilä, T. 2008. 194–195). Tukey-testin avulla saadut merkitykset on esitetty liitteissä olevien taulukoiden arvoissa yläindeksinä niin, että a=lannoitustason nosto 50 K kg/ha, b=lannoitustason nosto 100 K kg/ha, c=lannoitustason nosto 150 K kg/ha ja d=lannoitustason nosto 200 K kg/ha on ollut merkitsevä saadun arvon muodostumisen kannalta. Tulosten taulukoissa on myös mukana SEM-arvo, joka

kuvaa suhteellisen virheen suuruutta saatuun tulokseen. Mitä pienempi SEM-arvo on, sitä luotettavampi saatu tulos on.

7.6 Luotettavuus

Hyvän ja laadukkaan kvantitatiivisen tutkimuksen perusvaatimukset liittyvät käsitteisiin validiteetti ja reliabiliteetti. Validiteetillä tarkoitetaan tutkimuksen pätevyyttä. Tutkimukselle on asetettava tarkat tavoitteet, jotta saadaan mitattua sitä, mitä oli tarkoituskin mitata. Tulokset eivät ole valideja, jos mitattavia muuttujia ei ole tarkasti määritelty. (Heikkilä, T. 2008. 29–30.) Jos tutkimuksessa on tutkittu täysin eri asioita, kuin mitä alun perin oli tarkoitus, on tutkimus täysin arvoton. Tällöin tutkimuksesta puuttuu validiteetti kokonaan. Validiteetti on hyvä silloin, kun tutkimuksessa esitetyt kysymykset ovat oikeita ja ne on esitetty oikealle kohderyhmälle. Tulos on validi silloin, kun mittaus- ja tulokset osoittavat, että saatu tulos on sen hetkisen käsityksen ja teorian mukainen. Käytännön ongelmana validiteetin määrittämisessä on, ettei todellista tietoa ole aina käytettävissä. (Hiltunen, L.2009.)

Reliabiliteetillä tarkoitetaan tulosten tarkkuutta. Luotettava tutkimus on pystyttävä tekemään uudelleen ja samoissa olosuhteissa on saatava samat tulokset. Tällöin tutkimuksen tulokset eivät ole sattumanvaraisia eli reliabiliteetti on korkea. Tutkijalla on oltava taito tulkita tulokset oikein ja osaaminen käyttää tilasto-ohjelmaa. Tutkijan on oltava kriittinen ja tarkka, jotta välttyään virheiltä. (Heikkilä, T. 2008. 29–30.) Puutteellinen reliabiliteetti johtuu usein satunnaisvirheistä, kuten mittaus- ja käsittelyvirheistä. Reliabiliteetti voidaan määrittää kahden eri muuttujan välisestä riippuvuudesta. Eli kahta eri asiaa mitataan useammalla muuttujalla ja lasketaan niiden välinen riippuvuus eli korrelaatiokerroin. Luotettavassa tutkimuksessa korrelaatiokerroin tulisi olla lähellä yhtä. (Heikkilä, T. 2008. 187) Reliabiliteetillä ja validiteetillä on keskinäinen suhde, jossa reliabiliteetin ollessa alhainen, myös validiteetti laskee. Mutta validiteetin ollessa alhainen ei reliabiliteetti laske, koska tutkimuksen tulokset voivat olla luotettavia, vaikka ne liittyvät muuhun kuin tutkittavaan asiaan. (Hiltunen, L.2009.)

Nurmen kaliumlannoitustarvekokeen tavoitteet ja koeasetelma on suunniteltu MTT:n tutkijoiden toimesta. Koe on ajankohtainen ja tarpeellinen, koska aikaisemmat tutkimukset ovat antaneet viitteitä siitä, että viljavuuskalium ei ole tarkka nurmen kaliumtarpeen ennustaja. Aikaisemmissa tutkimuksissa ei myöskään ole huomioitu karjanlannan vaikutusta eikä rehuista ole määritelty eläinravitsemuksen kannalta tärkeitä muuttujia, kuten DCAD- arvoa ja D-arvoa. Kalium on kallis ravinne, joten taloudellinenkin näkökulma on huomioitu. Koe on toteutettu useampana vuotena, jotta saadut tulokset ovat mahdollisimman luotettavia. Usemman nurmivuoden kokeen tarkoituksena on myös selvittää, kuinka kauan maan kaliumvarat kestävät. Kokeelle on tuotu lisäarvoa järjestämällä se kolmella eri MTT:n tutkimusasemalla, näin on huomioitu maalaji sekä maan kaliumpitoisuuden vaihtelut. Maalajiksi on valittu hietta, koska sen kaliumpitoisuus on arvoituksellisin. Kaliumpitoisuus riippuu lähtömaateriaalista eli onko se kiille vai maasälpä. Tulosten merkittävyyttä analysoidaan p-arvon avulla. Tilastollisesti luotettavan p-arvon rajana pidetään 0,05, jota on käytetty myös tässä opinnäytetyössä.

Viljelytekniset toimenpiteet on suoritettu jokaisella koepaikalla tutkimussuunnitelman mukaisesti. Koetta perustettaessa on eri lannoitusten vaikutusta viereisiin ruutuihin pyritty minimoimaan suojaruutujen avulla. Kokeen aikana on myös kerätty tietoa maan kosteudesta, lämpötiloista ja sademääristä. Sää- ja kosteustietojen avulla pystytään määrittämään ympäristön vaihteluiden vaikutusta saattuihin tuloksiin. Tällä menettelyllä on pyritty välttämään sattuman vaikutusta tuloksiin. Tämän opinäytetyön tekijät olivat kesän 2013 mukana koeainoston keräämisessä. Ruutujen lannoitus, niitto, näytteiden otto ja näytteiden jatkokäsittely tehtiin tarkasti ja huolellisesti tutkimusmestarin opastuksella. Ennen lannoitusta lannoitteenlevityskoneelle tehtiin kiertokokeet. Kiertokokeiden avulla lannoituskone voitiin säätää oikeille ja halutuille lannoitustasoille. Tämän ansiosta levitettyjen lannoitteiden määrät olivat tarkasti tiedossa. Nurminäytteet otettiin koko ruudun kattavasti niitonäytteestä, jotta näyte edustaisi mahdollisimman hyvin koko ruudun kasvustoa. Nurminäytepussit merkittiin huolella, jotta ne eivät sekoitu kuljetuksen tai uunittamisen aikana.

8 TULOKSET

Tuloksissa on esitetty ne satoarvot, joissa on havaittu eniten tilastollista merkitsevyyttä p-arvon perusteella. Pääasiassa olemme keskittyneet satoarvoihin, jotka kuvaavat eläinravitsemuksellista laatua. Tähänsaakka julkaistuissa kaliumlannoituskokeissa, kuten Koikkalainen, K. ym. (1990), Saarela, I. ym. (1998) Virkajärvi, P ym. (2012), ei ole otettu huomioon karjanlantaa. Karjanlannan kalium on suoraan verrattavissa lannoitekaliumiin ja se vaikuttaa viljelylohkon kaliumtaseeseen. Blake ym. (1999) ovat osoittaneet, että karjanlanta on hyvä kaliuminlähde ja se lisää maan kationinvaihtokapasiteettia. (Virkajärvi, P ym. 2012. 6). Karjanlanta onkin tärkeä osa tätä tutkimusta.

8.1 Sää

Ilmastollisista tekijöistä eniten kasvintuotantoa rajoittaa lämpötila. Kasvien kasvulle otollisinta riittävän lämmintä ajanjaksoa kutsutaan termiseksi kasvukaudeksi. Suomessa terminen kasvukausi alkaa, kun vuorokauden keskilämpötila on jatkuvasti yli +5 asteen vähintään 5 vuorokauden ajan. Terminen kasvukausi loppuu, kun keskilämpötila laskee pysyvästi alle +5 asteen tai jos useana yönä peräkkäin esiintyy yöpakkasia tai kun lumi peittää maan. Kasvukauden aikainen sää vaikuttaa sadon laatuun ja määrään. Useat viljelykasvit alkavat kasvaa, kun lämpötila ylittää +5 astetta. (Seppänen, M. Yli-halla, M. Stoddard, F. Mäkelä, P. 2008.8.) Lämpötilan vaikutusta satoon kuvataan tehoisan lämpötilasumman avulla. Tehoisa lämpösumma lasketaan laskemalla yhteen vuorokausien lämpötilat, kun keskilämpötila ylittää +5 astetta. Laskeminen aloitetaan termisen kasvukauden alusta ja lopetetaan sen päättyessä. (Jaakkola, A. 1996. 191.)

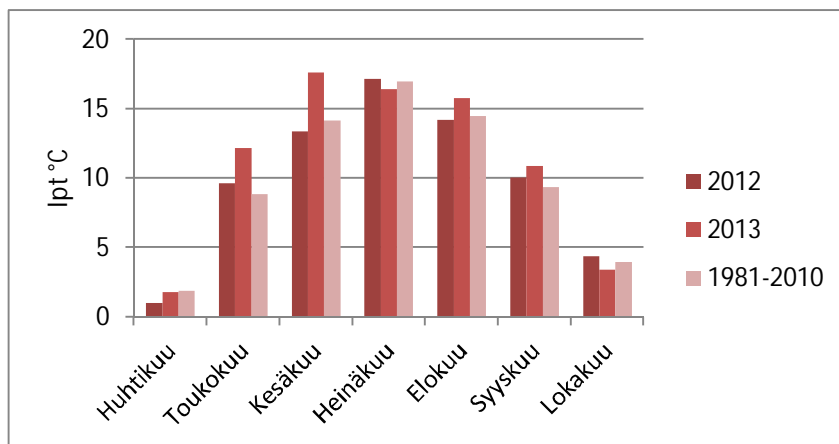
Ilmastonmuutoksen myötä maapallon sään ennustetaan lämpenevän. Ilmaston lämpenemisen myötä keskilämpötila ja kasvukausi pidentyvät, jotka nähdään nurmentuotannossa positiivisina muutoksina. Haasteita ilmastonmuutos tuo lisääntyvien kuivuusjaksojen myötä sekä talvisateina, jotka muuttavat kasvien talvehtimisolosuhteita. Erilaisten ääri-sääilmiöiden ennustetaan lisääntyvän. (Seppänen, M. Yli-halla, M. Stoddard, F. Mäkelä, P. 2008.13.) Nurmien kaliumlannoitustarvekoekoiden aikana sademäärät ja lämpötilat on kerätty MTT tutkimusasemilla sijaitsevien Ilmatieteen laitoksen säähavaintoasemien havainnointiraporteista. Maan kosteustiedot on kerätty koeruuduilta tensiometrimittareilla, jotka löytyvät liitteestä 2.

Kasvukaudet Maaningalla

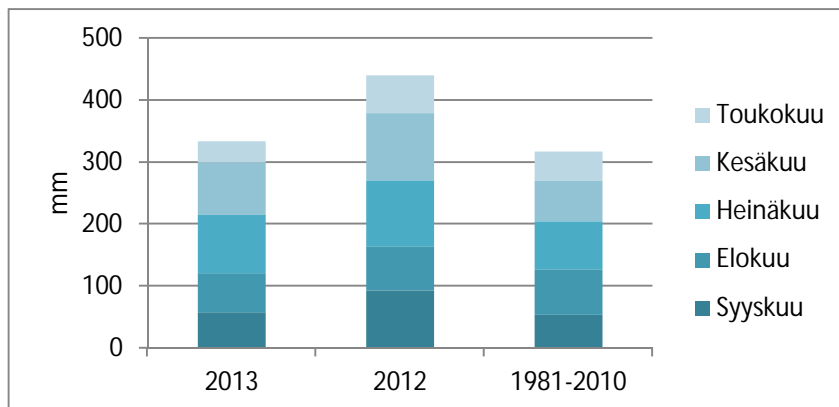
Maaningalla vuoden 2012 terminen kasvukausi alkoi 27.4 ja loppui 19.10, jolloin sen pituudeksi tuli 176 vrk. Vuoden 2013 terminen kasvukausi oli 2 päivää lyhyempi, alkaen 22.4 ja kestäen 12.10 saakka. Terminen kasvukausi on keskimäärin vuosina 1981–2010 ollut 165–175 vrk. Voimme huomata, että kasvukaudet pyrkivät pidentymään, mikä ei ole huono asia nurmentuotannossa. (Ilmatieteen laitos. Terminen kasvukausi.) Kuviossa 2 on kuvattu keskilämpötilat ja kuviossa 3 sademäärät kasvukausilta ja vertailuvuosilta. Samanlaiset taulukot ovat myös Ruukista ja Mikkelistä.

2013 vuoden alku on ollut Maaningalla keskimääräistä lämpimämpi. Kesäkuu on ollut 2013 vuoden lämpimin kuukausi, keskilämpötilan ollessa 17,6 °C, kun edellisvuonna se oli 13,4 °C ja vertailuvuosi-

na 14,1 °C. Myös toukokuu on ollut keskimääräistä lämpimämpi ja kuivempi, mikä on heikentänyt nurmen alkukehitystä. Heinäkuussa 2013 lämpötila oli pudonnut, ja edellisvuoden heinäkuu on ollut lämpimämpi. Runsaat sateet heinäkuussa voivat olla syy lämpötilan laskuun. Kuviosta 3 huomataan, että vuosi 2012 on ollut erittäin runsassateinen. Sateisempia kuukausia ovat olleet kesä- ja heinäkuut, joilloin on satanut yli 100 millimetriä. Heinäkuu on ollut sateisin kuukausi molempina kasvu-kausina, sekä vertailuvuosina. Pitkän aikavälin vertailuarvoihin verrattuna kuukausien keskilämpötilat ovat hieman nousseet, mikä voi johtua ilmastonmuutoksesta.



KUVIO 2. Kasvukausien lämpötilat Maaningalla

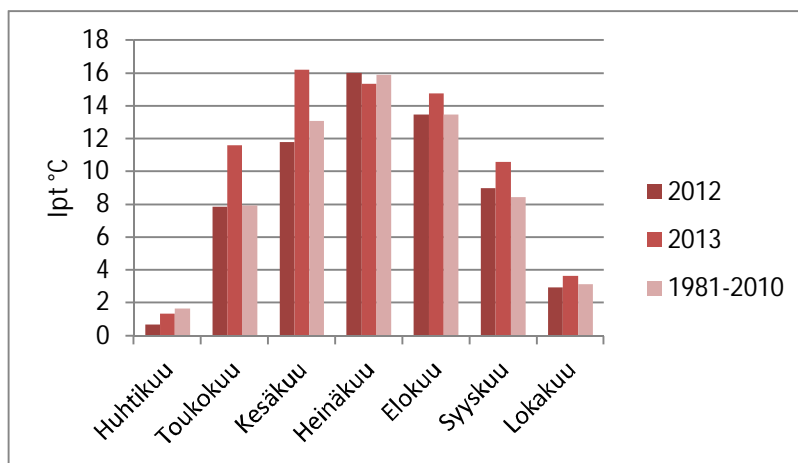


KUVIO 3. Kasvukausien sademäärät Maaningalla

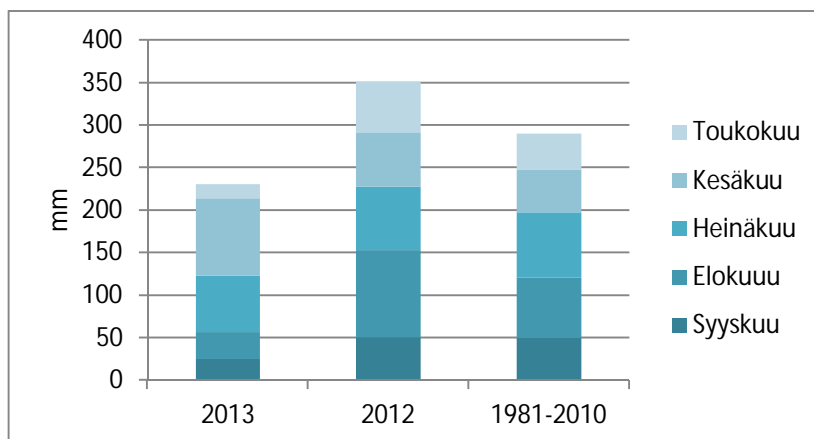
Kasvukaudet Ruukissa

Ruukissa vuoden 2012 terminen kasvukausi alkoi 8.5 ja loppui 12.10, joilloin sen pituudeksi tuli 158 vrk. Terminen kasvukausi 2013 oli 2 vrk pidempi alkaen 6.5 ja kestäen 12.10 saakka. Terminen kasvukausi on keskimäärin vuosina 1981–2010 ollut 155–165 vrk. Ruukissa ei ole havaittavissa kasvukausien pidentymistä. (Ilmatieteen laitos. Terminen kasvukausi) Muuten on havaittavissa samankaltaisia sääolosuhteita kuin Maaningalla. Kasvukausi 2013 on ollut lämpimämpi ja vähäsateinen. Erityisen lämmin (11,6 °C) ja vähäsateinen (16,2 mm) Ruukissa on ollut vuoden 2013 toukokuu.

Kasvukausi 2012 on ollut runsassateinen ja yli sadan millimetrin sateet ovat tulleet elokuussa. Edellisvuoden sateisin kuukausi on ollut kesäkuu. Vuoden 2012 sateet ovat jakautuneet eri kuukausille melko tasaisesti, kuten myös vertailuvuosina, mutta vuonna 2013 sateet ovat tulleet epätasaisesti. Esimerkiksi kesä-heinäkuu on ollut sateista, mutta elo-syyskuussa lämpötila on noussut ja sateet vähentyneet. Erilaiset sään ääri-ilmiöt, kuten pitkät sadejaksot tulevat yleistymään ilmastonmuutoksen myötä. Kuviossa 4 on kuvattu keskilämpötilat ja kuviossa 5 sademäärät kasvukausilta ja vertailuvuosilta.



KUVIO 4. Kasvukausien lämpötilat Ruukissa

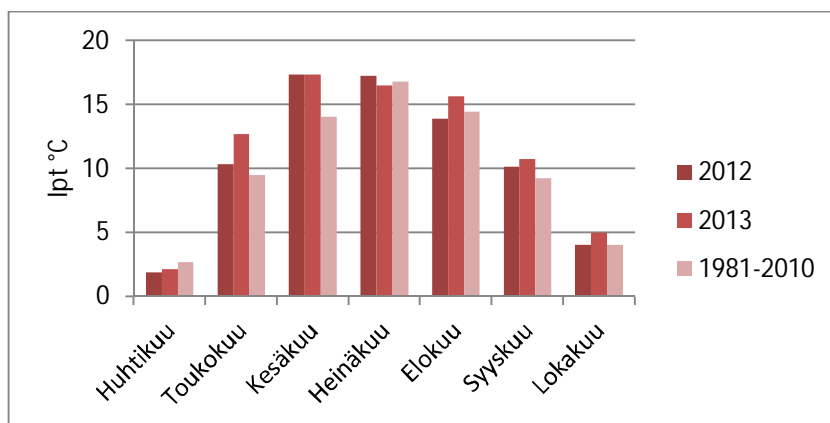


KUVIO 5. Kasvukausien sademäärät Ruukissa

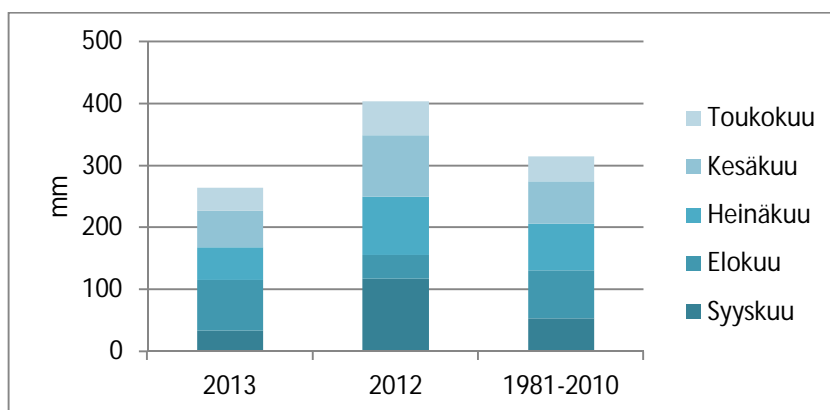
Kasvukaudet Mikkelissä

Mikkelissä terminen kasvukausi 2012 alkoi 27.4 ja loppui 19.10. Näin ollen sen pituudeksi tulee 176 vrk, joka oli sama kuin Maaningalla. Terminen kasvukausi 2013 oli Mikkelissä 8 vrk lyhyempi kuin edellisvuosi, alkaen 29.4 ja kestäen 13.10 saakka. Terminen kasvukausi on ollut vuosina 1981–2010 keskimäärin 165–175 vrk. Mikkelin kasvukaudet ovat olleet keskimääräistä tasoa. (Ilmatieteen laitos. Terminen kasvukausi) Mikkelinkin kasvukausista voidaan huomata että kasvukausi 2013 on ollut lämpimin, mutta ei niin selvästi, kuin kahdella edellisellä paikkakunnalla. Kesäkuu on molempina vuosina ollut lämpimin kuukausi. Kesäkuussa on ollut keskimäärin lämmintä 14,02 °C, mutta vuosina 2012–2013 lämpötila on kohonnut 17,4 °C: een. Kasvukausi 2013 on Mikkelissäkin ollut vähäsatei-

nen, kun taas kasvukausi 2012 oli runsassateinen. Kesä- ja syyskuussa oli satanut yli 100 mm vettä. Toukokuu 2013 on ollut jokaisella paikkakunnalla lämmin ja vähäsateinen. Pintamaan ollessa kuiva kasvien alkukehityksen aikaan, ne reagoivat kaliumlannoitukseen. Tällöin maan kaliumpitoisuuden tulisi olla runsas. Kasvien kehityksen aikaisessa vaiheessa on kaliumin saantiin kiinnitettävä huomiota, jos halutaan päästä maksimisatoihin. (Koikkalainen, K. ym. 1990. 12.) Kuviossa 6 on kuvattu keskilämpötilat ja kuviossa 7 sademäärät kasvukausilta ja vertailuvuosilta.



KUVIO 6. Kasvukausien lämpötilat Mikkeli



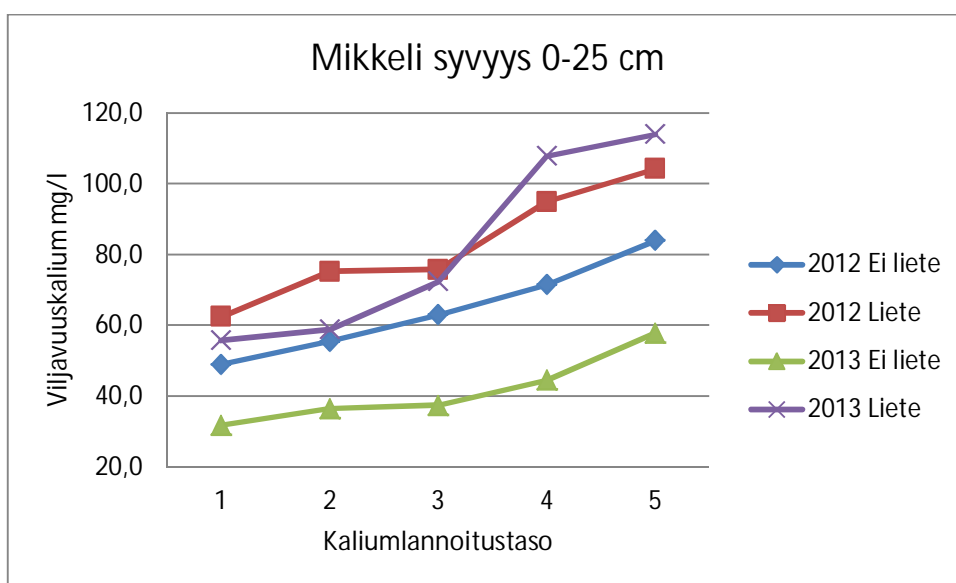
KUVIO 7. Kasvukausien sademäärät Mikkeli

8.2 Maaperän muutokset

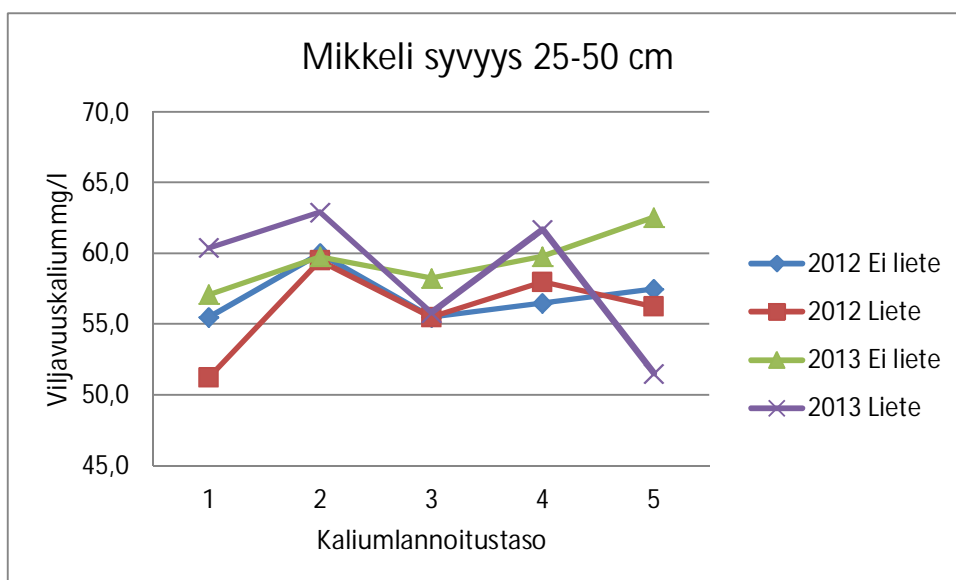
Kaikkien koepaikkojen maalajina on hietä. Koska erityisesti Maaningalla reservikaliumpitoisuus on korkea, yli 1000 mg/l, voidaan olettaa, että hiedan lähtömateriaali on kiille. Ruukissa maalaji on karkeampaa, joten lienee mahdollista, että kiillettä on vähemmän. Viljavuusnäytteistä huomataan (taulukko 3), että reservikaliumpitoisuuden vaihdellessa korkeasta alhaiseen, on viljavuuskalium silti jokaisella paikkakunnalla luokkaa välttävä/huononlainen. Tästä huomataan, ettei viljavuuskaliummäärityksen avulla voida päätellä tarkasti maan oikeaa kaliumlannoitustason tarvetta. Koikkalainen ym. (1990) ovat havainneet, että turve- ja hietamailla kaliumluvut laskivat nopeasti suurimmallakin kaliumlannoitustasolla, joka oli 300 kg/ha. He myös huomasivat, etteivät hietamaiden kaliumpitoisuudet laskeneet aivan yhtä nopeasti. Tämä voi tukea ajatusta, että jokaisen paikkakunnan hiedan lähtömateriaali on kiille, josta vapautui lisää kaliumia satojen mukana poistuvan kaliumin tilalle. Kuviois-

ta 8-13 on esitetty viljavuuskalium jokaiselta paikkakunnalta kahdelta eri syvyydeltä. Kuvaajien y-akselien asteikko ei ole kaikissa kuvaajissa sama, jotta muutokset olisivat paremmin havaittavissa.

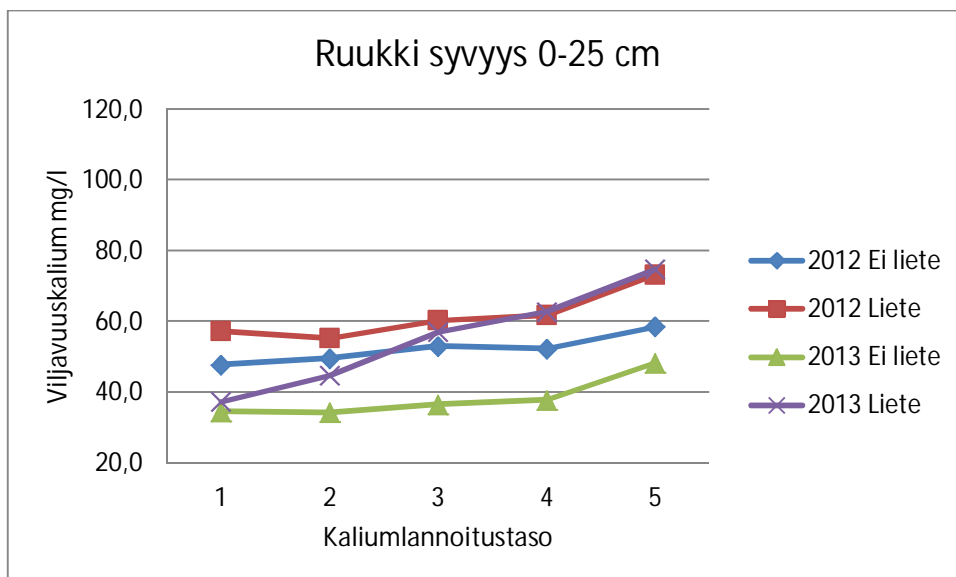
Kaliumlannoitustasot nostivat maan viljavuuskaliumpitoisuutta Mikkelissä ($p=0,003$, $p<0,001$) ja Ruukissa ($p=0,024$, $p<0,001$) (liite 4). Kuvioista 8-13 huomataan, että mitä suurempi kaliumlannoitustaso on, sitä korkeampi on viljavuuskaliumtaso. Nopeimmin viljavuuskaliumtasot nousivat pintamaassa (0-25 cm). Tämän voisi selittää sillä että lannoite levitetään pintamaahan. Lietteen ja syvyyden yhteisvaikutus oli tilastollisesti merkitsevä Mikkelissä ($p<0,001$, $p<0,001$) ja Ruukissa ($p=0,050$, $p=0,001$). Yhteisvaikutus nosti pintamaan viljavuuskaliumtasoa. Maaningalla ei ollut tilastollisesti merkitseviä muutoksia viljavuuskaliumtasoihin. Tämä johtunee Maaningan korkeasta reservikaliumpitoisuudesta.



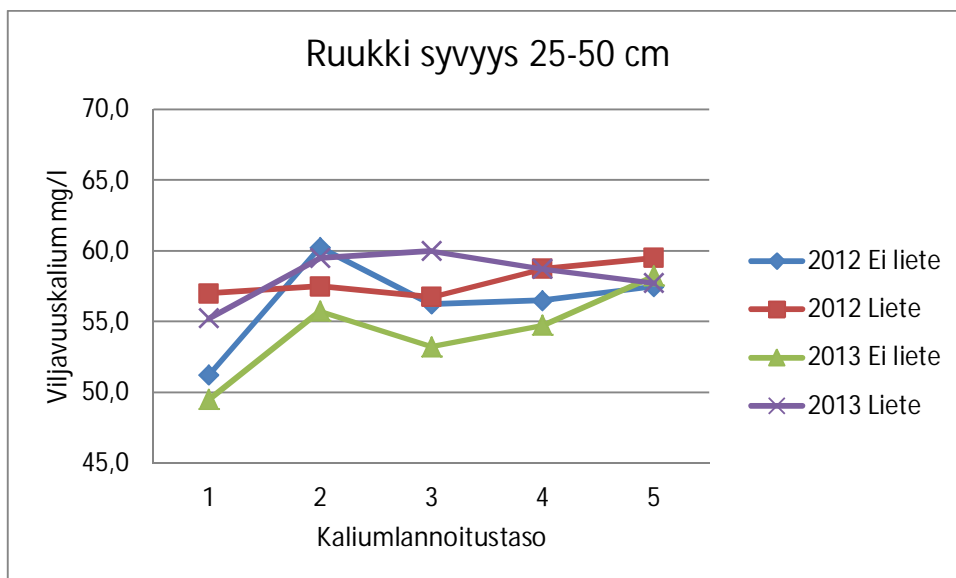
KUVIO 8. Mikkelin viljavuuskalium pintamaassa (0-25 cm) X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.



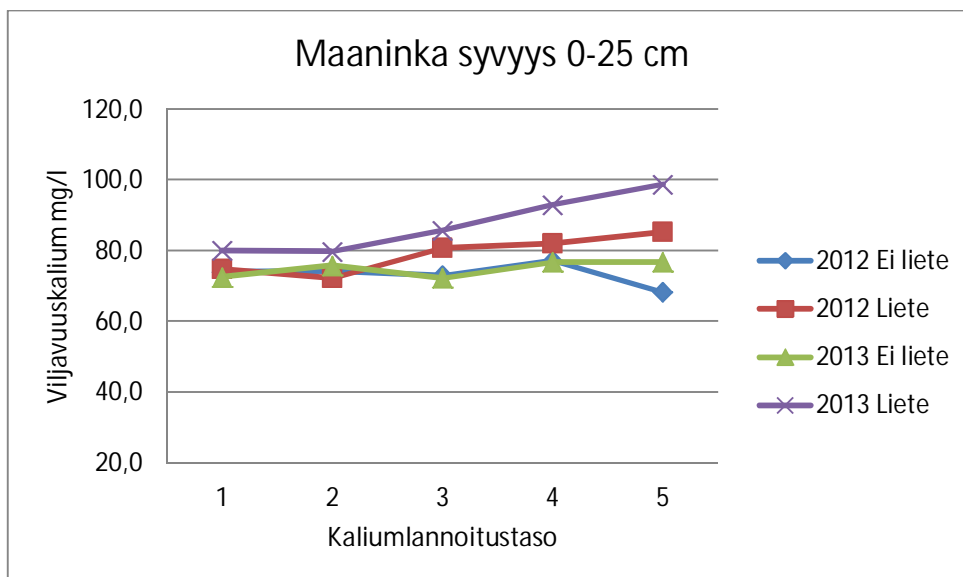
KUVIO 9. Mikkelin viljavuuskalium pohjamaassa (25–50 cm) X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.



