

Linda Hietala

KALIUMLANNOITUSTASON NOSTAMINEN MATALAN RESERVIKALIUMIN MAILLA JA SEN VAIKUTUKSET NURMIREHUN KIVENNÄISKOOSTUMUK- SEEN

Lypsykarjan ruokinnan näkökulma

KALIUMLANNOITUSTASON NOSTAMINEN MATALAN RESERVIKALIUMIN MAILLA JA SEN VAIKUTUKSET NURMIREHUN KIVENNÄISKOOSTUMUK- SEEN

Lypsykarjan ruokinnan näkökulma

Linda Hietala
Opinnäytetyö
Kevät 2022
Maaseutuelinkeinojen tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Maaseutuelinkeinojen tutkinto-ohjelma

Tekijä: Linda Hietala

Opinnäytetyön nimi: Kaliumlannoitustason nostaminen matalan reservikaliumin mailla ja sen vaikutukset nurmirehun kivennäiskoostumukseen – Lypsykarjan ruokinnan näkökulma

Työn ohjaaja: Raija Suomela

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2022

Sivumäärä: 89

Maan reservikalium kuvaa nurmen kaliumin saantia paremmin kuin maan viljavuuskalium, joten nurmien kaliumlannoituksen perusteena tulisi siirtyä käyttämään maan reservikaliumpitoisuuksia. Matalan reservikaliumin mailla kaliumlannoituksen satovaste on merkittävä. Liiallinen kaliumlannoitus heikentää kuitenkin nurmirehun ruokinnallista laatua. Kaliumlannoitus muun muassa nostaa rehun kaliumpitoisuutta, ja liika kalium ruokinnassa altistaa lehmiä esimerkiksi poikimahalvauksille.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa lisätietoa kaliumlannoituksen vaikutuksista nurmen satotason sekä nurmirehun kivennäiskoostumukseen matalan reservikaliumin mailla. Opinnäytetyön tavoitteena oli lisäksi selvittää, mitä kaliumlannoituksen aiheuttamat muutokset nurmirehun kivennäiskoostumuksessa tarkoittavat lypsykarjan ruokinnan kannalta. Lisäksi selvitystyön avulla haluttiin aktivoida viljelijöitä määrittämään nurmilohkojensa reservikaliumpitoisuuksia sekä käyttämään maan reservikaliumpitoisuuksia nurmien kaliumlannoituksen perusteena.

Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Kaliumilla turvemaat tuottamaan -hanke, jonka toteuttivat Oulun Ammattikorkeakoulu yhdessä Helsingin Yliopiston kanssa. Opinnäytetyön tutkimuksen aineisto koostui hankkeessa kasvukaudella 2020 toteutetusta kaliumlannoitustestauksesta. Opinnäytetyössä käsitellään lannoitustestauksen toteuttamista ja tuloksia kahdessa reservikaliumin osalta köyhäksi todetussa kohteessa, joista toinen oli paksaturpeinen lohko ja toinen kivennäismaalohko.

Opinnäytetyön tulokset tukivat pääosin aiempien tutkimuksien tuloksia sadon ja kivennäispitoisuuksien muutosten suhteen, mutta testaukseen liittyvien haasteiden vuoksi saatuja keskiarvotuloksia tulee tarkastella korkeintaan suuntaa antavina. Kivennäismaakokeessa nurmen keskimääräinen satotaso nousi hieman kaliumlannoituksen lisääntyessä. Lisäkaliumlannoitus heikensi keskimääräistä nurmirehun ruokinnallista laatua hieman, sillä se muun muassa nosti nurmen kaliumpitoisuutta sekä ekvivalenttisuhdetta. Erot kivennäispitoisuuksissa olivat kuitenkin erittäin pieniä.

Matalan reservikaliumin mailla on suositeltavaa lannoittaa nurmia maan reservikaliumpitoisuuksiin perustuen, mutta ottaen huomioon satotavoite ja lohkon kokonaisviljavuus. Vaikka kaliumlannoitus muun muassa nostaa nurmen kaliumpitoisuutta, on aiempien tutkimusten mukaan kaliumlannoitustason nostaminen matalan reservikaliumin mailla myös ruokinnan kannalta turvallista. Kivennäismaakokeen tulosten perusteella korostuu kuitenkin tarve seurata rehun lohko- ja niittokohtaisia kaliumpitoisuuksia aktiivisesti. Tulosten perusteella matalan reservikaliumin mailla ensimmäisen vuoden nurmien kaliumlannoitussuositus ei välttämättä ole riittävä, joten aiheetta tulisi tutkia lisää.

Asiasanat: kalium, kaliumlannoitus, kivennäiskoostumus, kivennäisruokinta, lypsykarja, nurmirehu, reservikalium

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Agricultural and Rural Industries

Author: Linda Hietala

Title of thesis: Raising Potassium Fertilization Levels on Low Reserve Potassium Soils and its Effects on the Mineral Composition of Fodder – Dairy cattle feeding perspective

Supervisor: Raija Suomela

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2022

Number of pages: 89

Soil reserve potassium describes potassium intake of grass better than soil cereal potassium, so as basis for potassium fertilization of grass soil reserve potassium should be used. Potassium fertilization has significant yield response, when soil has low reserve potassium. However, excessive potassium fertilization weakens the feeding quality of fodder, because for example it raises the potassium content of grass. Excess potassium for example exposes cows to milk fever.

The objective of the thesis was to bring more information about how potassium fertilization on low reserve potassium soils affects the yield and the mineral composition of grass. The purpose of the thesis was also to find out what the changes in the mineral composition of fodder mean in terms of feeding dairy cattle. The thesis also aimed to activate farmers to determine soil reserve potassium levels and to fertilize grass based on reserve potassium.

Oulu University of Applied Sciences and University of Helsinki implemented "Kaliumilla turvemaan tuottamaan" project, which was the assignment of the thesis. Thesis research data consisted of potassium fertilization testing which was implemented in the project during the growing season of 2020. Thesis research dealt with fertilization testing at two sites. One of the sites was a thick-turf block, and the other was mineral block. Both blocks had low reserve potassium.

The results of the thesis study largely supported previous studies, but results obtained can be viewed at most as indicative due to testing challenges. With mineral soil block, additional potassium fertilization increased the average grassland yield, but slightly reduced the feeding quality of the feed. Additional potassium fertilization for example raised the potassium content of feed and equivalent ratio, but the differences were extremely small.

Fertilization of grass based on land reserve potassium is recommended on low reserve potassium soils. According to previous research, raising the level of potassium fertilization on low reserve potassium soils is also safe in terms of feeding. However, the results of fertilization testing on mineral soil show that it is very important to actively monitor potassium levels in feed. In addition, in fertilization the yield target and the total grain of the block should be taken into account. The study also showed that potassium fertilization recommendation of the first year grass on low reserve potassium soils may not be sufficient, so the topic should be explored further.

Keywords: potassium, potassium fertilization, mineral composition, mineral feeding, dairy cattle, grass, reserve potassium

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	KIVENNÄISTASAPAINO LYPSEYKARJAN RUOKINNASSA.....	9
2.1	Tärkeimpien kivennäisaineiden tarve, tehtävät sekä puutoksesta ja liikasaannista aiheutuvat ongelmat	10
2.2	Kivennäisaineiden yhdysvaikutukset	14
2.3	Kivennäisaineiden keskinäiset suhteet ja niiden merkitykset.....	16
2.4	DCAD-arvo	17
2.5	Ruokinnan kivennäistasapainoon vaikuttaminen	18
3	MAAN RESERVIKALIUMPITOISUUTEEN PERUSTUVA KALIUMLANNOITUS JA SEN VAIKUTUKSET NURMIREHUN KIVENNÄISKOOSTUMUKSEEN.....	21
3.1	Kalium maaperässä ja reservikaliumin määritelmä.....	21
3.2	Pohjois-Pohjanmaan tyypilliset maat ja niiden reservikaliumpitoisuudet	24
3.3	Nurmien kaliumlannoitus perustuen maan reservikaliumpitoisuuteen sekä kaliumlannoituksen optimointi.....	26
3.4	Nurmen kaliuminotto	29
3.5	Kaliumlannoituksen vaikutukset nurmirehun kivennäistasapainoon	30
4	KALIUMLANNOITUSTESTAUKSET TILAKOhteissa.....	36
4.1	Lannoitustestausten toteutus.....	36
4.2	Aineiston käsittely ja analysointi	46
5	TULOKSET	47
5.1	Kasvukauden sää.....	47
5.2	Kaliumlannoituksen vaikutukset nurmen satotasoon ja nurmirehun kivennäiskoostumukseen paksuturpeisella loholla	49
5.3	Kaliumlannoituksen vaikutukset nurmen satotasoon ja nurmirehun kivennäiskoostumukseen kivennäismaaloholla	53
5.4	Maaperän ravinnepitoisuudet ja niiden yhteydet nurmirehun kivennäispitoisuuksiin	61
6	TULOSTEN TARKASTELU	66
6.1	Kaliumlannoituksen vaikutukset paksuturpeisella loholla.....	66
6.2	Kaliumlannoituksen vaikutukset kivennäismaaloholla.....	68
6.3	Maaperän ravinnepitoisuudet ja niiden yhteydet nurmirehun kivennäispitoisuuksiin	74
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	77

8	POHDINTA.....	81
	LÄHTEET.....	83

1 JOHDANTO

Nurmen kaliumlannoitussuositukset perustuvat maan viljavuuskaliumiin (Virkajärvi ym. 2014, 3). Tutkimuksissa on kuitenkin todettu maan viljavuuskaliumin ennustavan nurmen kaliumin saantia heikosti, sillä nurmi voi hyödyntää myös maan reservikaliumvaroja (Saarela ym. 1998, 38). Viljavuuskalium kuvaa maanesteen kaliumia sekä helposti vaihtuvaa kaliumia, kun taas maan reservikalium kuvaa viljavuuskaliumin lisäksi kasveille potentiaalisesti käyttökelpoista vaikeasti vaihtuvaa kaliumia (Kykkänen & Virkajärvi 2014). Riippumatta maan viljavuuskaliumpitoisuudesta saadaan kaliumlannoituksella merkittävä satovaste matalan reservikaliumin mailla (reservikaliumpitoisuus < 500 mg/l). Korkean reservikaliumin mailla (pitoisuus > 600 mg/l) kaliumlannoituksen satovaste on puolestaan heikko. Nurmien kaliumlannoituksen perusteena tulisi siis siirtyä käyttämään maan reservikaliumpitoisuuteen perustuvia kaliumlannoitussuosituksia. (Luke 2014; Virkajärvi ym. 2014, 3.)

Kaliumlannoituksella on merkittävä vaikutus nurmirehun kivennäiskoostumukseen. Kaliumlannoitus muun muassa nostaa nurmirehun kaliumpitoisuutta, sillä nurmi ottaa kaliumia rajoituksetta (Hyrkäs ym. 2014, 107). Nurmirehun kivennäiskoostumuksella on puolestaan tärkeä merkitys lypsykarjan ruokinnassa. Erityisesti nurmirehun kaliumpitoisuuden merkitys on suuri, sillä lehmien kaliumin tarve täyttyy perusrehuilla ilman kivennäistäydennystä, ja tyypillisesti ongelmana on ruokinnan liian suuri kaliumpitoisuus (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 17). Lehmillä liika kaliumin saanti johtaa magnesiumin imeytymisen heikkenemiseen sekä riskiin sairastua poikimahalvaukseen ja utaretulehdukseen (Partanen 2012, 11). Lisäksi kaliumlannoitus vaikuttaa nostavasti nurmen ekvivalenttisuhteeseen sekä DCAD-arvoon eli kationi-anionitasapainoon, mikä heikentää nurmirehun ruokinnallista laatua. Rehun korkea ekvivalenttisuhte altistaa lehmiä laidunhalvaukselle, kun taas suuri DCAD-arvo saattaa johtaa kalsiumaineenvaihdunnan häiriintymiseen ja altistaa lehmiä poikimahalvauksille (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 18–19, 61, 71).

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, miten kaliumlannoitustason nostaminen matalan reservikaliumin mailla vaikuttaa nurmirehun kivennäiskoostumukseen. Koska nurmi päätyy usein lypsykarjan rehuksi, on kaliumlannoituksen vaikutus nurmirehun kivennäiskoostumukseen merkityksellistä erityisesti lypsykarjan ruokinnan kannalta. Tämän takia opinnäytetyön tarkoituksena on myös tarkastella kivennäistasapainon merkitystä lypsykarjan ruokinnassa.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Kaliumilla turvemaat tuottamaan -hanke. Hankkeessa toteutettiin kaliumlannoitustestaus yhteistyötilojen peltolohkoilla, jotka oli todettu reservikaliumin osalta köyhiksi. Lohkot sijaitsivat Pohjois-Pohjanmaalla, missä matalat reservikaliumpitoisuudet ovat yleisiä. Opinnäytetyön tutkimus perustuu hankkeessa kasvukauden 2020 aikana toteutettuun kaliumlannoitustestaukseen, ja opinnäytetyössä käsitellään testauksen toteuttamista ja tuloksia kahdessa kohteessa. Opinnäytetyön tutkimuksen tarkoituksena on selvittää kaliumlannoituksen vaikutuksia nurmen satotasoon sekä nurmirehun kivennäiskoostumukseen matalan reservikaliumin mailla.

Opinnäytetyön tavoitteena on myös aktivoida viljelijöitä määrittämään lohkojensa reservikaliumpitoisuuksia sekä hyödyntämään reservikaliumpitoisuuksia nurmien kaliumlannoituksen optimoinnissa. Tavoitteena on myös jakaa tietoa reservikaliumpitoisuuteen perustuvasta kaliumlannoituksesta, kaliumlannoituksen vaikutuksista nurmirehun kivennäiskoostumukseen erityisesti matalan reservikaliumin mailla sekä kivennäistasapainon merkityksestä lypsykarjan ruokinnassa.

Opinnäytetyön aihe on monella tapaa tärkeä sekä ajankohtainen. Kalium on erittäin merkittävä ravinne nurmenviljelyn kannalta, koska se vaikuttaa huomattavasti nurmen sadonmuodostukseen sekä nurmirehun ruokinnalliseen laatuun (Virkajärvi ym. 2014, 5). Puutteellinen kaliumlannoitus alentaa satoa, kun taas liiallinen lannoitus vaikuttaa nurmirehun ruokinnalliseen laatuun heikentävästi (Yara 2022). Liiallinen lannoitus aiheuttaa myös ylimääräisiä kustannuksia kaliumin osuuden ollessa lannoitekustannuksista muutoinkin huomattava. Kaliumlannoitusmäärät nurmilla ovat suuria ja lisäksi kalium on kallis ravinne. (Virkajärvi ym. 2014, 5.) Lisäksi lannoitteiden hinnat ovat nousseet merkittävästi, joten kaliumlannoituksen optimointi on entistäkin tärkeämpää (Lehtonen 2021). Kaliumlannoituksen optimointi on myös nurmirehun kivennäistasapainon kannalta tärkeää, sillä lypsykarjan ruokinnan kivennäistasapainolla on suora vaikutus eläinterveyteen, mutta lisäksi myös lehmän tuotokseen (Kinnusen Tähti-rehut 2021). Koska tavoiteltu maitotuotos on kasvanut, on lypsykarjan ruokinnan kivennäistasapainosta huolehtiminen vieläkin tärkeämpää kuin aiemmin.

2 KIVENNÄISTASAPAINO LYPSEKARJAN RUOKINNASSA

Kivennäisruokinnan huolellinen suunnittelu ja toteutus on tärkeä osa lypsykarjan ruokintaa. Lypsy-lehmä tarvitsee kivennäis- ja hivenaineita osaksi elimistönsä rakenteita sekä elimistön normaalityöntoihin. (Farmit 2012a; Kinnusen Tähti-rehut 2021.) Kivennäis- ja hivenaineiden riittävästä saannista on tärkeää huolehtia, sillä tietyn kivennäisen puute voi aiheuttaa eläimelle puutossairauksia, esimerkiksi halvauksia, lihasrappeumaa ja hedelmällisyshäiriöitä (Karlström 2020). Lisäksi kivennäisten ylikuokintaa tulee välttää, sillä kivennäisaineiden liikasaanti voi aiheuttaa erilaisia oireita. Esimerkiksi liika kalium altistaa lehmiä muun muassa poikimahalvauksille. (Partanen 2012, 10–11.)

Kivennäisaineiden riittävän saannin lisäksi tulee huolehtia kivennäisaineiden tasapainosta ruokinnassa, sillä kivennäisaineilla on toisiinsa yhdysvaikutuksia. Esimerkiksi liika kaliumin saanti heikentää magnesiumin ja natriumin imeytymistä. (Koskinen 2020, 17.) Ruokinnan kivennäistasapainon tarkastelussa auttavat kivennäisten tasapainosta kertovat suhdeluvut ja arvot, kuten kaliumin ja natriumin suhde, ekvivalenttisuhde sekä DCAD-arvo. Suhdeluvuille ja DCAD-arvolle asetetut tavoitearvot tulee pyrkiä saavuttamaan, sillä esimerkiksi liian korkea ekvivalenttisuhde aiheuttaa laidunhalvauksen riskin (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 19). Kivennäisaineiden riittävästä ja tasapainoisesta saannista on siis tärkeää huolehtia, sillä se vaikuttaa merkittävästi eläinterveyteen. Lisäksi kivennäistasapainolla on suora yhteys lehmän maidontuotantoon, sillä maito on alun perin tarkoitettu vasikalle. Lehmä tuottaa maitoa siis oikealla kivennäiskoostumuksella, mutta määrällisesti vähemmän, jos se kärsii jonkin kivennäisaineen puutteesta. (Kinnusen Tähti-rehut 2021.)

Mitä suurempi osa lehmän ruokinnasta koostuu nurmirehusta, sitä suurempi osuus kivennäisten tarpeesta täyttyy nurmirehulla. Nurmirehun kivennäistasapainon merkitys on siis suuri, vaikka kivennäisruokintaa täydennetäänkin teollisilla kivennäisrehuilla. (Karlström 2020.) Esimerkiksi kaliumin tarve lehmillä täyttyy perusrehuilla, ja ongelmana on tavallisesti liian suuri kaliumin saanti johtuen nurmirehun korkeasta kaliumpitoisuudesta (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 17). Nurmirehun kivennäiskoostumukseen voidaan kuitenkin vaikuttaa viljelytoimenpiteillä (Karlström 2020). Lisäksi ruokinnan kivennäistasapainoon voidaan vaikuttaa täydentämällä kivennäisruokintaa tilan perusrehujen täydennykseen soveltuvilla teollisilla kivennäisrehuilla (Kinnusen Tähti-rehut 2021).

2.1 Tärkeimpien kivennäisaineiden tarve, tehtävät sekä puutoksesta ja liikasaannista aiheutuvat ongelmat

Kivennäisaineet jaetaan makrokivennäisiin eli varsinaisiin kivennäisiin sekä mikrokivennäisiin eli hivenaineisiin. Jako perustuu kivennäisaineiden elimistössä olevaan määrään sekä päivittäiseen tarpeeseen. (Koskinen 2020, 11.) Makrokivennäisten tarve ilmoitetaan grammoina päivää kohti ja määrä rehussa grammoina kuiva-ainekiloa kohti. Mikrokivennäisten tarve ja määrä ilmoitetaan puolestaan milligrammoina. (Partanen 2012, 8.)

2.1.1 Makrokivennäiset

Makrokivennäisiä ovat kalsium (Ca), fosfori (P), kalium (K), magnesium (Mg), natrium (Na), rikki (S) ja kloori (Cl). Näistä merkittävimpiä lypsykarjan ruokinnassa ovat kalsium, fosfori, kalium, magnesium ja natrium. (Partanen 2012, 8.) Lypsylehmän kivennäisaineiden tarve kasvaa maitotuotoksen noustessa. Kasvava nauta puolestaan tarvitsee kivennäisaineita sitä enemmän, mitä suurempi sen elopaino on ja mitä suurempi sen päiväkasvu on. Kivennäisainesuositukset on annettu lypsylehmille sekä nuorkarjalle ruokinnan kannalta merkittävimmille kivennäisaineille (taulukot 1 ja 2). (Luke 2021a; Luke 2022.)

TAULUKKO 1. Lypsylehmien kivennäisainesuositukset (Luke 2021a).

tuotos	Ca	P	Mg (sisäruokinta)	Mg (laidun 3)	Na	K
kg	g/pv					
0	40 1)	21 2)	14	18	12	68
10	48	28	16	21	17	80
20	76	48	23	30	24	95
30	104	67	29	39	31	109
40	132	87	36	47	38	123
50	160	106	43	56	45	138
60	188	126	49	65	52	152

1) Tiineille hiehoille 10 % lisä 8. ja 9. tiineyskuukauden aikana

2) Vastaa 9. tiineyskuukauden tarvetta

3) Laidunhalvauksen estämiseksi voidaan 3–4 ensimmäisen laidunviikon aikana antaa Mg-lisä (20–30 g/pv)

TAULUKKO 2. Nuorkarjan kivennäisainesuositukset (Luke 2022).

	kasvu 0,5 kg/pv				kasvu 1,0 kg/pv			
elopaino	Ca	P	Mg	Na	Ca	P	Mg	Na
kg	g/pv				g/pv			
100	15	9	3	3	27	16	5	3
200	18	10	5	5	30	17	6	5
300	21	12	7	6	33	19	8	7
400	27	13	8	8	37	20	10	9
500	33	14	10	10	40	22	12	11
600	38	16	12	12	44	24	13	13

Kaliumilla on useita tärkeitä tehtäviä ja sitä esiintyy elimistössä kivennäisaineista kolmanneksi eniten. Kalium osallistuu esimerkiksi happo-emästasapainon säätelyyn, nestetasapainon ylläpitoon, aineenvaihduntaan sekä hapen ja hiilidioksidin kuljetukseen. Lisäksi se on mukana muun muassa hermoston, lihasten, luuston, munuaisten sekä sydämen toiminnassa. (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 17; Koskinen 2020, 14.) Kaliumista ei juuri esiinny puutetta, sillä lähes aina ongelmana on kaliumin liikasaanti (Koskinen 2020, 14). Liika kalium altistaa esimerkiksi poikimahalvaukselle sekä utaretulehdukselle (Partanen 2012, 11).

Natrium osallistuu elimistön happo-emästasapainon, vesiaineenvaihdunnan sekä osmoottisen paineen säätelyyn. Lisäksi natriumia tarvitaan muun muassa lihasten ja hermojen toiminnassa sekä pötsin happamuuden puskurina. Natriumin puutos voi aiheuttaa maidontuotannon alenemista sekä energian ja valkuaisen hyväksikäytön heikkenemistä. Lisäksi lehmän ruokahalu voi heiketä, ja sen silmistä voi tulla kiillottomat ja karvasta karkeaa. Vakava natriumin puute aiheuttaa puolestaan monenlaisia oireita, jotka voivat johtaa lehmän kuolemaan. Perusrehuissa natriumia on lähes aina liian vähän, joten ilman kivennäistäydennystä sen puutos on yleisin. Natriumin saanti on kuitenkin helppo turvata ruokasuolan avulla. (Aho ym. 2006, 43; Koskinen 2020, 15.) Natriumin liikasaanti voi johtaa puolestaan myrkytysoireisiin, joita ovat muun muassa laihtuminen, lisääntynyt veden kulutus sekä hermostuneisuus (Partanen 2012, 11).

Magnesiumista noin 70 % on luustossa ja loput 30 % soluissa (Koskinen 2020, 13). Lehmä ei pysty hyödyntämään luustossaan olevaa magnesiumia, joten magnesiumia on saatava rehusta jatkuvasti (Partanen 2012, 10). Magnesium osallistuu lähes kaikkiin aineenvaihdunnan prosesseihin ja lisäksi

sillä on tärkeä rooli lisäkilpirauhashormonin erittämisessä. Elimistö säätelee kalsiumtasapainoa pääosin kalsitriolin avulla, jota lisäkilpirauhanen ja munuaiset erittävät. Magnesiumin puutteessa lisäkilpirauhashormonin erityys vähenee, mikä voi aiheuttaa lehmälle kalsiumvajeen. Vakava magnesiumin puutos voi puolestaan johtaa hypomagnesemiaan, minkä tunnetuin muoto on laidunhalvaus (kuvio 1). Laidunhalvauksessa lehmä saattaa horjua, kaatuilla ja kouristella. Oireet alkavat nopeasti ja ilman kiireellistä hoitoa oireet johtavat kuolemaan. (Koskinen 2020, 13–14.) Lehmän riski sairastua laidunhalvukseen on suurimmillaan laidunkauden alkaessa. Tämä johtuu siitä, että kevätruoho saattaa nostaa pötsin ammoniakkipitoisuutta ja lisäksi sen kaliumpitoisuus on korkea, mikä heikentää magnesiumin hyväksikäyttöä. Magnesiumin merkitys on siis laidunkauden alkaessa erityisen suuri. (Aho ym. 2006, 43.) Myös liika magnesiumin saanti saattaa aiheuttaa oireita, kuten ruokahaluttomuutta ja ripulia (Partanen 2012, 10).



KUVIO 1. Laidunhalvaus lehmällä (Merikarvia-lehti 2020).

Kivennäisistä kalsiumin tarve on määrällisesti suurin ja sillä on useita tärkeitä tehtäviä. Sitä tarvitaan muun muassa maidon ja luukudoksen muodostukseen, hermoimpulssien välittämiseen, lihasten liikkumiseen, sydänlihaksen toimintaan sekä aineenvaihduntaentsyymien aktivaattoriksi. Lehmän elimistön kalsiumista noin 99 % sijaitsee luustossa ja lehmä voi käyttää luustonsa kalsiumvaroja tehokkaasti maidontuotantoon. Kalsiumin tarve lisääntyy huomattavasti poikimisen jälkeen, sillä maito ja etenkin ternimaito sisältävät paljon kalsiumia. Vähintään puolet lehmistä kärsiikin kalsiumvajeesta poikimisen aikaan ja sen jälkeen. Merkittävin kalsiumaineenvaihdunnallinen sairaus lypsylehmillä on poikimahalvaus. Lehmät voivat kärsiä lisäksi näkymättömästä kalsiumvajeesta,

mikä saattaa aiheuttaa muun muassa heikentynyttä hedelmällisyyttä, kohtutulehduksia, utaretulehduksia, maksan rasvoittumista sekä ketoosia. Myös syönte sekä maitotuotos saattavat vähentyä. Kalsiumin tarve on hyvin suuri myös nuorkarjalla nopean kasvun aikana (Aho ym. 2006, 42; Koskinen 2020, 12.) Nuorkarjalla kalsiumin pidempiaikainen puutos saattaa aiheuttaa riisitaudin kehittymisen (Partanen 2012, 9).

Fosfori esiintyy elimistössä pääosin luustossa (80 %). Osa luuston fosforista on vaihtuvaa, joten lehmä pystyy korvaamaan tilapäistä fosforin puutetta. Fosforin tehtävät liittyvät lähinnä kasvuun sekä tuotantoon, ja kivennäisaineista sitä tarvitaan määrällisesti toiseksi eniten. Fosforilla on merkittävä rooli elimistön energia-aineenvaihdunnassa ja se osallistuu myös muun muassa valkuaisainesynteesiin ja happo-emästasapainon säätelyyn. Fosforin puutosoireita ovat esimerkiksi heikko kasvu, maitotuotoksen alentuminen, ruokahaluttomuus sekä heikentynyt hedelmällisyys. Vakava puutostila aiheuttaa luiden fosforivarojen ehtymisen, mikä johtaa luiden heikkenemiseen ja lopulta kuolemaan. (Aho ym. 2006, 43; Koskinen 2020, 14.) Liika fosforin saanti voi puolestaan aiheuttaa osteokondroosin eli luutumisongelman, josta seuraa jalkavaivoja (Partanen 2012, 10).

2.1.2 Mikrokipennäiset eli hivenaineet

Mikrokipennäisiä eli hivenaineita on useita ja niistä nautojen ruokinnassa merkittävimpiä ovat rauta (Fe), kupari (Cu), sinkki (Zn), mangaani (Mn), jodi (I), koboltti (Co) ja seleeni (Se), joista erityisen tärkeitä ovat kupari sekä seleeni (Pyörälä & Tiuhonen 2005, 1, 5). Hivenaineista määrällisesti eniten naudat tarvitsevat rautaa, kuparia, sinkkiä ja mangaania (taulukko 3) (Luke 2021b).

TAULUKKO 3. Pikkuvasikoiden, nuorkarjan sekä lypsylehmien hivenainesuosituksot (Luke 2021b).