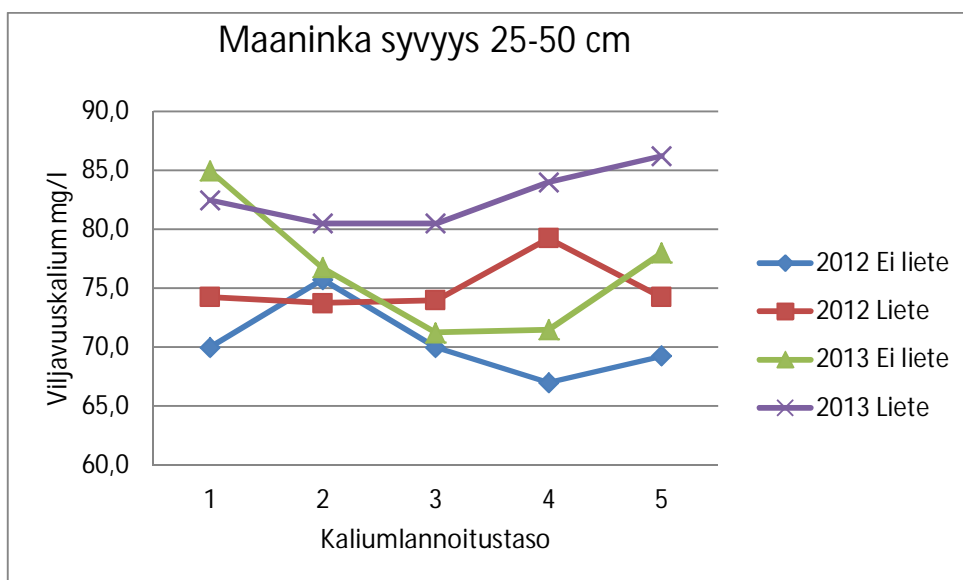
KUVIO 10. Ruukin viljavuuskalium pintamaassa (0-25 cm) X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoitus-käsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.



KUVIO 11. Ruukin viljavuuskalium pohjamaassa (25–50 cm) X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoitus-käsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.

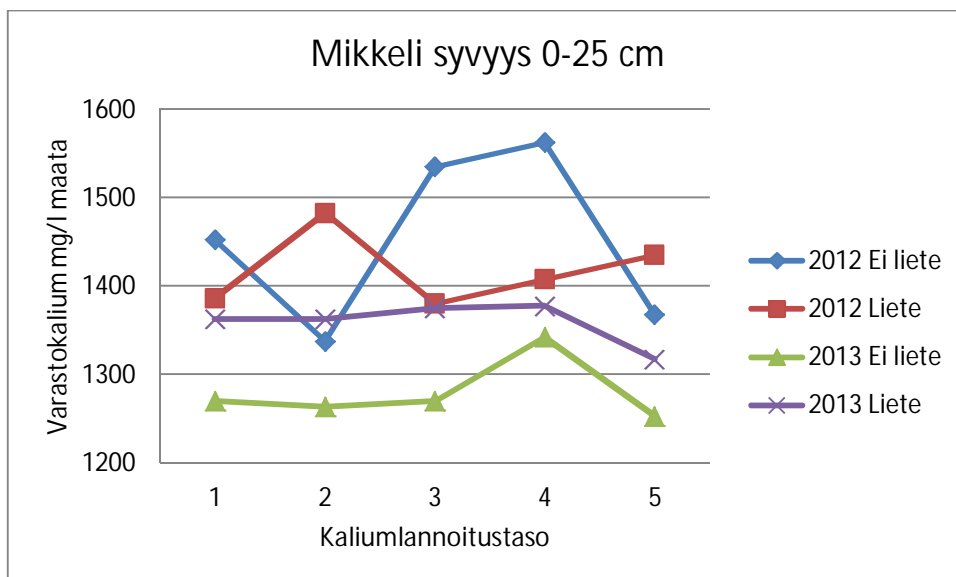


KUVIO 12. Maaningan viljavuuskalium pintamaassa (0-25 cm) X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.

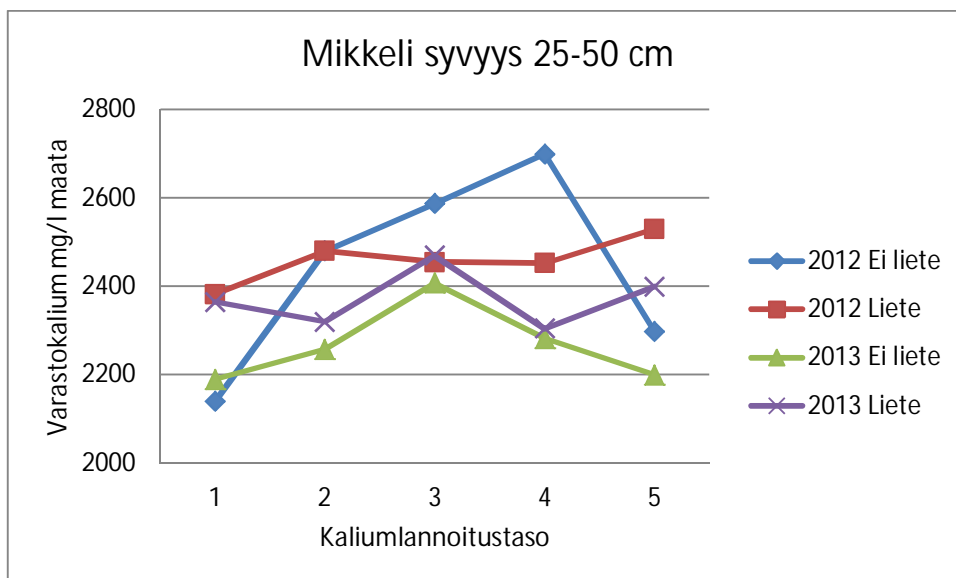


KUVIO 13. Maaningan viljavuuskalium pohjamaassa (25–50 cm) X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.

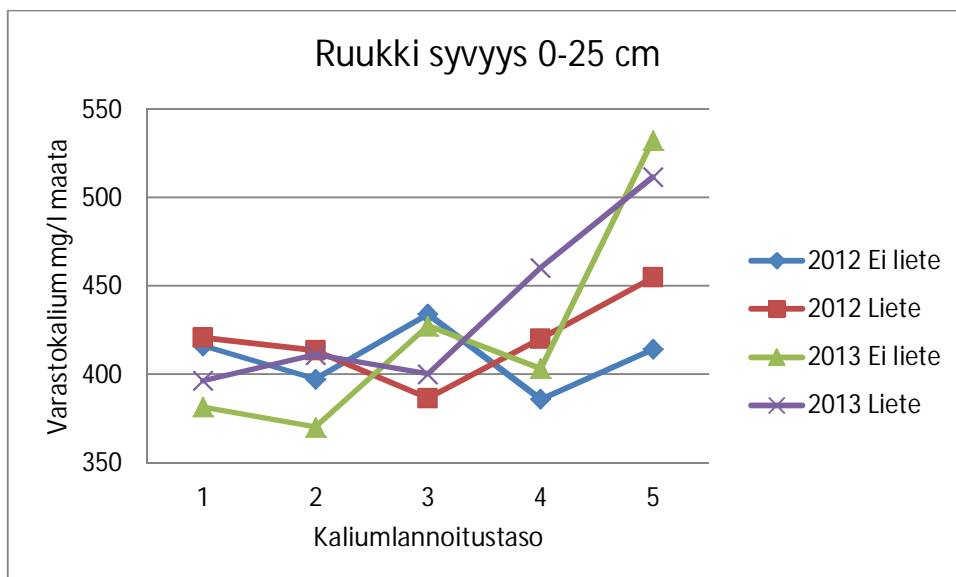
Reservikaliumtasoihin lietteellä ja eri kaliumtasolla oli tilastollisesti merkitsevä yhdysvaikutus Maaningalla ($p=0,037$) (Liite 5). Kaliumlannoitustason noustessa reservikaliumtaso nousi. Lietettä saaneiden ruutujen reservikaliumtasot jäivät pienemmiksi kuin ilman lietettä jääneiden ruutujen. Liitteestä 5 havaitaan myös, että syvyys vaikuttaa tilastollisesti merkittävästi reservikaliumtasoihin Maaningalla ($p=0,043$) ja Mikkelissä ($p=0,002$, $p<0,001$). Kuvioista 14–19 huomataan, että Maaningalla reservikaliumtaso oli pintamaassa korkeampi, kun taas Mikkelissä jankon reservikaliumtaso oli korkeampi. Ruukissa ei ollut tilastollisesti merkittäviä muutoksia reservikaliumtasoihin. Kuvaajien y-akselien asteikko ei ole kaikissa kuvaajissa sama, jotta muutokset olisivat paremmin havaittavissa.



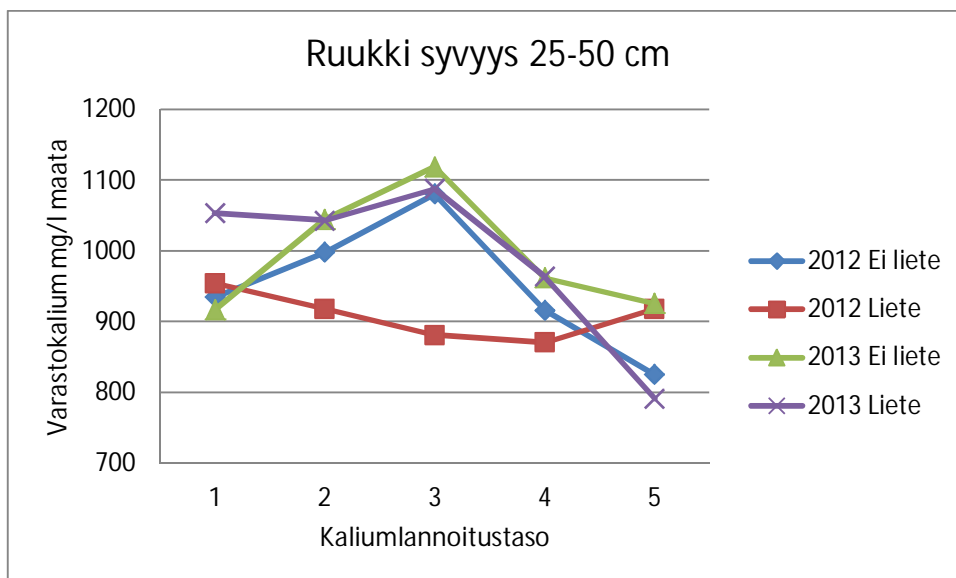
KUVIO 14. Mikkelin reservikalium pintamaassa (0-25 cm) X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.



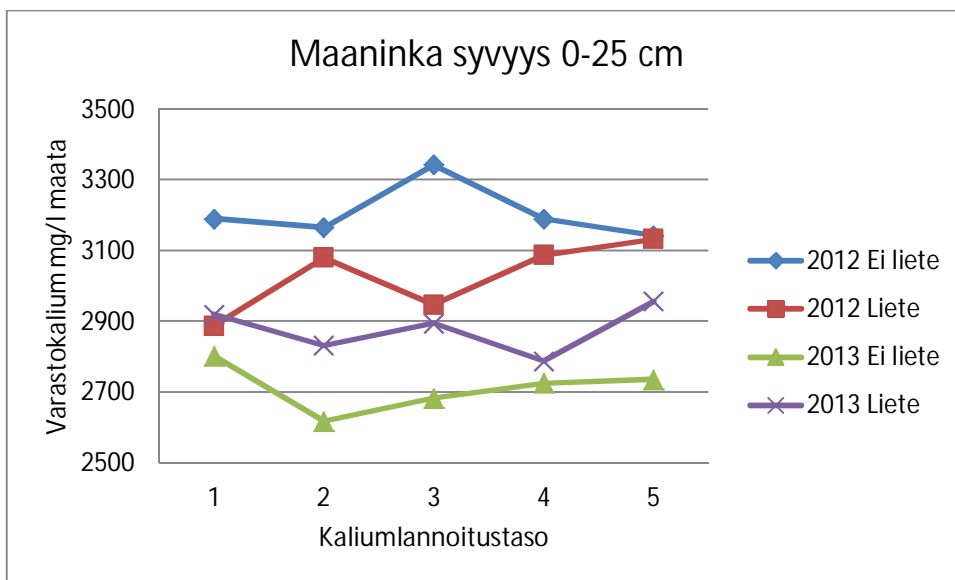
KUVIO 15. Mikkelin reservikalium pohjamaassa (25–50 cm) X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.



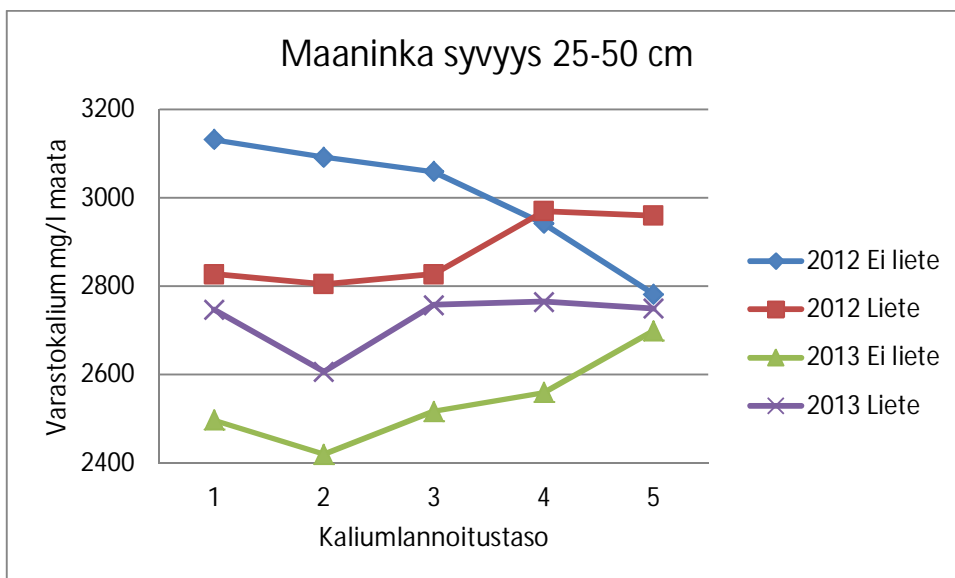
KUVIO 16. Ruukin reservikalium pintamaassa (0-25 cm) X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.



KUVIO 17. Ruukin reservikalium pohjamaassa (25–50 cm) X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.



KUVIO 18. Maaninnan reservikalium pintamaassa (0-25 cm) X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.



KUVIO 19. Maaninnan reservikalium pohjamaassa (25–50 cm) X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.

Syvyydellä oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus maan kalsiumtasoihin Maaningalla ($p < 0,001$, $p < 0,001$) Mikkelissä ($p = 0,002$, $p = 0,002$) ja Ruukissa ($p < 0,001$, $p < 0,001$) (liite 6). Pintamaan kalsiumpitoisuus oli jokaisella paikkakunnalla korkeampi, kuin jankossa. Ruukissa myös magnesiumtaso ($p < 0,001$, $p < 0,001$) oli korkeampi pintamaassa (liite 7). Maaningalla ja Ruukissa ei ollut tilastollisesti merkittäviä vaikutuksia maan magnesiumtasoihin.

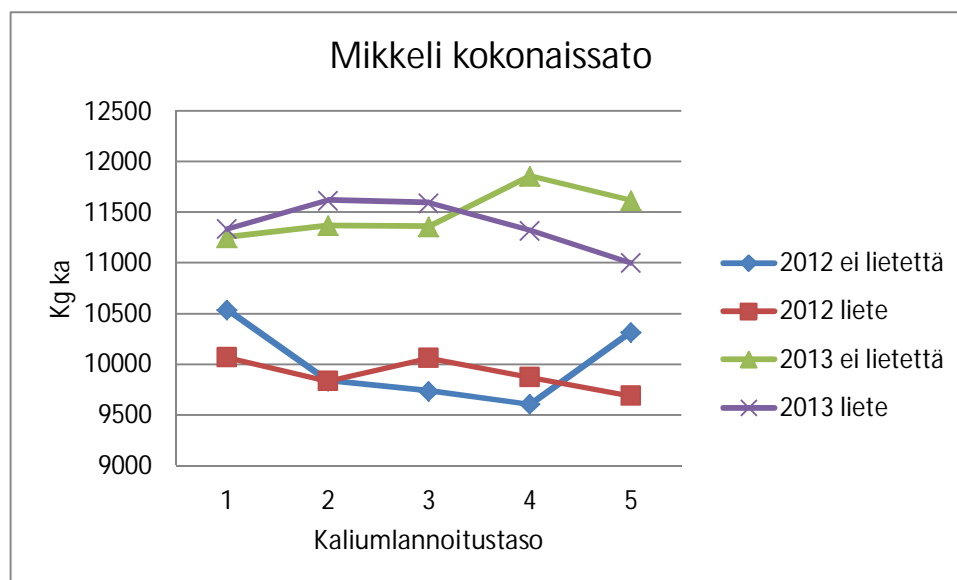
8.3 Kuiva- ainesato

Rehun kuiva-ainesato kertoo, kuinka paljon rehukilon painosta jää jäljelle, kun siitä poistetaan kaikki vesi (Rinne, M. Sairanen, A. 2010.19). Koikkalainen ym. (1990) ovat todenneet, että jos kaliumlannoitusta ei anneta tai lannoitusmäärä on pieni, sadon rehuominaisuudet ovat hyvät, mutta sato jää

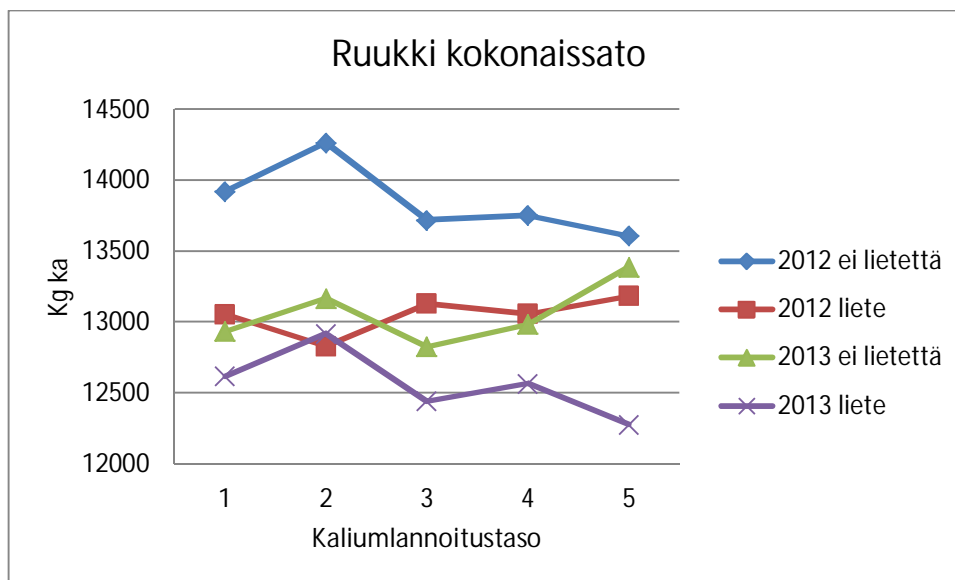
pieneksi (Koikkalainen, K. ym. 1990.4). Saarelan, I. (1983) mukaan kaliumlannoituksen vaikutus saatoon suurenee vuosittain maan kaliumvarojen ehtymisen johdosta (Saarela, I. 1983). Tässä ko-
keessa kuiva-ainesadon määrään eivät tilastollisesti vaikuttaneet eri kaliumlannoitustasot. Maan ka-
liumpitoisuuksia voidaan nurmenviljelyn kannalta pitää riittävänä, koska eri kaliumlannoitustasoilla ei
ollut huomattavia satoeroja.

Lietelannoituksella oli tilastollisesti merkitsevyyttä kuiva-ainesatoon Mikkelissä 2013 vuoden toisessa
ja kolmannessa niitossa ($p=0,025$, $p<0,001$), Ruukissa vuoden 2012 toisessa ja kolmannessa niitos-
sa ($p=0,005$, $p=0,138$) sekä vuoden 2013 toisessa niitossa ($p=0,019$) ja Maaningalla vuoden 2013
ensimmäisessä ja toisessa niitossa ($p=0,010$, $p=0,007$) (Liite 8). Kuvioissa 20–22 on jokaisen paik-
kakunnan kokonaissadot kahdelta vuodelta. Kuvaajien y-akselien asteikko ei ole kaikissa kuvaajissa
sama, jotta muutokset olisivat paremmin havaittavissa. Kuvioista voidaan huomata, että lietelannoi-
tus pääsääntöisesti pienensi kuiva-ainesatoja. Tämä voi johtua siitä, että lietteen ravinteet ovat hi-
taammin kasvien käytettävissä ja täten hidastaneet kasvin kasvua. Todennäköisesti myös tyyppi on
vapautunut vasta kolmannelle sadolle.

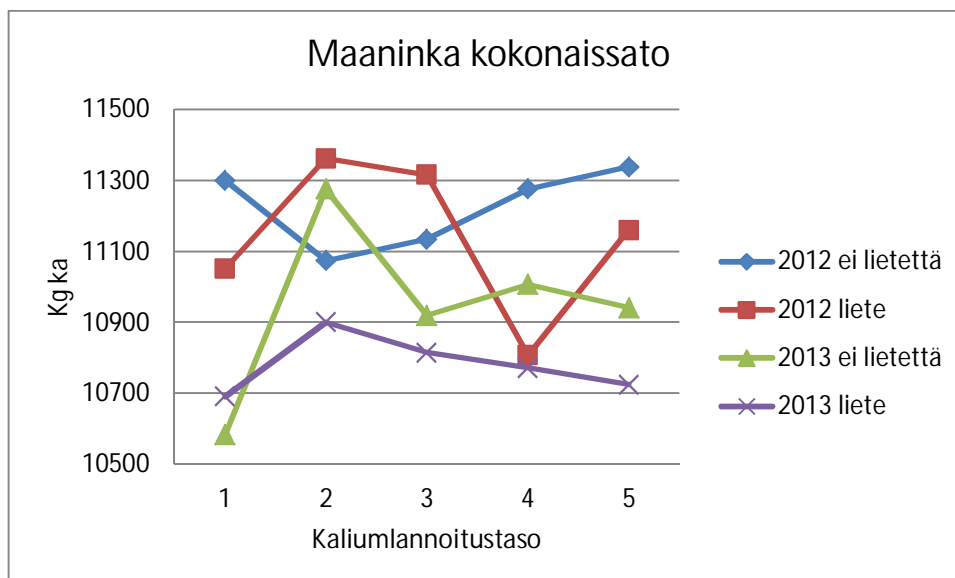
Eri kaliumlannoitustasojen ja lietteen yhdysvaikutuksella ei ollut tilastollista merkitsevyyttä kokonais-
satoihin. Tämä johtunee siitä, että maassa on niin korkea reservikalium, ettei kaliumin lisälannoituk-
silla saatu sadonlisää. Kuvioista 20–22 voidaan huomioida, että lannoittamattomien ja 50 kg/ha saa-
neiden ruutujen sadot eivät merkittävästi eroa suurempien lannoitustasojen sadoista. Voidaan kui-
tenkin huomioida, että nollaruutujen sadot laskevat Maaningalla ja Ruukissa seuraavaan vuoteen
(Liite 8).



KUVIO 20. Mikkelin kokonaissadot (kg ka) X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. Lietettä
saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.



KUVIO 21. Ruukin kokonaissadot (kg ka) X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.



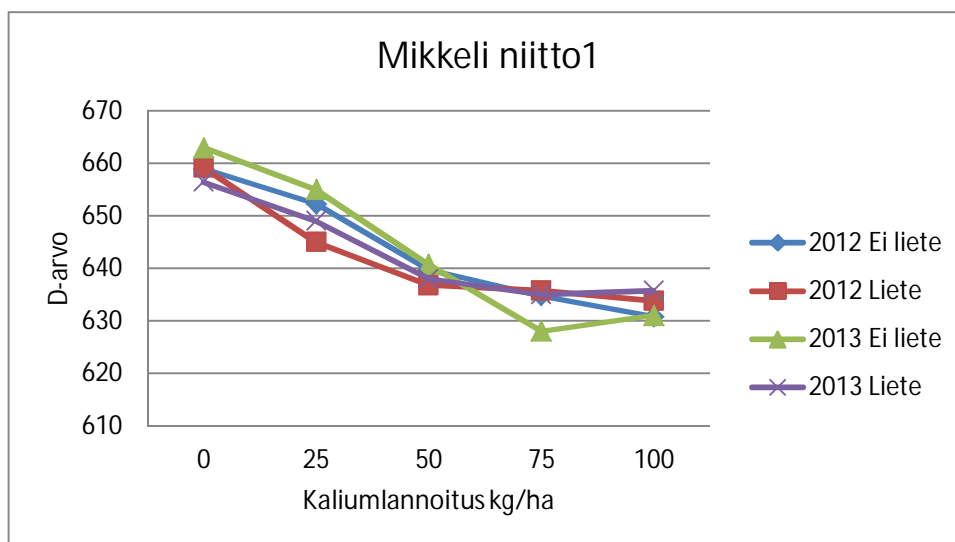
KUVIO 22. Maaningan kokonaissadot (kg ka) X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.

8.4 D-arvo

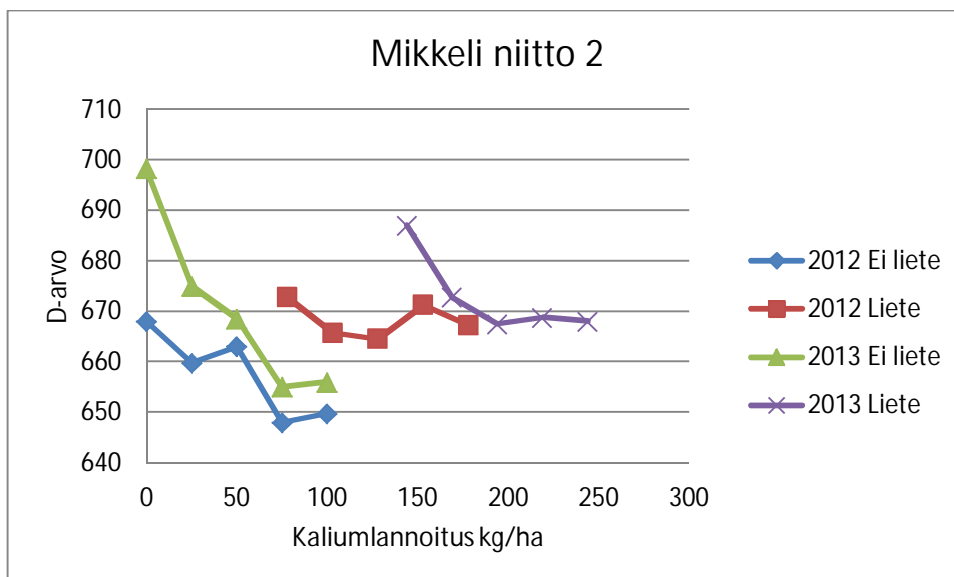
D-arvo kertoo rehun kuiva-aineen sulavan orgaanisen aineen määrän. D-arvo muodostuu sulaneesta kuidusta. Lypsylehmille sopiva D-arvo on 680–690 välillä. Rehun D-arvoon vaikuttaa sen korjuu ajankohta. Mitä varhaisemmassa kasvin kehitysvaiheessa rehu korjataan, sitä korkeampi sen D-arvo on. (Rinne, M. Sairanen, A. 2010.17). Jokaisella paikkakunnalla eri kaliumlannoitustasot vaikuttivat tilastollisesti merkittävästi D-arvon muodostumiseen ($p < 0,001 - 0,040$). Ainoastaan Maaningan vuoden 2012 niitossa 1 ei ollut tilastollista merkitsevyyttä. Liitteestä 9 huomataan, että suurimmat muutokset saavutettiin muuttamalla kaliumtasoja 0-100 (b), 0-150(c), 0-200(d), 50–150(c), 50–200(d). Kuvioista 23–31 voidaan huomata, että D-arvo laskee kaliumlannoitustason noustessa. Esimerkiksi Ruukissa vuoden 2013 niitossa 2, kaliumlannoitustason ollessa 200 kg/ha D-arvo on ollut 683 kun taas kaliumlannoitustason ollessa 0 kg/ha se on ollut 707. Tämän tiedon perusteella, kun lannoite-

taan eri kaliumlannoitustasoilla, saadaan nurmen D-arvo kehittymään eri tahtia. Tämä on hyödyksi esimerkiksi silloin, kun rehunteko kestää useita päiviä. Käyttämällä eri kaliumlannoitustasoa eri lohkoille, voidaan vaikuttaa kasvuston kehittymisen jaksoittamiseen. Tällöin ensimmäisenä ja viimeisenä korjattavan lohkon D-arvot ovat samat.

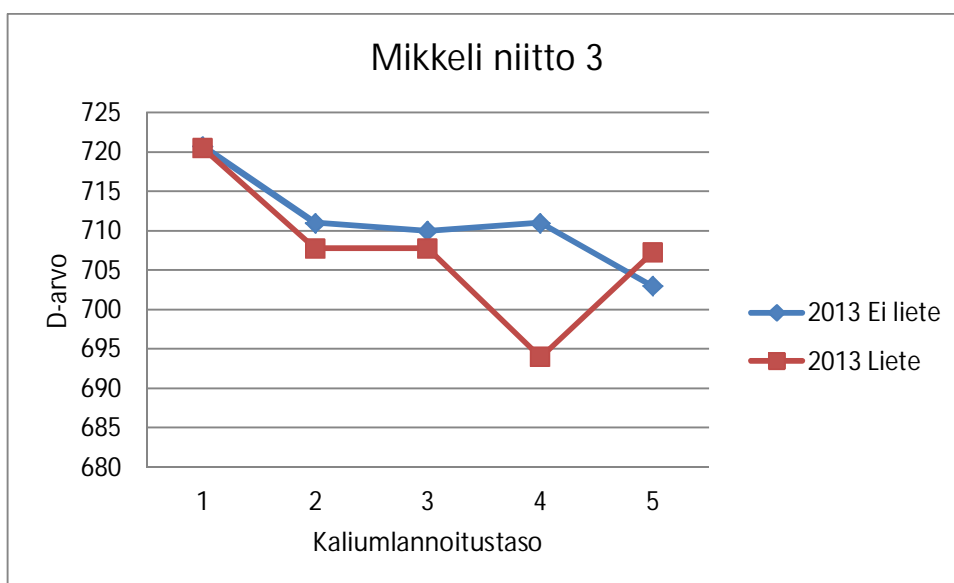
Lietelannoituksella (Liite 9) oli tilastollista merkitystä vain kolmessa niitossa ($p=0,005 - 0,038$). Näissä tapauksissa lietteen käyttö alensi D-arvoa. Kuvioista 23–31 huomataan, että D-arvo laskee mitä suurempi kaliumlannoitus on. Eri kaliumlannoitustasojen ja lietteen yhdysvaikutuksella oli tilastollista merkitsevyyttä viidessä niitossa ($p=0,018 - 0,041$) (Liite 9). Lietettä saaneiden ruutujen D-arvot lasivat hieman hitaammin, kuin pelkkää mineraalilannoitetta saaneiden ruutujen. D-arvon lasku voi johtua tuhkapitoisuudesta. Tuhka ei ole orgaanista ainesta. Suurin osa tuhkasta on kaliumia. Kaliumlannoitustason noustessa tuhkan määrä kasvaa ja orgaanisen aineksen määrä laskee, joten D-arvokin laskee. Niitto 2 kuvioista (kuviot 24, 27 ja 30) voidaan myös huomata kuinka paljon lietteen mukana on tullut kaliumia kaliumlannoitustasojen lisäksi.



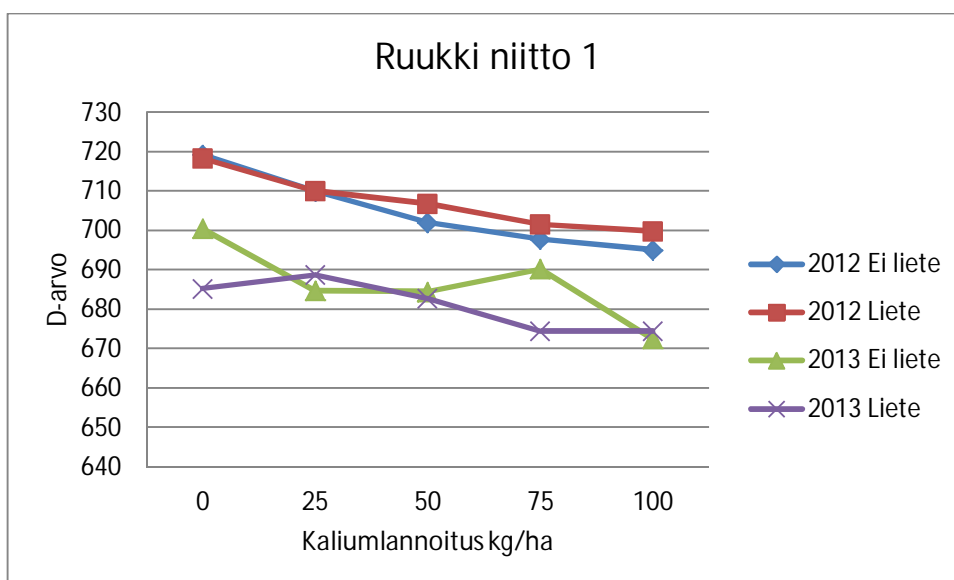
KUVIO 23. Kaliumlannoituksen vaikutus ensimmäisen sadon D-arvoon Mikkeliissä vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä.



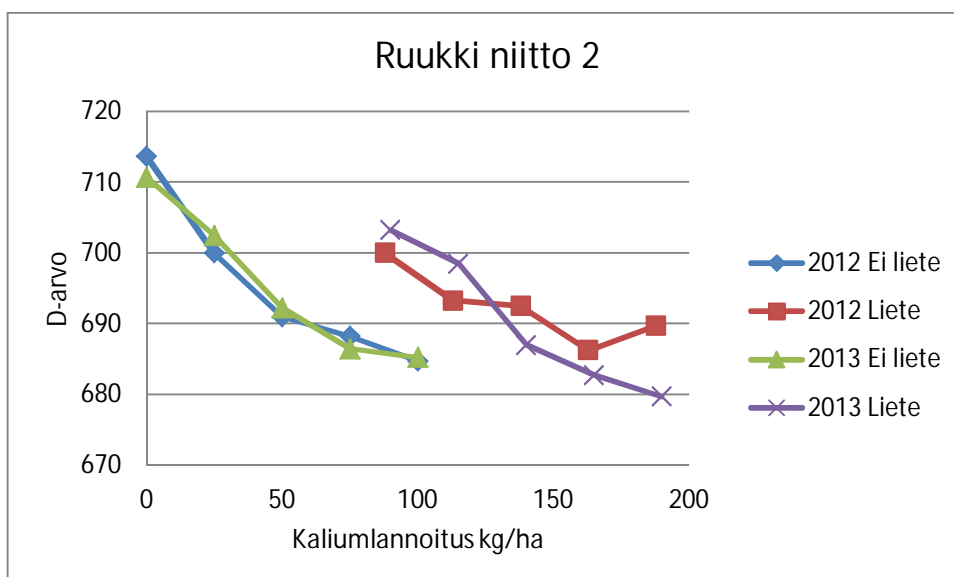
KUVIO 24. Kaliumlannoituksen vaikutus toisen sadon D-arvoon Mikkeliissä vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.