	Fe	Cu	Zn	Mn	I	Co	Se	Mo
	mg/kg rehun ka							
pikkuvasikat	100 1)	10	50 2)	40	0,1 4)	5)	0,1	0,3
nuorkarja	100	10	50	40	0,2 4)	0,1	0,1	0,3
lypsylehmät	100	10	50	40 3)	0,9 4)	0,1	0,1	0,3

1) Eläintä kohti mg/pv

2) Laiduntaville vasikoille 80 mg/kg ka

3) Kolmen ensimmäisen laktaatiokuukauden aikana 80 mg/kg ka

4) Goitrogeeneja sisältävillä rehuilla 1,3, 1,2 ja 2,0 mg/kg ka

5) Juottokautena 40 mikrogrammaa B12-vitamiinia/kg rehun ka

Hivenaineita tarvitaan elimistössä useisiin toimintoihin. Niitä tarvitaan esimerkiksi hormonitoimintaan, antioksidanttien toimintaan sekä ylläpitämään hedelmällisyyttä ja immuunijärjestelmää (Pyörälä & Tiihonen 2005, 7; Partanen 2012, 12–13; Koskinen 2020, 16). Useat hivenravinteet vaikuttavat myös entsyymien toimintaan. Hivenravinteiden tyypillisiä puutosoireita ovatkin hedelmällisyyden, immuunipuolustuksen sekä kasvun heikkeneminen. Lisäksi raudan ja kuparin puute aiheuttaa tyypillisesti anemiaa, sillä niitä tarvitaan hemoglobiinin rakenneosiksi ja sen tuotantoon. Kuparin puutosoireita ovat lisäksi muun muassa osteoporoosi sekä pigmentin häviäminen silmien ympäriltä. Sinkin puutosoireet taas ilmenevät tavallisesti iho-oireina, kuten ihon paksuuntumisena sekä takkukarvaisuutena (Pyörälä & Tiihonen 2005, 10; Koskinen 2020, 15–17). Vasikoilla hivenravinteiden puutoksesta seuraa tavallisesti hidastunutta kasvua (Partanen 2012, 12; Koskinen 2020, 16). Lisäksi raudan puute aiheuttaa vasikoille esimerkiksi vaisuutta sekä huonoa ruokahalua, ja mangaanin puute muun muassa koordinaatiohäiriöitä sekä karvapeitteen vaalentumista. Lisäksi seleenin puutosoireita vasikoilla ovat heikkous sekä lihasrappeuma. Hivenravinteista liian suurina annoksina rauta, kupari sekä seleeni ovat myrkyllisiä. Esimerkiksi kuparin liikasaannista voi aiheutua kuolemaan johtava akuutti kuparimyrkytys, ja seleenin liikasaanti voi johtaa krooniseen tai akuuttiin seleenimyrkytykseen. (Pyörälä & Tiihonen 2005, 7, 10; Koskinen 2020, 16–17.)

2.2 Kivennäisaineiden yhdysvaikutukset

Kivennäisaineiden keskinäisillä suhteilla on merkitystä toisten kivennäisaineiden imeytymiseen sekä niiden aineenvaihduntaan (Koskinen 2020, 17). Koska kivennäisaineilla on yhdysvaikutuksia, on lypsykarjan ruokinnassa tärkeää huolehtia kivennäisaineiden tasapainoisesta saannista.

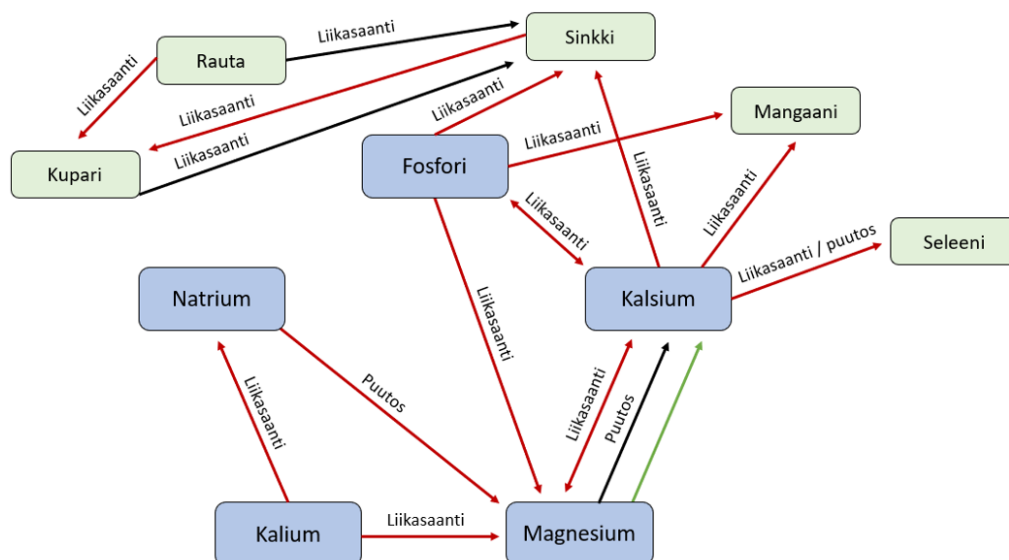
Ruokinnan kivennäistasapainossa kaliumilla on merkittävä vaikutus. Liika kaliumin saanti heikentää magnesiumin sekä natriumin imeytymistä ja saattaa aiheuttaa näiden puutoksen (Partanen 2012, 11). Magnesiumin imeytymistä heikentää myös natriumin puutos (Koskinen 2020, 18). Liika kalium heikentää siis magnesiumin imeytymistä suoraan, mutta voi lisäksi aiheuttaa natriumin puutoksen ja heikentää magnesiumin imeytymistä myös sitä kautta.

Elimistön kalsiumaineenvaihdunta on hormonaalisesti säädeltyä. Kilpirauhasen erittämän parathormonin tehtävänä on irrottaa kalsiumia luustosta. Parathormoni vaatii toimiakseen magnesiumia, joten magnesiumin puutoksen seurauksena kalsiumaineenvaihdunta häiriintyy. Lisäksi kalsiumin

imeytyminen saattaa häiriintyä magnesiumin puutteessa, sillä magnesium edistää kalsiumin imeytymistä. Kalium vaikuttaa siis elimistön kalsiumaineenvaihduntaan, sillä liiallinen kaliumin saanti saattaa aiheuttaa magnesiumin puutoksen. Magnesiumin imeytymistä heikentävät kaliumin liikasaannin sekä natriumin puutteen lisäksi liika fosforin ja kalsiumin saanti. (Koskinen 2020, 17–18.) Kalsiumin imeytymistä heikentää puolestaan magnesiumin liikasaanti. Kalsiumin imeytymistä heikentää lisäksi liian suuri fosforin saanti, ja fosforin imeytymistä puolestaan liika kalsiumin saanti. (Partanen 2012, 9; Koskinen 2020, 18.)

Hivenaineista kuparin imeytymistä heikentävät muun muassa rikin, sinkin sekä raudan liikasaanti, ja mangaanin imeytymistä kalsiumin ja fosforin liikasaanti. Sinkin imeytyminen vaihtelee 10–80 %, sillä lehmä säätelee sinkkimetaboliaansa saannin mukaan. Sinkin imeytymistä heikentävät liika kalsiumin ja fosforin saanti, kun taas sen aineenvaihduntaa häiritsevät kuparin ja raudan liikasaanti. (Pyörälä & Tiihonen 2005, 6–7, 10.) Seleenin imeytymistä puolestaan heikentävät sekä kalsiumin liikasaanti että sen puute (Koskinen 2020, 18).

Kuviossa 2 on kuvattu merkittävimpien kivennäis- ja hivenaineiden edellä mainitut yhdysvaikutukset. Kuvassa ei ole esitetty kaikkia kivennäisaineiden yhdysvaikutuksia, sillä niitä on runsaasti. Lisäksi myös vitamiineilla on vaikutusta kivennäisaineiden imeytymiseen (Koskinen 2020, 18).



KUVIO 2. Merkittävimpien kivennäis- ja hivenaineiden yhdysvaikutuksia. Kivennäisaineen liikasaannista tai puutoksesta johtuva toisen kivennäisaineen imeytymisen heikkeneminen on kuvattu punaisella nuolella ja aineenvaihdunnan häiriintyminen mustalla nuolella. Lisäksi vihreällä nuolella on kuvattu magnesiumin edistävä vaikutus kalsiumin imeytymiseen.

2.3 Kivennäisaineiden keskinäiset suhteet ja niiden merkitykset

Ruokinnan kivennäistasapainosta kertovia merkittäviä kivennäisaineiden suhdelukuja ovat muun muassa ekvivalenttisuhteet sekä kaliumin ja natriumin suhteet. Rehun kaliumpitoisuus vaikuttaa sekä rehun ekvivalenttisuhteeseen että kaliumin ja natriumin suhteeseen. Mitä korkeampi rehun kaliumpitoisuus on, sitä huonompaan suuntaan suhdeluvut muuttuvat naudan ruokinnan kannalta. (Vir-kajärvi ym. 2016.)

2.3.1 Kaliumin ja natriumin suhde

Kivennäisruokinnassa kaliumin ja natriumin suhteeseen tulee kiinnittää huomiota. Kaliumin määrän suhteessa natriumin määrään on suositeltu olevan korkeintaan kuusinkertainen. Suositukset ka-liumin ja natriumin suhdelvusta kuitenkin vaihtelevat. Esimerkiksi alle 20-kertaista määrää on myös suositeltu. Ruokinnassa kaliumin määrä suhteessa natriumin määrään on tyypillisesti liian runsas, sillä yleensä Suomessa perusrehujen natriumpitoisuus on liian alhainen. Suuri kaliumpitoi-suus rehussa heikentää natriumin imeytymistä lehmällä ja pahentaa siten sen puutetta. (Aho ym. 2006, 43; Koskinen 2020, 15.) Kaliumin ja natriumin suhde vaikuttaa lisäksi magnesiumin imeyty-miseen lehmällä. Magnesiumin imeytyminen heikkenee, mikäli kaliumin määrä nousee liian korke-aksi suhteessa natriumin määrään. (Partanen 2012, 11.)

2.3.2 Ekvivalenttisuhteet

Kivennäisruokinnassa on tärkeää ottaa huomioon rehun ekvivalenttisuhdeluku, mikä kertoo re-hussa olevan kaliumin määrän suhteessa kalsiumin ja magnesiumin yhteenlaskettuun määrään ($K/(Ca+Mg)$). Rehun kaliumpitoisuuden noustessa ekvivalenttisuhteet nousee. Rehun magnesium-tai kalsiumpitoisuuden noustessa ekvivalenttisuhteet puolestaan laskee. Suhdeluku lasketaan ka-liumin, kalsiumin ja magnesiumin grammamääristä milliekvivalenttipainoista kuiva-ainekiloa kohden (mEq). (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 18–19.)

Etenkin nuorissa nurmissa kaliumpitoisuus on korkea (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 18). Korkea kaliumpitoisuus rehussa heikentää magnesiumin imeytymistä ja aiheuttaa siten magnesiumin puut-teen riskin (Partanen 2012, 10). Kun rehun korkeaan kaliumpitoisuuteen yhdistetään matalat kal-

sium- sekä magnesiumpitoisuudet, saattaa lehmän veren magnesiumpitoisuus laskea. Tästä seuraa laidunhalvaus. Laidunhalvauksen riski on kohonnut, kun nurmen kaliumpitoisuus on yli 30 g/kg ka, magnesiumpitoisuus alle 2 g/kg ka ja kalsiumpitoisuus alle 4 g/kg ka. Ekvivalenttisuhteluvun tulisi olla lehmän ruokinnassa alle 2,2. (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 18–19.)

Laidunhalvauksen riski on suurimmillaan laidunkauden alkaessa johtuen muun muassa nuoren nurmen korkeasta kaliumpitoisuudesta. Tällöin magnesiumin merkitys korostuu. (Aho ym. 2006, 43.) Suurin riski sairastua laidunhalvaukseen on vastapoikineilla vanhemmilla lehmillä, kun maitotuotos on korkea. Vanhempien lehmien suurempi alttius laidunhalvaukseen johtuu siitä, että magnesiumin imeytyminen heikentyy lehmän ikääntyessä. (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 19.)

2.4 DCAD-arvo

Nautojen ruokinnassa kalium tyypillisesti yhdistetään käsitteeseen DCAD (Diet Cation-Anion Difference) (Karlström 2020). DCAD-arvo tarkoittaa rehun kationi-anionitasapainoa, eli rehun positiivisesti varautuneiden ionien eli kationien sekä negatiivisesti varautuneiden ionien eli anionien erotusta. Rehun DCAD-arvon laskennassa käytetään tavallisesti kaliumin ja natriumin sekä kloorin ja rikkin pitoisuuksia. Kalium sekä natrium ovat kationeja, joten ne nostavat arvoa, ja kloori sekä rikki ovat anioneja, joten ne puolestaan laskevat arvoa. (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 18.)

DCAD-arvo vaikuttaa elimistön kalsiumaineenvaihduntaan. Rehuannoksen DCAD-arvon huomioiminen onkin erityisen tärkeää tunnutuskaudella, jolloin arvon tulisi olla mahdollisimman alhainen. DCAD-arvon suositus ennen poikimista on -50 mEq/kg ka, ja poikimahalvauksen riski kasvaa arvon ylittäessä 250 mEq/kg ka. Kalsiumaineenvaihdunnan häiriintyminen johtaa poikimahalvauksen riskin lisäksi myös kasvaneeseen utaretulehduksen riskiin. Tämä johtuu siitä, että lehmä saattaa vuotaa maitoa, sillä kalsiumvajeesta kärsivän lehmän vetimien sulkihalitukset eivät toimi normaalisti. (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 18.)

Suomessa tavallisimmat mitatut DCAD-arvot ovat 200–300 mEq/kg. Suomessa käytetään rehuja, joilla negatiivista DCAD-arvoa on haastavaa saavuttaa. Silti suurin osa karjoistamme on laskennallisesta poikimahalvausriskistä huolimatta selvinnyt ilman ongelmia, mille ei ole selitystä. (Karlström 2020.)

NuRa-hankkeessa DCAD-pienryhmään kuului sekä keskimääräistä enemmän poikimahalvauksia hoitavia tiloja sekä tiloja, joilla poikimahalvauksia ei juuri ole. Näiden tilojen rehunäytteiden kivennäisanalyysituloksia verrattiin, mutta selittävää tekijää tilojen välisille eroille poikimahalvausten määrissä ei löytynyt rehujen kivennäispitoisuuksista. Teorian vastaisesti rehujen keskimääräinen DCAD-arvo oli korkeampi tiloilla, joilla poikimahalvauksia esiintyi vähemmän, mutta tilojen välisiä eroja poikimahalvausten määrissä saattoi selittää esimerkiksi kivennäisten sekä kalsium- ja magnesiumipastojen käyttäminen. (Pro-Agria Itä-Suomi 2018.)

2.5 Ruokinnan kivennäistasapainoon vaikuttaminen

Ruokintasuunnitelman yhteydessä suunnitellaan myös kivennäisruokinta. Kivennäisruokinnan suunnittelua varten on kotoisista rehuista analysoitava niiden kivennäis- ja hivenainepitoisuudet. Rehut tulee analysoida riittävän usein, jotta suunniteltu ruokinta vastaa todellisuutta. (Karlström 2020; Kinnusen Tähti-rehut 2021). Perusrehuista saatavaa kivennäisaineiden määrää täytyy täydentää, jotta turvataan kivennäisten riittävä saanti. Kivennäisaineiden täydennykseen käytetään teollisia kivennäisrehuja. (Karlström 2020). Teollisia kivennäisrehuja on saatavilla lypsäville lehmille, ummessaoleville lehmille sekä nuorkarjalle useita erilaisia, joista voidaan valita sopivimmat vaihtoehdot tilan perusrehujen täydennykseen (Kinnusen Tähti-rehut 2021). Lisäksi on olemassa esimerkiksi kalsiumpastoja, joita voidaan antaa lehmälle poikimisen yhteydessä ja sen jälkeen ehkäisemään poikimahalvausta (Hankkija 2022a). Myös esimerkiksi ruokinnan DCAD-arvoon on mahdollista vaikuttaa erityisrehuilla, joita voidaan käyttää ennen poikimista ehkäisemään poikimahalvauksia. Tuotteet sisältävät anionisia suoloja, joiden tarkoitus on happamoittaa elimistöä ja käynnistää kalsiumaineenvaihduntaa ennen poikimista. (Hankkija 2022b.)

Nautojen ruokinta pohjautuu karkearehuihin, ja mitä suurempi osa ruokinnasta koostuu nurmesta, sitä suurempi osa lehmän kivennäistarpeesta täyttyy siitä. Täten nurmirehun oikeanlaisella kivennäiskoostumuksella on merkitystä (Karlström 2020). Etenkin kaliumpitoisuuden merkitys on suuri, sillä yleensä ongelmana on kaliumin liikasaanti. Tämä johtuu siitä, että nurmi ottaa kaliumia rajoituksetta, mikä johtaa herkästi nurmen korkeaan kaliumpitoisuuteen. (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 17; Hyrkäs ym. 2014, 107.) Nurmirehun kaliumpitoisuuden riskirajana pidetään tavallisesti 30 g/kg ka. Laadukkaan nurmirehun kaliumpitoisuuden tavoitteena on kuitenkin ensimmäisessä sadossa 21–28 g/kg ka ja toisessa sadossa 24–28 g/kg ka. Laadukkaan nurmisadon kivennäis- ja hivenai-

neiden tavoitearvot on esitetty taulukossa 4. (Yara 2021.) Nurmirehun kivennäiskoostumusta voidaan verrata tavoitearvoihin, minkä avulla voidaan myös tarkistaa, että nurmen ravinteiden saanti on kasvun kannalta riittävää.

TAULUKKO 4. Laadukkaan nurmisadon tavoitearvot merkittävimmille kivennäis- ja hivenaineille (Yara 2021).

Ominaisuus	Yksikkö	Tavoite
Kalsium	g/kg ka	≥ 4
Fosfori	g/kg ka	≥ 3
Kalium 1. sato	g/kg ka	21-28
Kalium 2.-3. sato	g/kg ka	24-28
Magnesium	g/kg ka	≥ 2
Natrium	g/kg ka	≥ 0,3
Sinkki	mg/kg ka	≥ 40
Kupari	mg/kg ka	≥ 8
Mangaani	mg/kg ka	≥ 50
Seleeni	mg/kg ka	≥ 0,2

Nurmirehun kivennäiskoostumukseen voidaan vaikuttaa monella tapaa. Koska liika kaliumin saanti aiheuttaa lehmille monenlaisia ongelmia, on yksi tärkeimmistä asioista pyrkiä nurmirehun maltilliseen kaliumpitoisuuteen. Nurmen kaliumpitoisuutta nostaa kaliumlannoitus (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 6, 53). Merkittävin keino nurmen kaliumpitoisuuden hallintaan on siis kaliumlannoituksen huolellinen suunnittelu sekä muutoinkin tasapainoinen lannoitus.

Kalkituksella on myös merkittävä vaikutus nurmirehun kivennäistasapainoon. Kalkitus nostaa nurmirehun kalsium- ja magnesiumipitoisuutta, ja laskee siten rehun ekvivalenttisuhdetta. Lisäksi kalkitus nostaa nurmen fosforipitoisuutta sekä laskee sen sinkki- ja mangaanipitoisuuksia. (Suomela & Luoma 2014, 70.)

Nurmirehun kivennäistasapainoon voidaan vaikuttaa myös nurmikasvivalinnoilla. Palkokasveissa kaliumpitoisuus on matalampi kuin heinänurmissa, kun taas kalsium- ja magnesiumipitoisuudet ovat korkeampia. Umpilehmien ruokinnassa rehun korkea kalsiumpitoisuus aiheuttaa kuitenkin poikimahalvauksen riskin. (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 19.) Nurmiheinälajien välillä on myös eroja kivennäiskoostumuksessa, mikä johtuu muun muassa siitä, että lehdissä kivennäispitoisuus on korkeampi kuin korressa. Esimerkiksi ruokonata on timoteitä lehtevämpi, ja kun kaliumia on hyvin saatavilla, ruokonadan kaliumpitoisuus on korkeampi. Lisäksi italianraiheinän ja koiranheinän kaliumipitoisuus on korkea, mikäli kaliumia on saatavilla paljon, sillä ne ottavat sitä tehokkaasti. (Virkajärvi ym. 2014, 32.)

Myös korjuuaika vaikuttaa nurmen kivennäiskoostumukseen, sillä myöhäisempi korjuu lisää kasvuston massaa sekä kuitupitoisuutta. Tämä laskee etenkin rehun kalium- ja rikkipitoisuuksia. Myös rehun DCAD-arvo laskee korjuuajan ollessa myöhäisempi. (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 18.)

Rikkakasvitorjunnalla on myös suuri vaikutus nurmirehun kivennäistasapainoon. Jos rikkakasveja on runsaasti, voi niiden kivennäiskoostumus aiheuttaa nurmirehun kivennäistasapainon järkkymisen (Karlström 2020). Esimerkiksi voikukan DCAD-arvo on yli 750 mEq/kg ka, joten nurmirehun DCAD-arvo saattaa nousta hyvin korkeaksi rikkakasvien liiallisen määrän takia (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 18).

Lisäksi seleenilannoituksella vaikutetaan nurmirehun seleenipitoisuuteen. Oman pellon rehuista seleeniä ei saada ruokintaan juuri lainkaan, elleivät käytettävät lannoitteet ole seleenipitoisia (Väränkivi 2015). Puolestaan kun käytetään seleenipitoisia lannoitteita, voidaan kotoisilla rehuilla turvata eläinten seleenin saanti kokonaan (Koskinen 2020, 17).

3 MAAN RESERVIKALIUMPITOISUUTEEN PERUSTUVA KALIUMLANNOITUS JA SEN VAIKUTUKSET NURMIREHUN KIVENNÄISKOOSTUMUKSEEN

Maan kaliumvarat voidaan jakaa neljään luokkaan. Näitä ovat maanesteen kalium, vaihtuva kalium, vaikeasti vaihtuva kalium sekä mineraalien kalium. Maanesteen kalium ja vaihtuva kalium muodostavat maan viljavuuskaliumin. Maan reservikalium kuvaa viljavuuskaliumin lisäksi maan vaikeasti vaihtuvaa kaliumia. (Kykänen ym. 2016.)

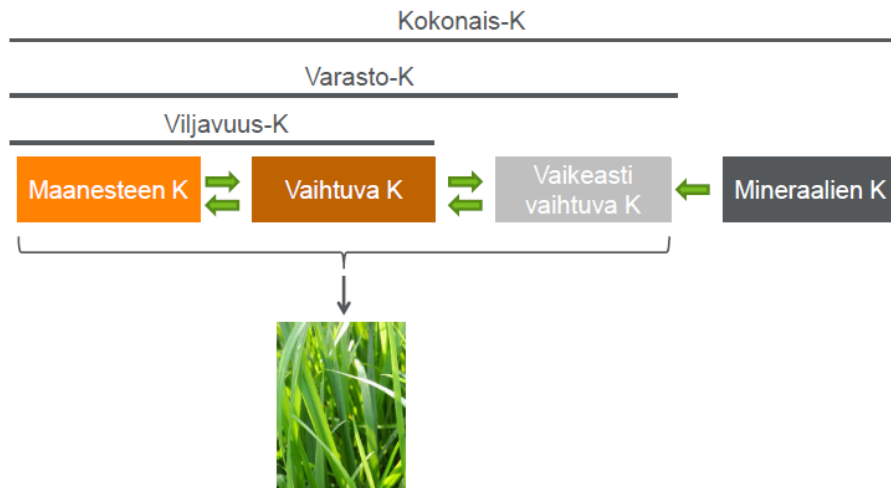
Nurmi kykenee tiheän juuristonsa avulla hyödyntämään maan viljavuuskaliumin lisäksi myös maan reservikaliumvaroja. Maan reservikaliumpitoisuus ennustaakin nurmen kaliumin saantia maan viljavuuskaliumpitoisuutta paremmin, minkä takia nurmien kaliumlannoituksen perusteena tulisi siirtyä käyttämään maan viljavuuskaliumpitoisuuksien sijaan maan reservikaliumpitoisuuksia. (Saarela ym. 1998, 38; Luke 2014.) Maan reservikaliumpitoisuuksiin perustuva kaliumlannoitussuositus on matalan reservikaliumin mailla etenkin toisen ja kolmannen vuoden nurmilla suurempi kuin maan viljavuuskaliumiin perustuva kaliumlannoitussuositus. (Yara 2020, 31; Virkajärvi ym. 2014, 36.) Matalan reservikaliumin mailla kaliumlannoitustasoa tulisi siis nostaa etenkin toisen ja kolmannen vuoden nurmilla.

Nurmilla on taipumus niin sanottuun kaliumin luksusottoon. Nurmi ottaa kaliumia siis maasta sitä enemmän, mitä enemmän sitä on saatavilla. (Hyrkäs ym. 2014, 107.) Kaliumlannoitus nostaakin nurmen kaliumpitoisuutta. Kaliumlannoitus vaikuttaa myös nurmen kalsium- ja magnesiumipitoisuuksiin. Kaliumlannoituksen aiheuttamat muutokset nurmen kalium-, kalsium- ja magnesiumipitoisuuksissa vaikuttavat puolestaan nurmen ekvivalenttisuhteeseen. Lisäksi kaliumlannoitus vaikuttaa nurmen DCAD-arvoon. (Farmit 2012b; Hyvärinen & Pehkonen 2014, 61, 66.)

3.1 Kalium maaperässä ja reservikaliumin määritelmä

Maassa kaliumia esiintyy maanesteessä, vaihtuvina kationeina sekä mineraalihilojen väleissä ja mineraalien hilarakenteissa (Hartikainen ym. 1992, 231). Maan kaliumvarat voidaan jaotella neljään luokkaan, joita ovat maanesteen kalium, helposti vaihtuva kalium, vaikeasti vaihtuva kalium sekä mineraalien kalium (kuvio 3). Kaliumin käyttökelpoisuus kasveille vaihtelee eri luokkien välillä.

Maanesteen kalium, vaihtuva kalium ja vaikeasti vaihtuva kalium muodostavat maan varastokaliumin eli reservikaliumin, mikä on kasvien hyödynnettävissä. Mineraalien kalium on puolestaan kasveille käyttökeltotonta. (Kykkänen & Virkajärvi 2014; Kykkänen ym. 2016.)

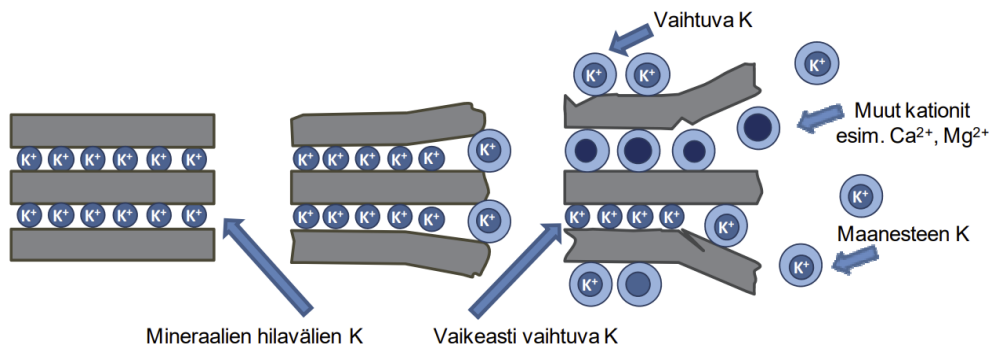


KUVIO 3. Maan kaliumvarat jaettuna neljään luokkaan (Kykkänen ym. 2016).

Maa pyrkii ylläpitämään tasapainotilaa maanesteessä olevien kationien sekä vaihtuvien kationien välillä (Hartikainen ym. 1992, 57). Esimerkiksi maanesteen kaliumpitoisuuden laskiessa vaihtopaikoilta vapautuu kaliumia maanesteeseen. Maanesteen kalium on siis peräisin maan vaihtuvasta kaliumista ja kasveille maanesteen kalium on välittömästi hyödynnettävissä. Siksi tärkeimpiä kaliumin lähteitä kasveille ovat maanesteen kalium sekä vaihtuva kalium. (Virkajärvi ym. 2014, 9.) Maanesteen kalium ja vaihtuva kalium muodostavat yhdessä maan viljavuuskaliumin (Kykkänen ym. 2016). Viljavuustutkimuksessa maan viljavuuskalium määritetään happamalla ammoniumasetaattiutolla (Kurki & Savikurki 2017a.). Analyysituloksen perusteella ympäristösitoumuksen tehnyt tila voi suunnitella viljelyn ravinnetaloutta viiden vuoden ajan (Ruokavirasto 2021). Viljavuuskalium reagoi nopeasti esimerkiksi kaliumin ottoon sekä lannoitukseen, joten viljavuuskaliumpitoisuus vaihtelee herkästi. Viljavuuskaliumpitoisuus voi laskea nopeasti myös korkean reservikaliumin mailla. (Kykkänen ym. 2016.) Maanesteen kaliumin ja vaihtuvan kaliumin määrä on yleensä pieni verrattuna kasvin tarpeeseen. Siten vaikeasti vaihtuvan kaliumin merkitys kasveille on suuri. (Virkajärvi ym. 2014, 9.)