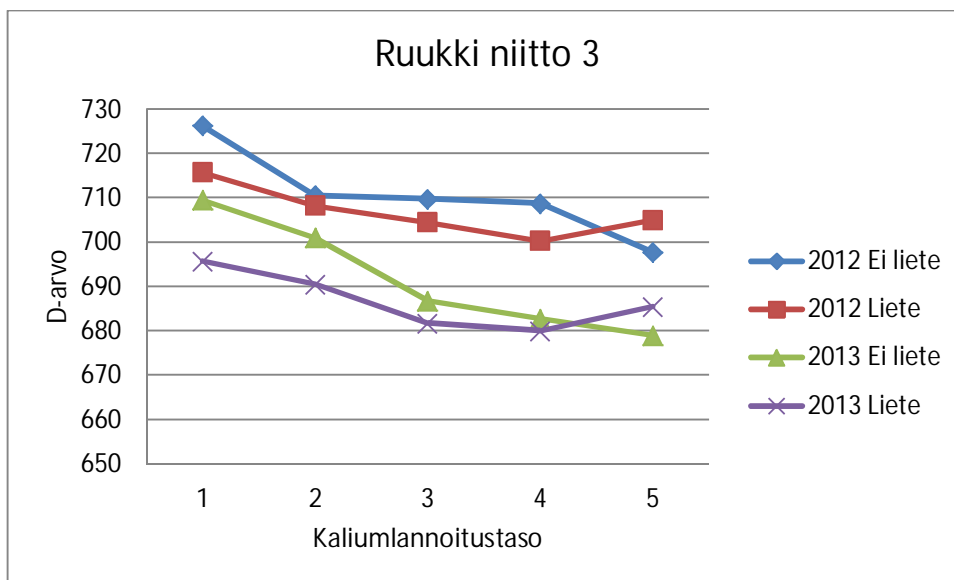
KUVIO 25. Kaliumlannoitustason vaikutus kolmannen sadon D-arvoon Mikkeliissä vuonna 2013. X-akseli kuvaa kaliumlannoitustasoa.



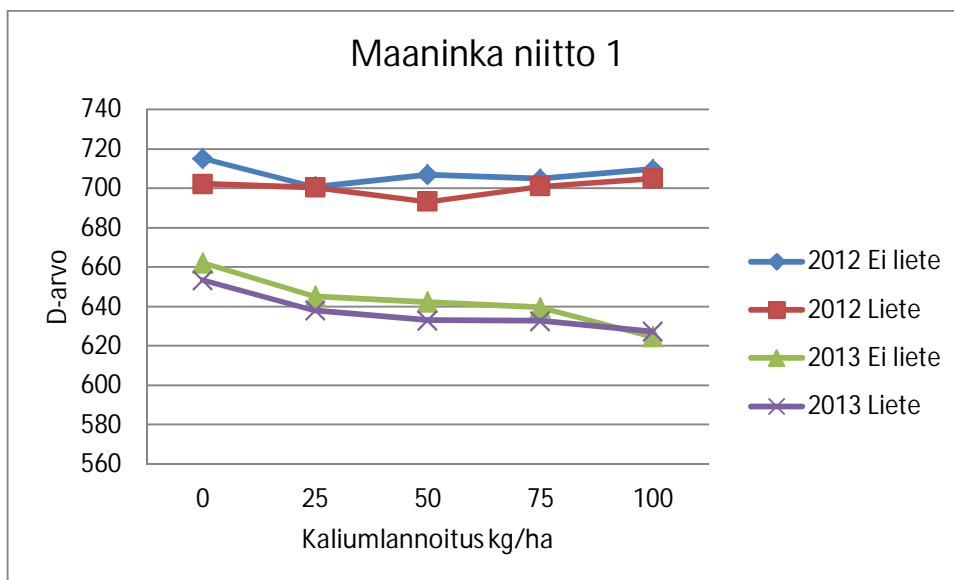
KUVIO 26. Kaliumlannoituksen vaikutus ensimmäisen sadon D-arvoon Ruukissa vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä.



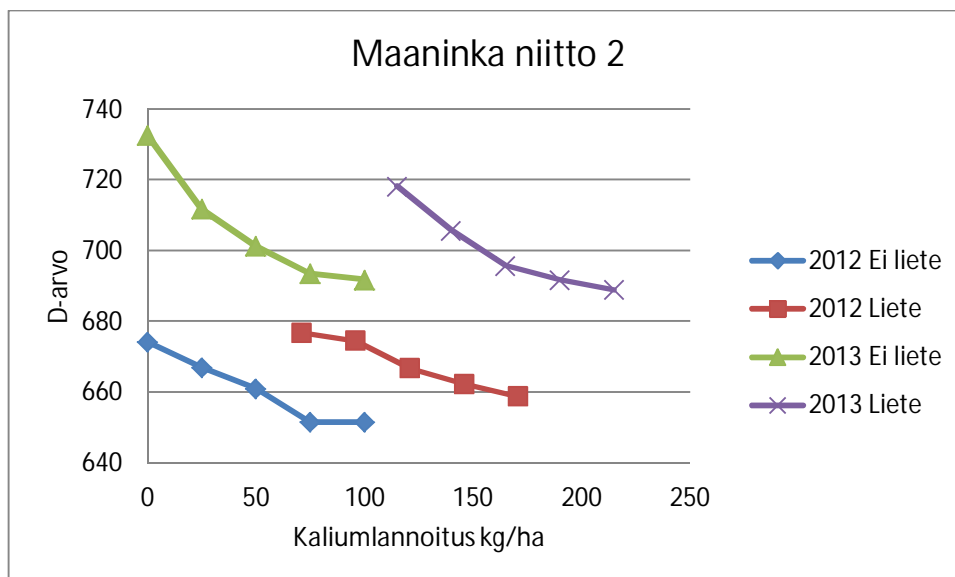
KUVIO 27. Kaliumlannoituksen vaikutus toisen sadon D-arvoon Ruukissa vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.



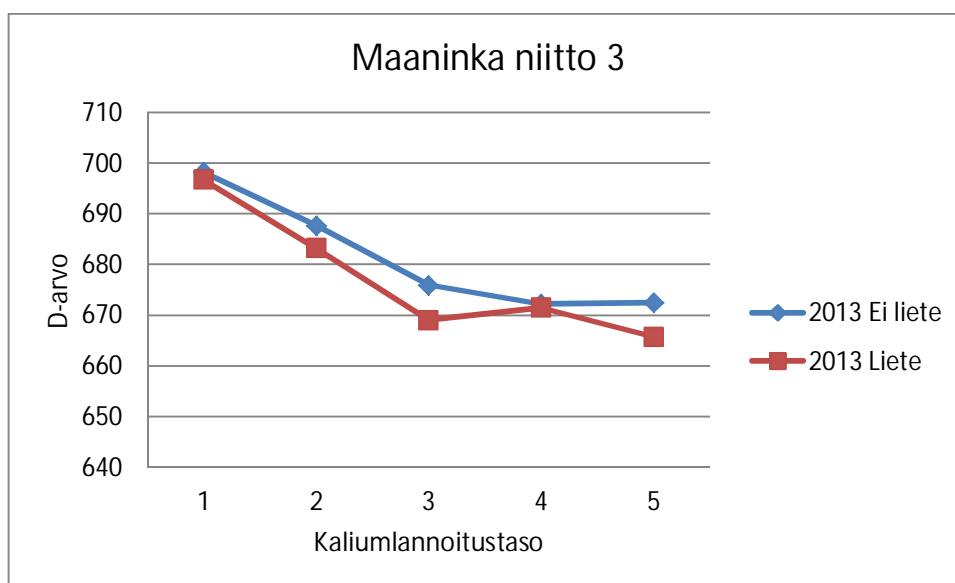
KUVIO 28. Kaliumlannoitustason vaikutus kolmannen sadon D-arvoon Ruukissa vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa kaliumlannoitustasoa.



KUVIO 29. Kaliumlannoituksen vaikutus ensimmäisen sadon D-arvoon Maaningalla vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä.



KUVIO 30. Kaliumlannoituksen vaikutus toisen sadon D-arvoon Maaningalla vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.



KUVIO 31. Kaliumlannoitustason vaikutus komannen sadon D-arvoon Maaningalla vuonna 2013. X-akseli kuvaa kaliumlannoitustasoa.

8.5 Raakavalkuainen

Raakavalkuainen kertoo, kuinka paljon rehun kuiva-ainekilosta on valkuaista. Jos maassa on runsaasti käyttökelpoista tyypeä, kasvit ottavat sen tehokkaasti, ja silloin kasvuston raakavalkuaispitoisuus on korkea. Kasvun edetessä kuiva-ainesato kasvaa, tyyppi laimenee kasvimassaan ja raakavalkuaispitoisuus laskee. Lypsylehmän tarpeisiin rehun raakavalkuaispitoisuudeksi riittää 130–170 g/kg ka. (Rinne, M. Sairanen, A. 2010.19.) Eri kaliumlannoitustasot vaikuttivat tilastollisesti raakavalkuaiseen Mikkeliissä vuoden 2012 niitossa 2 ($p=0,048$), Ruukissa vuoden 2013 niitossa 1 ($p=0,048$) ja Maaningalla vuoden 2012 niitossa 1 ja 2 ($p=0,030$, $p=0,031$) sekä vuoden 2013 niitossa 2 ($p=0,041$)(Liite 10). Kaliumlannoitustason noustessa raakavalkuaispitoisuus putoaa kaikkialla muual-

la paitsi Ruukin niitossa 1. Raakavalkuaispitoisuudet vaihtelivat 88–157 g/kg ka välillä. Alhaiset raakavalkuaispitoisuudet johtunevat typen puutteesta (Rinne, M. Sairanen, A. 2010. 19). Kaliumlannoitustason noustessa K/N suhde kasvaa, jolloin typpeä on ollut liian vähän saatavilla. Koikkalainen, K ym. (1990) ovat myös todenneet, että kaliumlannoitus vaikuttaa raakavalkuaiseen negatiivisesti.

Lietelannoituksen havaittiin myös laskevan rehun raakavalkuaispitoisuutta. Litteestä 10 huomataan, että tilastollista merkitsevyyttä raakavalkuaispitoisuuteen oli Ruukissa kaikissa paitsi ensimmäisessä sadossa ($p < 0,001$ - 0,046) Maaningalla ja Mikkelissä vain vuoden 2012 toisessa sadossa ($p < 0,001$, $p < 0,001$). Keskimääräiset raakavalkuaispitoisuudet lietelannoituksella olivat 122 g/ka ka ja ilman lietelannoitusta 129 g/kg ka. Raakavalkuaispitoisuudet jäivät alle lypsylehmän optimitavoitteen 130–170 g/kg ka.

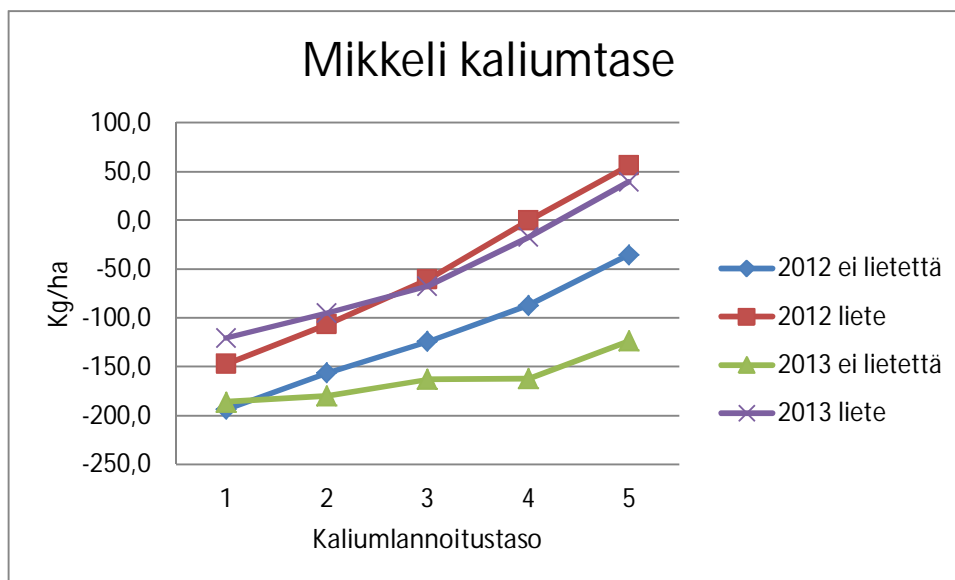
8.6 Kaliumtase

Kaliumtase kertoo kasvin ottamaan kaliummäärän verrattuna kasville annettuun kaliummäärään. Se lasketaan vähentämällä lannoituksen kaliumista sadon sisältämä kalium. Jos luku on negatiivinen, on kasvi ottanut kaliumia enemmän kuin sille on lannoituksessa annettu. Jos luku on positiivinen, kasvi ei ole pystynyt käyttämään kaikkea lannoituksessa annettua kaliumia. Liitteestä 11 nähdään paikkakunnittain, että eri kaliumlannoitustasoilla oli tilastollisesti merkitsevyyttä jokaisen paikkakunnan jokaisessa sadossa ($p < 0,001$ - 0,002). Kuvioissa 32–34 huomataan, että mitä enemmän kaliumlannoitusta annetaan, sitä suurempi on kaliumtasearvo. Tästä voidaan päätellä, että mitä enemmän annetaan kaliumlannoitusta, sitä vähemmän kasvi käyttää maan kaliumvaroja. Mikkelissä molempien vuosien ja Maaningalla vuonna 2013 toisessa niitossa kaliumtase on ollut positiivinen, joten niissä kaliumlannoitus on ollut suurempi kuin mitä kasvin käyttämä kaliummäärä. Myös Ruukissa kaliumtase on ollut lähempänä nollaa toisella niitolla kuin muilla niitoilla. Tämä johtunee siitä, että toiselle niitolle on annettu kaliumlannoitustasojen lisäksi myös karjanlantaa, jonka mukana on tullut lisää kaliumia.

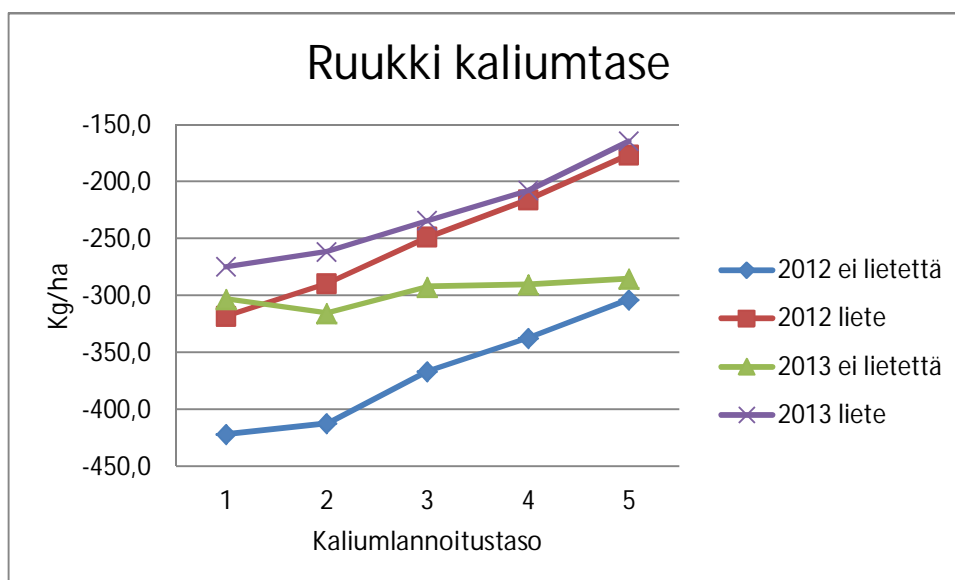
Liitteestä 11 huomataan, että niitoilla 3 kaliumtase laskee negatiivisemmaksi kaliumlannoitustasojen kasvaessa. Tämä johtunee siitä, että toisella niitolla kaliumlannoitustason kasvaessa, kaliumia on jäänyt yhä enemmän kasvilta hyödyntämättä. Kaikki tämä hyödyntämättä jäänyt kalium on ollut kolmannelle niitolle käytettävissä olevaa kaliumia. Koska suurimmilla kaliumlannoitustasoilla kaliumia on jäänyt eniten hyödyntämättä, on sitä myös ollut kolmannelle niitolle eniten kasville tarjolla. Kaliumtaseet ovat kolmannelle niitolla negatiivisiä myös sen takia, ettei kolmannelle niitolle ole annettu yhtään kaliumlannoitetta lisää. Keskimäärin kasvukautena kasvi on käyttänyt enemmän kaliumia kuin sitä on tullut lannoituksessa (tase on negatiivinen). Tästä voidaan päätellä, että kasvi on hyödyntänyt lannoituksen mukana tulleen kaliumin lisäksi myös maan kaliumvaroja. Kyseessä on mahdollisesti kaliumin luksusotto.

Kuvioista 32-34 huomataan että lietelannoitus nosti kaliumtasetta. Lieteellä on tilastollista merkitsevyyttä Mikkelissä kolmessa niitossa ($p < 0,001$ - 0,006), Ruukissa neljässä niitossa ($p < 0,001$ - 0,032) ja Maaningalla neljässä niitossa ($p < 0,001$ - 0,047)(Liite 11). Liete vaikutti eniten niitoilla 2, mikä joh-

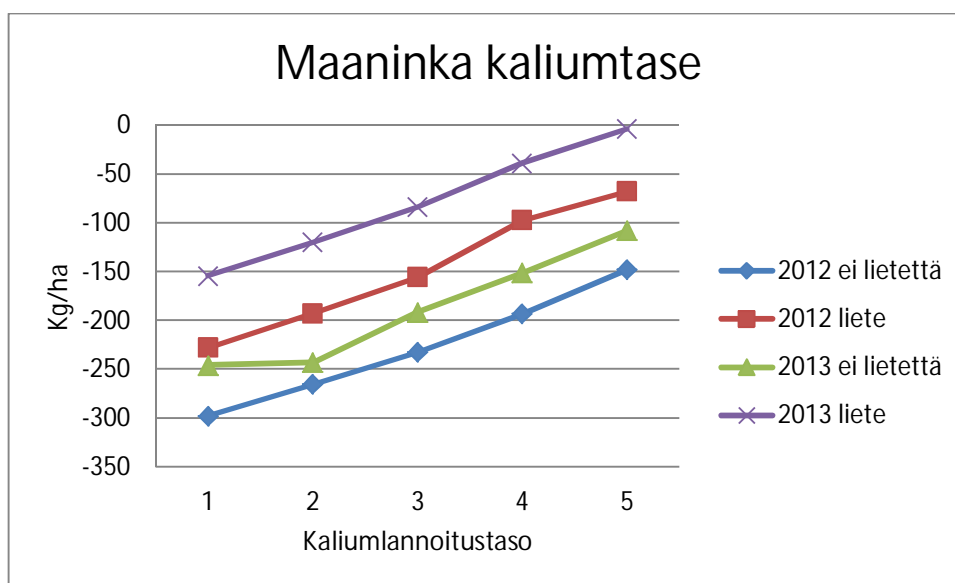
tunee siitä että se levitettiin niiton 1 jälkeen. Niittojen 2 kaliumtaseet olivat positiivisia tai lähellä positiivista. Kun arvo on positiivinen, kasvi ei ole käyttänyt kaikkea kaliumia, jonka se on lannoituksen mukana saanut. Eri kaliumlannoitustasojen ja lietteen yhdysvaikutuksen tilastollista merkittävyyttä oli Mikkelin ($p=0,022$, $p<0,001$, $p=0,006$) ja Ruukin ($p=0,029$, $p=0,0040$, $p=0,007$) 2013 vuoden kaikissa niitoissa ja Maaningan ($p=0,027$) vuoden 2012 ensimmäisessä niitossa (Liite 11). Lannoitettaessa sekä liete että mineraalilannoitteilla kaliumia on tullut eniten kasvin käytettäväksi. Tämän takia kasvi on hyödyntänyt vähemmän maan kaliumvaroja.



KUVIO 32. Kaliumlannoitustason vaikutus kaliumtaseeseen Mikkellisä vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa kaliumlannoitustasoa.



KUVIO 33. Kaliumlannoitustason vaikutus kaliumtaseeseen Ruukissa vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa kaliumlannoitustasoa.



KUVIO 34. Kaliumlannoitustason vaikutus kaliumtaseeseen Maaningalla vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa kaliumlannoitustasoa.

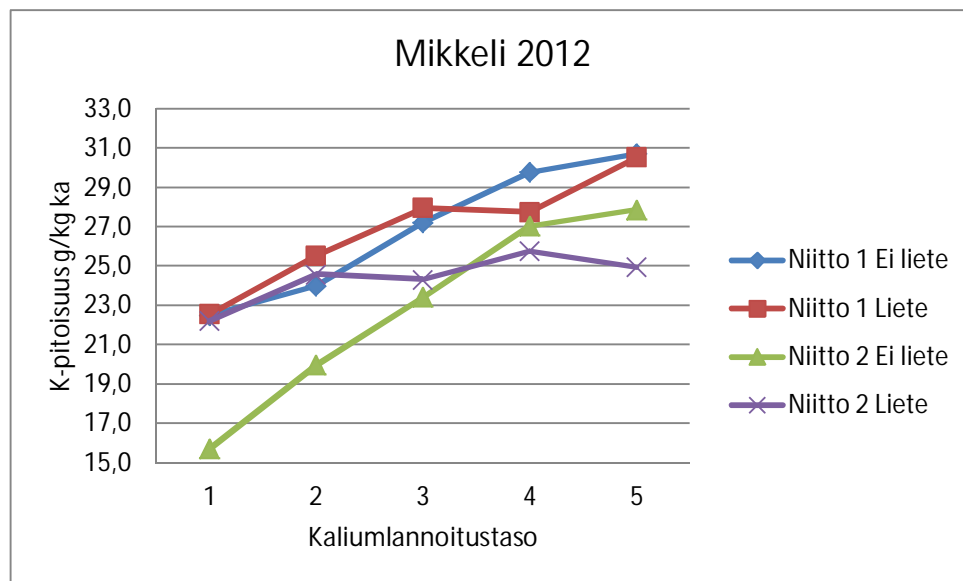
8.7 Kaliumpitoisuus

Kaliumlannoitustasoilla oli tilastollista merkitsevyyttä rehun kaliumpitoisuuteen jokaisen paikkakunnan jokaisessa sadossa ($p < 0,001$). Kaliumlannoitustason noustessa kasvin kaliumpitoisuudet kasvoivat. Säilörehuasteella optimi kaliumpitoisuus on 20–25 g/kg ka. Kasvit kärsivät kaliumin puutteesta kun kaliumpitoisuus on alle 20 g/kg ka ja eläimille vaaralliset kaliumpitoisuudet ovat yli 30 g/kg ka. Mikkeli on ainoa paikkakunta, jossa kaliumpitoisuus oli lannoittamattomassa käsittelyssä alle 20 g/kg ka eli kasvit kärsivät lievästi kaliumin puutteesta. Ensimmäisen kerran kaliumpitoisuus nousi yli 30 g/kg ka lannoitustasoilla 150 kg/ha Mikkeliissä ja 100 kg/ha Maaningalla (liite 12). Ruukissa kaliumpitoisuus nousi yli 30 g/kg ka jo lannoitustasolla 0 kg/ha, vaikka maan kaliumpitoisuudet olivat Ruukissa alhaisimmat. Kasvit ovat mahdollisesti käyttäneet maan kaliumvaroja luksusottoon. Kuvioista 35–40 huomataan vuosikohtaisesti miten kaliumpitoisuudet nousivat lannoitustason noustessa. Kuvaajien y-akselien asteikko ei ole kaikissa kuvaajissa sama, jotta muutokset olisivat paremmin havaittavissa. Ödorn ym. (2010) ovat näyttäneet toteen, että kaliumista tulee kasvua rajoittava tekijä, kun kaliumpitoisuus kasvissa laskee. Heidän kokeissaan kasvin kaliumpitoisuus oli 16–17 g/kg ka, joka on vähemmän kuin nykyinen optimaalinen kaliumpitoisuussuositus 20–25 g/kg ka. Kaliumpitoisuuden lasku alle kriittisen rajan altistaa kasvin taudinaiheuttajille ja jäätymisvaurioille. (Rangel, Y. A. 2008.69).

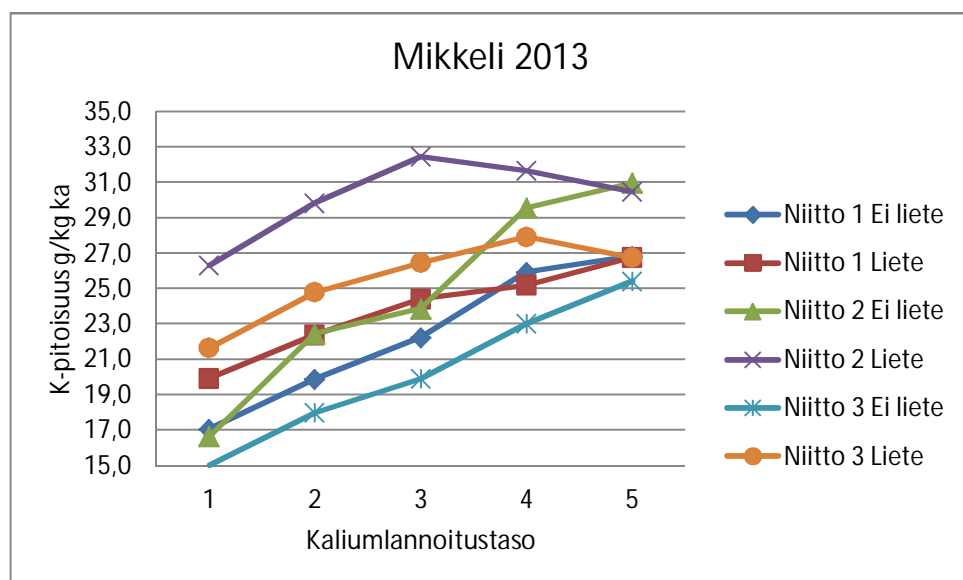
Lietteen käytöllä oli tilastollista merkitsevyyttä rehun kaliumpitoisuuteen Mikkeliissä kaikissa paitsi ensimmäisessä niitossa ($p = 0,002 - 0,023$), Ruukissa kaikissa 2013 vuoden niitoissa ($p < 0,001 - 0,010$) ja Maaningalla vain vuoden 2013 viimeisessä niitossa ($p < 0,001$) (Liite 12). Muutama poikkeusta lukuunottamatta liete nostaa sadon kaliumpitoisuutta. Kuvioiden 35–40 mukaan kaliumpitoisuus on ollut korkein Ruukissa, jossa se on noussut vaarallisen korkeaksi, jopa lähelle 40 g/kg ka. Tulos on mielestämme yllättävä, koska Ruukin viljavuus- ja reservikaliumpitoisuudet olivat alhaisimmat. Tähän tulokseen on voinut vaikuttaa myös sää. Maaningalla on satanut eniten, joten vesi on

voinut laimentaa maanestettä, niin että kaliumin hyväksikäyttö on heikennyt. Toisaalta Ruukissa on satanut vähiten, joten maaneste on ollut väkevää ja kaliumin hyväksikäyttö tehokkaampaa.

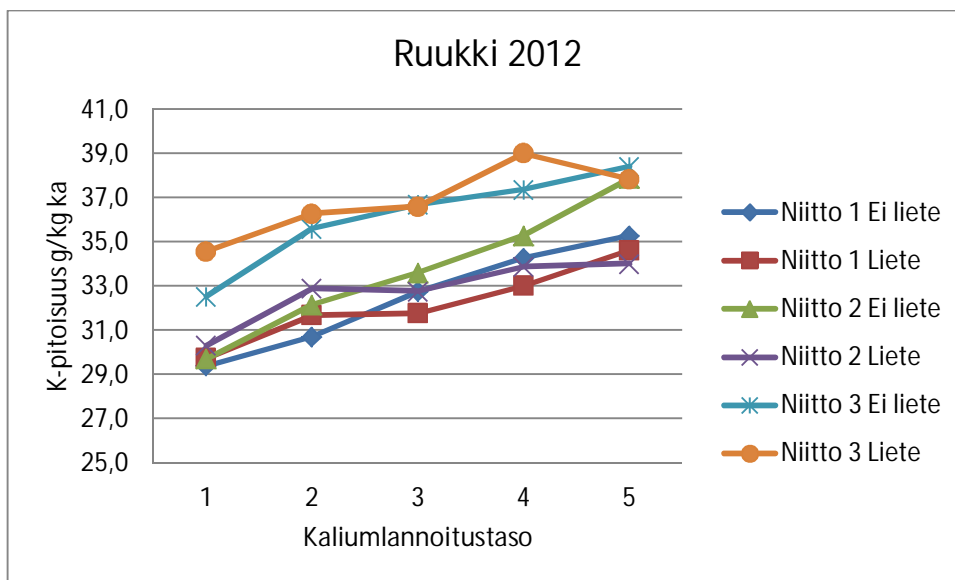
Kaliumpitoisuuden yhdysvaikutus vaikutti tilastollisesti merkitsevästi Mikkeliissä kaikissa paitsi ensimmäisessä sadossa ($p < 0,001 - 0,007$), Maaningalla vain vuoden 2012 niitossa 2 ($p = 0,022$) ja Ruukissa vuoden 2012 niitossa 2 ($p < 0,001$) ja vuoden 2013 niitoissa 2 ja 3 ($p = 0,002$, $p = 0,003$). Voidaan todeta, että lietteen ja kaliumlannoituksen yhdysvaikutus nostaa kasvin kaliumpitoisuutta, koska sekä lietteen että mineraalilannoituksen mukana on tullut kaliumia.



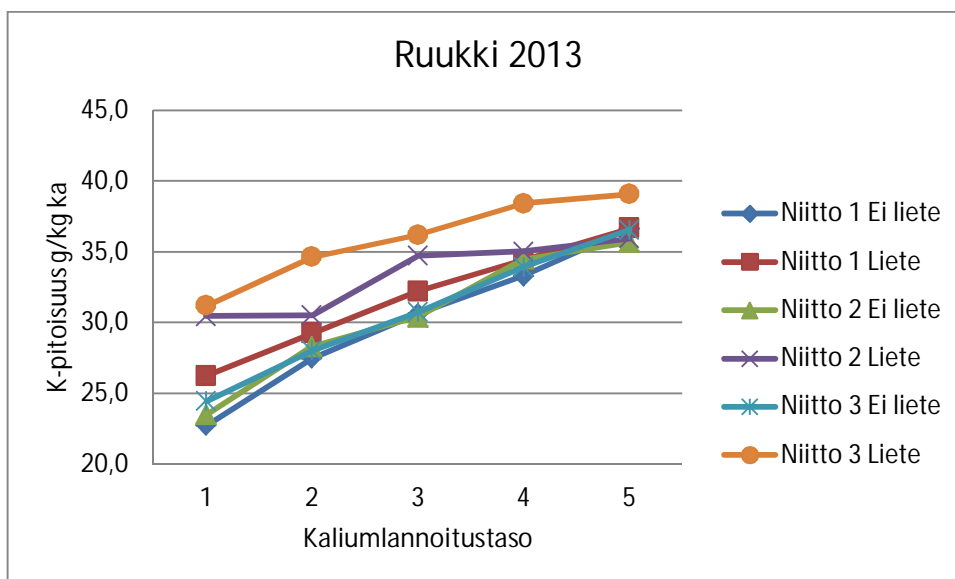
KUVIO 35. Kaliumlannoitustason vaikutus kaliumpitoisuuteen Mikkeliissä vuonna 2012.



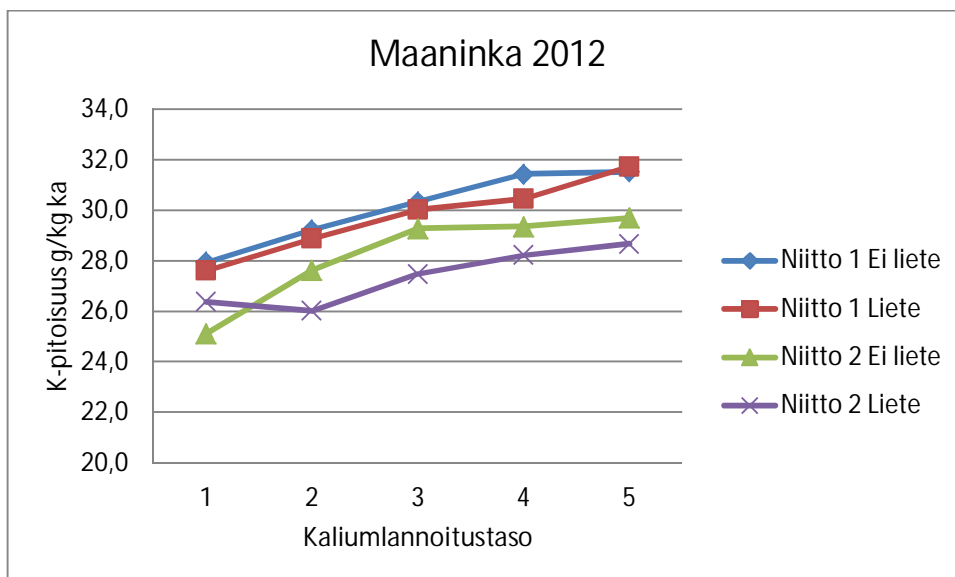
KUVIO 36. Kaliumlannoitustason vaikutus kaliumpitoisuuteen Mikkeliissä vuonna 2013.



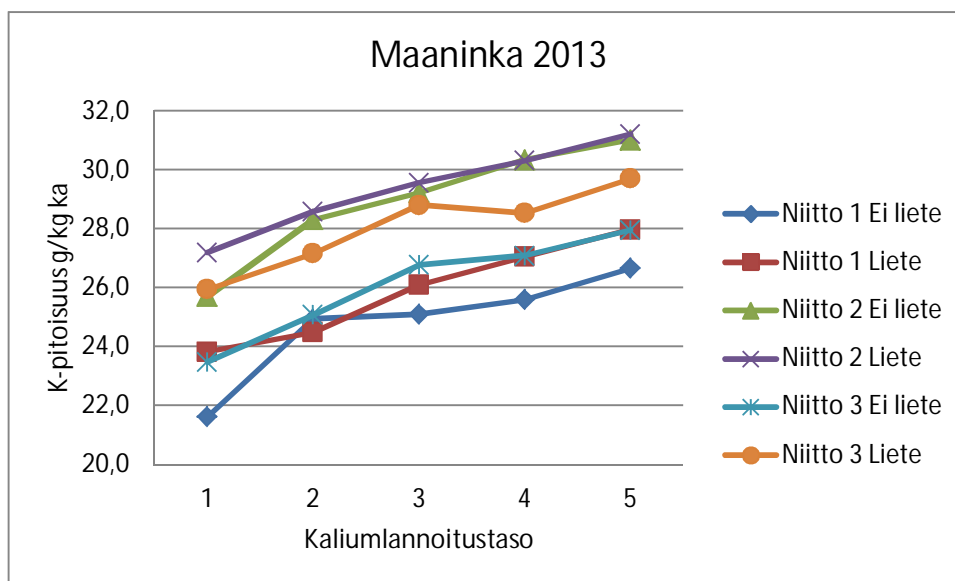
KUVIO 37. Kaliumlannoitustason vaikutus kaliumpitoisuuteen Ruukissa vuonna 2012.