Maaperän kaliumista jopa 90–98 % on mineraalien hilarakenteissa sekä pidätytyneenä mineraalihilojen väleissä. Kasveille mineraalien hilarakenteiden ja mineraalihilojen väleihin sitoutunut kalium on käyttökeltotonta. Suurin osa kaliumista on sitoutunut kalimaasälpään, kiilteisiin eli biotiittiin

ja muskoviittiin sekä savimineraaleihin. Kalimaasälvän hilarakenteista ei juurikaan vapaudu kaliumia kasvien käyttöön. Kiilteiden sekä savimineraalien hilaväleistä puolestaan vapautuu kaliumia hitaasti maanesteeseen, jolloin kalium on kasvien hyödynnettävissä. Esimerkiksi biotiitin rapautuessa savimineraaleiksi vaikeasti vaihtuvaa kaliumia vapautuu maanesteeseen (kuvio 4). Tärkein luontainen kaliumlähde onkin biotiitti, mikä sisältää runsaasti varastokaliumia. (Virkajärvi ym. 2014, 7, 10, 12.)



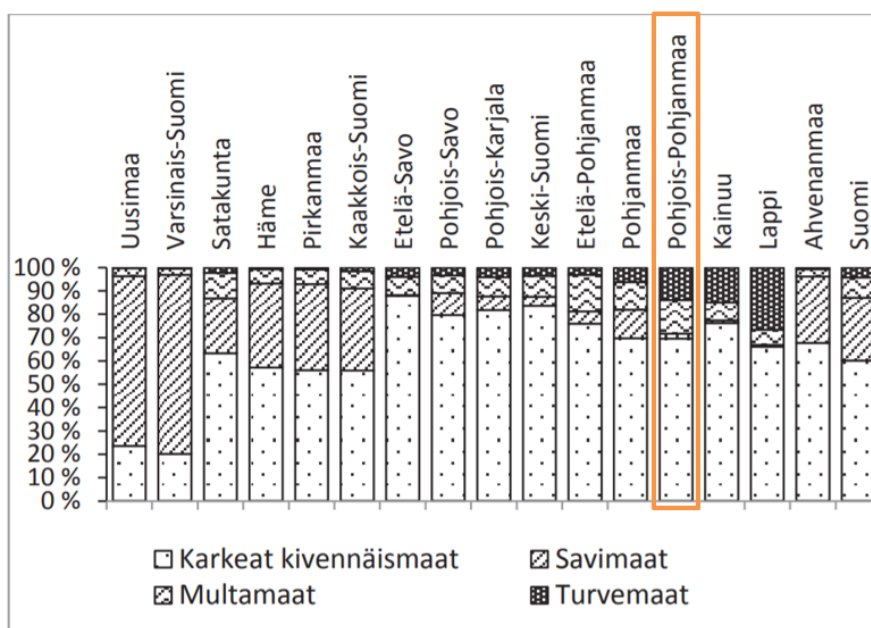
KUVIO 4. Biotiitin rapautuminen savimineraaleiksi (Virkajärvi ym. 2014, 12).

Maan reservikalium koostuu maanesteen kaliumista, vaihtuvasta kaliumista ja vaikeasti vaihtuvasta kaliumista. Se kuvastaa siis niitä maan kaliumvaroja, jotka ovat potentiaalisesti kasvien hyödynnettävissä. Maan reservikaliumpitoisuus määritetään happouutolla. Maasälvät sisältävät runsaasti hilarakenteisiin sitoutunutta kaliumia, mutta ne eivät liukene happouutossa. Happouutossa liukenevat vain osittain kiilteet ja savimineraalit, jotka ovatkin reservikaliumin lähteitä. (Virkajärvi ym. 2014, 8–9.) Maan reservikaliumpitoisuus ei muutu herkästi, joten analyysitulokset on voimassa jopa 10–40 vuotta (Farmit 2012b; Kykkänen ym. 2016).

Maan reservikaliumpitoisuus on yleensä alhainen karkeilla hiekka- ja hietamailla, jotka sisältävät runsaasti kvartsia ja maasälpää. Kun hiukkaskoko pienenee, kiilteiden osuus kasvaa, ja maan reservikaliumpitoisuus on korkeampi. Korkeita reservikaliumpitoisuuksia esiintyykin yleensä savi- ja hiesumailla. Hietamailla reservikaliumpitoisuus vaihtelee. Reservikaliumpitoisuus on korkea kiilleperäisillä hiedoilla ja matala runsaasti maasälpää sisältävillä hietamailla. Eloperäisillä mailla reservikaliumpitoisuus on yleensä matala. (Virkajärvi ym. 2014, 10–11.)

3.2 Pohjois-Pohjanmaan tyypilliset maat ja niiden reservikaliumpitoisuudet

Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksen alueella vuosien 2005–2009 viljavuustutkimusten perusteella tyypillisimpiä maita olivat karkeat kivennäismaat, joita oli alueen maalajeista lähes 70 %. Eloperäisiä maita esiintyi myös runsaasti, ja niitä oli kaikista maalajeista hieman alle 30 %. Noin puolet eloperäisistä maista oli turvemaita, joita oli siis kaikista maalajeista noin 14 %. Vain Kainuussa ja Lapissa esiintyi enemmän turvemaita. Savimaita oli Pohjois-Pohjanmaan maalajeista vain vähän, noin 2 %. (Kuvio 5.) (Lemola ym. 2018, 17, 135.)



KUVIO 5. Maalajien suhteet eri maakunnissa ja koko Suomessa vuosien 2005–2009 viljavuusanalyseissä (Lemola ym. 2018, 17).

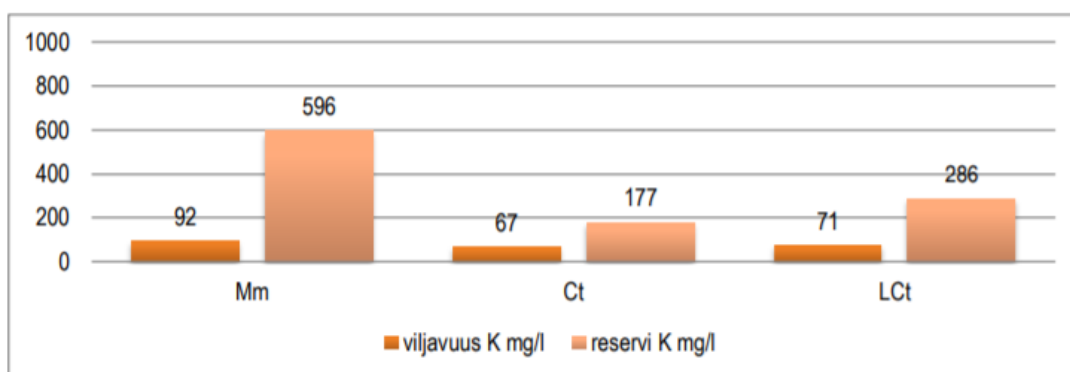
Pohjois-Pohjanmaalla karkeita kivennäismaita oli siis runsaasti, ja niistä suurin osa oli hietamaita. Kaikista maalajeista karkeaa hietaa oli lähes 30 %, ja hienoa hietaa noin 20 %. Moreenimaita oli noin 14 %, joista lähes kaikki oli hietamoreenia. Maalajeista hiekkamaita, hiesua sekä hiuetta oli yhteensä vain noin 6 %. (Lemola ym. 2018, 135.)

Valtakunnallisesti vuosina 2012–2017 karkeilla kivennäismailla reservikaliumpitoisuudet olivat keskimäärin yli 500 mg/l, mutta vaihteluvälit olivat suuria. Esimerkiksi hienon hiedan reservikaliumpitoisuus oli keskimäärin 1 100 mg/l vaihteluvälin ollessa 238–4 370 mg/l. Reservikaliumpitoisuudet olivat keskimäärin yli 1 000 mg/l myös hietamoreenilla sekä hiesuisella hienolla hiedalla. (Taulukko 5.) (Lämsä 2018, 33.)

TAULUKKO 5. Viljavuus- ja reservikaliumpitoisuuksien keskiarvot ja vaihteluvälit karkeilla kivennäismailla vuosina 2012–2017 valtakunnallisesti (Lämsä 2018, 34).

Maalaji		Viljavuus K mg / l	Reservi K mg / l
HkMr	keskiarvo	97	818
	vaihteluväli	22–380	169–1980
HtMr	keskiarvo	111	1138
	vaihteluväli	21–920	233–3720
HHk	keskiarvo	74	629
	vaihteluväli	22–200	125–1250
HHt	keskiarvo	103	1100
	vaihteluväli	26–620	238–4370
hkKht	keskiarvo	96	593
	vaihteluväli	21–550	131–2130
hsHHt	keskiarvo	105	1270
	vaihteluväli	33–720	359–3370

Lämsän (2018) tekemässä selvityksessä reservikaliumpitoisuudet Pohjois-Pohjanmaan eloperäisillä mailla osoittautuivat mataliksi (kuvio 6). Multamailla reservikaliumpitoisuuden keskiarvo oli lähes 600 mg/l, mutta vaihteluväli oli suuri (122–1 190 mg/l). Saraturpeilla reservikaliumpitoisuuden keskiarvo oli vain 177 mg/l ja metsäsaraturpeilla vain 286 mg/l. Turvemaiden reservikaliumpitoisuudet olivat siis erittäin matalia. (Lämsä 2018, 36.)



KUVIO 6. Eloperäisten maiden viljavuus- ja reservikaliumpitoisuudet 4. ja 5. viljelyvyöhykkeellä vuosina 2012–2017 (Lämsä 2018, 36).

Pohjois-Pohjanmaalla esiintyy eniten siis karkeita kivennäismaita, joiden reservikaliumpitoisuudet vaihtelevat runsaasti (Lemola ym. 2018, 17; Lämsä 2018, 34). Karkeilla hiedoilla reservikaliumpitoisuus on yleensä matala, mutta esimerkiksi hienon hiedan sekä hietamoreenin reservikaliumpitoisuudet vaihtelevat paljon ja voivat olla korkeitakin (Virkajärvi ym. 2014, 10; Lämsä 2018, 34). Pohjois-Pohjanmaalla esiintyy myös runsaasti eloperäisiä maita, joista noin puolet on turvemaita (Lemola ym. 2018, 17). Reservikaliumpitoisuudet vaihtelevat runsaasti eloperäisillä mailla, mutta ovat yleensä aika matalia. Etenkin turvemaiden pitoisuudet ovat erittäin matalia. (Lämsä 2018, 36.) Kaliumilla turvemaat tuottamaan -hankkeessa otettiin maanäytteitä Pohjois-Pohjanmaalla sijaitsevilta rehuntuotannon kannalta keskeisiltä peltolohkoilta, ja lähes kaikissa maanäytteissä maan reservikaliumpitoisuus oli alhainen. Tämä vahvistaa käsitystä siitä, että alhaiset reservikaliumpitoisuudet ovat alueella yleisiä.

3.3 Nurmien kaliumlannoitus perustuen maan reservikaliumpitoisuuteen sekä kaliumlannoituksen optimointi

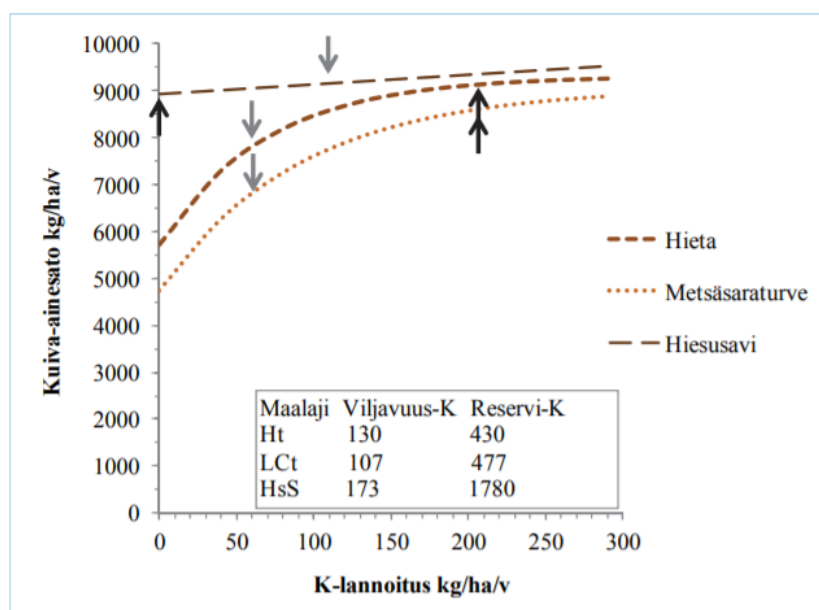
Nurmen kaliumlannoitussuosituksot ovat perinteisesti perustuneet kaliumin viljavuusluokkaan maassa (taulukko 6) (Virkajärvi ym. 2014, 5). Kaliumin viljavuusluokka määräytyy maan viljavuusanalyysin kaliumpitoisuuden sekä maalajin perusteella (Eurofins 2017). Kaliumlannoitussuositukseen vaikuttavat monivuotisilla säilörehunurmilla kaliumin viljavuusluokan lisäksi myös nurmen niitokerrat. Kaliumlannoitussuositus vaihtelee kahden sadon säilörehunurmilla 0–160 kg/ha ja kolmen sadon säilörehunurmilla 0–170 kg/ha. (Yara 2020, 31.)

TAULUKKO 6. Kaliumin viljavuusluokkaan perustuvat nurmien kaliumlannoitussuosituks (Yara 2020, 31).