KUVIO 38. Kaliumlannoitustason vaikutus kaliumpitoisuuteen Ruukissa vuonna 2013.



KUVIO 39. Kaliumlannoitustason vaikutus kaliumpitoisuuteen Maaningalla vuonna 2012.

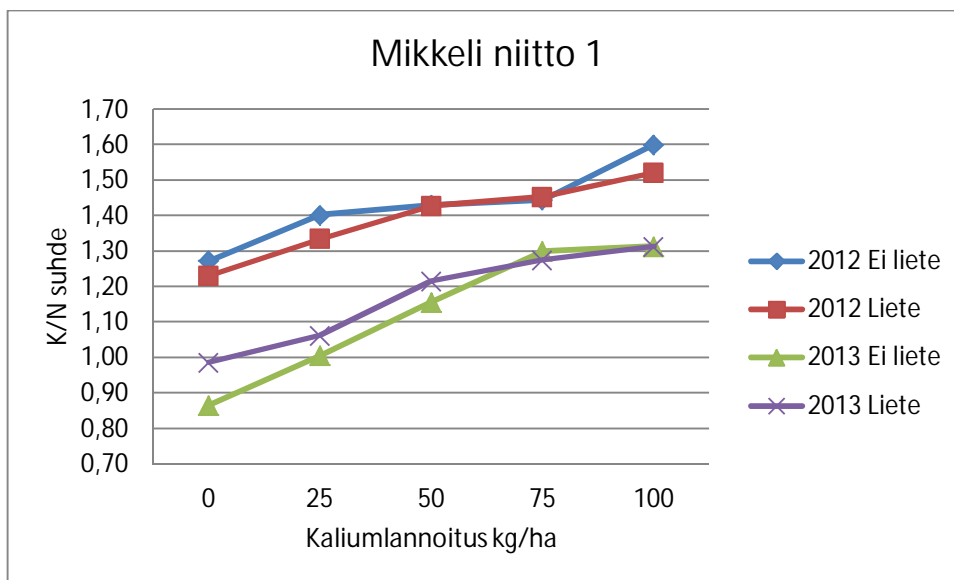


KUVIO 40. Kaliumlannoitustason vaikutus kaliumpitoisuuteen Maaningalla vuonna 2013.

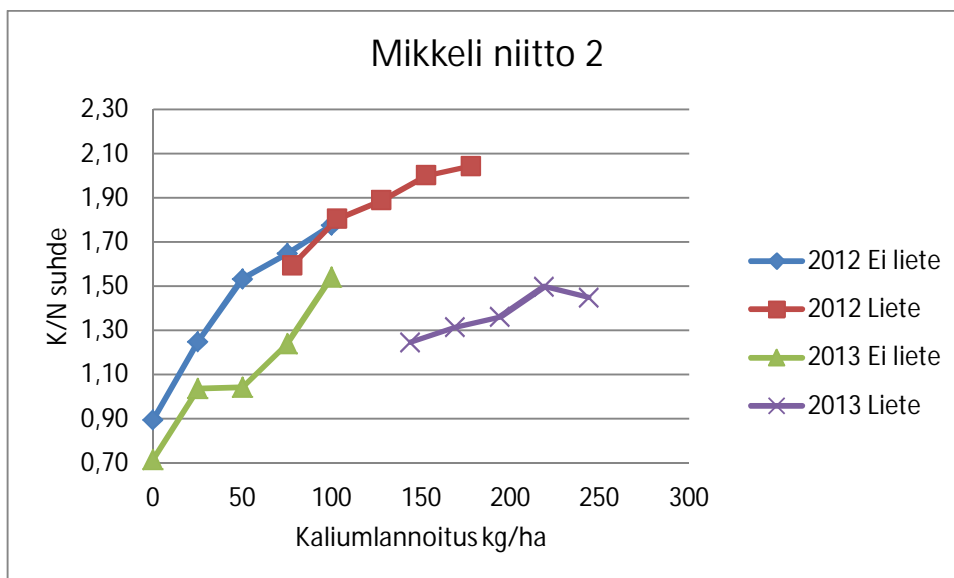
8.8 Kaliumin ja typen suhdeluku K/N

Useiden kokeiden perusteella Koikkalainen, K. ym. (1990), Virkajärvi, P. ym. (2012), Saarela, I. ym. (1998) on esitetty, että K/N suhdeluvun tulisi olla lähellä yhtä, jotta päästään maksimisaatoin. Koikkalainen, K. ym. (1990) ovat huomanneet, että kasvit kärsivät kaliumin puutteesta kun K/N suhdeluku oli 0,5. Onkin esitetty, että K/N suhdeluku olisi tarkempi kaliumin tarpeen osoittaja kuin kaliumpitoisuus. Eri kaliumlannoitustasoilla oli tilastollista merkitsevyyttä K/N suhteeseen jokaisen paikkakunnan jokaisessa niitossa ($p < 0,001$) (Liite 13). Kokeen aikana K/N suhde vaihteli 1,0 ja 2,0 välillä. Kaliumlannoitustason noustessa myös K/N suhdeluku kasvoi. Tästä voidaan päätellä, että kasvit ovat ottaneet enemmän kaliumia kuin typpeä.

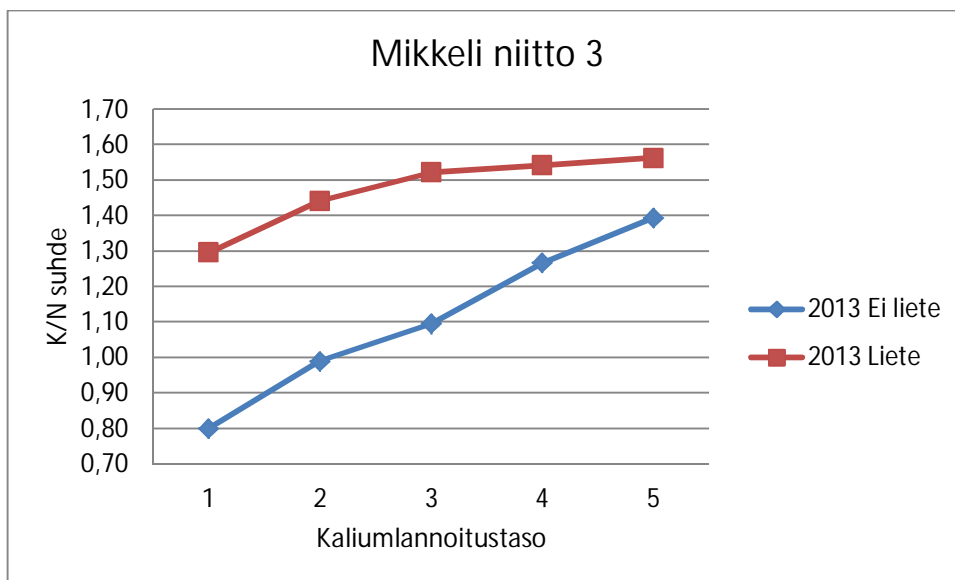
Lietelannoituksella oli tilastollista merkitsevyyttä Ruukissa kaikissa paitsi ensimmäisessä niitossa ($p < 0,001 - 0,021$), Mikkeliissä vuoden 2012 niitossa 2 ($p = 0,001$) ja vuoden 2013 niitoissa 2 ja 3 ($p = 0,014$, $p = 0,006$), Maaningalla vuoden 2012 niitossa 2 ($p = 0,002$) ja vuoden 2013 niitossa 3 ($p < 0,001$). Liiteestä 13 voidaan huomata, että lietelannoitus nostaa K/N suhdelukua. Lietelannoitus nosti K/N suhdelukua huomattavasti, jopa arvoon 2,0 asti. Tällöin kasvi on ottanut kaliumia kaksi kertaa enemmän kuin typpeä. Kuvioista 40–48 huomataan että täysin ilman lietettä jääneiden ruutujen K/N suhde on ollut matalampi kuin lietettä saaneilla ruuduilla. K/N suhde kuitenkin kasvaa kaliumlannoitustason noustessa. Sekä lietettä, että mineraalilannoitetta annettaessa on saatu korkeimmat K/N suhdeluvut. Suurimmillaan K/N suhdeluku on ollut jopa yli 2. Lannoittamattomillakin ruuduilla K/N suhde oli suhteellisen korkea. Tämä johtunee siitä, että kasvit ovat hyödyntäneet runsaasti maan kaliumvaroja. Kuvaajien y-akselien asteikko ei ole kaikissa kuvaajissa sama, jotta muutokset olisivat paremmin havaittavissa. Niitto 2 kuvioista (kuviot 41, 44 ja 47) voidaan myös huomata kuinka paljon lietteen mukana on tullut kaliumia kaliumlannoitustasojen lisäksi.



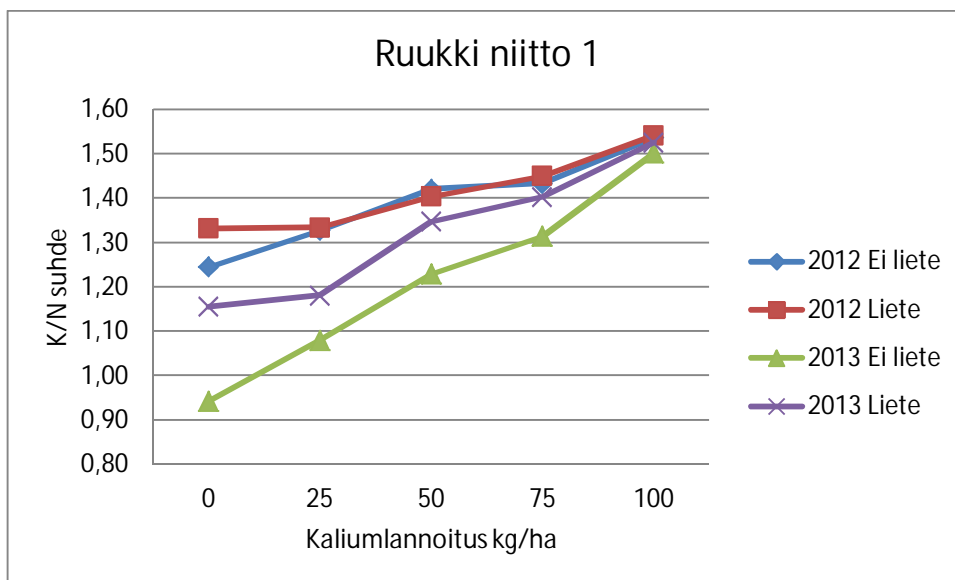
KUVIO 40. Kaliumlannoituksen vaikutus ensimmäisen sadon K/N suhteeseen Mikkelissä vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä.



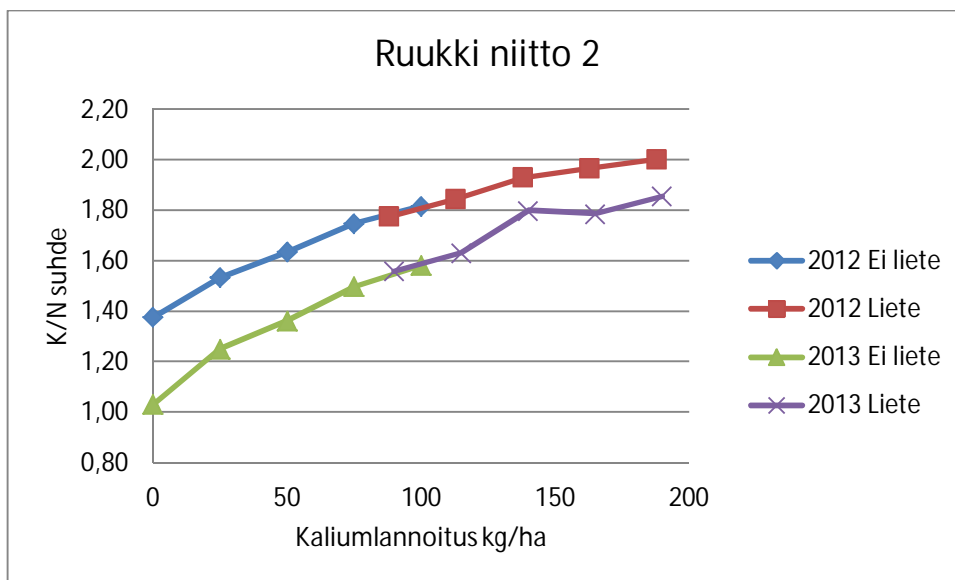
KUVIO 41. Kaliumlannoituksen vaikutus toisen sadon K/N suhteeseen Mikkelissä vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.



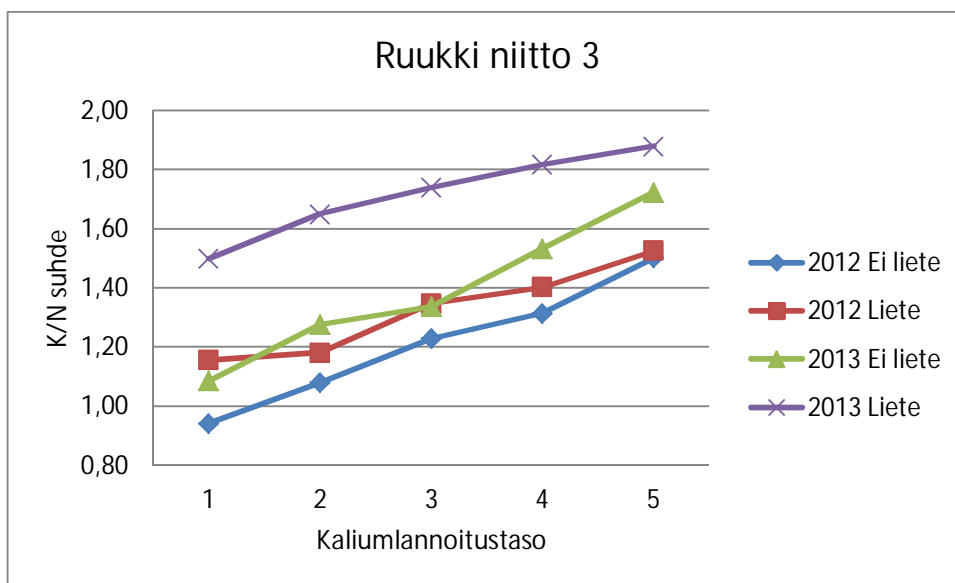
KUVIO 42. Kaliumlannoitustason vaikutus kolmannen sadon K/N suhteeseen Mikkeliissä vuonna 2013. X-akseli kuvaa kaliumlannoitustasoa.



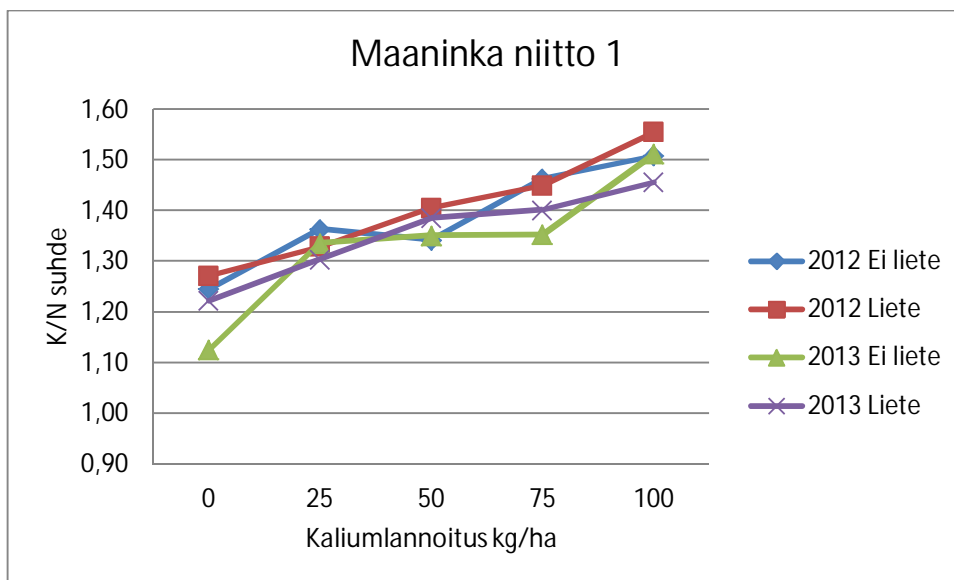
KUVIO 43. Kaliumlannoituksen vaikutus ensimmäisen sadon K/N suhteeseen Ruukissa vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä.



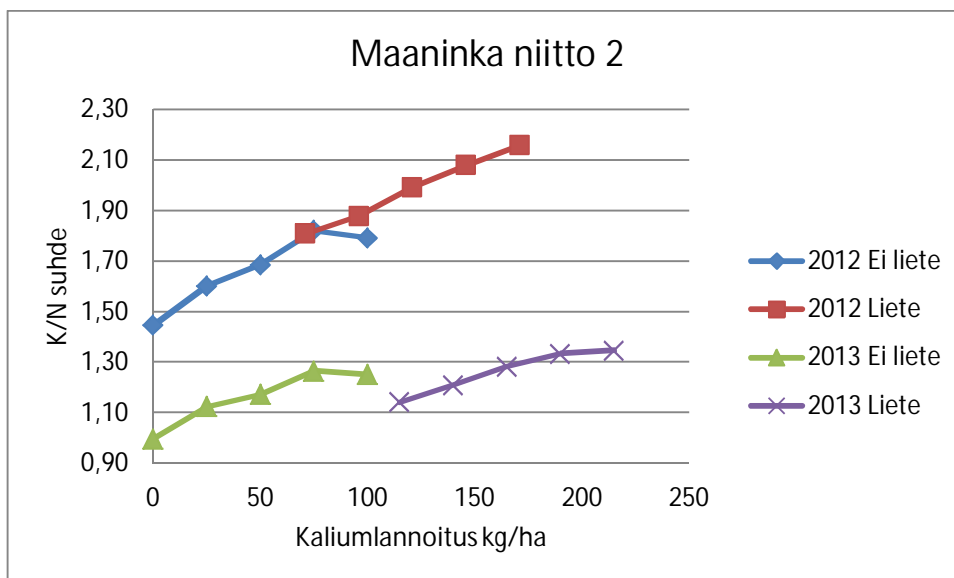
KUVIO 44. Kaliumlannoituksen vaikutus toisen sadon K/N suhteeseen Ruukissa vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.



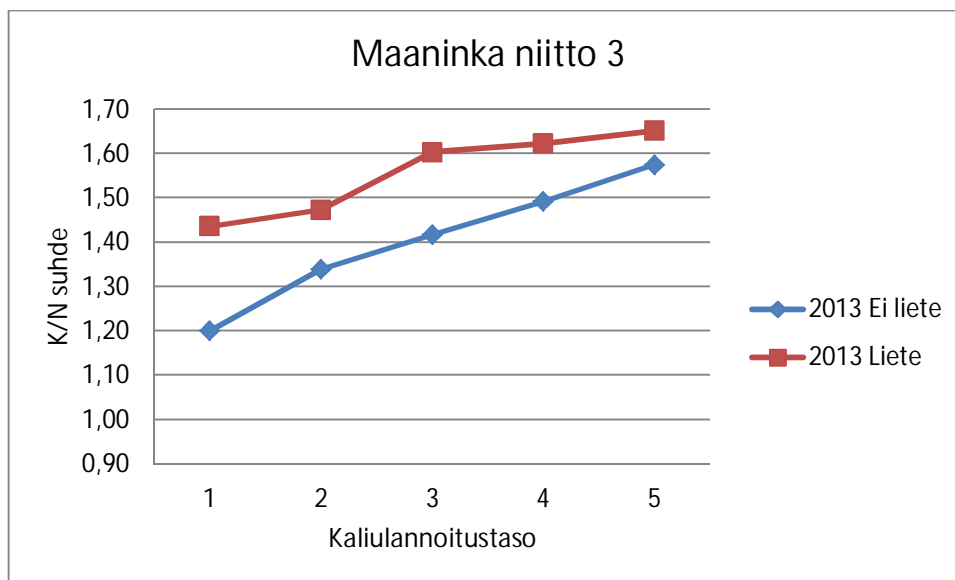
KUVIO 45. Kaliumlannoitustason vaikutus kolmannen sadon K/N suhteeseen Ruukissa vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa kaliumlannoitustasoa.



KUVIO 46. Kaliumlannoituksen vaikutus ensimmäisen sadon K/N suhteeseen Maaningalla vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä.



KUVIO 47. Kaliumlannoituksen vaikutus toisen sadon K/N suhteeseen Maaningalla vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.



KUVIO 48. Kaliumlannoitustason vaikutus kolmannen sadon K/N suhteeseen Maaningalla vuonna 2013. X-akseli kuvaa kaliumlannoitustasoa.

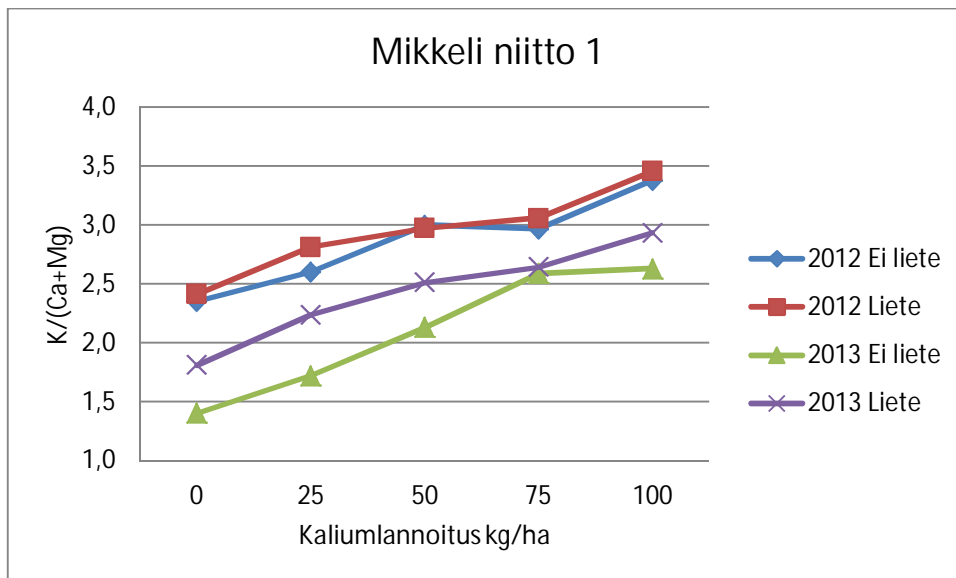
8.9 Ekvivalenttisuhdeluku $K/(Ca+Mg)$

$K/(Ca+Mg)$ suhdeluvun tulisi olla 2,2. Kaliumlannoitustaso vaikutti tilastollisesti merkitsevästi jokaisen paikkakunnan jokaiseen satoon ($p < 0,001$). Kaliumlannoitustason noustessa myös $K/(Ca+Mg)$ suhdeluku nousee. Kuvioista 48–56 huomataan, että ensimmäisten satojen korkeat suhdeluvut laskevat toiseen ja kolmanteen satoon. Kuvaajien y-akselien asteikko ei ole kaikissa kuvaajissa sama, jotta muutokset olisivat paremmin havaittavissa. Aydin, I. Uzun, F. (2008) ovat myös todenneet, että nuoressa ruohossa $K/(Ca+Mg)$ suhdeluku on korkea ja että lämpö ja auringon valo nostavat suhdelukua. Korkeammalla lämpötilalla ei tässä kokeessa huomattu olevan vaikutusta $K/(Ca+Mg)$ suhdelukuun, vaikka vuosi 2013 oli sateista vuotta 2012 lämpimämpi. Kaliumlannoituksen on myös todettu laskevan kasvin magnesiumipitoisuutta, joka vaikuttaa $K/(Ca+Mg)$ suhdelukuun (Linna, P. Jansson, J. 1994.7.) Tässäkin kokeessa havaittiin, että kaliumlannoitustason noustessa magnesiumipitoisuus laski ($p < 0,001 - 0,016$).

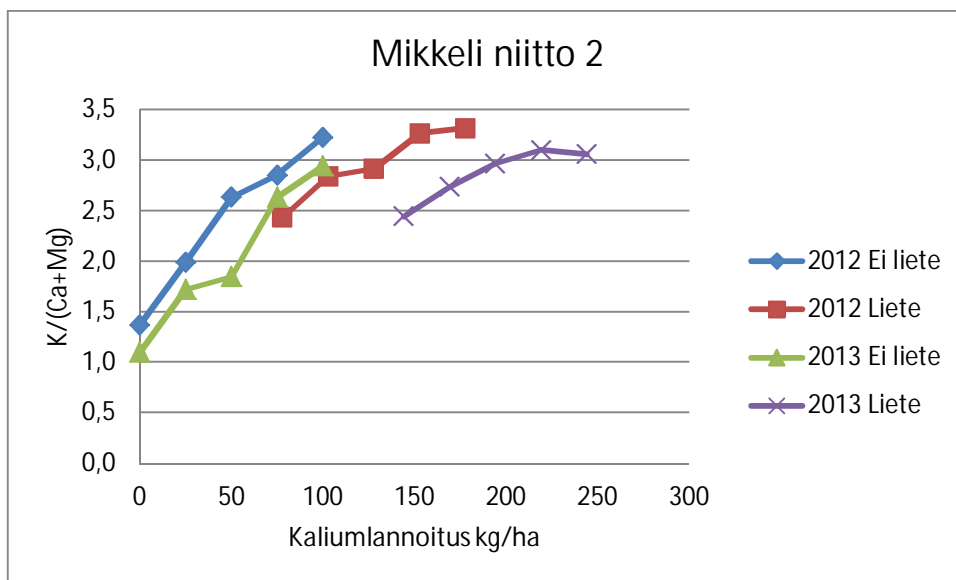
Rehun ekvivalenttisuhteeseen ($K/(Ca+Mg)$) lietteellä on tilastollisesti merkittävä vaikutus Mikkelin ($p < 0,001 - 0,010$) ja Ruukin ($p < 0,001 - 0,045$) kaikissa paitsi ensimmäisessä sadossa ja Maaningalla vain viimeisessä sadossa ($p = 0,028$) (liite 14). Kuten kuvioista 48–56 voidaan nähdä lietelannoituksessa vain Maaningalla ($K/(Ca+Mg)$ suhdeluku pysyi alle 2,2. Voidaan myös huomata, että lietelannoitus nostaa sadon ($K/(Ca+Mg)$ suhdelukua. Lisäksi voidaan havaita, että myös lietettä saaneilla ruuduilla ensimmäisten satojen jälkeen ($K/(Ca+Mg)$ suhdeluku laskee toiseen ja kolmanteen satoon. Ensimmäisinä vuosina suhdeluvut olivat korkeita, mutta toisina vuosina ne alkoivat olla jo tavoiteltua tasoa. Nuorella nurmella kaliumin tarve on runsaampaa, kuin vanhemmilla nurmilla. Myös lietteen havaittiin laskevan magnesiumipitoisuutta ($p = 0,008 - 0,048$).

Eri kaliumlannoitustasoilla ja lietelannoituksella oli merkitsevää tilastollista yhdysvaikutusta $K/(Ca+Mg)$ suhdelukuun Mikkeliissä vuoden 2012 niitossa 2 ($p = 0,007$) ja vuoden 2013 niitoissa 2 ja 3 ($p < 0,001$, $p = 0,005$). Ruukissa vuoden 2012 niitoissa 2 ja 3 ($p < 0,001$, $p = 0,032$) sekä vuoden 2013

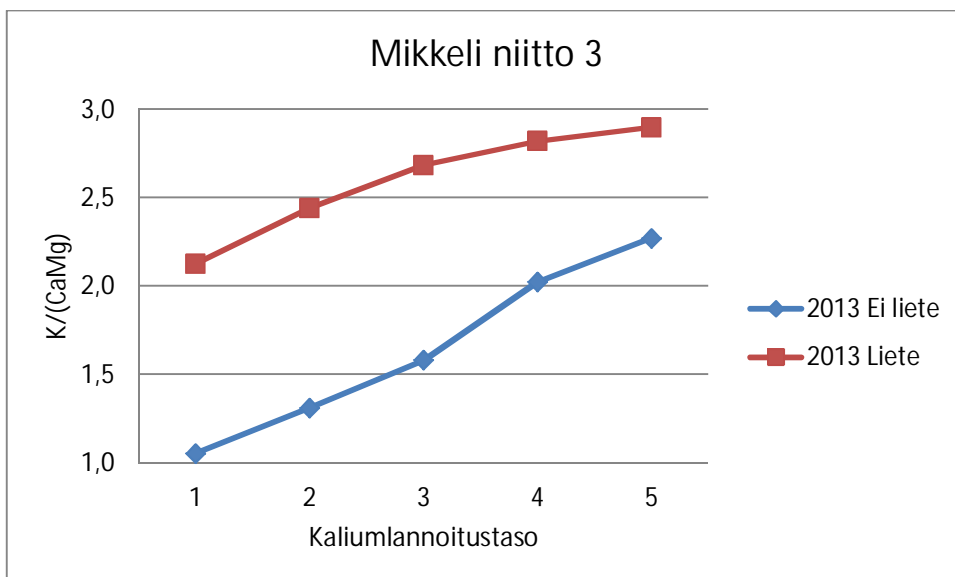
niitoissa 2 ja 3 ($p=0,003$, $p=0,006$). Maaningalla tilastollista merkitsevyyttä ei ollut. Kuviosta 48–56 huomataan miten $K/(Ca+Mg)$ suhdeluku kasvaa lannoitettaessa lietteellä. Myös kaliumlannoitustason nousu nostaa suhdelukua. Kuvioista näkee myös hyvin kuinka suhdeluku laskee vuositasolla. $K/(Ca+Mg)$ suhdelukua voi laskea myös kalkitsemalla. Niitto 2 kuvioista (kuviot 49, 52 ja 55) voidaan myös huomata kuinka paljon lietteen mukana on tullut kaliumia kaliumlannoitustasojen lisäksi.



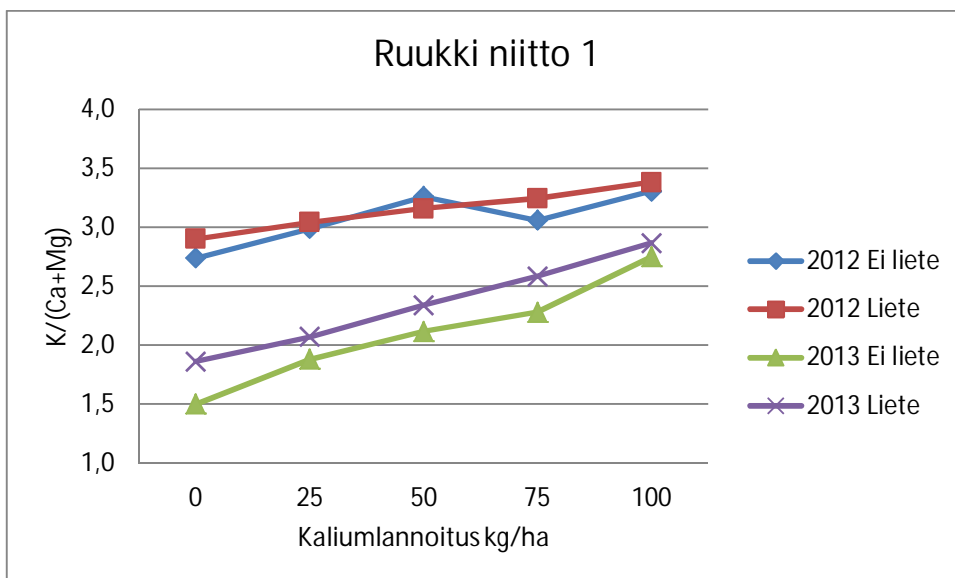
KUVIO 48. Kaliumlannoituksen vaikutus ensimmäisen sadon ekvivalenttisuhteeseen Mikkelissä vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä.



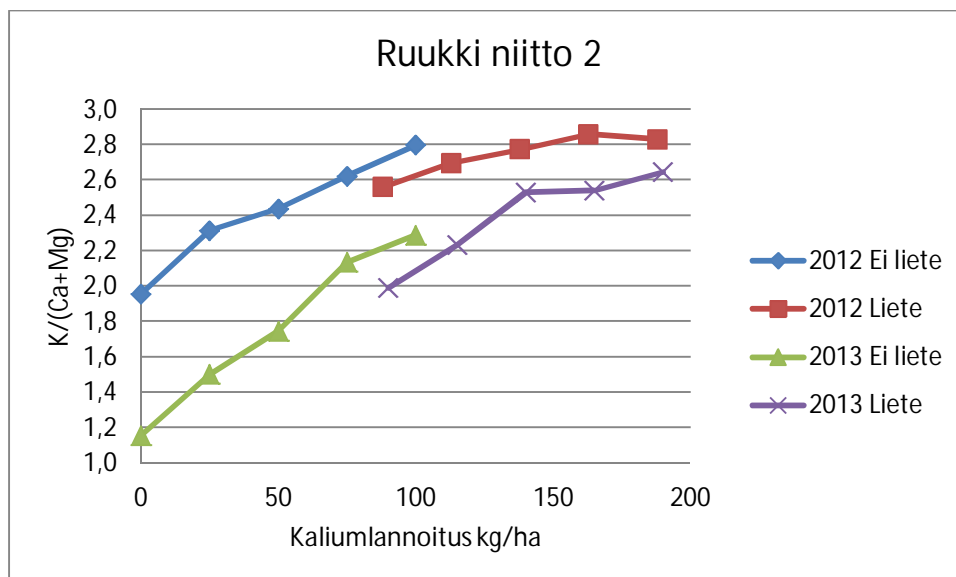
KUVIO 49. Kaliumlannoituksen vaikutus toisen sadon ekvivalenttisuhteeseen Mikkelissä vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.



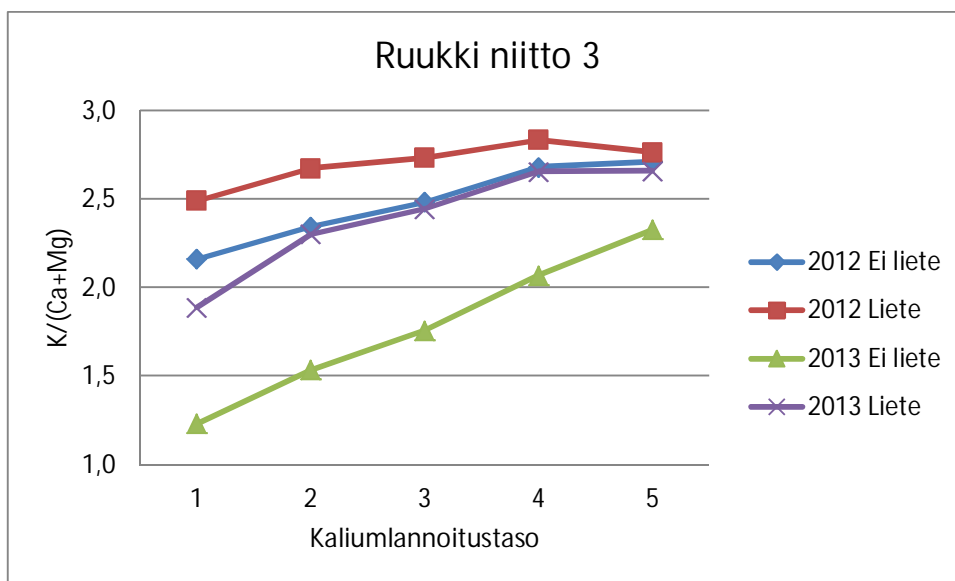
KUVIO 50. Kaliumlannoitustason vaikutus kolmannen sadon ekvivalenttisuhteeseen Mikkeliissä vuonna 2013. X-akseli kuvaa kaliumlannoitustasoa.



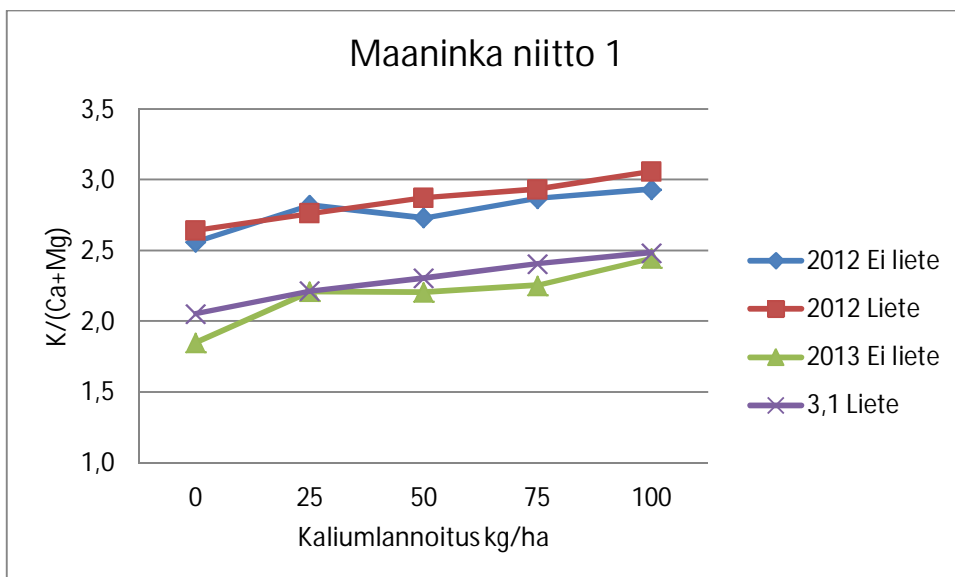
KUVIO 51. Kaliumlannoituksen vaikutus ensimmäisen sadon ekvivalenttisuhteeseen Ruukissa vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä.



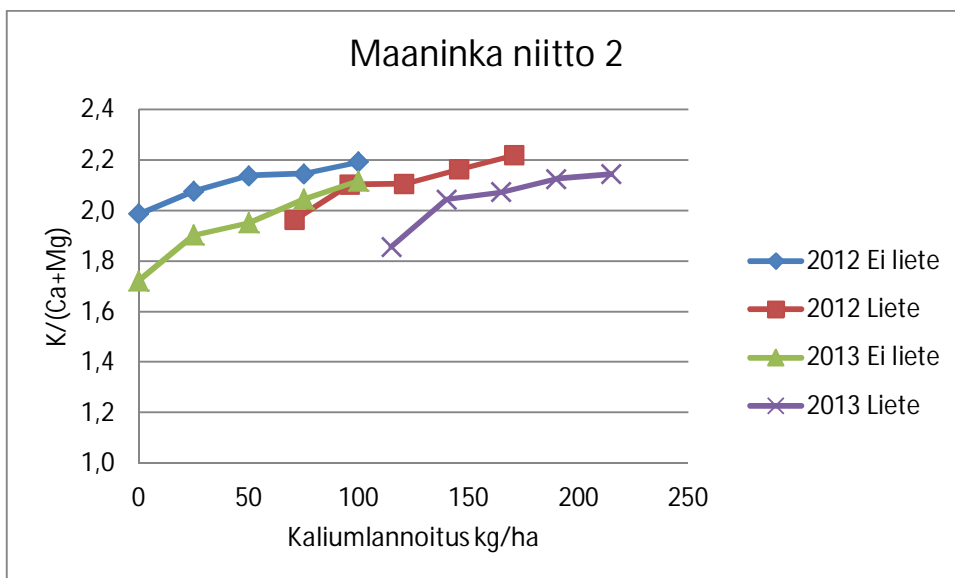
KUVIO 52. Kaliumlannoituksen vaikutus toisen sadon ekvivalenttisuhteeseen Ruukissa vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.



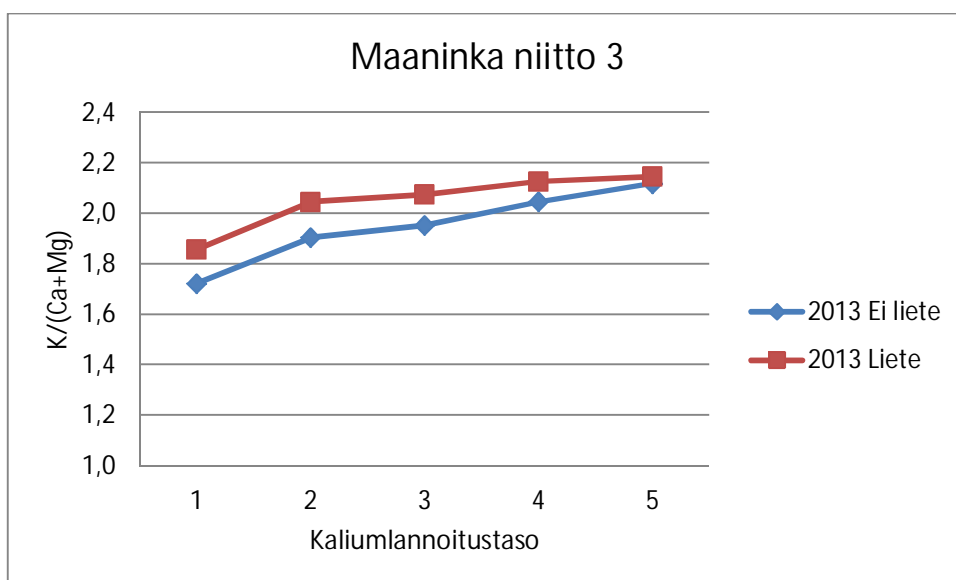
KUVIO 53. Kaliumlannoitustason vaikutus kolmannen sadon ekvivalenttisuhteeseen Ruukissa vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa kaliumlannoitustasoa.



KUVIO 54. Kaliumlannoituksen vaikutus ensimmäisen sadon ekvivalenttisuhteeseen Maaningalla vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä.



KUVIO 55. Kaliumlannoituksen vaikutus toisen sadon ekvivalenttisuhteeseen Maaningalla vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.



KUVIO 56. Kaliumlannoitustason vaikutus kolmannen sadon ekvivalenttisuhteeseen Maaningalla vuonna 2013. X-akseli kuvaa kaliumlannoitustasoa.

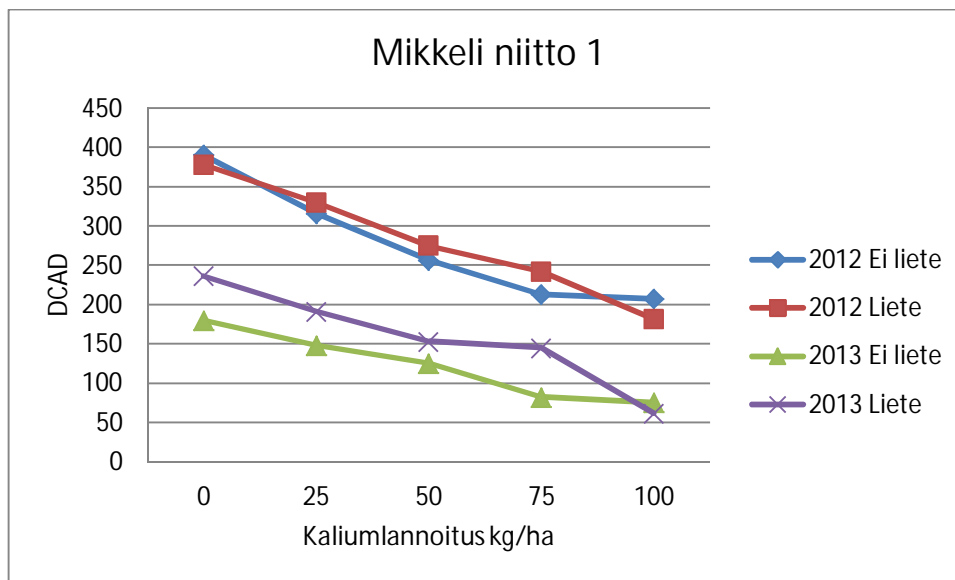
8.10 Dieetin kationi-anioni-erotos (DCAD)

DCAD-arvon tulisi olla ennen poikimista -50 mEq/kg ka. Poikimahalvauksen ylärajana pidetään 250 mEq/kg ka. Suomessa mitatut DCDA-arvot ovat yleensä 200 – 300 mEq/kg ka. (Saarijärvi, K. Kananen, M. 2012). Eri kaliumlannoitustasoilla oli tilastollisesti vaikutusta jokaisen paikkakunnan jokaiseen niittoon ($p < 0,001$). Mitä suurempi kaliumlannoitustaso oli sitä pienempi oli DCAD-arvo. Suurimmat DCAD-arvot mitattiin 0 kg/ha lannoitustasolla Mikkelistä 384 mEq/kg ka, Ruukista 612 mEq/kg ka ja Maaningalta 535 mEq/kg ka. Alhaisin DCAD-arvo 69 mEq/kg ka mitattiin Mikkelistä vuoden 2013 ensimmäisestä sadosta lannoitustasolla 200 kg/ha (Liite 15). Kuvioista 57–64 nähdään miten DCAD-arvo laskee lannoitustason noustessa. Kuvaajien y-akselien asteikko ei ole kaikissa kuvaajissa sama, jotta muutokset olisivat paremmin havaittavissa. Niitto 2 kuvioista (kuviot 58, 61 ja 64) voidaan myös huomata kuinka paljon lietteen mukana on tullut kaliumia kaliumlannoitustasojen lisäksi.

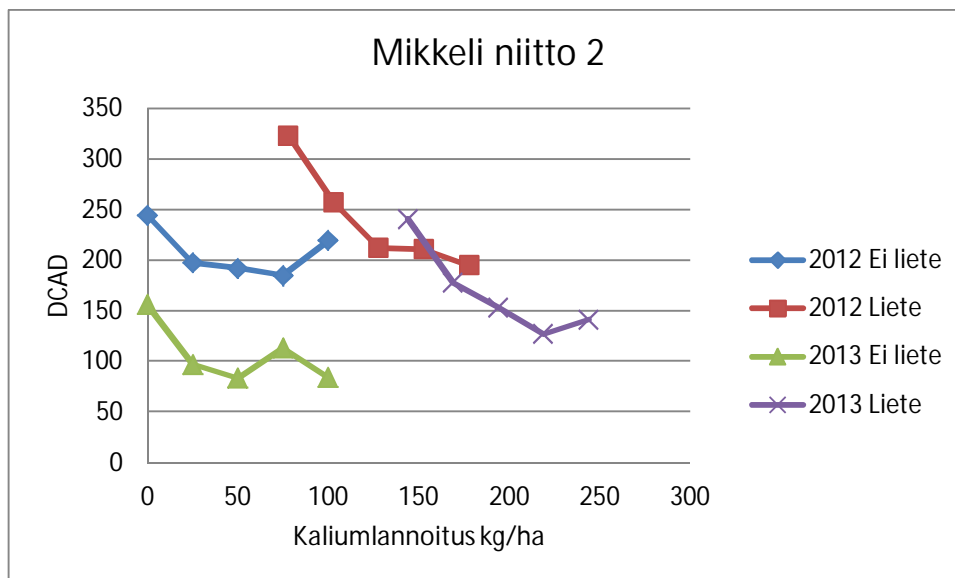
Lietelannoitus vaikutti tilastollisesti merkittävästi DCAD-arvoon Mikkelissä vuoden 2013 niitoissa ($p = 0,018 - 0,035$), Ruukissa vuoden 2012 toisessa ja kolmannessa niitossa ($p = 0,002$, $p = 0,050$) sekä vuoden 2013 toisessa niitossa ($p = 0,010$) ja Maaningalla kaikissa paitsi ensimmäisessä niitossa ($p < 0,001 - 0,035$) (Liite 15). Tässä tapauksessa ei voida suoraan havaita, nostaako vai vähentääkö liete rehun DCAD-arvoa. Kuvioista 57–64 voidaan huomata, että Mikkelissä lietelannoitus nostaa sadon DCAD-arvoja. Ruukissa ja Maaningalla lietelannoituksella ja ilman lietelannoitusta saaduissa DCAD-arvoissa oli suurta vaihtelua. Toisin kuin kaliumlannoitustasot liete pääsääntöisesti nostaa DCAD-arvoa. Tähän vaikuttanee lietteessä olevan kaliumin muoto, joka ei ole väkilannoitteen tapaan kaliumkloridia, vaan K^+ . Lietelannoitus ei nosta kasvin klooripitoisuutta niin paljon, kuin mineraalilannoitteet, joten DCAD-arvo ei laske sen johdosta.

Eri kaliumlannoitustasojen ja lietteen yhdysvaikutuksella oli tilastollista merkisevyyttä säilörehun DCAD-arvoon Mikkelissä vuoden 2012 niitossa 2 ($p = 0,003$) ja vuoden 2013 niitossa 3 ($p = 0,005$).

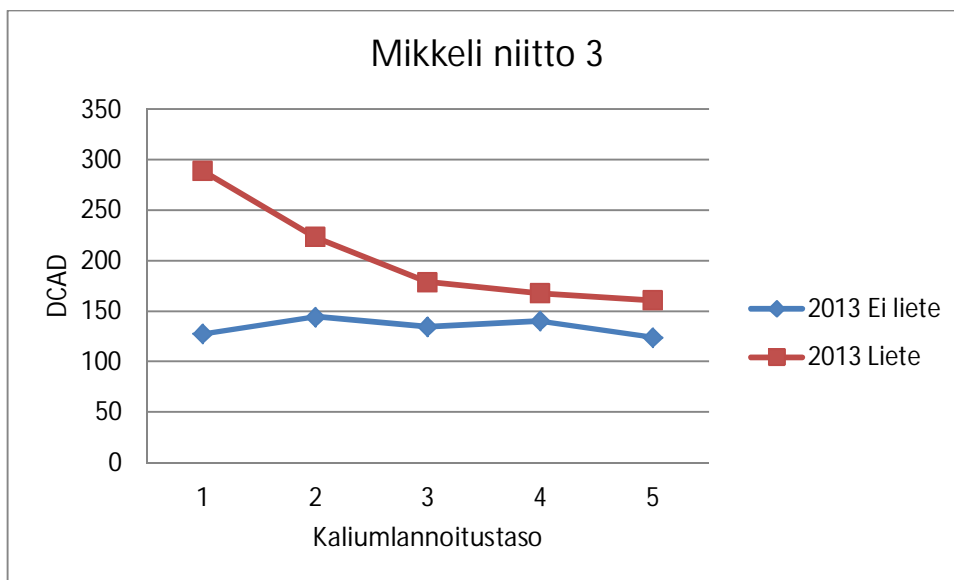
Ruukissa vuoden 2012 niitossa 2 ja vuoden 2013 niitossa 3 ($p < 0,001$). Maaningalla tilastollista merkitsevyyttä oli vuoden 2012 niitossa 2 ja vuoden 2013 niitoissa 2 ja 3 ($p < 0,001$) (Liite 15). Aikaisemmin on todettu, että pääsääntöisesti liete nostaa DCAD-arvoa, kun taas kaliumlannoitustason nousu laskee. Liitteestä 15 huomataan että yhdysvaikutuksella oli eroavaisuutta paikkakunnittain. Mikkelissä DCAD-arvo oli suurimmillaan lietteellä 0 kg/ha lannoitustasolla, kun taas Ruukissa ja Maaningalla DCAD-arvo oli suurin ilman lietettä ja 0 kg/ha lannoitustasolla.



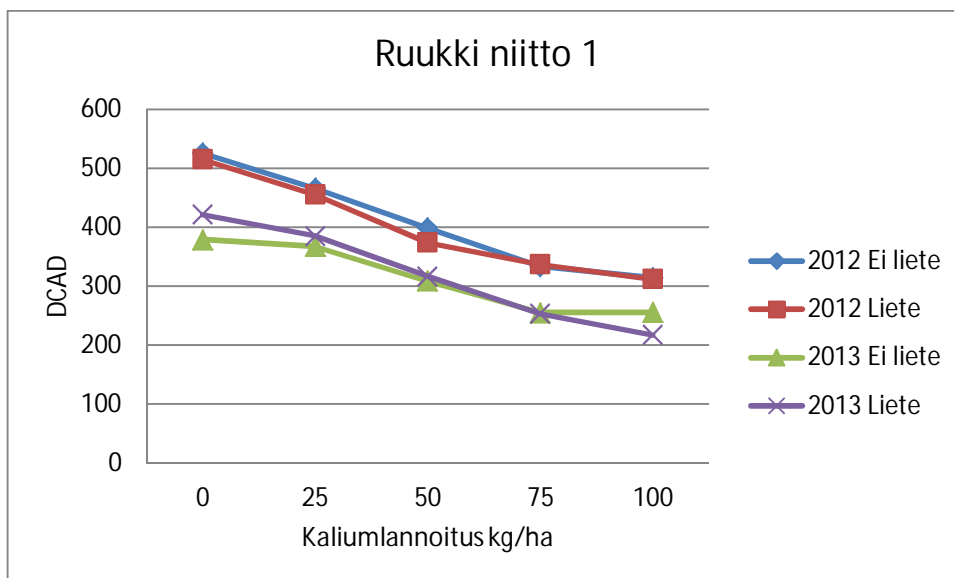
KUVIO 57. Kaliumlannoituksen vaikutus ensimmäisen sadon DCAD-arvoon Mikkelissä vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä.



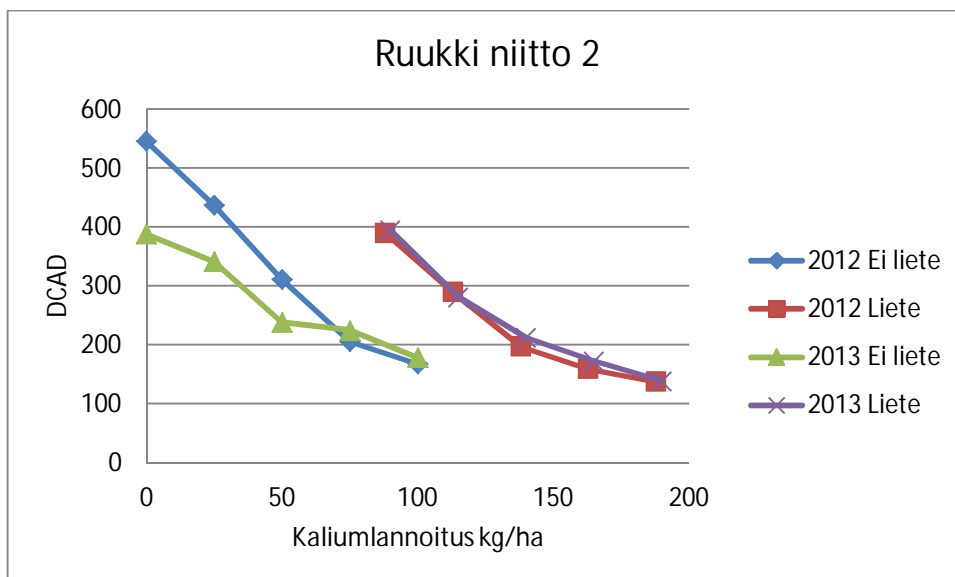
KUVIO 58. Kaliumlannoituksen vaikutus toisen sadon DCAD-arvoon Mikkelissä vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.



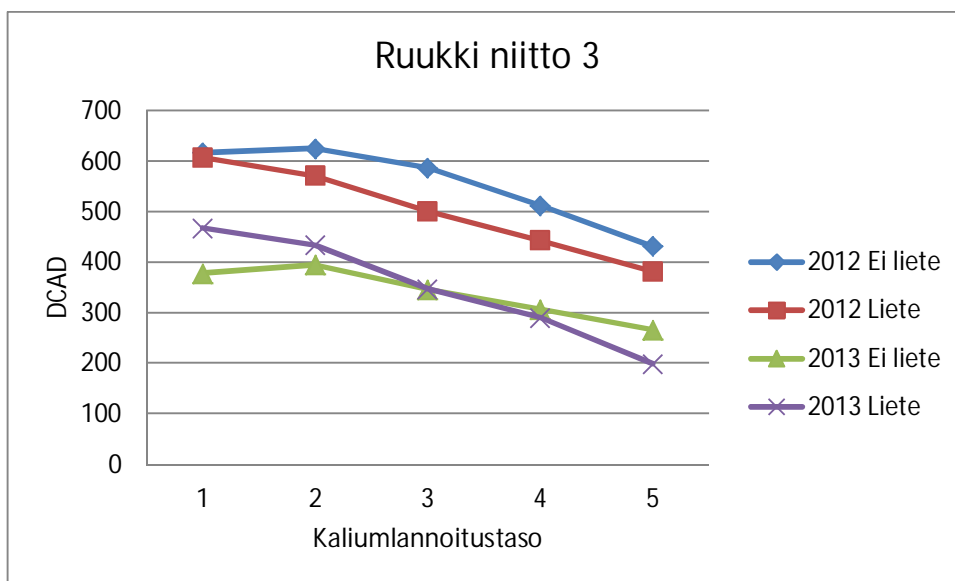
KUVIO 59. Kaliumlannoitustason vaikutus kolmannen sadon DCAD-arvoon Mikkelissä vuonna 2013. X-akseli kuvaa kaliumlannoitustasoa.



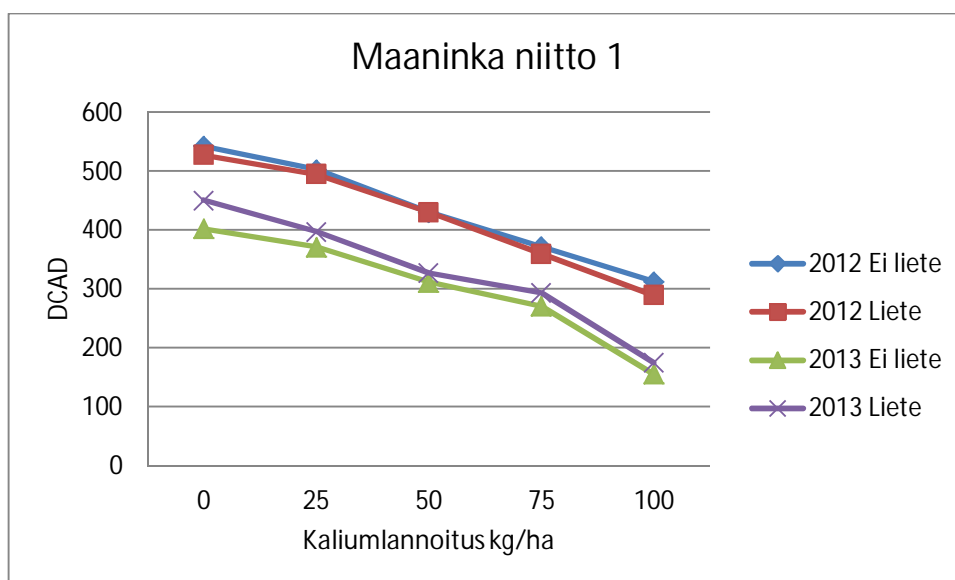
KUVIO 60. Kaliumlannoituksen vaikutus ensimmäisen sadon DCAD-arvoon Ruukissa vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä.



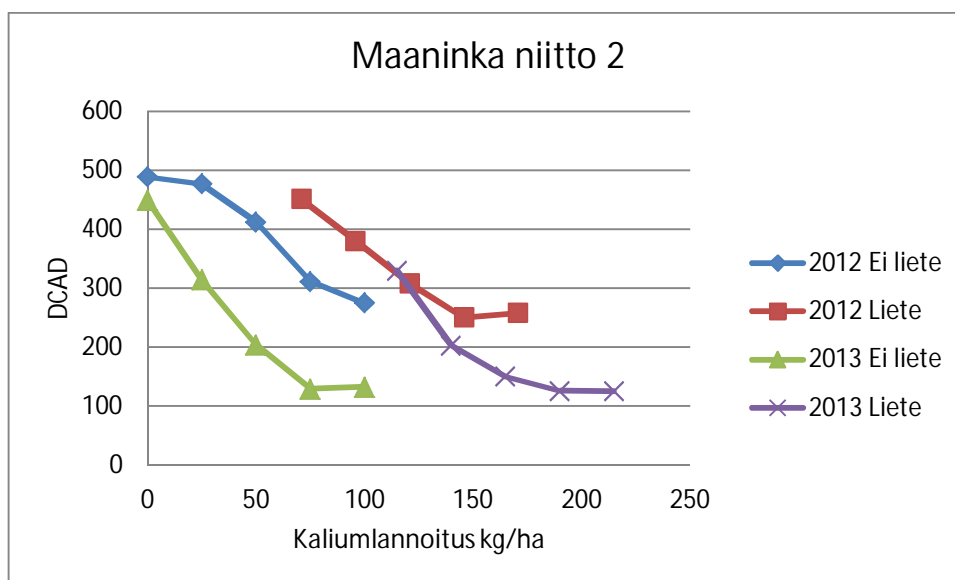
KUVIO 61. Kaliumlannoituksen vaikutus toisen sadon DCAD-arvoon Ruukissa vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.



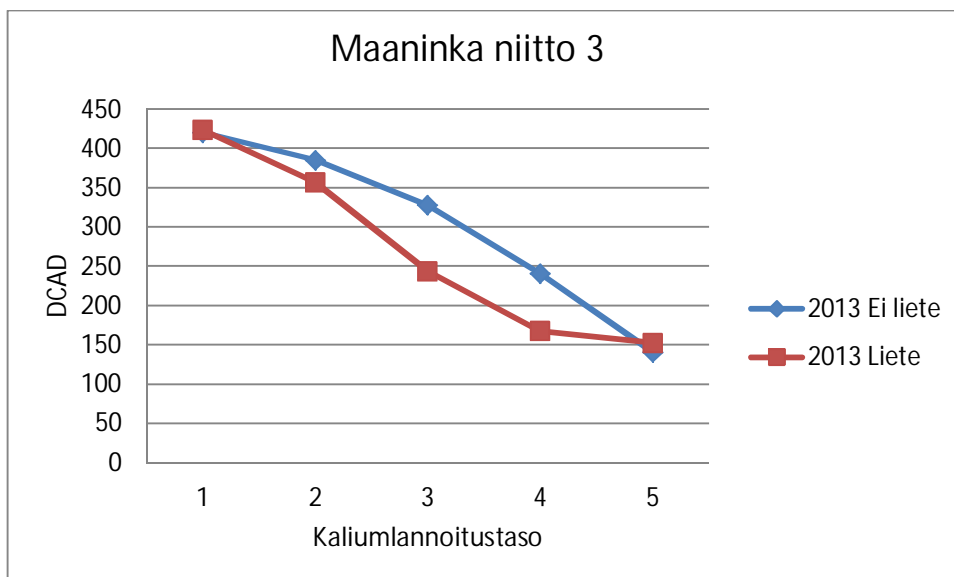
KUVIO 62. Kaliumlannoitustason vaikutus kolmannen sadon DCAD-arvoon Ruukissa vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa kaliumlannoitustasoa.



KUVIO 63. Kaliumlannoituksen vaikutus ensimmäisen sadon DCAD-arvoon Maaningalla vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä.

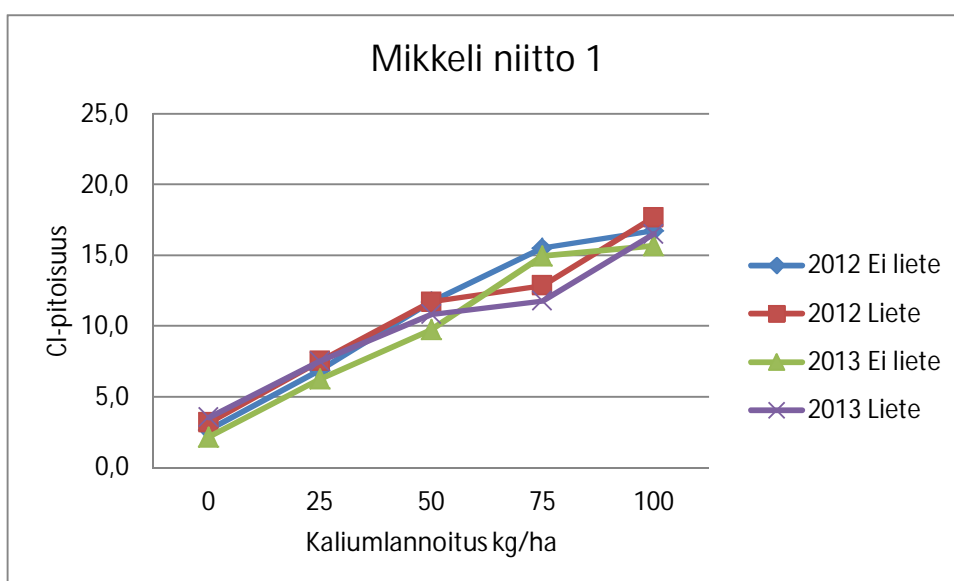


KUVIO 64. Kaliumlannoituksen vaikutus toisen sadon DCAD-arvoon Maaningalla vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.

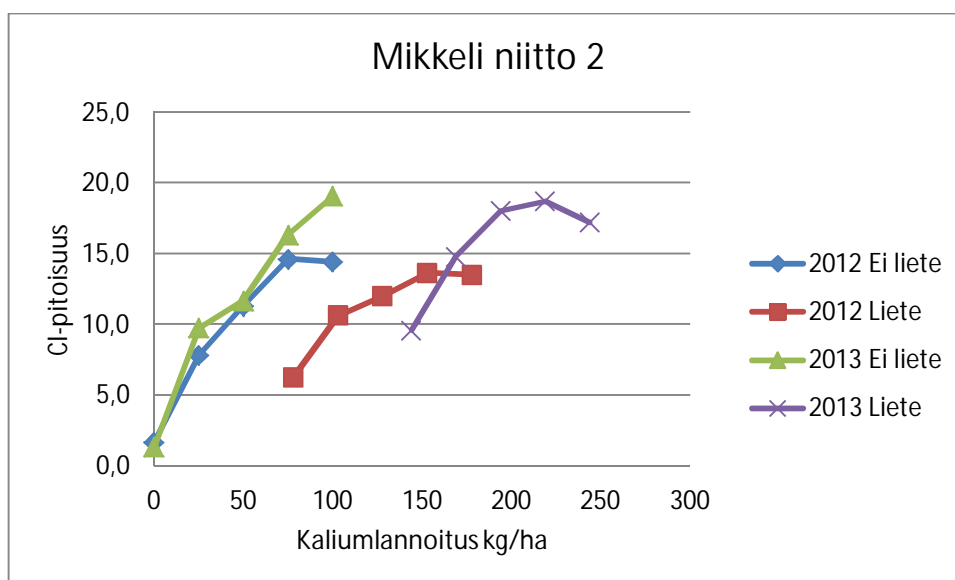


KUVIO 65. Kaliumlannoituksen vaikutus kolmannen sadon DCAD-arvoon Maaningalla vuonna 2013. X-akseli kuvaa kaliumlannoitustasoa.

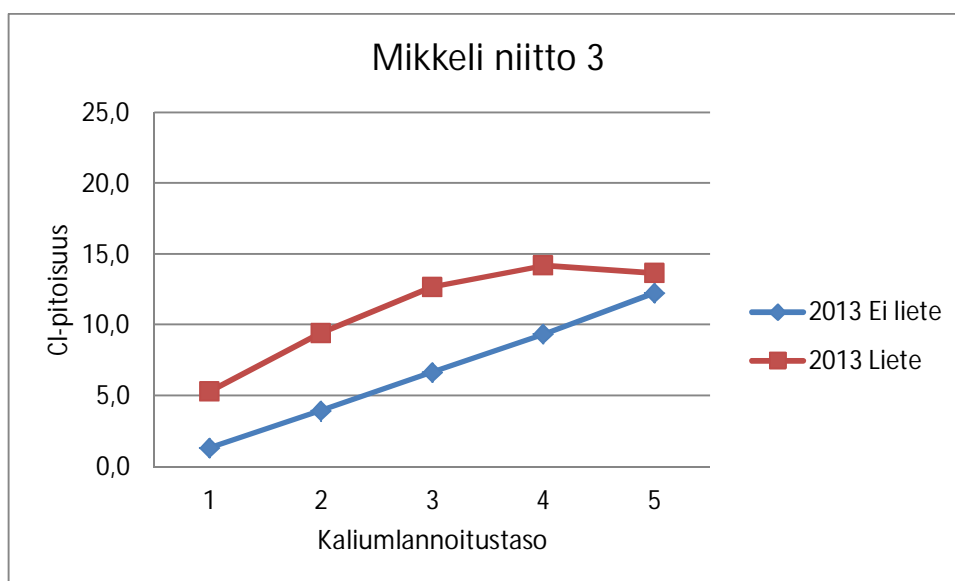
DCAD-arvo lasketaan kloorin-, rikin-, natriumin- ja kaliuminpitoisuuksien perusteella. Klooripitoisuuden eri kaliumlannoitustasot vaikuttivat tilastollisesti jokaisen paikkakunnan jokaisessa sadossa ($p < 0,001$). Kuvioista 65–73 huomataan, että lannoitustason noustessa, myös klooripitoisuus nousee. Yleensä kaliumlannoitustason nosto nostaa myös DCAD-arvoa, mutta koska kaliumlannoitukseen käytettiin kaliumkloridia, on sen mukana tullut klooria. Kloori on nostanut kasvin klooripitoisuutta nopeammin, kuin kalium kaliumpitoisuutta. Kloori alentaa DCAD-arvoa, joten tällaisella kaliumlannoituksella DCAD-arvo laskee. Kuvioista 65–73 huomataan paikkakunnittain kuinka klooripitoisuus kasvissa kasvaa kaliumlannoitustason noustessa. Naudan kloorin tarvesuositus on noin 1,3-2 g/kg ka, yleensä säilörehun klooripitoisuus on 8-10 g/kg ka. Tässä kokeessa klooripitoisuudet vaihtelivat 0 kg/ha lannoitusruutujen 1,5 g/kg ka 200 kg/ha lannoitusruutujen 22,8 g/kg ka.