Kaliumin käyttö nurmilla viljavuustutkimuksen mukaan, kg/ha							
		Viljavuusluokka					
		Huono	Huononlainen	Välttävä	Tyydyttävä	Hyvä	Korkea
Siemenheinä		70	55	40	30	10	
Kokovilja säilörehuksi ja nurmen perustaminen suojaviljaan		120	90	70	50	30	
Monivuotiset nurmet							
• säilö- ja tuorerehunurmet, 3 satoa*	Kevätlevitys	50	40	30	10		
	2. sadolle	60	60	50	40	20	
	3. sadolle	60	60	50	40	30	
• säilörehunurmet, 2 satoa*	Kevätlevitys	70	50	40	10		
	2. sadolle	90	80	70	50	30	
Raiheinä, vihantaviljat	Kevätlevitys	50	40	30	20		
	2. sadolle	70	60	50	30	20	
	3. sadolle	70	60	50	40	30	
Niitonurmi	Kevätlevitys	70	50	40	10		
	2. sadolle	90	80	70	50	30	
Laidunnurmi							
• 3 lannoituskertaa	Kevätlevitys	40	30	20			
	2. sadolle	50	40	40	30	10	
	3. sadolle	50	50	40	40	30	
• 4 lannoituskertaa*	Kevätlevitys	40	30	20	10		
	2. sadolle	40	30	30	20	10	
	3. sadolle	40	40	30	30	20	
	4. sadolle	30	30	20	20	10	10

Lisää kaliumlannoitusta 20 kg/ha kolmannen vuoden ja sitä vanhemmille nurmille, ei kuitenkaan laidunnurmille.
 Jos käytät karjanlantaan nurmen perustamisen yhteydessä, vähennä seuraavan kevään kaliumsuosituksesta 20 kg/ha.
 Poutakausina on savimailta hyvä välttää voimakasta kaliumlannoitusta.
 *Jos säilörehun kaliumpitoisuus on yli 25 g K/kg ka, voi seuraavan kevään kaliumlannoitusta vähentää 10–20 kg K/ha.

Monivuotisilla nurmilla on tiheä juuristo, jonka ansiosta ne voivat hyödyntää tehokkaasti maan viljavuuskaliumin lisäksi myös maan reservikaliumia. Vuosina 1977–1994 tehdyissä kaliumlannoituskokeissa nurmi käytti maan reservikaliumvaroja, ja nurmesta saatiin täysiä satoja useiden vuosien ajan viljavuuskaliumpitoisuuden ollessa alhainen. Maan viljavuuskaliumpitoisuus ennustaa siis heikosti nurmen kaliumsaantia. (Saarela ym. 1998, 38.) Myös Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) julkaisemassa tutkimuksessa kaliumlannoituksen satovasteeseen nurmilla vaikutti selvästi enemmän maan reservi- kuin viljavuuskaliumpitoisuus. Sadonlisä nurmilla oli huomattava reservikaliumpitoisuuden ollessa alhainen (< 400 mg/l). Puolestaan reservikaliumpitoisuuden ollessa korkea (> 600 mg/l) ei kaliumlannoituksella ollut merkittävää vaikutusta nurmen satoon. (Kuvio 7.) (Virkajärvi ym. 2014, 3.) Nurmen viljelyssä kaliumlannoituksen perusteena olisi siis aiheetta siirtyä käyttämään maan viljavuuskaliumin sijasta sen reservikaliumpitoisuutta (Luke 2014).



KUVIO 7. Kaliumlannoituksen vaikutus nurmen kuiva-ainesatoon. Harmaat nuolet esittävät nykyisten kaliumlannoitussuosituksien mukaisia suosituksia, kun taas mustat nuolet uusia reservikaliumpitoisuuteen perustuvia suosituksia. (Virkajärvi ym. 2014, 37.)

MTT:n julkaiseman tutkimuksen pohjalta on luotu ohjeelliset kaliumlannoitussuosituksia (taulukko 7). Suositukset on annettu matalan reservikaliumin (< 500 mg/l) maille ja korkean reservikaliumin (> 600 mg/l) maille. Reservikaliumiin perustuvat suositukset on annettu ensimmäisen, toisen ja kolmannen vuoden nurmille. Reservikaliumiin perustuvissa suosituksissa on otettu huomioon kaliumlannoituksen satovaste sekä vaikutus nurmen kaliumpitoisuuteen. Lisäksi kaliumlannoitussuosituksissa on esitetty taloudellinen optimi, johon vaikuttavat aiemmin mainittujen lisäksi myös rehun sekä kaliumlannoituksen hinta. Nämä muuttuvat, joten taloudellinen optimi on ajankohtaan sidottu. (Virkajärvi ym. 2014, 36.)

TAULUKKO 7. Kaliumlannoituksen ohjeelliset maan reservikaliumpitoisuuksiin perustuvat suositukset (Virkajärvi ym. 2014, 36).

Nurmi- vuosi	Matalan kaliumtilan maat		Korkean kaliumtilan maat	
	Sato 90 % maksimista	Taloudellinen optimi	Sato 90 % maksimista	Taloudellinen optimi
1	130	120	²⁾	0
2	260 ¹⁾	226	²⁾	0
3	220	200	²⁾	0

1) rehun arvioitu kaliumpitoisuus 33 g/kg ka

2) Maksimisatoa ei voi estimoida

Nurmen kaliumpitoisuus kertoo kaliumin saannin riittävydestä. Kaliumlannoituskokeista tehdyn meta-analyysin mukaan nurmen maksimisadosta saatiin vähintään 95 %, kun nurmikasvuston kaliumpitoisuus oli 17,5–20 g/kg ka. Tällöin nurmikasvusto ei ole kärsinyt kaliumin puutteesta. Kaliumpitoisuuden nousu ei ole nurmikasvuston kannalta haitaksi, mutta nurmirehun ruokinnallisen laadun takia kaliumpitoisuuden tulisi olla korkeintaan 30 g/kg ka. (Hyrkäs ym. 2014, 107.) Koska nurmen kaliumpitoisuus kertoo sen kaliumin saannista, on nurmen kaliumpitoisuuden seuraaminen olennaista säädettäessä kaliumlannoitusta (taulukko 8) (Virkajärvi ym. 2014, 40). Esimerkiksi korkean reservikaliumin mailla kaliumlannoitusta ei kannata jättää antamatta, mikäli kaliumpitoisuus rehussa on alhainen (Kurki & Savikurki 2017b). Tähän voivat vaikuttaa esimerkiksi matala viljavuuskalium maassa tai maan heikko rakenne. Maan heikko rakenne heikentää juuriston kasvuedellytyksiä ja siten ravinteiden ottoa. Rakenteeltaan heikkokuntoisilla mailla kaliumlannoituksen sato-vaste voi siis olla hyväkin. (Virkajärvi ym. 2014, 37.) Matalan reservikaliumin mailla kaliumlannoitusta ei kannata lisätä, mikäli nurmen kaliumpitoisuus on suuri. Tähän voivat puolestaan vaikuttaa esimerkiksi korkea viljavuuskalium tai jankon korkea reservikalium. (Kurki & Savikurki 2017b.)

TAULUKKO 8. Nurmen kaliumlannoituksen säätäminen (Kurki & Savikurki 2017b).

	Matala viljavuus-K	Korkea viljavuus-K
Matala reservi-K < 500 mg/l	Todennäköisesti rehun K-pitoisuus on alhainen (<17 g/kg ka). Jos sato on myös huono, lisää K-lann. etenkin 2 v. nurmilla. Jos rehun K-pitoisuus on korkea, analysoi jankon (väh. 20 cm-miel. 50 cm) kalium. Jos se on korkea kaliumlannoitusta ei tarvitse lisätä.	Rehun K-pitoisuus ratkaisee. Jos rehun K-pitoisuus < 17 g/kg ka, lisää kaliumlannoitusta. Jos rehun K-pitoisuus on > 30 g/kg ka, vähennä kalilannoitusta.
Korkea reservi-K > 600 mg/kg/	Rehun K-pitoisuus ratkaisee. Jos rehun K-pitoisuus on < 17 g/kg ka, lisää lannoitusta. Jos rehun K-pitoisuus > 30 g/kg ka, vähennä lannoitusta, Viljely onnistuu todennäköisesti myös ilman kaliumlannoitusta	Vähennä kaliumlannoitusta maltillisesti ja seuraa sadon K-pitoisuutta ja satotaso. Voit vaikuttaa eläinten terveyteen mm. kasvilajivalinnoilla ja kalkituksella. Viljely onnistuu todennäköisesti myös ilman kaliumlannoitusta.

3.4 Nurmen kaliuminotto

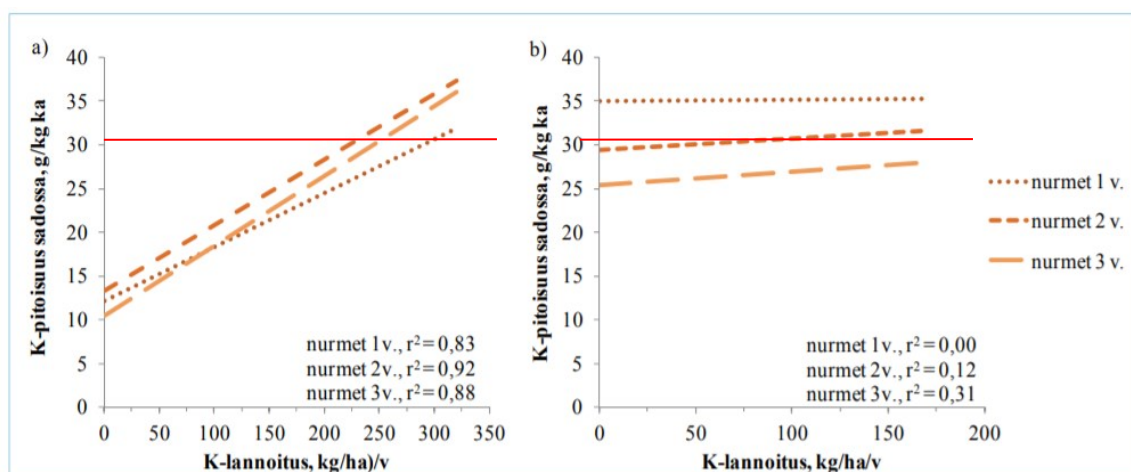
Kalium on typen jälkeen toiseksi tärkein ravinne nurmen sadonmuodostuksen kannalta, ja nurmisaadon mukana kaliumia poistuu jopa 150–250 kg/ha (Kykkänen ym. 2016). Nurmelle on tyypillistä kaliumin luksusotto, eli nurmi ottaa kaliumia maasta rajoituksetta (Hyrkäs ym. 2014, 107). Nurmi

ottaa kaliumia tehokkaammin verrattuna muihin kationeihin. Esimerkiksi maanesteessä kalsiumia ja magnesiumia on enemmän kuin kaliumia, mutta kasvilla kaliumia on silti näitä enemmän. (Hartikainen ym. 1992, 229.)

Nurmen kaliuminottoon vaikuttaa merkittävästi typen saanti. Kaliumin puutteessa nurmi rajoittaa typen ottoa, kun taas typen puutteessa nurmi rajoittaa kaliumin ottoa. Korkea kaliumin saanti suhteessa typen saantiin voi silti nostaa nurmisadon kaliumpitoisuutta. (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 24.) Typpi- ja kaliumlannoituksen tulisi siis olla tasapainossa, ettei kumpikaan ravinne rajoittaisi kasvua, eikä kaliumpitoisuus nurmessa nousisi liian korkeaksi. Typen saannin lisäksi myös muun muassa sää vaikuttaa nurmen kaliuminottoon, sillä kuivuuden seurauksena tapahtuu yleensä kaliumin luksusottoa (Seppänen 2020). Kuivuus väkevöittää maanestettä, jolloin kaliumin hyväksikäyttö on tehokkaampaa. Sateisena kesänä kaliumin hyväksikäyttö on puolestaan heikompaa, sillä maaneste on laimeampaa. (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 53–54.)

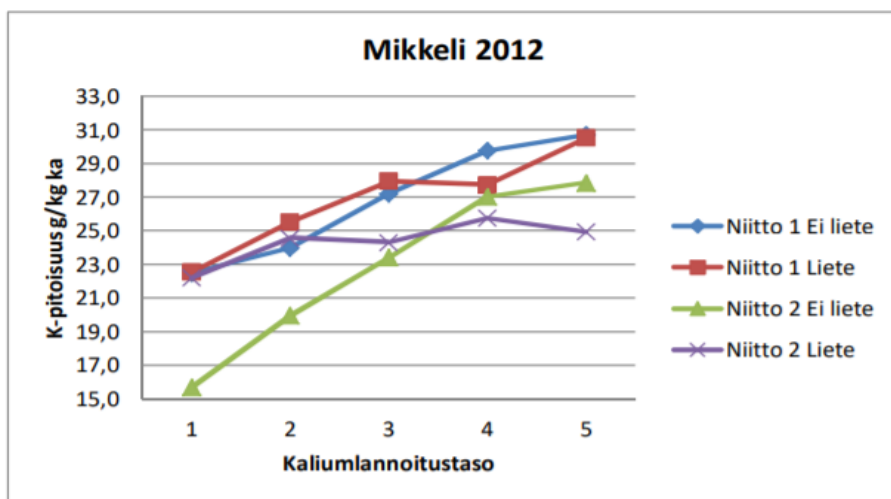
3.5 Kaliumlannoituksen vaikutukset nurmirehun kivennäistasapainoon

Nurmen kaliumpitoisuus nousee kaliumlannoituksen lisääntyessä. MTT:n julkaisemassa tutkimuksessa nurmen kaliumpitoisuus oli ilman kaliumlannoitusta erittäin pieni, kun maan reservikaliumipitoisuus oli matala. Kaliumlannoituksen myötä nurmen kaliumpitoisuus nousi selvästi. Puolestaan korkean reservikaliumin mailla nurmen kaliumpitoisuus oli korkea jo lähtökohtaisesti eikä kaliumlannoitus lisännyt nurmen kaliumpitoisuutta merkittävästi. Nurmen kaliumpitoisuuteen vaikutti kaliumlannoituksen lisäksi myös nurmen ikä. (Kuvio 8.) (Virkajärvi ym. 2014, 31.)

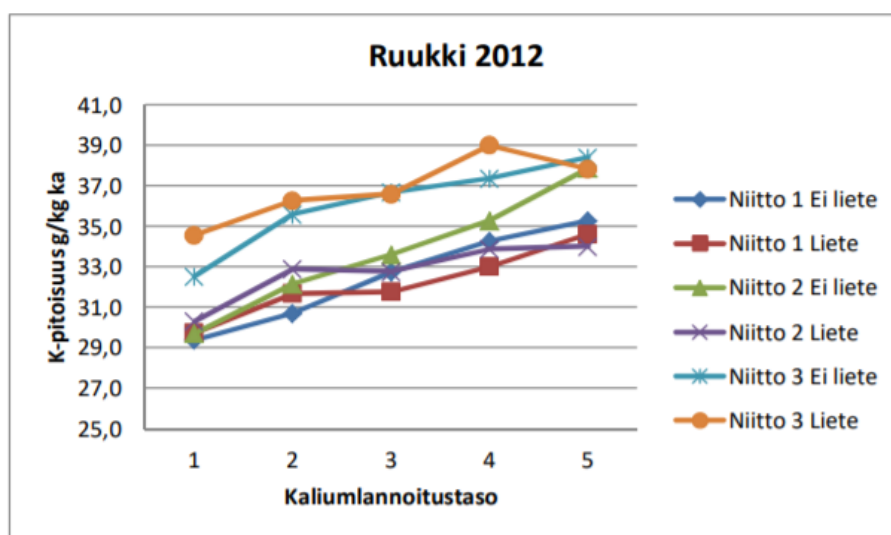


KUVIO 8. Kaliumlannoituksen vaikutus eri-ikäisten nurmien kaliumpitoisuuteen matalan (a) ja korkean (b) reservikaliumin mailla (Virkajärvi ym. 2014, 31).

Kaliumlannoituksen vaikutus nurmirehun kaliumpitoisuuteen vaihtelee eri tutkimusten välillä. Esimerkiksi vuonna 2012 tehdyssä tutkimuksessa kaliumlannoitus lisäsi Mikkeliissä nurmirehun kaliumpitoisuutta merkittävästi, vaikka maan reservikaliumpitoisuus oli korkea (kuvio 9). Ruukissa nurmirehun kaliumpitoisuus oli puolestaan korkea jo alhaisella kaliumlannoitustasolla ja lannoituksen lisääntyessä kaliumpitoisuus nousi erittäin korkeaksi, vaikka maan reservikaliumpitoisuus oli kyntökerroksessa alhainen ja jankossa korkea (kuvio 10). (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 30, 53.)

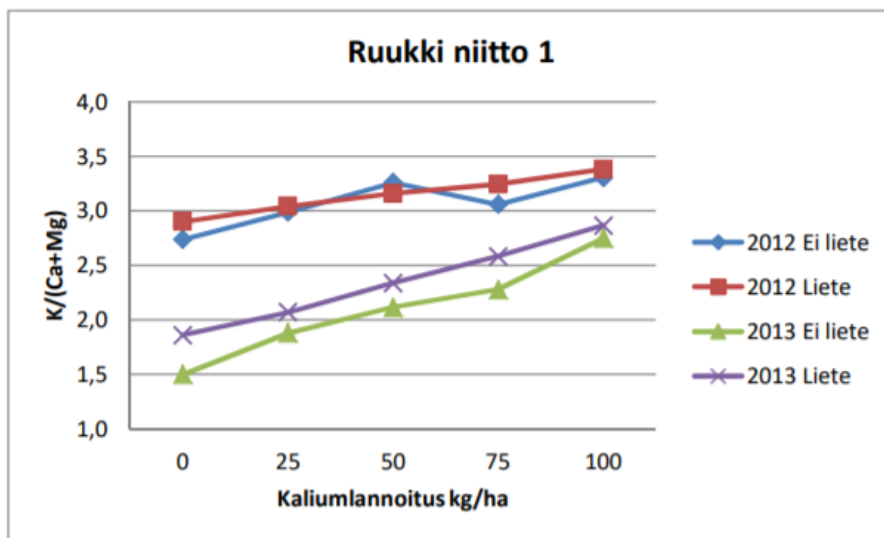


KUVIO 9. Kaliumlannoituksen vaikutus nurmen kaliumpitoisuuteen Mikkeliissä vuonna 2012 tehdyssä tutkimuksessa. Kaliumlannoitustasot olivat 0 kg/ha, 50 kg/ha, 100 kg/ha, 150 kg/ha ja 200 kg/ha. (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 54.)

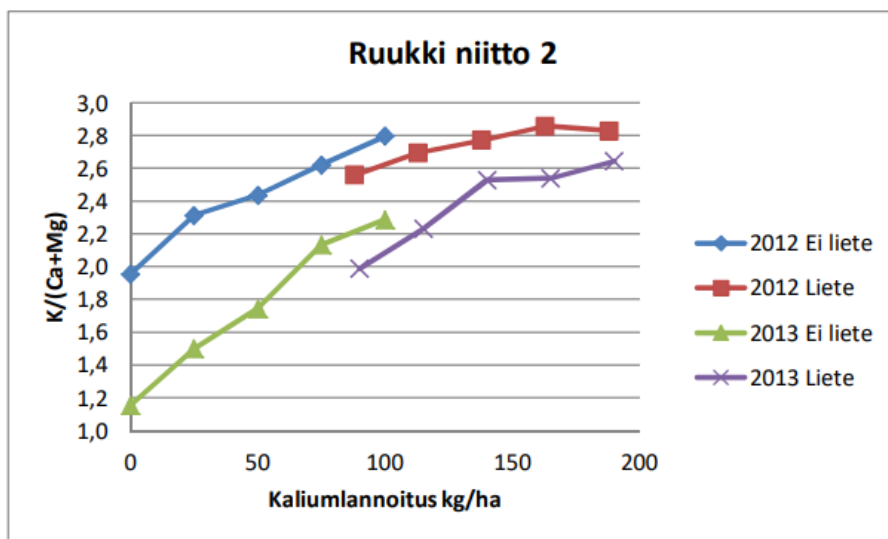


KUVIO 10. Kaliumlannoituksen vaikutus nurmen kaliumpitoisuuteen Ruukissa vuonna 2012 tehdyssä tutkimuksessa (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 55).

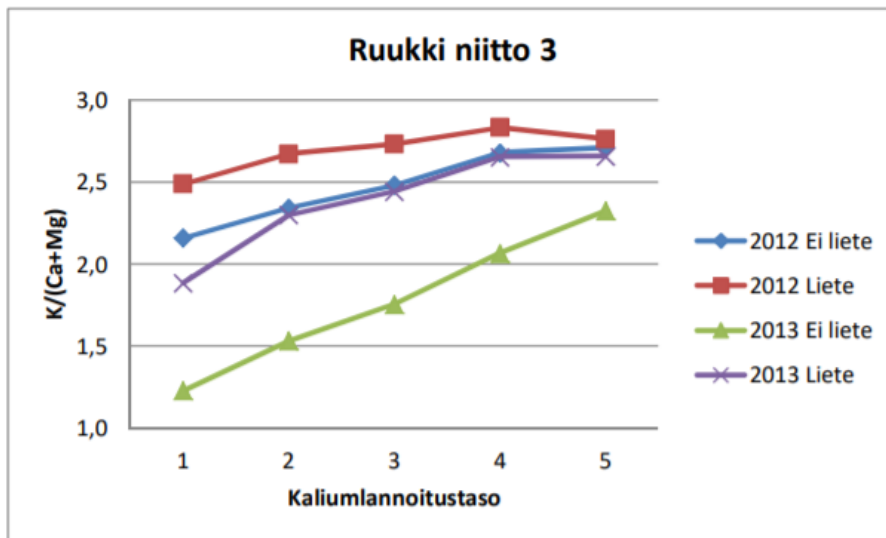
Nurmirehun ekvivalenttisuhte ($K/(Ca+Mg)$) nousee kaliumlannoituksen lisääntyessä, sillä kaliumlannoitus nostaa nurmen kaliumpitoisuutta, mutta lisäksi laskee sen magnesium- ja kalsiumpitoisuuksia. Ruukissa vuosina 2012–2013 tehdyssä tutkimuksessa ekvivalenttisuhte nousi kaliumlannoitustason noustessa (kuviot 11, 12 ja 13). (Farmit 2012b; Hyvärinen & Pehkonen 2014, 61.)



KUVIO 11. Ensimmäisen sadon ekvivalenttisuhteet eri kaliumlannoitustasoilla Ruukissa vuosina 2012–2013 tehdyssä tutkimuksessa. X-akseli kuvaa mineraalikaliumlannoituskäsittelyä. (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 63.)

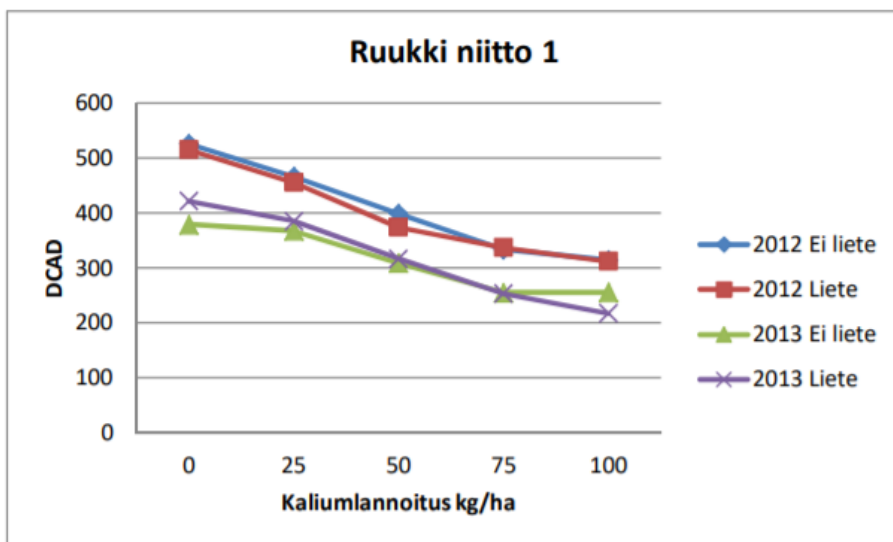


KUVIO 12. Toisen sadon ekvivalenttisuhteet eri kaliumlannoitustasoilla Ruukissa vuosina 2012–2013 tehdyssä tutkimuksessa (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 63).

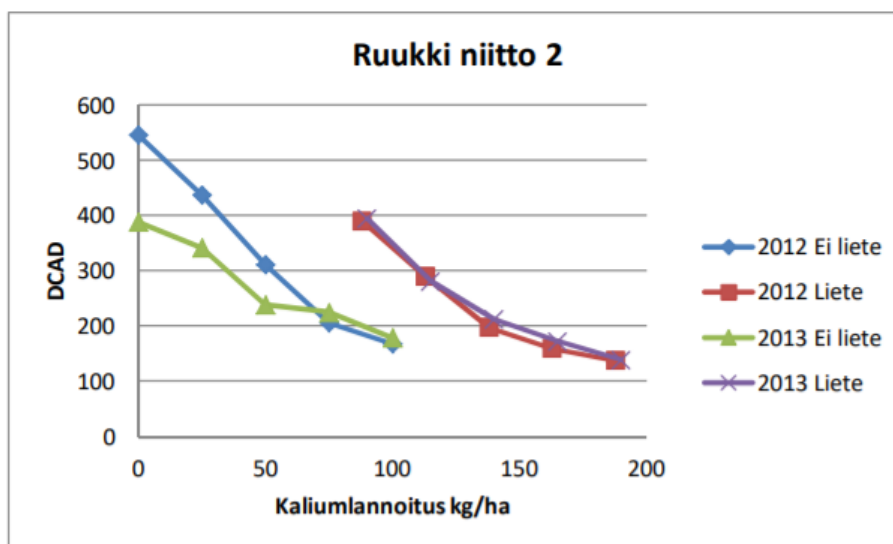


KUVIO 13. Kolmannen sadon ekvivalenttisuhteet eri kaliumlannoitustasoilla Ruukissa vuosina 2012–2013 tehdyssä tutkimuksessa (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 64).

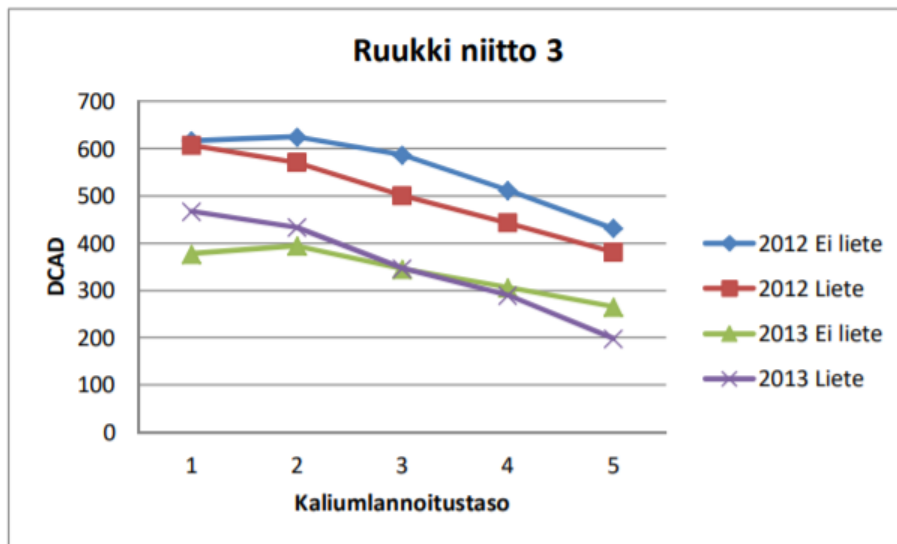
Nurmirehun DCAD-arvo yleensä nousee kaliumlannoituksen lisääntyessä, sillä rehun kaliumpitoisuuden nousu johtaa DCAD-arvon nousuun. Kun kaliumlannoitteena käytetään kaliumkloridia, voi kaliumlannoitus puolestaan laskea rehun DCAD-arvoa. Tämä johtuu siitä, että kaliumkloridi sisältää klooria ja rehun klooripitoisuuden noustessa DCAD-arvo laskee. Vuosina 2012–2013 Ruukissa tehdyssä tutkimuksessa kaliumlannoitustason noustessa nurmirehun DCAD-arvo laski (kuviot 14, 15 ja 16). DCAD-arvon lasku johtui siitä, että tutkimuksessa kaliumlannoitteena käytettiin kaliumkloridia, ja kloori on nostanut rehun klooripitoisuutta nopeammin kuin kalium rehun kaliumpitoisuutta. (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 66, 71.) Kloorin hyväksikäyttöaste onkin huomattavasti parempi kuin kaliumin (kuvio 17) (Virkajärvi ym. 2016).