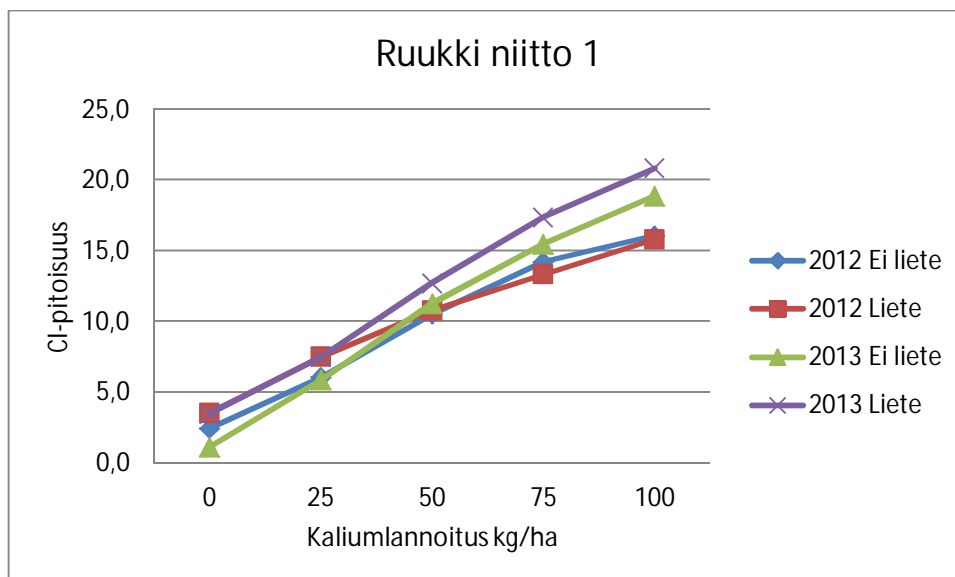
KUVIO 65. Kaliumlannoituksen vaikutus ensimmäisen sadon Cl-pitoisuuteen Mikkeliissä vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä.



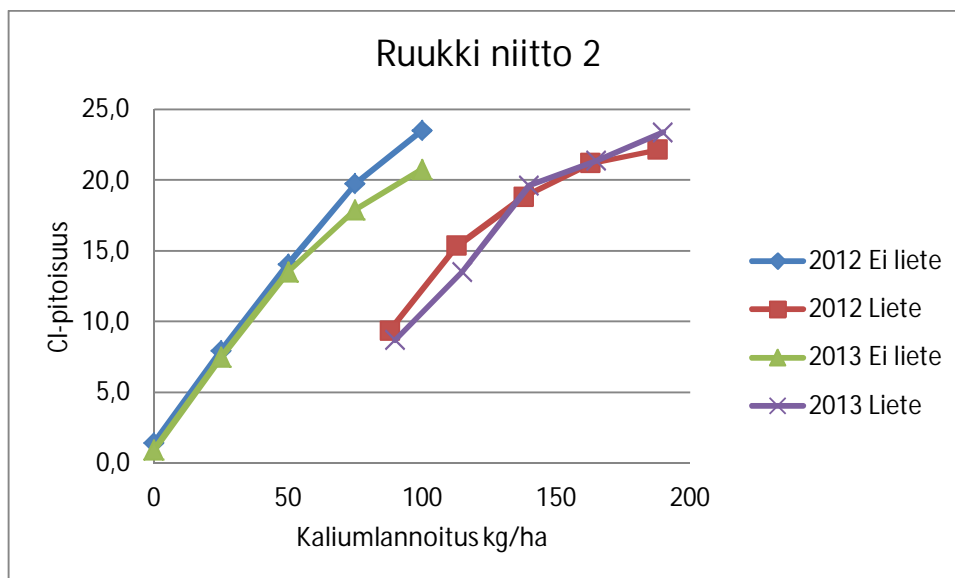
KUVIO 66. Kaliumlannoituksen vaikutus toisen sadon Cl-pitoisuuteen Mikkelissä vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.



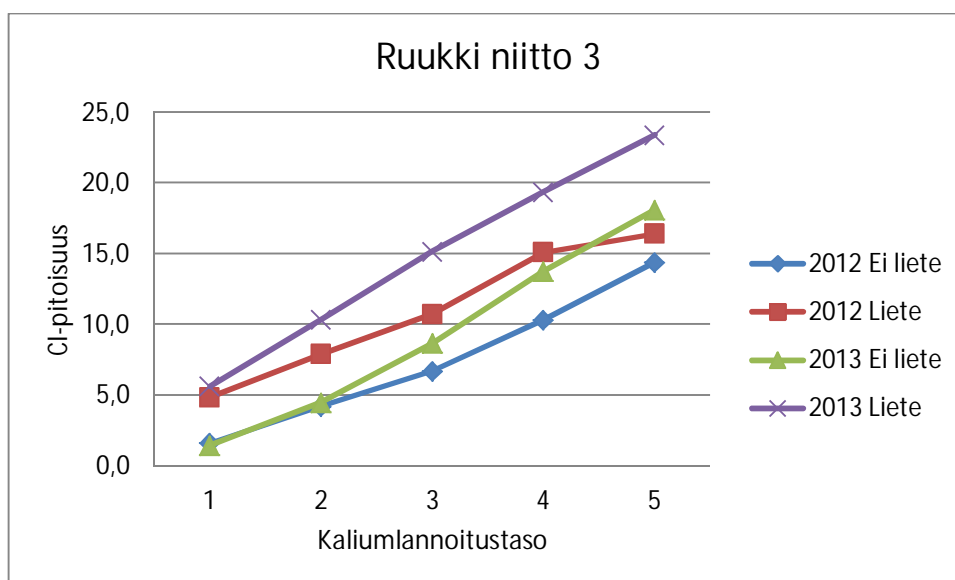
KUVIO 67. Kaliumlannoitustason vaikutus kolmannen sadon Cl-pitoisuuteen Mikkelissä vuonna 2013. X-akseli kuvaa kaliumlannoitustasoa.



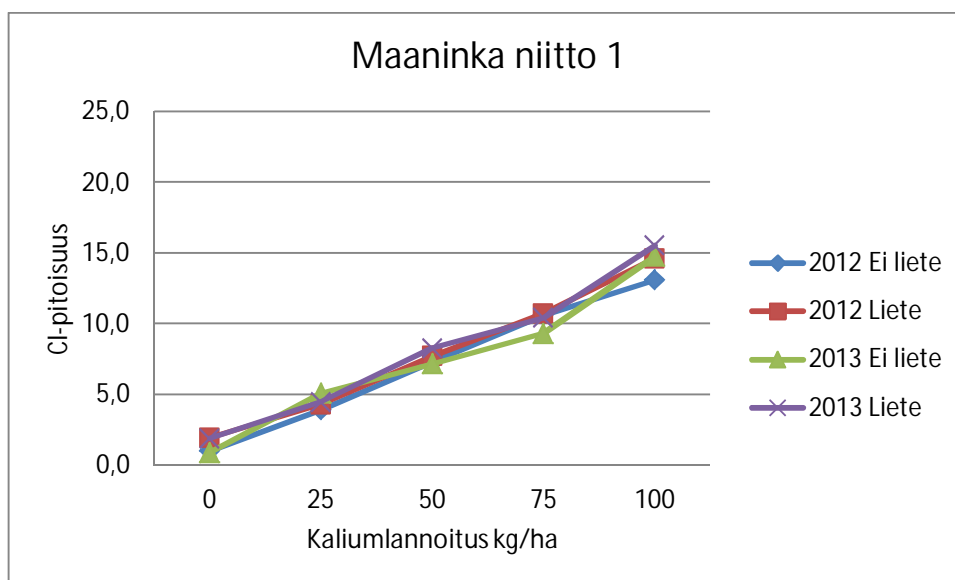
KUVIO 68. Kaliumlannoituksen vaikutus ensimmäisen sadon Cl-pitoisuuteen Ruukissa vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä.



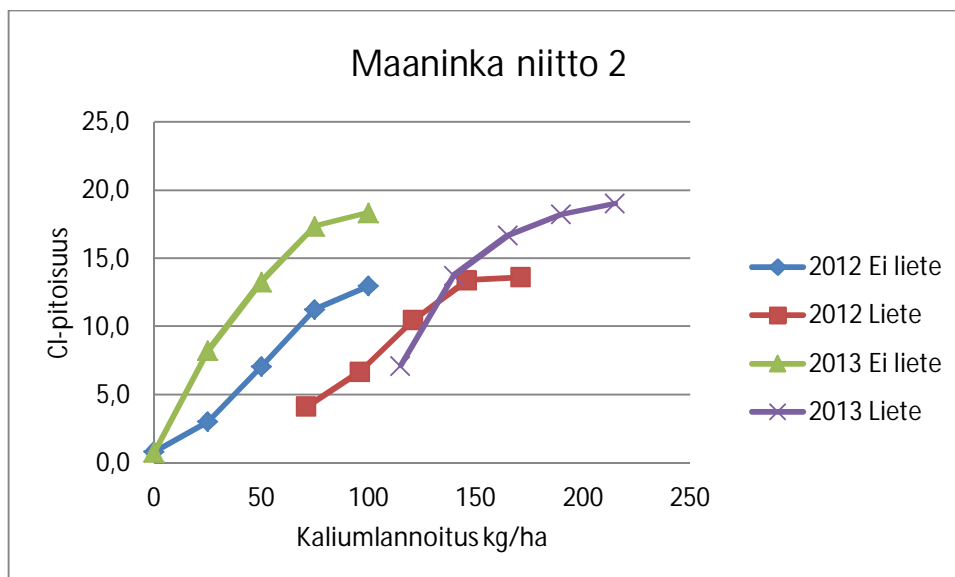
KUVIO 69. Kaliumlannoituksen vaikutus toisen sadon Cl-pitoisuuteen Ruukissa vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.



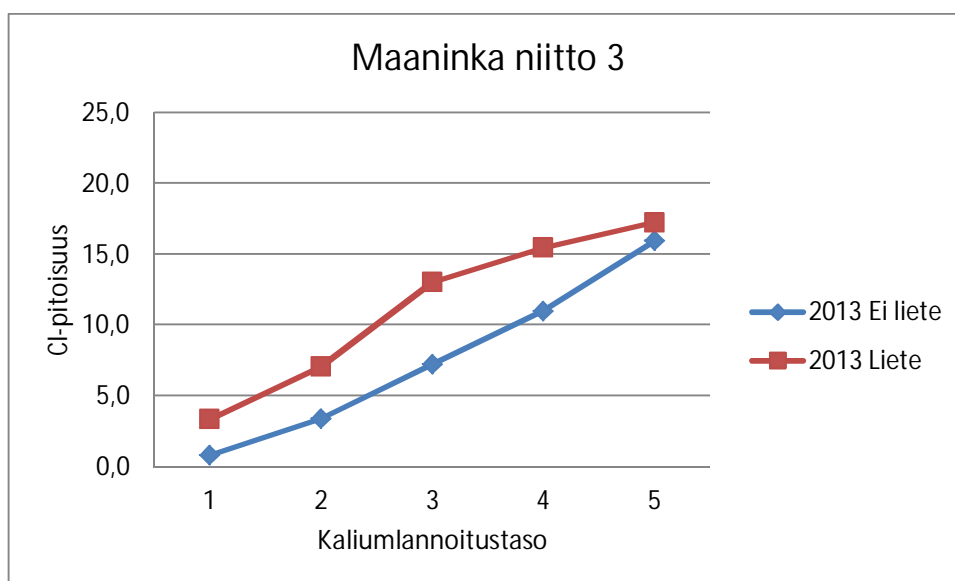
KUVIO 70. Kaliumlannoitustason vaikutus kolmannen sadon Cl-pitoisuuteen Ruukissa vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa kaliumlannoitustasoa.



KUVIO 71. Kaliumlannoituksen vaikutus ensimmäisen sadon Cl-pitoisuuteen Maaningalla vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä.



KUVIO 72. Kaliumlannoituksen vaikutus toisen sadon Cl-pitoisuuteen Maaningalla vuosina 2012 ja 2013. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. Lietettä saaneet käsittelyt ovat saaneet myös lietteen mukana kaliumia.



KUVIO 73. Kaliumlannoitustason vaikutus kolmannen sadon Cl-pitoisuuteen Maaningalla vuonna 2013. X-akseli kuvaa kaliumlannoitustasoa.

Eri kaliumlannoitustasoilla ei ollut suurta vaikutusta natriumpitoisuuksiin. Tilastollisia merkityksiä oli vain Maaningan vuoden 2013 niitossa 1 ($p=0,008$) ja Ruukissa molempien vuosien niitoissa 1 ($p=0,002$, $p=0,034$). Suuremmalla lannoitustasolla natriumpitoisuus kasvoi. Tyypillisimmät natriumpitoisuudet suomalaisissa säilörehuissa ovat alle 1 g/kg ka, (Saarijärvi, K. Kananen, M. 2012.) kuten myös tässäkin kokeessa. Eri kaliumlannoitustasot vaikuttivat tilastollisesti myös rikkipitoisuuteen Maaningalla jokaisessa niitossa ($p<0,001$ - 0,012), Ruukissa jokaisessa niitossa ($p<0,001$ - 0,002) ja Mikkeliissä jokaisessa paitsi vuoden 2012 niitossa 1 ($p<0,001$ - 0,006). Lannoitustason noustessa rikkipitoisuus laskee.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Eri kaliumlannoitustasoilla oli tilastollista merkitsevyyttä D-arvoon, kaliumtaseeseen, kaliumpitoisuuteen, DCAD-arvoon, $K/(Ca+Mg)$ suhdelukuun ja K/N suhdelukuun. Kaliumlannoitustasot olivat 0 kg/ha, 50 kg/ha, 100 kg/ha, 150 kg/ha ja 200 kg/ha. Kaliumlannoitustason nosto laski D-arvoa ja DCAD-arvoa. Kaliumlannoitus yleensä nostaa DCAD-arvoa, mutta tässä kokeessa lannoitteena käytettiin kaliumkloridia, jolloin mukana on tullut myös klooria. Kloori lisää kasvin klooripitoisuutta nopeammin, kuin kalium kaliumpitoisuutta. Niinpä alhaisimmat DCAD-arvot mitattiin korkeimmalla (200 kg/ha) lannoitustasolla. Odotetusti kaliumlannoitustason nosto nosti kaliumpitoisuutta, kaliumtasetta, $K/(Ca+Mg)$ -suhdelukua ja K/N suhdelukua. Kaliumpitoisuus ja $K/(Ca+Mg)$ suhdeluku olivat ensimmäisenä koevuonna vaarallisen korkeita eläinravitsemuksen laadun kannalta. Seuraavana koevuonna pitoisuudet laskivat, mikä voi johtua nurmen vanhenemisesta. K/N suhde oli melkein koko kokeen ajan yli yhden, koska kasvit hyödynsivät lannoitteiden lisäksi myös maan kaliumvaroja. Tämän voi päätellä siitä, että lannoitustasolla 200 kg/ha myös typpeä on annettu 200 kg/ha, jolloin K/N suhdeluvun tulisi pelkän lannoituksen perusteella olla yksi. Suhdeluvut kuitenkin olivat 1,5–2,0.

Lietelannoitus vaikutti tilastojen mukaan eniten kuiva-ainesatoon, kaliumtaseeseen, kaliumpitoisuuteen, DCAD-arvoon, $K/(Ca+Mg)$ suhdelukuun ja K/N suhdelukuun eli melkein samoihin kuin eri kaliumlannoitustasot. Lietelannoitus laski pääsääntöisesti kuiva-ainesatoa. Tämä voi johtua siitä, että lietteen ravinteet ovat hitaammin kasvien käytettävissä ja täten hidastivat kasvin kasvua. Lietteen kalium on lähes yhtä liukoista kuin väkilannoitteiden kalium ja täten hyvin kasvien käytettävissä. Tästä syystä kaliumia tuli niin paljon, että se nosti kaliumtaseet paikoitellen jopa positiivisiksi. Lisäksi täydennystyyppi ja lietteen liukoinen tyyppi eivät vastanneet täysin väkilannoiteruutujen saamaa typpimäärää, koska paikkakunta- ja vuosikohtalaisesti lieteanalyysissä oli erikokoisia liukoisentypenpitoisuuksia. Lietteen kalium nosti odotetusti kasvin kaliumpitoisuutta, $K/(Ca+Mg)$ suhdelukua sekä K/N suhdelukua. Liette nostaa K/N suhdelukua, koska liete sisältää enemmän kaliumia kuin typpeä. Näiden tulosten perusteella ei voida suoraan sanoa, nostaako vai laskeeko lietelannoitus DCAD-arvoa. Mikkelissä lietelannoitus nosti ja Maaningalla ja Ruukissa laski DCAD-arvoa. Tätä tulosta voidaan osittain selittää eri paikkakuntien lietteen erilaisilla ravinnepitoisuuksilla.

Yhdysvaikutuksella havaittiin olevan eniten tilastollista merkitsevyyttä kaliumtaseeseen ja kaliumpitoisuuteen. Ilman lietelannoitusta kaliumtase ei juuri noussut positiiviseksi suurimmillakaan kaliumlannoitustasoilla. Lietettä annettaessa kaliumtaseet nousivat positiivisiksi joillakin niitoilla jo pienimmillään (0 kg/ha, 50 kg/ha) kaliumlannoitustasoilla. Niitoilla 2 lietettä annettaessa kaliumlannoitustasoilla 150 kg/ha ja 200 kg/ha kaliumtaseet olivat aina positiivisia. Näillä kaliumlannoitustasoilla kaliumtaseen arvo nousi reilusti positiiviseksi, jopa yli 150 kg/ha. Eli lannoitusten mukana on tullut 150 kg/ha ylimääräistä kaliumia, jota kasvi ei ole hyödyntänyt.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että kaliumlannoitus kannattaa antaa jokaiselle sadolle erikseen. Erityisesti ensimmäisissä niitoissa satoarvot olivat ruokinnan laadun kannalta liian suuret. Kasvin alkukehityksen aikana kaliumin tarve on suuri ja kasvi ottaa sitä runsaasti jopa enemmän kuin tarvitsisi. Ensimmäisten niittojen korkeat satoarvot laskivat seuraaviin niittoihin. Tästä voidaan pää-

tellä, että ensimmäisten niittojen kaliuminotto on runsaampaa kuin seuraavien. Tämä kannattaa huomioida lannoituksessa niin, että ensimmäiselle niitolle kaliumia annetaan vähemmän kuin seuraaville. Tämä oli lyhyt koe, josta ei voitu päätellä, miten maan kaliumvarat vähenevät vuosien kuluessa. Viljavuustietojen perusteella huomataan, ettei maan viljavuus- ja reservikaliumilla ollut selvää nousevaa eikä laskevaa suuntaa. Kahden nurmivuoden perusteella maan kaliumvarat eivät laskeutuneet. Jokaisella paikkakunnalla maan kaliumvarat olivat hyvät, eikä kaliumlannoitustasoilla saatu ollelankaan hyötyä kuiva-ainesatoihin. Jopa lannoittamattomista ruuduista saatiin useissa niitoissa korkeampia satoja. Kokeen jatkuessa maan kaliumvarat todennäköisesti ehtyvät, jonka seurauksena kaliumlannoitustasojen merkitys korostuu. Kokeen maalajina oli hieta, jossa maan kaliumvarojen on todettu laskevan hitaammin kuin muilla maalajeilla. Päätelimme myös että hiedan lähtömateriaali on kiille, koska reservikaliumpitoisuudet olivat korkeat. Jos maan lähtömateriaali olisi ollut kalimaasälpä, olisi kaliumlannoitus vaikuttanut kuiva-ainesatoon, koska kalimaasälvästä vapautuu kaliumia todella vähän.

Tässä kokeessa ei maan reservikaliumpitoisuuksilla ollut merkitystä satoarvojen muodostumiseen. Viljavuusnäytteiden mukaan Ruukissa pintamaan kaliumpitoisuus oli luokkaa välttävä, reservikaliumpitoisuus oli pintamaassa 414 mg/l ja jankossa 930 mg/l. Ruukin maan kaliumvarat olivat alhaisimmat, mutta satoarvot (kaliumpitoisuus, DCAD-arvo yms.) olivat korkeimmat. Ruukissa kasvusto on käyttänyt jankon kaliumia hyväkseen. Maaningan pintamaan kaliumpitoisuus on luokkaa välttävä ja reservikaliumpitoisuus pintamaassa 3117 mg/l ja jankossa 2940 mg/l. Maaningan maan kaliumvarat olivat korkeimmat, mutta satoarvot (kaliumpitoisuus, DCAD-arvo yms.) jäivät kuitenkin alhaisemmiksi kuin Ruukissa. Syynä tähän voi olla myös sää.

Nykyisten lannoitussuosituksen mukaan viljavuuskaliumin perusteella kaliumlannoitusta suositeltaisiin annettavaksi kolmelle niitolle 130–160 kg/ha vuodessa. Tämän kokeen perusteella kuitenkin voidaan todeta, ettei kaliumlannoituksen nostolla saatu yhtään sadonlisää. Suurin osa satoarvoista (DCAD-arvo, kaliumpitoisuus yms.) olivat jo lannoittamattomilla ruuduilla vaarallisen korkealla tasolla. Tällöin lisäkaliumlannoituksen antaminen pääsääntöisesti huononsi tilannetta. Näidenkin tulosten perusteella voidaan todeta, että nykyisiä kaliumlannoitussuosituksia tulisi tarkentaa.

Tässä kokeessa ei ole otettu huomioon muita kuin hietamaat. Jatkotutkimuksissa olisi tarpeen huomioida myös muut maalajit. Näitä maita voisivat olla savi-, turve- ja karkeammat hieta- ja hiekka- maat. Myös reservikaliumtulosten tarkastelu kaipaa lisätutkimuksia. Näiden tulosten perusteella ei hietamaiden reservikaliumpitoisuutta alle 500 mg/l voida pitää alhaisena, ainakaan jos jankon kaliumpitoisuus on korkea. Niimpä kaikki kokeen hietamaat olivat hyvän ja korkean kaliumtilan maita. Huonon kaliumtilan maita ei siis tässä kokeessa ollut lainkaan. Karjanlanta on ehdottomasti huomioitava jatkotutkimuksissa, koska se sisältää runsaasti kaliumia ja kaikki kotieläintilat käyttävät sitä lannoituksessa.

10 PÄÄTÄNTÖ

Kaliumlannoitukseen ei ole kiinnitetty niin paljon huomiota kuin typpi- ja fosforilannoitukseen, koska niitä on pidetty tärkeämpinä. Typpi- ja fosforilannoitusta on tutkittu enemmän myös niiden ympäristövaikutusten johdosta. Rehujen korkean kaliumpitoisuuden ja sen haittavaikutusten johdosta on kaliumlannoitustakin alettu tutkia tarkemmin. Kaliumlannoitusta on aikaisemmin tutkittu useissa eri kokeissa, mutta niissä ei ole huomioitu karjanlantaa. Tämä koe onkin merkittävä, koska jokaisella kotieläintilalla käytetään karjanlantaa lannoitukseen. Karjanlannan kalium on suoraan kasvien käytettävissä ja nostaa kasvin kaliumpitoisuutta. Kaliumlannoituksen tutkimisen päämäärä olisi saada kaliumlannoitussuosittukset optimoituja niin, ettei rehun kaliumpitoisuus nouse eläimen kannalta vaarallisen korkeaksi ja ettei viljelijän tarvitse lannoittaa turhaan. Kalium on hetkellisesti markkinoiden kallein mineraalilannoite.

Tämä opinnäytetyö perustuu Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) tekemään kaliumlannoitustarve kokeeseen, joka perustettiin kolmella eri paikkakunnalla, Maaningalla, Mikkelissä ja Ruukissa. Kokeessa tutkittiin viiden eri kaliumlannoitustason (0, 50, 100, 150, 200 kg/ha), liete/ei liete sekä näiden kahden yhdysvaikutusta säilörehun laatuun. Tutkimuksessa on vertailtu eri kaliumlannoitustasojen, liete/ ei liete sekä näiden yhdysvaikutusta mm. D-arvoon, kaliumtaseeseen, DCAD-arvoon ja rehun ekvivalenttisuhteeseen $K/(Ca+Mg)$. Tutkimuksessa vertailtiin myös edellä mainittujen lannoitusten vaikutusta maan viljavuuteen ja reservikaliumtasoihin. Maan reservikaliumilla on suuri merkitys kaliumlannoituksen optimoinnissa, joten onkin ensiarvoisen tärkeää, että viljelijät selvittäisivät nurmenviljelylohkojen reservikaliumtasot.

Tutustuimme MTT Maaninkaan suorittaessamme siellä työelämänharjoittelua kesällä 2013. Seitsemänkymmenen päivän työelämänharjoittelu kuuluu agrologiopintoihin. Valitsimme opinnäytetyö aiheeksemme nurmien kaliumlannoituksen, koska aihe vaikutti mielenkiintoiselta ja kiinnosti meitä erityisesti maaviljelijän ja talouden näkökulmasta katsottuna. Teoriaosion kirjoittaminen oli haastavaa kappaleessa kolme, jossa kerroimme kaliumin muodoista maassa ja kaliumin vapautumisesta kasveille. Kaliumin eri muodoista ei ollut tarkkaa suomenkielistä lähdettä saatavilla, joten käytimme englanninkielistä tutkimusmateriaalia. Teoriaosio on useiden eri lähteiden kattava yleiskuvaus kaliumista. Tuloksia saimme runsaasti kolmelta eri paikkakunnalta Maaningalta, Mikkelistä ja Ruukista, kahdelta eri vuodelta 2012–2013. Haastavinta tässä työssä oli tulosten ymmärtäminen, tärkeimpien muuttujien löytäminen ja taulukoiden tekeminen. Tulosten kirjoittaminen, niin että lukijakin ne ymmärtää oli hankalaa ja vei runsaasti aikaa. Lopulta tuloksien ymmärtäminen ja johtopäätösten tekeminen oli palkitsevaa ja mielenkiintoista. Tässä opinnäytetyössä on ollut haastetta ja olemme oppineet sitä tehdessämme paljon.

LÄHTEET

- Ammerman, C. B. Goodrich, R. D. 2012. Advances in Mineral Nutrition in Ruminants. [Viitattu 14.11.2013] Saatavissa. <http://empaeg.com/UserFiles/File50586.pdf>
- Aydin, I. Uzun, F. 2008. Potential decrease of grass tetany risk in rangelands combining N and K fertilization with MgO treatments. [Viitattu 10.1.2014] Saatavissa. http://ac.els-cdn.com.ezproxy.savonia-amk.fi:2048/S1161030108000257/1-s2.0-S1161030108000257-main.pdf?_tid=abbc6c68-79e1-11e3-867b-00000aab0f26&acdnat=1389349770_df0e928
- Bar Tal, A. 2011. The Effects of Nitrogen Form on Interactions with Potassium. [Viitattu 8.1.2014] Saatavissa. http://www.ipipotash.org/udocs/eifc_no29-rf2.pdf
- Blake, L. Mercik, S. Koerschens, M. Goulding, K,W,T. Stempen, S. Weigel, A. Poulton, P,R. Powlson, D,S. 1999. Potassium content in soil, uptake in plants and the potassium balance in three European long-term field experiments. [Viitattu 8.3.2014] Saatavissa. <http://link.springer.com/article/10.1023/A:1004730023746#page-2>
- Fagerstedt, K. Linden, L. Santanen, A. Vainola, A. 2008. Kasvin aineenvaihdunta. Teoksessa. Kasvioppi, siemenestä satoon. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Forsman, K. Virtanen, E. Pulkkinen, J. 2006. Biotiitin käyttökelpoisuus perunanviljelyssä. [Viitattu 14.1.2014] Saatavissa. <http://www.smts.fi/pos06/1002.pdf>
- Gjødsling til gras. 2013. [Viitattu 8.3.2014] Saatavissa. <http://www.yara.no/gjodsel/vekster/eng-og-forvekster/plantenaering/gjodslingsmatrise-i-gras/>
- Grunes, D. L. Welch, R. M. 1989. plant contents of magnesium, calcium and potassium in relation to ruminant nutrition [Viitattu 7.12.2013] Saatavissa. <http://www.journalofanimalscience.org/content/67/12/3485.long>
- Hanke tiedot. [Viitattu 10.10.2013] Saatavissa. https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/tutkimus/Hankehaku/Hankeentiedot?p_kielikoodi=FI&p_hanke_seqno=382985
- Harrison, J. Block, E. Kincaid, R. Normand, S. White, R. DCAD Plus® meets needs of high-producing cows, improves milk production and component levels. [Viitattu 14.11.2013] Saatavissa. <http://www.agweb.com/assets/import/files/DCADPlusHarrisonResearchBulletin.pdf>
- Harrison, J. Jenkins, T. Kincaid, R. Block, E. White, R. Potassium in the Early Lactation Dairy Cow and its Impact on Milk and Milk Fat Production. [Viitattu 14.11.2013] Saatavissa. <http://www.wcds.ca/proc/2011/Manuscripts/Harrison2.pdf>
- Hartikainen, H. 1996. Maaperä. Teoksessa. Heinonen, R. Hartikainen, H. Aura, E. Jaakkola, A. Kemppainen, E. Maa, viljely ja ympäristö. Porvoo: WSOY.
- Hartikainen, H. 2009. Maaperä. Teoksessa. Paasonen- Kivekäs, M. Peltomaa, R. Vakkilainen, P. Äijö, H. (toim.). Maan vesi – ja ravinnetalous. Jyväskylä: Gummerrus Kirjapaino Oy.
- Heikkilä, R. Huhta, H. Koikkalainen, K. Virkjäärvi, P. 1990. Teoksessa. Pitkäaikaisen säilörehunurmen kaliumlannoitus heikosti kaliumia pidättävillä mailla. Jokioinen.
- Heikkilä, T. 2008. Hyvän tutkimuksen perusvaatimukset. Teoksessa. Tilastollinen tutkimus. Helsinki: Edita Prima oy
- Hiltunen, L. 2009. Validiteetti ja reliabiliteetti. [Viitattu 14.2.2014] Saatavissa. http://www.mit.jyu.fi/ope/kurssit/Graduryhma/PDFt/validius_ ja_reliabiliteetti.pdf
- Holmqvist, J. Øgaardb, A F. Öborn, I. Edwards, A C. Mattssonc, L. Sverdrup, H. 2003. Application of the PROFILE model to estimate potassium release from mineral weathering in Northern European agricultural soils. [Viitattu 4.3.2014] Saatavissa. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S116103010300064>
- Holopainen, M. Pulkkinen, P. 2008. Tilastolliset menetelmät. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy

- Hyrkäs, M. Virkajärvi, P. 2012. Nurmen kasvu- ja kehitysprosessit. [Viitattu 9.11.2013]. Saatavissa. <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti56.pdf>
- Ilmatieteen laitos. Terminen kasvukausi. [Viitattu 25.3.14] Saatavissa. <http://ilmatieteenlaitos.fi/terminen-kasvukausi>
- Isselstein, J. Kayser, M. 2005. Teoksessa. Potassium cycling and losses in grassland systems: a review. Blackwell Publishing Ltd.
- Jaakkola, A. 1996. Kasvinravitseminen. Teoksessa. Heinonen, R. Hartikainen, H. Aura, E. Jaakkola, A. Kemppainen, E. Maa, viljely ja ympäristö. Porvoo: WSOY.
- Jansson, H. Yli-Halla, M. Tuhkanen, H. Laidunalueiden fosfori ja kalium. [Viitattu 5.2.2014] Saatavissa. <http://www.smts.fi/MTP%20julkaisu%202002/esit/36jansson.pdf>
- Johnston, A.E. Understanding potassium and its use in agriculture [Viitattu 9.1.2014] Saatavissa. http://www.pda.org.uk/others/pdf/EFMA_Potassium_booklet_2003.pdf
- Joki-Tokola, E. 2010. Karjanlannan ravinteet tehokkaasti käyttöön. [Viitattu 9.1.2014] Saatavissa: http://ammattilaiset.valio.fi/maitojame/sailorehu10/srehu10_40.htm
- Kauppila, R. 2011. Kalium-monessa mukana. Teoksessa. Leipä leveämmäksi 3/11 Yara Suomen lehti maatalouden ammattilaisille. Joensuu: PunaMusta Oy
- Kleemola, J. 2011. Kaliumreservit käyttöön. Teoksessa. Maatilan Pellervo 5/11. Helsinki: Pellervo-Media Oy
- Kleemola, J. Ylihalla, M. 2009. Ravinteet kasvin eri kehitysvaiheissa. Teoksessa. Alakukku, L. Jaakkola, A. Maarit, K. Kleemola, J. (toim.). Ravinteet kasvintuotannossa. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy
- Kleemola, J. Jaakkola, A. Sipiläinen, T. Alakukku, L. Peltonen, J. Savela, P. 2009. Tasapainoinen ja taloudellinen lannoitus. Teoksessa. Alakukku, L. Jaakkola, A. Maarit, K. Kleemola, J. (toim.). Ravinteet kasvintuotannossa. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy
- Kemppainen, E. 1996. Karjanlanta ja muut eloperäiset lannoitteet. Teoksessa. Heinonen, R. Hartikainen, H. Aura, E. Jaakkola, A. Kemppainen, E. Maa, viljely ja ympäristö. Porvoo: WSOY.
- Klingerman, C. M. 2007. Grass Tetany in Cattle – An Examination of its Causes, Clinical Signs and Cures [Viitattu 11.12.2013] Saatavissa. <http://ag.udel.edu/anfs/faculty/kung/documents/GrassTetanyinCattle.pdf>
- Linna, P. Jansson, H. 1994. Biotiitti nurmen kaliumlannoitteena. Jokioinen 1994
- Maanäytteiden otto-ohjeet. [Viitattu 21.11.2013] Saatavissa. http://www.viljavuuspalvelu.fi/sites/default/files/sites/default/files/maanytteiden_otto-ohje.pdf
- Manninen, P. Mäkelä, P. 2007. Kaliumista tehokkuutta ja kestävyyttä kasvuun. [Viitattu 28.11.2013] Saatavissa. <http://jukuri.mtt.fi/handle/10024/464962>
- Mäntylähti, V. Jaakkola, A. Kari, M. 2009. Ravinnetarpeiden määrittäminen. Teoksessa. Alakukku, L. Jaakkola, A. Maarit, K. Kleemola, J. (toim.). Ravinteet kasvintuotannossa. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy
- Nykänen, A. Hannukkala, A. Rinne, M. Salo, T. 2010. Palkokasvit nurmitilan kierrossa. [Viitattu 10.2.2014] Saatavissa. <http://www.smts.fi/jul2010/esite2010/043.pdf>
- Nykänen, A. Saarijärvi, K. Virkajärvi, P. 2010. Nurmien lannoitustarve. Teoksessa. Peltonen, S., Puurunen, T. & Harmoinen, T. (toim.). Nurmirehujen tuotanto ja käyttö. Hämeenlinna: Kariston Kirjapaino Oy
- Pohjois-Savon nurmiopas – Tavoitteena valtakunnan parhaat nurmet. Pelto tuottamaan – Pohjois-Savoon valtakunnan parhaat nurmet – hanke.

- Rangel, Y. A. 2008. Quantifying Mineral Sources of Potassium in Agricultural Soils. [Viitattu 1.12.2013] Saatavissa. http://pub.epsilon.slu.se/1805/1/Andrist_Rangel_Avhandling_nr_53.2008.pdf
- Rautala, H. 1996. Poikimahalvaus. Teoksessa. Tavoitteena terve karja. Jyväskylä: Gummerrus kirjapaino Oy.
- Riktlinjer för gödsling och kalkning. 2013. [Viitattu 1.12.2013] Saatavissa. http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_jo/jo12_12.pdf
- Rinne, M. Sairanen, A. 2010. Nurmirehut ruokinnassa. . Teoksessa. Peltonen, S., Puurunen, T. & Harmoinen, T. (toim.). Nurmirehujen tuotanto ja käyttö. Hämeenlinna: Kariston Kirjapaino Oy
- Saarela, I. 1983. Kaliummäärän vaikutus timotein satoon. Jokioinen
- Saarela, I. 2001. Maan vaihtumattoman reservikaliumin merkitys nurmilla. [Viitattu 9.11.2013] Saatavissa: <http://jukuri.mtt.fi/bitstream/handle/10024/451181/mttkjakv58n4s06b.pdf?sequence=1>
- Saarela, I. 2005. Nurmen kaliumtalous. [Viitattu 10.10.13.] Saatavissa. <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/nurmiyhdistys/Nurmitieto/sisallysluettelo/5D35795A9E52A2D0E040A8C0023C6A94>
- Saarela, I. Hakkola, H. Linnomäki, H. Köylijärvi, J. 1981. Nurmen pintakalkitus, sadetus, typpi- ja kaliumlannoitus monitekijäkokeiden tuloksia. Jokioinen.
- Saarela, I. Huhta, H. Salo, Y. Sippola, J. Vuorinen, M. 1998. Kaliumlannoituksenporraskokeet 1977-1994. [Viitattu 14.12.13] Saatavissa. <http://www.mtt.fi/asarja/pdf/asarja42.pdf>
- Saarijärvi, K. 2013. Kalsiumvajeen taustalla on monta syytä, poikivat kalsiumvalmennukseen. Teoksessa. KMMET Kotieläinten terveydenhoitolehti 2/2013. Otavamedia.
- Saarijärvi, K. Kananen, M. 2013. Umpikaudelle oikea rehu. Teoksessa. KMMET Kotieläinten terveydenhoitolehti 3/13. Otavamedia.
- Saarijärvi, K. Kananen, M. 2012. Täsmärehua tunnuskaudelle. Teoksessa. Kotieläin 3/12 Agrimarketin asiakaslehti. Joensuu: PunaMusta Oy
- Simonsson, M. Andersson, S. Rangel, Y A. Hillier, S. Mattsson, L. Öborn I. 2007. Potassium release and fixation as a function of fertilizer application rate and soil parent material. [Viitattu 3.1.2014] Saatavissa. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706107001000>
- Seppänen, M. Yli-halla, M. Stoddard, F. Mäkelä, P. 2008. Peltokasvien tuotanto. Vammalan Kirjapaino Oy.
- Tauriainen, S. 2009. Lannoituksen vaikutus rehuun. Teoksessa. Alakukku, L. Jaakkola, A. Maarit, K. Kleemola, J. (toim.). Ravinteet kasvintuotannossa. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy
- Tauriainen, S. Sipilä, A. 2006. KALIUM. [Viitattu 12.10.13] Saatavissa. <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/nurmiyhdistys/Nurmitieto/sisallysluettelo/5D34DFC23759FAE0E040A8C0033C3940>
- Tauriainen, S. Sipilä, A. 2006. NATRIUM JA KLOORI [Viitattu 12.3.2014] Saatavissa. <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/nurmiyhdistys/Nurmitieto/sisallysluettelo/5D34E135ACACB8F9E040A8C0033C3BB6>
- Tensiometri Irrrometer SR. [Viitattu 9.10.2013]. Saatavissa. <http://www.avagro.fi/?sivu=tuotteet&id=30&subid=113>
- Tiihonen, T. Pyörälä, S. 2005. Kalsiumaineenvaihdunnan häiriöt. [Viitattu 28.1.2014] Saatavissa. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/1975/544/01_kalsiumaineenvaihdunnan_hairiot.pdf?sequence=19
- Tähtinen, H. 1979. The effect of nitrogen fertilizer on the potassium requirement of grassland for silage

Viljavuustutkimuksen tulkinta ja ravinnesuositukset ympäristötuen mukaan. 2013. Teoksessa. Yara Lannoiteopas.

Virkajärvi, P, Isolahti, M, Hyrkäs, M, Sihto, U, Rätty, M ja Kauppila, R. 2012. Maan reservikalium ja nurmien kaliumlannoitus. Saatavissa:

http://www.smts.fi/Nurmet/Virkajarvi_Maan%20reservikalium.pdf

Virkajärvi, P. 2012. Ympäristö ja talous sekä ravinnetaseet nurmenviljelyssä. Saatavissa:

https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/vev_virkajarvi_-_ympaeristoe_ja_talous.pdf

Virkajärvi, P, Sihto, U, Isolahti, M. 2007. Maan reservikaliumin merkitys nurmenviljelyssä.

Teoksessa. Heikkinen, A, Pakarinen, K, Punkki, P, Rossi, A, Puurunen, T, Sairanen, A, Virkajärvi, P.

Virkajärvi, P. 2010. Nurmiens kaliumlannoitus muuttuu. Teoksessa Leipä leveämmäksi 1/2010 Yara Suomen lehti maatalouden ammattilaisille. Joensuu: PunaMusta Oy

Zörba, C, Senbayram, M, Peiter, E. 2013. Potassium in agriculture – Status and perspectives. [Vii-
tattu 20.11.2013] Saatavissa. <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.savonia->

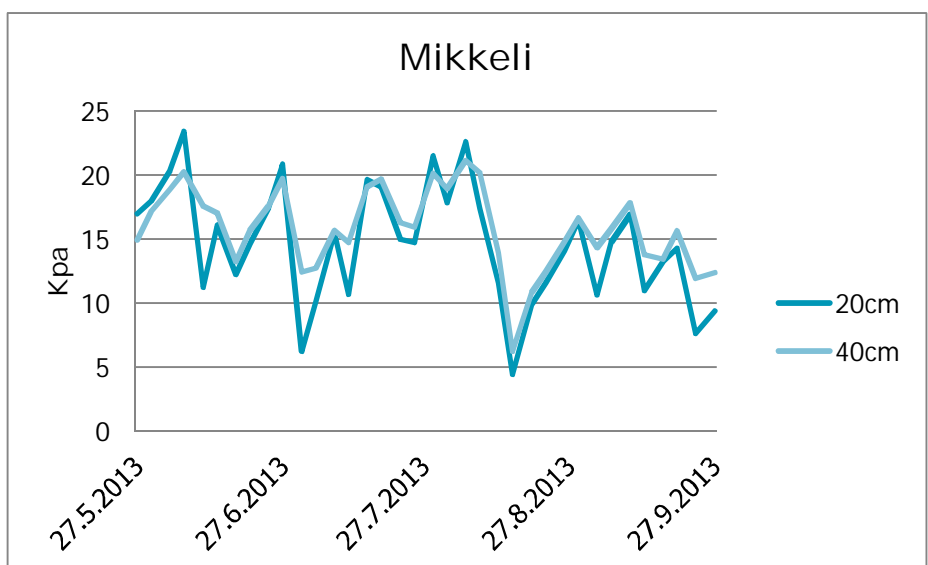
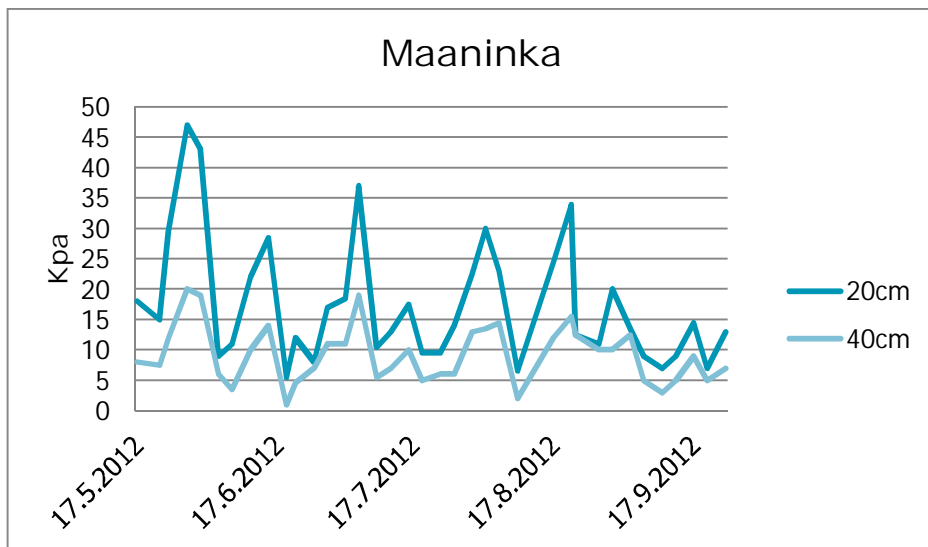
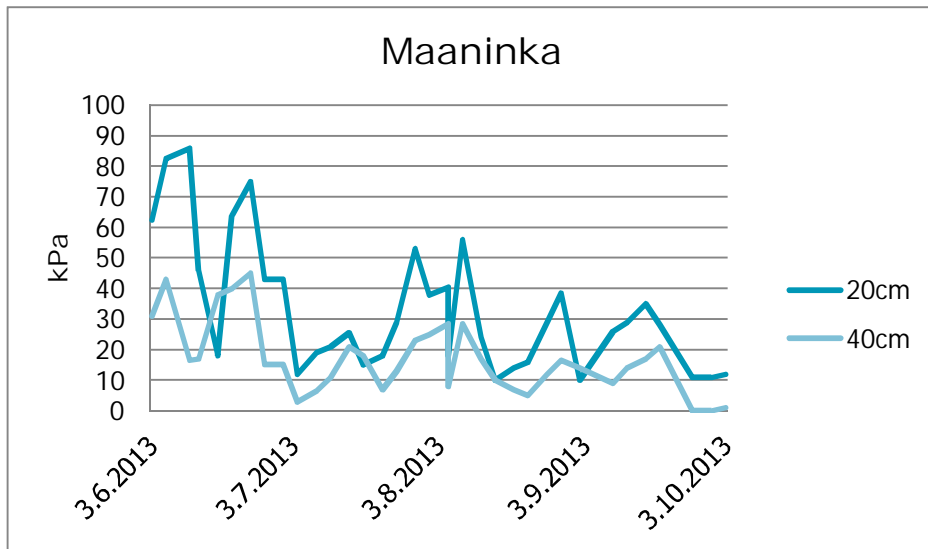
[amk.fi:2048/science/article/pii/S0176161713003611](http://www.sciencedirect.com.ezproxy.savonia-amk.fi:2048/science/article/pii/S0176161713003611)

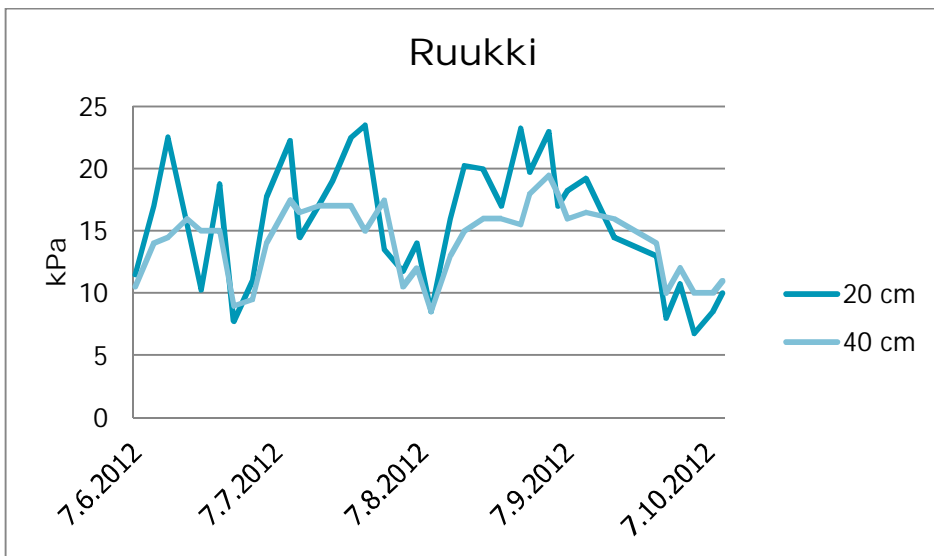
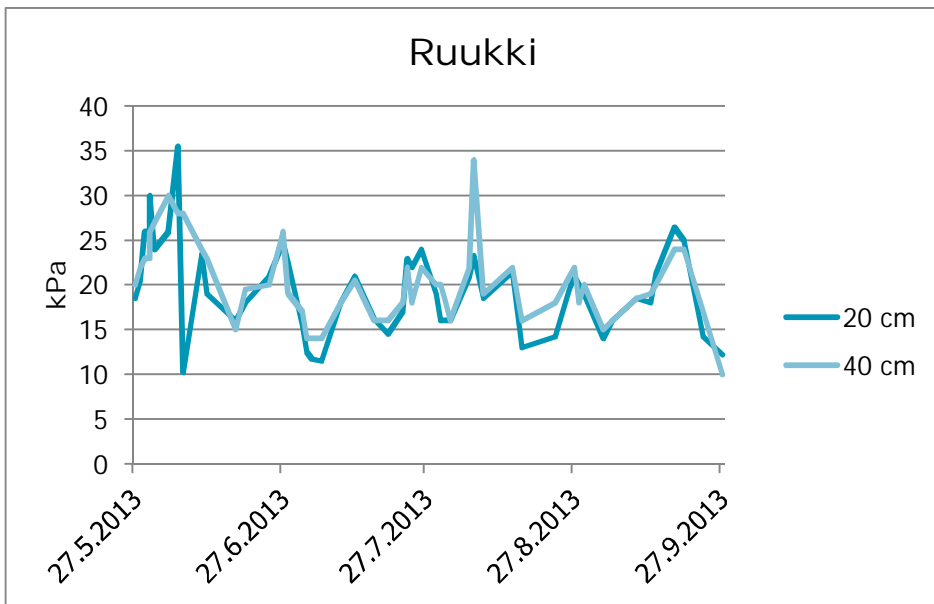
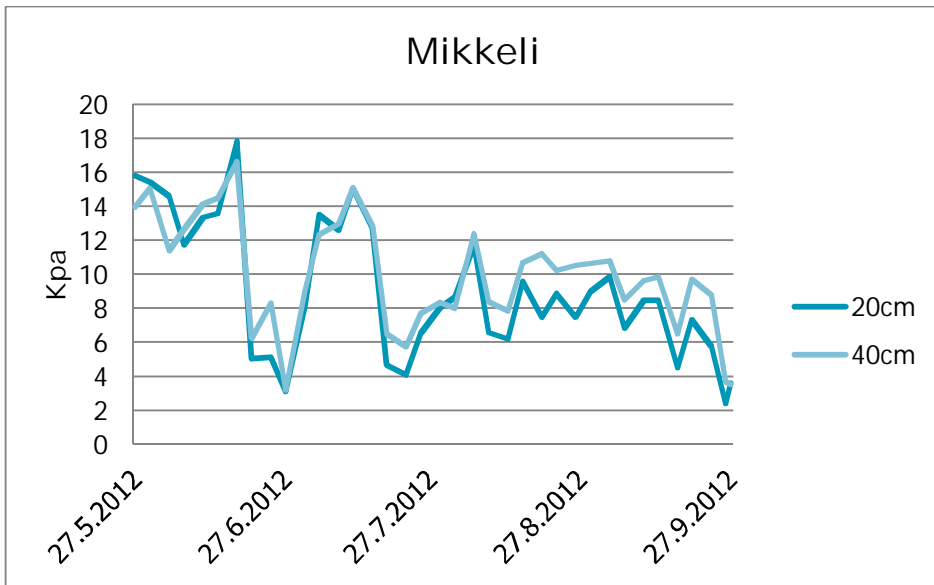
LIITE 1

Maaningan lieteanalyytit								
2012					2013			
	Kuiva-aineessa	Yksikkö	Tonnissa	Yksikkö	Kuiva-aineessa	Yksikkö	Tonnissa	Yksikkö
Typpi (N), liuk.	30	g/kg ka	1,7	kg/tn	29	g/kg ka	2,4	kg/tn
Typpi (N), kok.	52	g/kg ka	3,0	kg/tn	46,5	g/kg ka	3,9	kg/tn
Fosfori (P), kok.	8,05	g/kg ka	0,5	kg/tn	7,3	g/kg ka	0,6	kg/tn
Kalium (K), kok.	46	g/kg ka	2,6	kg/tn	48	g/kg ka	4,0	kg/tn
Magnesium (Mg), kok.	7,95	g/kg ka	0,5	kg/tn	7,45	g/kg ka	0,6	kg/tn
Kalsium (Ca), kok.	13	g/kg ka	0,7	kg/tn	14,5	g/kg ka	1,2	kg/tn
Natrium (Na), kok.	4,25	g/kg ka	0,2	kg/tn	4,55	g/kg ka	0,4	kg/tn
Rikki (S), kok.	5	g/kg ka	0,3	kg/tn	5,1	g/kg ka	0,4	kg/tn
Orgaaninen hiili	390	g/kg ka	22,0	kg/tn	435	g/kg ka	36,0	kg/tn
Boori (B), kok.	17	mg/kg ka	1,0	g/tn	16,5	mg/kg ka	1,4	g/tn
Kupari (Cu), kok.	42,5	mg/kg ka	2,5	g/tn	39,5	mg/kg ka	3,3	g/tn
Mangaani (Mn), kok.	180	mg/kg ka	10,0	g/tn	175	mg/kg ka	14,5	g/tn
Sinkki (Zn), kok.	240	mg/kg ka	14,0	g/tn	255	mg/kg ka	21,0	g/tn
Kloridi (Cl), liuk.	16500	mg/kg ka	950,0	g/tn	1400	mg/kg ka	110,0	g/tn
Kuiva-aine			5,7	%			8,2	%

Mikkelin lieteanalyytit								
2012					2013			
	Kuiva-aineessa	Yksikkö	Tonnissa	Yksikkö	Kuiva-aineessa	Yksikkö	Tonnissa	Yksikkö
Typpi (N), liuk.	66	g/kg ka	1,3	kg/tn	37	g/kg ka	1,9	kg/tn
Typpi (N), kok.	91	g/kg ka	1,8	kg/tn	44	g/kg ka	2,3	kg/tn
Fosfori (P), kok.	6,9	g/kg ka	0,135	kg/tn	8,3	g/kg ka	0,43	kg/tn
Kalium (K), kok.	130	g/kg ka	2,6	kg/tn	92	g/kg ka	4,8	kg/tn
Magnesium (Mg), kok.	6	g/kg ka	0,115	kg/tn	7,5	g/kg ka	0,39	kg/tn
Kalsium (Ca), kok.	20,5	g/kg ka	0,405	kg/tn	16	g/kg ka	0,83	kg/tn
Natrium (Na), kok.	9,25	g/kg ka	0,18	kg/tn	6,8	g/kg ka	0,36	kg/tn
Rikki (S), kok.	7,55	g/kg ka	0,2	kg/tn	5,3	g/kg ka	0,3	kg/tn
Orgaaninen hiili	330	g/kg ka	6,45	kg/tn	-	g/kg ka	-	kg/tn
Boori (B), kok.	24,5	mg/kg ka	0,47	g/tn	22	mg/kg ka	1,1	g/tn
Kupari (Cu), kok.	52,5	mg/kg ka	1,01	g/tn	37	mg/kg ka	1,9	g/tn
Mangaani (Mn), kok.	125	mg/kg ka	2,4	g/tn	150	mg/kg ka	7,6	g/tn
Sinkki (Zn), kok.	260	mg/kg ka	5,05	g/tn	180	mg/kg ka	9,3	g/tn
Kloridi (Cl), liuk.	48000	mg/kg ka	935	g/tn	21000	mg/kg ka	1100	g/tn
Kuiva-aine			1,95	%			5,2	%

Ruukin lieteanalyytit								
2012					2013			
	Kuiva-aineessa	Yksikkö	Tonnissa	Yksikkö	Kuiva-aineessa	Yksikkö	Tonnissa	Yksikkö
Typpi (N), liuk.	41	g/kg ka	2,4	kg/tn	38	g/kg ka	2,6	kg/tn
Typpi (N), kok.	64	g/kg ka	3,8	kg/tn	53,5	g/kg ka	3,65	kg/tn
Fosfori (P), kok.	8,25	g/kg ka	0,49	kg/tn	8,15	g/kg ka	0,555	kg/tn
Kalium (K), kok.	50	g/kg ka	3	kg/tn	43,5	g/kg ka	3	kg/tn
Magnesium (Mg), kok.	6,65	g/kg ka	0,39	kg/tn	5,5	g/kg ka	0,375	kg/tn
Kalsium (Ca), kok.	20	g/kg ka	1,2	kg/tn	14,5	g/kg ka	0,99	kg/tn
Natrium (Na), kok.	6	g/kg ka	0,35	kg/tn	4,1	g/kg ka	0,28	kg/tn
Rikki (S), kok.	-	g/kg ka	-	kg/tn	4,9	g/kg ka	0,3	kg/tn
Boori (B), kok.	15,5	mg/kg ka	0,92	g/tn	9,3	mg/kg ka	0,64	g/tn
Kupari (Cu), kok.	42	mg/kg ka	2,5	g/tn	31	mg/kg ka	2,15	g/tn
Mangaani (Mn), kok.	230	mg/kg ka	14	g/tn	175	mg/kg ka	12	g/tn
Sinkki (Zn), kok.	310	mg/kg ka	18	g/tn	230	mg/kg ka	16	g/tn
Kloridi (Cl), liuk.	-	mg/kg ka	-	g/tn	20000	mg/kg ka	1350	g/tn
Kuiva-aine			5,9	%			6,85	%





LIITE 3

Toimenpide/paikka/vuosi							
Viikko	Maaninka		Mikkeli		Ruukki		
	2012	2013	2012	2013	2012	2013	
18	Maanäytteiden otto						
20	Väkilannoitteiden levitys, tensiometrien asennus	Väkilannoitteiden levitys, tensiometrien asennus		Äestys, Väkilannoitteiden levitys	Väkilannoitteiden levitys, kevättiheyden määrittäminen	Väkilannoitteiden levitys, kevättiheyden määrittäminen	
21	Kevättiheyden määrittäminen	Kevättiheyden määrittäminen	Lannoitus, tensiometrien laitto, rikkakasvitorjunta	Rikkakasvitorjunta			
24	1. niitto	1. niitto, lietteen levitys, väkilannoitteiden levitys		1. niitto, kaliumlannoitus	1. niitto	1. niitto, Väkilannoite- ja liette- lannoitus	
25			1. niitto	Lietteen levitys	Väkilannoitteiden- ja liette- lannoitus		
26	Lietteen levitys						
27	Väkilannoitteiden levitys		Väkilannoitteiden- ja liette- lannoitus		Rikkakasvitorjunta		
29		2. Niitto, väkilannoitteiden levitys					
30				2. niitto	2. niitto Väkilannoitteiden levitys	2. niitto, Väkilannoite- lannoitus	
31				Väkilannoitteiden levitys			
33	2. Niitto	2.niitto					
34							
35		3. Niitto				3. niitto	
36	Maanäytteiden otto				3. niitto		
37				3. niitto			
38		Maanäytteiden otto					
39	Tensiometri- poisto		Maanäytteiden otto				
40						Syystiheyden määrittäminen	
42				Maanäytteiden otto			

LIITE 4

Mikkeli maan viljavuus kalium						
		2012		2013		
		0-25 cm	25-50 cm	0-25 cm	25-50 cm	
K-lann. Taso	0	55,8	53,4	42,1	58,7	
	50	65,4	59,8	46,3	61,3	
	100	69,4	55,5	52,1	57,0	
	150	83,3	57,3	69,3	60,7	
	200	94,1	56,9	81,2	56,8	
	SEM	6,23				
Liete	ei lietettä	64,6	57,0	40,7	59,5	
	liete	82,6	56,1	78,2	58,3	
	SEM	5,88				
Yhdysvaikutus	ei lietettä	0	49,0	55,5	31,7	57,1
		50	55,5	60,0	36,5	59,8
		100	63,0	55,5	37,4	58,3
		150	71,5	56,5	44,5	59,8
		200	84,0	57,5	57,8	62,6
		SEM	62,5	51,3	55,8	60,4
	liete	0	75,3	59,5	58,8	62,9
		50	75,8	55,5	72,5	55,8
		100	95,0	58,0	107,9	61,7
		150	104,3	56,3	114,1	51,5
		200	SEM 7,81			
		SEM	0,23	0,030		
P-arvot	Klann	0,003 <0,001				
	liete*Klann	0,94 0,49				
	syvyys	0,007 0,61				
	syvyys*liete	<0,001 <0,001				
	syvyys*Klann	<0,001 <0,001				
	syvyys*liete*Klann	0,93 0,15				

Ruukki maan viljavuus kalium						
		2012		2013		
		0-25 cm	25-50 cm	0-25 cm	25-50 cm	
K-lann. Taso	0	52,5	54,1	35,9	52,4	
	50	52,4	58,9	39,5	57,6	
	100	56,6	56,5	46,8	56,6	
	150	57,0	57,6	50,3	56,8	
	200	65,9	58,5	61,5	58,0	
	SEM	5,55 6,24				
Liete	ei lietettä	52,2	56,4	38,3	54,3	
	liete	61,6	57,9	55,3	58,3	
	SEM	5,27 6,13				
Yhdysvaikutus	ei lietettä	0	47,8	51,3	34,5	49,5
		50	49,5	60,3	34,3	55,8
		100	53,0	56,3	36,5	53,3
		150	52,3	56,5	37,8	54,8
		200	58,5	57,5	48,3	58,3
		SEM	57,3	57,0	37,3	55,3
	liete	0	55,3	57,5	44,8	59,5
		50	60,3	56,8	57,0	60,0
		100	61,8	58,8	62,8	58,8
		150	73,3	59,5	74,8	57,8
		200	SEM 6,32 7,02			
		SEM	0,17	0,075		
P-arvot	Klann	0,024 <0,001				
	liete*Klann	0,64 0,29				
	syvyys	0,97 0,20				
	syvyys*liete	0,050 0,001				
	syvyys*Klann	0,27 0,003				
	syvyys*liete*Klann	0,96 0,068				

Maaninka maan viljavuus kalium						
		2012		2013		
		0-25 cm	25-50 cm	0-25 cm	25-50 cm	
K-lann. Taso	0	74,4	72,1	76,3	83,8	
	50	73,3	74,8	77,8	78,6	
	100	76,9	72,0	79,0	75,9	
	150	79,6	73,1	84,9	77,8	
	200	76,8	71,8	87,8	82,1	
	SEM	5,28 5,52				
Liete	ei lietettä	73,4	70,4	74,8	76,5	
	liete	79,0	75,1	87,5	82,8	
	SEM	5,08 4,95				
Yhdysvaikutus	ei lietettä	0	74,0	70,0	72,5	85,0
		50	74,3	75,8	75,8	76,8
		100	73,0	70,0	72,3	71,3
		150	77,3	67,0	76,8	71,5
		200	68,3	69,3	76,8	78,0
		SEM	74,8	74,3	80,0	82,5
	liete	0	72,3	73,8	79,8	80,5
		50	80,8	74,0	85,8	80,5
		100	82,0	79,3	93,0	84,0
		150	85,3	74,3	98,8	86,3
		200	SEM 5,98 6,76			
		SEM	0,19	0,093		
P-arvot	Klann	0,82 0,43				
	liete*Klann	0,16 0,43				
	syvyys	0,28 0,69				
	syvyys*liete	0,75 0,10				
	syvyys*Klann	0,46 0,13				
	syvyys*liete*Klann	0,29 0,80				

LIITE 5

Mikkeli maan varastokalium						
		2012		2013		
		0-25 cm	25-50 cm	0-25 cm	25-50 cm	
K-lann. Taso	0	1419	2261	1316	2278	
	50	1410	2480	1313	2289	
	100	1458	2521	1323	2439	
	150	1485	2576	1360	2294	
	200	1401	2414	1285	2300	
	SEM	121,1 106,7				
Liete	ei lietettä	1451	2441	1280	2268	
	liete	1418	2460	1359	2372	
	SEM	106,2 105,1				
Yhdysvaikutus	ei lietettä	0	1453	2140	1270	2190
		50	1338	2480	1264	2258
		100	1535	2588	1270	2408
		150	1563	2700	1343	2283
		200	1368	2298	1253	2200
		SEM	1386	2383	1363	2365
	liete	0	1483	2480	1363	2320
		50	1380	2455	1375	2470
		100	1408	2453	1378	2305
		150	1435	2530	1318	2400
		200	SEM 147,9 129,2			
		SEM	0,93	0,38		
P-arvot	Klann	0,31 0,50				
	liete*Klann	0,26 0,87				
	syvyys	0,002 <0,001				
	syvyys*liete	0,56 0,75				
	syvyys*Klann	0,39 0,64				
	syvyys*liete*Klann	0,47 0,94				

Ruukki maan varastokalium						
		2012		2013		
		0-25 cm	25-50 cm	0-25 cm	25-50 cm	
K-lann. Taso	0	419	945	389	985	
	50	406	958	391	1044	
	100	410	981	414	1103	
	150	403	894	432	963	
	200	435	872	522	859	
	SEM	164,8 170,5				
Liete	ei lietettä	410	951	423	994	
	liete	419	908	436	988	
	SEM	167,2 173,3				
Yhdysvaikutus	ei lietettä	0	416	935	382	917
		50	398	998	370	1045
		100	434	1081	428	1119
		150	386	917	404	962
		200	414	825	533	926
		SEM	421	955	397	1054
	liete	0	414	918	411	1043
		50	387	881	400	1088
		100	420	871	461	964
		150	455	918	512	792
		200	SEM 191,4 192,9			
		SEM	0,91	0,98		
P-arvot	Klann	0,93 0,66				
	liete*Klann	0,64 0,67				
	syvyys	0,068 0,073				
	syvyys*liete	0,63 0,85				
	syvyys*Klann	0,93 0,20				
	syvyys*liete*Klann	0,97 0,96				

Maaninka maan varastokalium						
		2012		2013		
		0-25 cm	25-50 cm	0-25 cm	25-50 cm	
K-lann. Taso	0	3039	2980	2861	2623	
	50	3123	2949	2725	2514	
	100	3145	2944	2789	2638	
	150	3139	2956	2756	2663	
	200	3138	2871	2846	2725	
	SEM	95,3 83,8				
Liete	ei lietettä	3206	3002	2713	2539	
	liete	3027	2878	2879	2726	
	SEM	89,0 91,4				
Yhdysvaikutus	ei lietettä	0	3190	3133	2803	2498
		50	3165	3093	2618	2420
		100	3343	3060	2683	2518
		150	3190	2943	2725	2560
		200	3143	2783	2735	2700
		SEM	2888	2828	2920	2748
	liete	0	3080	2805	2833	2608
		50	2948	2828	2895	2758
		100	3088	2970	2788	2765
		150	3133	2960	2958	2750
		200	SEM 131,2 114,4			
		SEM	0,21	0,18		
P-arvot	Klann	0,95 0,11				
	liete*Klann	0,037 0,91				
	syvyys	0,062 0,043				
	syvyys*liete	0,60 0,75				
	syvyys*Klann	0,79 0,60				
	syvyys*liete*Klann	0,75 0,53				

LIITE 6

Mikkeli maan viljavuus kalsium						
		2012		2013		
		0-25 cm	25-50 cm	0-25 cm	25-50 cm	
K-lann. Taso	0	1031	551	1103	644	
	50	1040	601	1095	659	
	100	1044	570	1095	656	
	150	1048	670	1100	718	
	200	1060	676	1101	745	
SEM		73,6		72,6		
Liete	ei lietettä	1048	655	1096	718	
	liete	1041	573	1102	651	
	SEM	84,7		85,7		
Yhdysvaikutus	ei lietettä	0	1025	658	1075	715
		50	1075	655	1125	728
		100	1053	615	1105	705
		150	1023	655	1098	695
		200	1065	693	1075	745
	liete	0	1038	445	1130	573
		50	1005	548	1065	590
		100	1035	525	1085	608
		150	1073	685	1103	740
		200	1055	660	1128	745
SEM		96,3		96,6		
P-arvot	liete	0,68		0,79		
	Klann	0,23		0,60		
	liete*Klann	0,38		0,43		
	syvyys	0,002		0,002		
	syvyys*liete	0,091		0,078		
	syvyys*Klann	0,42		0,46		
	syvyys*liete*Klann	0,54		0,48		

Ruukki maan viljavuus kalsium						
		2012		2013		
		0-25 cm	25-50 cm	0-25 cm	25-50 cm	
K-lann. Taso	0	1525	628	1538	680	
	50	1475	700	1500	750	
	100	1488	636	1463	586	
	150	1438	609	1488	679	
	200	1475	581	1525	649	
SEM		42,9		44,7		
Liete	ei lietettä	1460	600	1505	658	
	liete	1500	662	1500	680	
	SEM	35,4		36,9		
Yhdysvaikutus	ei lietettä	0	1500	588	1550	678
		50	1475	673	1475	740
		100	1475	600	1475	525
		150	1425	533	1525	693
		200	1425	605	1500	653
	liete	0	1550	668	1525	683
		50	1475	728	1525	760
		100	1500	673	1450	648
		150	1450	685	1450	665
		200	1525	558	1550	645
SEM		55,8		57,2		
P-arvot	liete	0,19		0,79		
	Klann	0,27		0,15		
	liete*Klann	0,88		0,72		
	syvyys	<0,001		<0,001		
	syvyys*liete	0,60		0,46		
	syvyys*Klann	0,37		0,16		
	syvyys*liete*Klann	0,36		0,45		

Maaninka maan viljavuus kalsium						
		2012		2013		
		0-25 cm	25-50 cm	0-25 cm	25-50 cm	
K-lann. Taso	0	1850	1145	1800	1186	
	50	1863	1174	1888	1146	
	100	1813	1089	1775	1085	
	150	1900	1105	1813	1108	
	200	1863	1135	1825	1125	
SEM		100,7		102,9		
Liete	ei lietettä	1815	1101	1795	1109	
	liete	1900	1158	1845	1152	
	SEM	121,9		124,1		
Yhdysvaikutus	ei lietettä	0	1800	1103	1725	1178
		50	1875	1178	1900	1225
		100	1775	1065	1750	1050
		150	1800	1075	1800	1035
		200	1825	1085	1800	1055
	liete	0	1900	1188	1875	1195
		50	1850	1170	1875	1068
		100	1850	1113	1800	1120
		150	2000	1135	1825	1180
		200	1900	1185	1850	1195
SEM		135,8		139,2		
P-arvot	liete	0,67		0,79		
	Klann	0,82		0,71		
	liete*Klann	0,78		0,57		
	syvyys	<0,001		<0,001		
	syvyys*liete	0,51		0,86		
	syvyys*Klann	0,57		0,34		
	syvyys*liete*Klann	0,74		0,13		

LIITE 7

Mikkeli maan viljavuus magnesium						
		2012		2013		
		0-25 cm	25-50 cm	0-25 cm	25-50 cm	
K-lann. Taso	0	122	89	118	93	
	50	124	99	118	97	
	100	120	99	119	100	
	150	126	117	123	111	
	200	124	118	118	118	
SEM		13,5		12,2		
Liete	ei lietettä	124	105	116	104	
	liete	123	103	123	103	
	SEM	15,3		14,1		
Yhdysvaikutus	ei lietettä	0	123	102	112	104
		50	128	99	120	102
		100	120	99	115	102
		150	125	112	117	102
		200	125	115	117	110
	liete	0	122	76	125	82
		50	120	100	117	92
		100	120	99	123	97
		150	128	123	130	121
		200	124	121	120	125
SEM		17,3		16,0		
P-arvot	liete	0,93		0,87		
	Klann	0,061		0,22		
	liete*Klann	0,57		0,40		
	syvyys	0,19		0,17		
	syvyys*liete	0,95		0,30		
	syvyys*Klann	0,23		0,23		
	syvyys*liete*Klann	0,62		0,28		

Ruukki maan viljavuus magnesium						
		2012		2013		
		0-25 cm	25-50 cm	0-25 cm	25-50 cm	
K-lann. Taso	0	145	83	139	88	
	50	143	91	140	100	
	100	143	88	130	82	
	150	135	81	129	87	
	200	138	75	128	84	
SEM		6,3		5,5		
Liete	ei lietettä	135	79	127	85	
	liete	146	88	140	91	
	SEM	5,5		5,3		
Yhdysvaikutus	ei lietettä	0	143	79	133	90
		50	140	86	135	97
		100	138	84	128	72
		150	128	70	120	84
		200	128	77	118	85
	liete	0	148	87	145	87
		50	145	97	145	102
		100	148	91	133	92
		150	143	92	138	91
		200	148	73	138	83
SEM		8,0		7,5		
P-arvot	liete	0,14		0,20		
	Klann	0,23		0,026		
	liete*Klann	0,80		0,90		
	syvyys	<0,001		<0,001		
	syvyys*liete	0,66		0,13		
	syvyys*Klann	0,44		0,61		
	syvyys*liete*Klann	0,20		0,17		

Maaninka maan viljavuus magnesium						
		2012		2013		
		0-25 cm	25-50 cm	0-25 cm	25-50 cm	
K-lann. Taso	0	166	163	164	164	
	50	168	171	168	160	
	100	165	146	158	140	
	150	170	170	160	158	
	200	158	151	159	145	
SEM		26,6		25,4		
Liete	ei lietettä	165	162	160	154	
	liete	166	158	164	153	
	SEM	32,6		31,5		
Yhdysvaikutus	ei lietettä	0	165	160	158	162
		50	175	183	170	177
		100	165	150	160	142
		150	168	172	158	153
		200	150	145	153	135
	liete	0	168	165	170	166
		50	160	160	165	144
		100	165	142	155	138
		150	173	167	163	163
		200	165	157	165	154
SEM		35,9		34,6		
P-arvot	liete	0,98		0,97		
	Klann	0,58		0,60		
	liete*Klann	0,76		0,63		
	syvyys	0,79		0,63		
	syvyys*liete	0,72		0,72		
	syvyys*Klann	0,89		0,91		
	syvyys*liete*Klann	1,00		0,93		

LIITE 8

Mikkeli kuiva-aine sato (kg ka/ha)							
		2012			2013		
		Niitto 1	Niitto 2	Niitto 1	Niitto 2	Niitto 3	
K-lann. Taso	0	5994	4310	5217	3232	2886	
	50	5639	4197	5405	3131	2959	
	100	5504	4396	5406	3177	2964	
	150	5600	4141	5680	3018	2893	
	200	5620	4384	5410	3113	2789	
SEM		192,3	123,4	150,2	120,1	71,1	
P-arvo		0,28	0,39	0,089	0,35	0,43	
Liete	ei lietettä	5713	4296	5384	3644	2592	
	liete	5630	4275	5463	2725	3205	
	SEM	154,8	107,3	153,1	139,9	45,0	
P-arvo		0,67	0,90	0,73	0,025	<0,001	
Yhdysvaikutus	ei lietettä	0	6189	4351	5300	3408	2545
		50	5664	4173	5280	3495	2596
		100	5484	4253	5111	3773	2614
		150	5393	4216	5740	3429	2690
		200	5834	4485	5490	3613	2516
	liete	0	5800	4269	5134	3056	3228
		50	5614	4220	5529	2767	3323
		100	5524	4539	5701	2582	3313
		150	5808	4066	5620	2606	3096
		200	5407	4282	5329	2612	3062
SEM		255,8	174,6	222,8	168,4	100,6	
P-arvo		0,36	0,53	0,098	0,007	0,48	

Ruukki kuiva-aine sato (kg ka/ha)						
		2012			2013	
		Niitto 1	Niitto 2	Niitto 3	Niitto 1	Niitto 2
K-lann. Taso	0	5429	4667	3392	5135	4523
	50	5448	4667	3432	5133	4774
	100	5441	4649	3334	4973	4591
	150	5359	4625	3419	5000	4648
	200	5369	4606	3421	5139	4801
SEM		142,7	89,2	50,3	105,7	109,2
P-arvo		0,93	0,94	0,46	0,49	0,42
Liete	ei lietettä	5438	4966	3459	5094	4855
	liete	5381	4330	3340	5058	4400
	SEM	151,3	100,5	49,2	80,8	100,7
P-arvo		0,79				

LIITE 9

Mikkeli D-arvo (g kg/ka)						
		2012		2013		
		Niitto 1	Niitto 2	Niitto 1	Niitto 2	Niitto 3
K-lann. Taso	0	659 ^{bcd}	670 ^d	660 ^{abcd}	693 ^{abcd}	720 ^{cd}
	50	649 ^{cd}	663	652 ^{bcd}	674	709
	100	638	664	640 ^d	668	709
	150	635	660	632	662	703
	200	632	659	633	662	705
	SEM	3,3	3,4	3,1	4,9	4,2
	P-arvo	<0.001	0,040	<0.001	<0.001	0,021
Liete	ei lietettä	5713	658	644	671	711
	liete	5630	668	643	673	707
	SEM	3,2	2,9	2,8	4,1	3,7
	P-arvo	0,80	0,055	0,72	0,62	0,50
Yhdysvaikutus	0	659	668	663	698	721
	50	652	660	655	675	711
	100	640	663	641	669	710
	150	635	648	628	655	711
	200	631	650	631	656	703
	0	659	673	657	687	721
	50	645	666	649	673	708
	100	637	665	638	668	708
	150	636	671	635	669	694
	200	634	667	636	668	707
	SEM	4,7	4,5	3,5	6,3	5,9
	P-arvo	0,69	0,041	0,026	0,14	0,35

Ruukki D-arvo (g kg/ka)							
		2012		2013			
		Niitto 1	Niitto 2	Niitto 3	Niitto 1	Niitto 2	Niitto 3
K-lann. Taso	0	719 ^{bcd}	707 ^{abcd}	721 ^{abcd}	693 ^d	707 ^{bcd}	703 ^{bcd}
	50	710 ^{cd}	697 ^{cd}	709 ^d	687	701 ^{cd}	696 ^{bcd}
	100	704	692	707	684	690	684
	150	700	687	705	682	685	681
	200	697	687	701	674	683	682
	SEM	3,2	2,2	2,9	4,1	4,0	2,5
	P-arvo	<0.001	<0.001	<0.001	0,020	<0.001	<0.001
Liete	ei lietettä	705	696	711	687	695	692
	liete	707	692	707	681	690	687
	SEM	2,9	1,8	2,5	2,5	3,8	2,4
	P-arvo	0,47	0,27	0,028	0,13	0,26	0,18
Yhdysvaikutus	0	719	714	726	701	711	710
	50	710	700	711	685	703	701
	100	702	691	710	685	692	687
	150	698	688	709	690	687	683
	200	695	685	698	673	685	679
	0	718	700	716	685	703	696
	50	710	693	708	689	699	691
	100	707	693	705	683	687	682
	150	702	686	700	675	683	680
	200	700	690	705	675	680	686
	SEM	4,0	3,0	3,4	6,3	5,0	3,6
	P-arvo	0,83	0,018	0,019	0,22	0,99	0,021

Maaninka D-arvo (g kg/ka)						
		2012		2013		
		Niitto 1	Niitto 2	Niitto 1	Niitto 2	Niitto 3
K-lann. Taso	0	709	676 ^{bcd}	658 ^{abcd}	726 ^{bcd}	696 ^{abcd}
	50	701	671 ^{cd}	642 ^d	709 ^{bcd}	686 ^{bcd}
	100	700	664	638	699 ^d	673
	150	703	657	636	693	672
	200	707	655	626	690	669
	SEM	2,7	3,5	3,1	2,2	2,3
	P-arvo	0,090	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Liete	ei lietettä	708	661	643	706	681
	liete	700	668	637	700	677
	SEM	1,7	3,7	2,2	2,2	1,6
	P-arvo	0,005	0,24	0,11	0,096	0,038
Yhdysvaikutus	0	715	674	662	733	698
	50	701	667	645	712	688
	100	707	661	642	701	676
	150	705	652	640	694	672
	200	710	652	625	692	673
	0	702	677	654	718	697
	50	701	675	638	706	683
	100	693	667	633	696	669
	150	701	662	633	692	672
	200	705	659	627	689	666
	SEM	3,7	4,9	4,3	3,1	3,1
	P-arvo	0,29	0,85	0,62	0,10	0,75

LIITE 10

Mikkeli raakavalkuainen (g kg/ka)						
		2012		2013		
		Niitto 1	Niitto 2	Niitto 1	Niitto 2	Niitto 3
K-lann. Taso	0	113	98 ^d	125	140	115
	50	115	93	128	139	111
	100	122	89	123	147	111
	150	124	92	124	141	114
	200	123	88	128	129	111
	SEM	4,7	3,6	2,5	4,9	2,3
	P-arvo	0,16	0,048	0,58	0,10	0,32
Liete	ei lietettä	118	101	124	141	114
	liete	121	82	127	138	110
	SEM	3,7	3,0	1,7	3,7	2,3
	P-arvo	0,43	<0.001	0,25	0,49	0,22
Yhdysvaikutus	0	112	109	123	148	118
	50	109	100	124	135	114
	100	119	96	121	144	113
	150	129	103	125	150	114
	200	121	99	128	127	114
	0	115	88	127	132	113
	50	120	85	132	142	108
	100	124	82	126	150	109
	150	120	81	124	133	114
	200	126	77	128	131	107
	SEM	6,1	4,4	3,5	6,6	3,3
	P-arvo	0,46	0,61	0,69	0,13	0,73

Ruukki raakavalkuainen (g kg/ka)							
		2012		2013			
		Niitto 1	Niitto 2	Niitto 3	Niitto 1	Niitto 2	Niitto 3
K-lann. Taso	0	144	121	123	147	132	135
	50	147	121	126	157	129	134
	100	143	117	123	153	130	137
	150	146	117	122	156	134	135
	200	142	118	118	152	131	131
	SEM	3,7	2,3	3,0	2,8	2,9	1,5
	P-arvo	0,43	0,28	0,37	0,048	0,67	0,15
Liete	ei lietettä	146	130	127	155	142	139
	liete	143	108	117	150	121	131
	SEM	3,4	2,4	2,3	1,9	2,5	1,1
	P-arvo	0,21	<0.001	0,046	0,031	0,005	0,002
Yhdysvaikutus	0	148	135	129	151	143	141
	50	145	131	132	159	142	137
	100	145	129	129	156	140	144
	150	150	126	125	159	144	138
	200	144	131	122	153	141	133
	0	140	107	116	142	122	130
	50	149	112	120	155	117	131
	100	142	106	118	150	121	130
	150	143	108	120	154	123	132
	200	141	106	114	151	122	130
	SEM	4,2	3,3	4,2	4,2	3,8	2,2
	P-arvo	0,31	0,32	0,82	0,91	0,92	0,10

Maaninka raakavalkuainen (g kg/ka)						
		2012		2013		
		Niitto 1	Niitto 2	Niitto 1	Niitto 2	Niitto 3
K-lann. Taso	0	140 ^d	100	121	156 ^c	118
	50	135	98	118	153	116
	100	138	98	117	151	115
	150	134	93	120	147	112
	200	130	93	115	151	112
	SEM	4,3	2,1	1,9	4,0	2,0
	P-arvo	0,030	0,031	0,11	0,041	0,060
Liete	ei lietettä	137	106	116	157	116
	liete	134	87	120	146	113
	SEM	5,3	1,9	1,9	5,1	1,6
	P-arvo	0,63	<0.001	0,26	0,19	0,14
Yhdysvaikutus	0	144	109	120	162	122
	50	134	108	117	159	117
	100	143	109	116	157	118
	150	135	101	118	151	114
	200	132	104	110	156	111
	0	137	91	122	150	113
	50	136	87	118	148	115
	100	134	86	118	145	112
	150	133	85	121	143	110
	200	128	83	120	146	113
	SEM	6,0	2,9	2,7	5,7	2,6
	P-arvo	0,52	0,62	0,22	0,93	0,23

LIITE 11

Mikkeli K-tase (kg/ha)						
		2012		2013		
		Niitto 1	Niitto 2	Niitto 1	Niitto 2	Niitto 3
K-lann. Taso	0	-126,1	-42,5	-89,7	3,3	-56,7
	50	-114,3	-16,9	-89,2	16,5	-64,6
	100	-101,3	9,1	-80,0	34,9	-69,7
	150	-85,8	42,2	-70,4	54,9	-74,1
	200	-66,3	73,2	-45,0	76,1	-73,0
	SEM	3,24	11,03	4,65	4,99	2,62
	P-arvo	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Liete	ei lietettä	-97,0	-23,0	-72,5	-37,7	-52,5
	liete	-100,5	49,0	-81,2	112,0	-82,8
	SEM	2,79	12,30	4,53	5,31	2,76
	P-arvo	0,38	0,006	0,25	<0.001	<0.001
Yhdysvaikutus	0	-122,1	-68,3	-90,3	-57,2	-38,3
	50	-110,4	-45,7	-79,6	-53,5	-46,7
	100	-99,2	-24,7	-70,8	-39,9	-51,9
	150	-85,6	-1,4	-74,0	-26,2	-61,7
	200	-67,8	25,3	-47,6	-11,7	-64,2
	0	-130,2	-16,8	-109,2	63,9	-75,1
	50	-118,2	11,9	-98,7	86,5	-82,6
	100	-103,3	42,8	-89,1	109,	

LIITE 12

Mikkeli K-pitoisuus (g kg/ka)							
	2012		2013				
	Niitto 1	Niitto 2	Niitto 1	Niitto 2	Niitto 3		
K-lann. Taso	0	22,5 ^{abcd}	19,0 ^{abcd}	18,5 ^{abcd}	21,5 ^{abcd}	18,3 ^{abcd}	
	50	24,8 ^{abcd}	22,3 ^{cd}	21,1 ^{abcd}	26,1 ^{cd}	21,4 ^{abcd}	
	100	27,6 ^d	23,9 ^{cd}	23,3 ^{cd}	28,2	23,2 ^{cd}	
	150	28,8	26,4	25,6	30,6	25,5	
	200	30,6	26,4	26,8	30,7	26,1	
	SEM P-arvo	0,66 <0,001	0,55 <0,001	0,39 <0,001	0,91 <0,001	0,74 <0,001	
Liete	ei lietettä	26,8	22,8	22,4	24,7	20,3	
	liete	26,9	24,4	23,7	30,2	25,5	
SEM P-arvo	0,66 0,99	0,38 0,002	0,26 0,011	0,71 0,006	0,88 0,023		
	Yhdysvaikutus	0	22,5	15,7	17,1	16,6	15,0
50		24,0	20,0	19,9	22,5	18,0	
100		27,2	23,4	22,2	23,9	19,9	
150		29,8	27,1	25,9	29,6	23,0	
200		30,7	27,9	26,8	31,0	25,4	
ei lietettä		0	22,6	22,2	19,9	26,3	21,7
liete		50	25,5	24,6	22,4	29,9	24,8
150		28,0	24,3	24,4	32,5	26,5	
200		27,8	25,8	25,2	31,7	27,9	
SEM P-arvo		0,94 0,21	0,76 <0,001	0,55 0,007	1,20 <0,001	1,08 <0,001	

Ruukki K-pitoisuus (g kg/ka)							
	2012		2013				
	Niitto 1	Niitto 2	Niitto 3	Niitto 1	Niitto 2	Niitto 3	
K-lann. Taso	0	29,6 ^{abcd}	30,0 ^{abcd}	33,5 ^{abcd}	24,4 ^{abcd}	27,0 ^{abcd}	
	50	31,2 ^{cd}	32,5 ^{cd}	35,9	28,4 ^{abcd}	29,4 ^{abcd}	
	100	32,3 ^d	33,2 ^d	36,6	31,4 ^{cd}	32,6 ^d	
	150	33,6	34,6	38,2	33,9 ^d	34,8	
	200	35,0	35,9	38,1	36,7	35,8	
	SEM P-arvo	0,70 <0,001	1,41 <0,001	0,73 <0,001	0,55 <0,001	0,65 <0,001	
Liete	ei lietettä	32,5	33,7	36,1	30,2	30,5	
	liete	32,2	32,8	36,9	31,8	33,3	
SEM P-arvo	0,61 0,42	1,44 0,32	0,57 0,28	0,33 0,002	0,47 <0,001		
	Yhdysvaikutus	0	29,4	29,7	32,5	22,7	23,5
50		30,7	32,2	35,6	27,5	28,3	
100		32,8	33,6	36,7	30,6	30,4	
150		34,3	35,3	37,4	33,3	34,5	
200		35,3	37,9	38,4	36,6	35,7	
ei lietettä		0	29,7	30,3	34,6	26,2	30,5
liete		50	31,7	32,9	36,3	29,3	30,5
100		31,8	32,8	36,6	32,2	34,7	
150		33,0	33,9	39,0	34,5	35,0	
SEM P-arvo		0,82 0,32	1,50 <0,001	0,95 0,51	0,83 0,21	0,88 0,002	

Maaninka K-pitoisuus (g kg/ka)							
	2012		2013				
	Niitto 1	Niitto 2	Niitto 1	Niitto 2	Niitto 3		
K-lann. Taso	0	27,8 ^{abcd}	25,8 ^{abcd}	22,7 ^{abcd}	26,5 ^{abcd}	24,7 ^{abcd}	
	50	29,1 ^{cd}	26,8 ^{abcd}	24,7 ^{cd}	28,4 ^{abcd}	26,1 ^{abcd}	
	100	30,2 ^d	28,4	25,6 ^{cd}	29,4 ^{cd}	27,8	
	150	30,9	28,8	26,3	30,3	27,8	
	200	31,6	29,2	27,3	31,1	28,8	
	SEM P-arvo	0,35 <0,001	0,45 <0,001	0,53 <0,001	0,29 <0,001	0,38 <0,001	
Liete	ei lietettä	30,1	28,2	24,8	28,9	26,1	
	liete	29,7	27,4	25,9	29,4	28,0	
SEM P-arvo	0,29 0,41	0,44 0,23	0,61 0,25	0,32 0,35	0,30 <0,001		
	Yhdysvaikutus	0	28,0	25,1	21,6	25,7	23,5
50		29,2	27,6	24,9	28,3	25,1	
100		30,3	29,3	25,1	29,2	26,8	
150		31,4	29,4	25,6	30,3	27,1	
200		31,5	29,7	26,7	31,0	27,9	
ei lietettä		0	27,6	26,4	23,8	27,2	25,9
liete		50	28,9	26,0	24,5	28,6	27,2
100		30,0	27,5	26,1	29,6	28,8	
150		30,5	28,2	27,0	30,3	28,5	
SEM P-arvo		0,52 0,70	0,60 0,022	0,75 0,14	0,41 0,10	0,48 0,79	

LIITE 13

Mikkeli KN-suhde							
	2012		2013				
	Niitto 1	Niitto 2	Niitto 1	Niitto 2	Niitto 3		
K-lann. Taso	0	1,25 ^{abcd}	1,25 ^{abcd}	0,93 ^{abcd}	0,98 ^{abcd}	1,05 ^{abcd}	
	50	1,37 ^{cd}	1,53 ^{abcd}	1,03 ^{abcd}	1,18 ^{cd}	1,22 ^{cd}	
	100	1,43	1,71 ^d	1,19 ^{cd}	1,20 ^{cd}	1,31 ^d	
	150	1,45	1,83	1,29	1,37	1,40	
	200	1,56	1,91	1,31	1,50	1,48	
	SEM P-arvo	0,05 <0,001	0,051 <0,001	0,02 <0,001	0,05 0,04	0,04 <0,001	
Liete	ei lietettä	1,43	1,42	1,13	1,12	1,11	
	liete	1,39	1,87	1,17	1,38	1,47	
SEM P-arvo	0,0 0,42	0,041 0,001	0,02 0,12	0,05 0,014	0,04 0,006		
	Yhdysvaikutus	0	1,27	0,90	0,87	0,72	0,80
50		1,40	1,25	1,01	1,04	0,99	
100		1,43	1,53	1,16	1,04	1,10	
150		1,44	1,65	1,30	1,24	1,27	
200		1,60	1,78	1,31	1,54	1,39	
ei lietettä		0	1,23	1,60	0,99	1,25	1,30
liete		50	1,33	1,81	1,06	1,32	1,44
100		1,43	1,89	1,22	1,36	1,52	
150		1,45	2,00	1,28	1,50	1,54	
SEM P-arvo		0,1 0,92	0,1 0,007	0,03 0,26	0,07 <0,001	0,05 0,005	

Ruukki KN-suhde							
	2012		2013				
	Niitto 1	Niitto 2	Niitto 3	Niitto 1	Niitto 2	Niitto 3	
K-lann. Taso	0	1,29 ^{abcd}	1,58 ^{abcd}	1,72 ^{abcd}	1,05 ^{abcd}	1,30 ^{abcd}	
	50	1,33 ^{abcd}	1,69 ^{abcd}	1,73 ^{abcd}	1,13 ^{abcd}	1,44 ^{cd}	
	100	1,41 ^d	1,78 ^d	1,86 ^d	1,29 ^d	1,58 ^d	
	150	1,44 ^d	1,86	1,96	1,36 ^d	1,64	
	200	1,54	1,91	2,02	1,51	1,72	
	SEM P-arvo	0,04 <0,001	0,06 <0,001	0,03 <0,001	0,03 <0,001	0,03 <0,001	
Liete	ei lietettä	1,39	1,62	1,78	1,21	1,35	
	liete	1,41	1,90	1,97	1,32	1,73	
SEM P-arvo	0,04 0,53	0,05 <0,001	0,02 <0,001	0,02 0,021	0,03 0,002		
	Yhdysvaikutus	0	1,25	1,38	1,58	0,94	1,03
50		1,33	1,53	1,69	1,08	1,25	
100		1,42	1,64	1,78	1,23	1,36	
150		1,43	1,75	1,88	1,31	1,50	
200		1,54	1,82	1,97	1,50	1,58	
ei lietettä		0	1,33	1,77	1,86	1,16	1,56
liete		50	1,33	1,84	1,90	1,18	1,63
100		1,40	1,93	1,94	1,35	1,80	
150		1,45	1,97	2,04	1,40	1,79	
SEM P-arvo		0,05 0,38	0,06 0,018	0,04 0,24	0,05 0,19	0,04 0,016	

Maaninka KN-suhde							
	2012		2013				
	Niitto 1	Niitto 2	Niitto 1	Niitto 2	Niitto 3		
K-lann. Taso	0	1,26 ^{abcd}	1,63 ^{abcd}	1,17 ^{abcd}	1,07 ^{abcd}	1,32 ^{abcd}	
	50	1,35 ^{cd}	1,74 ^{cd}	1,32 ^d	1,17 ^{cd}	1,41 ^{abcd}	
	100	1,37 ^d	1,84	1,37 ^d	1,23 ^d	1,51 ^d	
	150	1,46	1,95	1,38 ^d	1,30	1,56	
	200	1,53	1,98	1,48	1,30	1,61	
	SEM P-arvo	0,04 <0,001	0,05 <0,001	0,03 <0,001	0,04 <0,001	0,02 <0,001	
Liete	ei lietettä	1,38	1,67	1,34	1,16	1,41	
	liete	1,40	1,98	1,35	1,26	1,56	
SEM P-arvo	0,05 0,81	0,04 0,002	0,04 0,73	0,05 0,22	0,01 <0,001		
	Yhdysvaikutus	0	1,25	1,45	1,13	1,00	1,20
50		1,36	1,60	1,34	1,12	1,34	
100		1,34	1,69	1,35	1,17	1,42	
150		1,46	1,82	1,35	1,27	1,49	
200		1,51	1,79	1,51	1,25	1,58	
ei lietettä		0	1,27	1,81	1,22	1,14	1,44
liete		50	1,33	1,88	1,30	1,21	1,47
100		1,40	1,99	1,39	1,28	1,60	
150		1,45	2,08	1,40	1,33	1,62	
SEM P-arvo		0,06 0,66	0,06 0,80	0,05 0,24	0,06 0,55	0,02 0,018	

LIITE 14

Mikkeli Ekvivalenttisuhde							
	2012		2013				
	Niitto 1	Niitto 2	Niitto 1	Niitto 2	Niitto 3		
K-lann. Taso	0	2,4 ^{abcd}	1,9 ^{abcd}	1,6 ^{abcd}	1,8 ^{abcd}	1,6 ^{abcd}	
	50	2,7 ^{abcd}	2,4 ^{abcd}	2,0 ^{abcd}	2,2 ^{cd}	1,9 ^{cd}	
	100	3,0 ^d	2,8 ^d	2,3 ^{cd}	2,4 ^{cd}	2,1 ^{cd}	
	150	3,0 ^d	3,1	2,6	2,9	2,4	
	200	3,4	3,3	2,8	3,0	2,6	
	SEM P-arvo	0,1 <0,001	0,09 <0,001	0,07 <0,001	0,12 <0,001	0,08 <0,001	
Liete	ei lietettä	2,9	2,4	2,1	2,0	1,6	
	liete	2,9	3,0	2,4	2,9	2,6	
SEM P-arvo	0,1 0,43	0,07 0,008	0,06 0,010	0,11 0,005	0,07 <0,001		
	Yhdysvaikutus	0	2,4	1,4	1,4	1,1	1,1
50		2,6	2,0	1,7	1,7	1,3	
100		3,0	2,6	2,1	1,8	1,6	
150		3,0	2,9	2,6	2,6	2,0	
200		3,4	3,2	2,6	2,9	2,3	
ei lietettä		0	2,4	2,4	1,8	2,4	2,1
liete		50	2,8	2,8	2,2	2,7	2,4
100		3,0	2,9	2,5	3,0	2,7	
150		3,1	3,3	2,6	3,1	2,8	
SEM P-arvo		0,1 0,56	0,12 0,002	0,10 0,12	0,15 <0,001	0,11 0,034	

Ruukki Ekvivalenttisuhde						
	2012		2013			
	Niitto 1	Niitto 2	Niitto 3	Niitto 1	Niitto 2	Niitto 3
K-lann. Taso	0	2,8 ^{abcd}	2,3 ^{abcd}	2,3 ^{abcd}	1,7 ^{abcd}	1,6 ^{abcd}
	50	3,0 ^d	2,5 ^{cd}	2,5 ^{cd}	2,0 ^{abcd}	1,9 ^{abcd}
	100	3,2	2,6 ^{cd}	2,6 ^{cd}	2,2	

LIITE 15

Mikkeli DCAD							
		2012		2013			
		Niitto 1	Niitto 2	Niitto 1	Niitto 2	Niitto 3	
K-luonn. Taso	0	384 ^{abcd}	284 ^{abcd}	208 ^{bcd}	196 ^{abcd}	208 ^{bcd}	
	50	323 ^{bcd}	227	170 ^{cd}	134	184	
	100	266 ^d	202	139 ^d	116	157	
	150	228	198	114 ^d	120	154	
	200	195	207	69	111	142	
	SEM	14,3	12,3	11,2	.	18,3	
P-arvo	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.006		
Liete	ei liettettä	277	208	122	105	134	
	liete	281	240	158	166	204	
	SEM	10,7	14,8	8,8	.	16,3	
P-arvo	0,75	0,18	0,028	0,035	0,018		
Yhdysvaikutus	0	391	245	180	156	128	
	50	316	197	148	97	145	
	100	257	192	125	83	135	
	150	213	185	83	113	140	
	200	207	220	75	84	124	
	ei liettettä	0	378	323	237	241	289
	liete	50	330	257	192	178	223
	100	275	212	153	153	179	
	150	242	211	145	127	168	
	200	182	195	62	141	161	
SEM	19,6	18,2	16,9	.	22,5		
P-arvo	0,56	0,003	0,065	0,29	0,005		

Ruukki DCAD								
		2012		2013				
		Niitto 1	Niitto 2	Niitto 3	Niitto 1	Niitto 2	Niitto 3	
K-luonn. Taso	0	521 ^{abcd}	468 ^{abcd}	612 ^{bcd}	401 ^{bcd}	392 ^{abcd}	423 ^{bcd}	
	50	461 ^{abcd}	363 ^{bcd}	596 ^{bcd}	377 ^{bcd}	311 ^{bcd}	414 ^{bcd}	
	100	387 ^{cd}	254 ^{cd}	544 ^{cd}	313 ^{cd}	225 ^d	346 ^{cd}	
	150	336	183 ^d	477 ^d	255	199	299 ^d	
	200	313	153	406	237	159	233	
	SEM	14,2	26,9	17,7	17,9	13,9	16,7	
P-arvo	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001		
Liete	ei liettettä	408	334	554	313	274	338	
	liete	399	235	501	319	240	348	
	SEM	14,1	26,7	16,8	15,8	8,8	15,7	
P-arvo	0,42	0,002	0,050	0,70	0,010	0,60		
Yhdysvaikutus	0	526	546	617	379	388	378	
	50	467	437	625	368	341	395	
	100	399	311	587	309	238	346	
	150	334	206	512	255	225	307	
	200	314	168	431	256	179	266	
	ei liettettä	0	516	390	607	422	395	468
	liete	50	456	289	571	386	281	434
	100	374	197	501	317	213	347	
	150	337	159	443	254	173	290	
	200	313	137	382	218	139	199	
SEM	15,8	28,0	22,1	23,4	19,7	20,8		
P-arvo	0,45	<0.001	0,22	0,22	0,49	<0.001		

Maaninka DCAD							
		2012		2013			
		Niitto 1	Niitto 2	Niitto 1	Niitto 2	Niitto 3	
K-luonn. Taso	0	535 ^{abcd}	470 ^{abcd}	427 ^{abcd}	390 ^{abcd}	422 ^{bcd}	
	50	496 ^{abcd}	429 ^{abcd}	385 ^{bcd}	259 ^{bcd}	371 ^{bcd}	
	100	430 ^{cd}	360 ^{cd}	320 ^d	177 ^{cd}	286 ^{cd}	
	150	366 ^d	281	282 ^d	128	204 ^d	
	200	301	267	166	129	147	
	SEM	13,1	13,3	17,4	9,8	8,7	
P-arvo	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001		
Liete	ei liettettä	432	393	303	246	303	
	liete	420	330	329	187	269	
	SEM	11,5	16,6	15,5	7,7	6,2	
P-arvo	0,091	0,035	0,007	0,007	<0.001		
Yhdysvaikutus	0	542	489	403	450	420	
	50	503	477	372	315	385	
	100	430	413	312	204	328	
	150	372	312	271	129	241	
	200	313	276	156	132	141	
	ei liettettä	0	528	452	451	330	424
	liete	50	495	380	398	203	357
	100	400	308	328	150	243	
	150	360	250	294	126	167	
	200	290	258	175	126	152	
SEM	15,9	18,8	20,1	13,0	11,6		
P-arvo	0,85	<0.001	0,80	<0.001	<0.001		