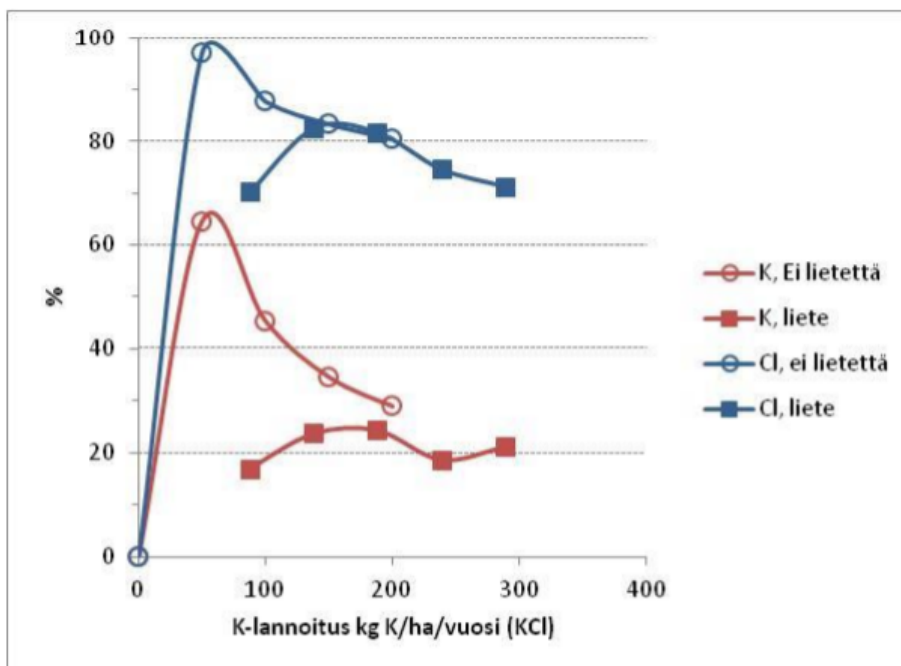
KUVIO 14. Kaliumlannoituksen vaikutus 1. sadon DCAD-arvoon Ruukissa vuosina 2012–2013 tehdyssä tutkimuksessa (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 68).



KUVIO 15. Kaliumlannoituksen vaikutus 2. sadon DCAD-arvoon Ruukissa vuosina 2012–2013 tehdyssä tutkimuksessa (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 69).



KUVIO 16. Kaliumlannoituksen vaikutus 3. sadon DCAD-arvoon Ruukissa vuosina 2012–2013 tehdyssä tutkimuksessa (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 69).



KUVIO 17. Kalium- ja kloorilannoituksen näennäinen hyväksikäyttö Maaningalla 2012–2014 tehdyssä tutkimuksessa (Virkajärvi ym. 2016).

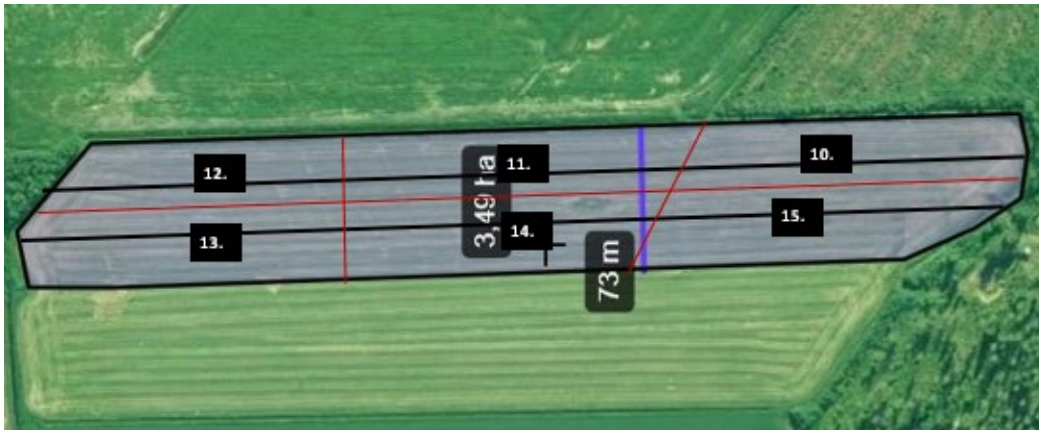
4 KALIUMLANNOITUSTESTAUKSET TILAKOhteissa

Opinnäytetyön aineisto perustui kaliumlannoitustestaukseen, joka toteutettiin Kaliumilla turvemaat tuottamaan -hankkeessa. Kaliumlannoitustestaus toteutettiin kasvukauden 2020 aikana hankkeen yhteistyötilojen peltolohkoilla, joille suunniteltiin lannoituskaistoja eri kaliumlannoitustasoilla. Kaliumlannoitustasoina käytettiin viljelysuunnitelman mukaista suositusta, maan reservikaliumpitoisuuden perustuvaa suositusta sekä mahdollisesti niin sanottua tilan omaa lannoitustasoa. Kaliumlannoitustestaus tehtiin kaliumsuolalla.

Opinnäytetyössä käsitellään lannoitustestauksen toteuttamista sekä tuloksia kahdessa kohteessa. Toinen kohteista oli paksuturpeinen lohko ja toinen kivennäismaalohko. Lohkot olivat hankkeen yhteistyötilojen lohkoja, jotka oli todettu reservikaliumin osalta köyhiksi. Kyseiset kohteet valittiin tutkimukseen, sillä lohkoilla kasvoi kokeen aikana nurmi, ja tulokset nurmen satotasoista sekä kivennäispitoisuuksista olivat saatavilla lohkoilta lannoituskaistoittain. Lisäksi oli saatavilla tulokset maanäyteanalyysistä. Kivennäismaalohko ei alun perin kuulunut testausuunnitelmaan johtuen testauksen painottumisesta turvemaalohkoille sekä kyseisen kivennäismaalohkon matalista ravinnepitoisuuksista. Kivennäismaalohko otettiin kuitenkin testaukseen mukaan, koska turvemaalohkolla, jolle testausta oli alun perin suunniteltu, oli runsaasti talvituhoja.

4.1 Lannoitustestausten toteutus

Paksuturpeinen lohko sijaitsi Ruukissa viljelyvyöhykkeellä IV. Lohkon pinta- ja pohjamaan maalaji oli saraturve ja lohko oli salaojitettu. Kokeen aikana lohkolla kasvoi 2. vuoden nurmi. Lohkolle suunniteltiin kolme 36 metriä leveää lannoituskaistaa, joilta otettiin maanäytteet keväällä 2020. Jokaiselta suunnitellulta kaistalta otettiin kolme maanäytettä. Yksi kaistoista kuitenkin hylättiin, ja jäljelle jääneelle koealalle suunniteltiin kolme uutta 24 metriä leveää lannoituskaistaa. Täten maanäytteet eivät olleet lannoituskaistoittain otettuja, vaan ne jakaantuivat koealalle kuvion 18 mukaisesti.



KUVIO 18. Maanäytteiden ottopaikat paksuturpeisella loholla. Lannoituskaistat on piirretty mustilla viivoilla ja punaisilla viivoilla on jaettu alueet, joista maanäytteet on otettu. (Maanmittauslaitos 2021.)

Maanäytteistä analysoitiin maaperän kalsium-, kalium-, magnesium-, fosfori-, kupari-, mangaani-, sinkki- ja rikkipitoisuudet. Lisäksi analysoitiin ravinnereservit, eli reservikalsium, -kalium, -magnesium ja -fosfori. Maanäytteistä analysoitiin myös pH, hehkutushäviö sekä johtoluku.

Paksuturpeinen lohko oli maalajiltaan Saraturvetta (Ct). Lannoituskaistojen viljavuustulokset koostuivat lannoituskaistoilta otettujen maanäytteiden analyysitulosten keskiarvoista. Toisen kaistan eli K190-kaistan viljavuustulokset olivat ensimmäisen kaistan eli K150-kaistan sekä kolmannen kaistan eli K230-kaistan maanäytteiden keskiarvojen perusteella laskettuja, mikä tulee ottaa huomioon tuloksissa. Kaistoilta otettujen maanäytteiden keskiarvojen perusteella ensimmäisen kaistan pH oli luokassa tyydyttävä, ja toisen sekä kolmannen kaistan pH luokassa välttävä. Kaliumin ja fosforin osalta lohko oli köyhä. Maanäytteiden keskiarvojen perusteella kaliumin viljavuusluokka oli kaikilla kaistoilla huononlainen ja fosforin viljavuusluokka välttävä. Muiden ravinteiden pitoisuudet loholla olivat hyviä. Kaikilla kaistoilla magnesiumin viljavuusluokka oli korkea, ja kalsiumin viljavuusluokka tyydyttävä. Kupari, mangaani ja sinkki olivat kaikilla kaistoilla viljavuusluokassa tyydyttävä, kun taas rikki oli viljavuusluokassa hyvä. Reserviravinteiden osalta lohko oli köyhä. Reserviravinteista kaliumin viljavuusluokka oli huono ja fosforin välttävä kaikilla kaistoilla. Magnesiumin viljavuusluokka oli puolestaan ensimmäisellä ja toisella kaistalla tyydyttävä ja kolmannella välttävä. Maan viljavuus oli testialueella kohtuullisen tasainen, sillä eroavaisuuksia kaistojen välillä oli vain pH-arvoissa sekä reservimagnesiumin viljavuusluokissa. (Kuvio 19.) (Taulukko 9.)

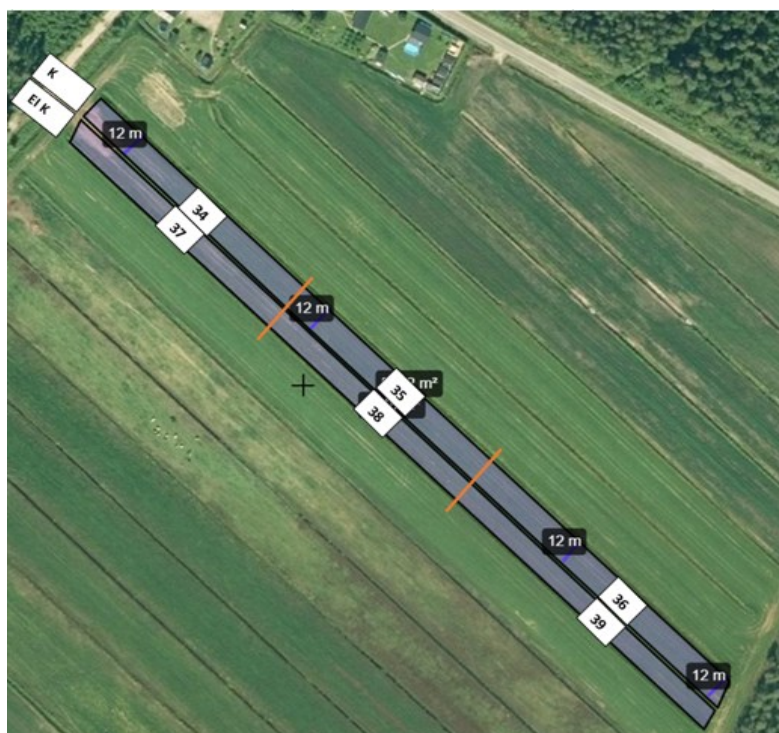
● Huono
 ◐ Huononlainen
 ○ Välttävä
 □ Tyydyttävä
 ▤ Hyvä
 ■ Korkea
 ◈ Arvel. korkea

KUVIO 19. Maan viljavuusluokkien merkkien selitykset (Eurofins 2017).

TAULUKKO 9. Maaperän viljavuusluokat lannoituskaistoittain paksuturpeisella loholla.

	Maa-laji	pH	Ca	P	K	Mg	S	Cu	Mn	Zn	Reservi-P	Reservi-K	Reservi-Mg
K150	Ct	□	□	○	◐	▤	▤	□	□	□	○	●	□
K190	Ct	○	□	○	◐	▤	▤	□	□	□	○	●	□
K230	Ct	○	□	○	◐	▤	▤	□	□	□	○	●	○

Kivennäismaalohko sijaitsi Muhoksella, viljelyvyöhykkeellä IV. Lohkon maalaji oli karkea hieta ja lohko oli sarkaojitettu. Kokeen aikana loholla kasvoi 1. vuoden nurmi. Kivennäismaalohkolla lannoitustestaus toteutettiin yhdellä saralla, jolle suunniteltiin kaksi lannoituskaistaa. Maanäytteet otettiin lannoituskaistoilta syksyllä 2020. Molemmilta lannoituskaistoilta otettiin kolme maanäytettä (kuvio 20).



KUVIO 20. Maanäytteiden ottopaikat kivennäismaalohkolla. Lannoituskaistat on piirretty mustilla viivoilla ja oransseilla viivoilla on jaettu alueet, joista maanäytteet lannoituskaistoilta on otettu. (Maanmittauslaitos 2021.)

Ravinnepitoisuudet lohkolla olivat maanäytteiden perusteella heikkoja. Heikot ravinnepitoisuudet johtuvat siitä, että lohko on raivio. Vaikka lohko on raivio, paljastuivat ravinnepitoisuudet maanäytteissä silti ennakoituakin matalammiksi. Lohko oli esimerkiksi kalkittu lohkon viljavuusnäytteiden ottamisen jälkeen, mutta hankkeessa otetuissa maanäytteissä lohkon viljavuus oli edelleen huono. Kivennäismaalohko ei alun perin kuulunut testaussuunnitelmaan, ja sen heikko viljavuus vaikuttaa lannoitustestauksen tuloksiin.

Kivennäismaalohko oli maalajiltaan karkeaa hietaa. Kivennäismaalohkon maanäytteistä tehtiin samat analyysit kuin paksuturpeisen lohkon maanäytteistä. Kaistojen viljavuustulokset koostuivat kaistoilta otettujen maanäytteiden analyysitulosten keskiarvoista. Multavuusluokka oli maanäytteiden keskiarvojen perusteella Ei lisäkalium -kaistalla runsasmultainen ja Lisäkalium-kaistalla erittäin runsasmultainen. PH oli välttävä kaistalla, joka ei saanut lisäkaliumia, ja lisäkaliumia keväällä saaneen kaistan pH oli huononlainen. Kivennäismaalohko oli viljavuudeltaan erittäin köyhä, sillä lähes kaikkien ravinteiden pitoisuudet olivat matalia. Maanäytteiden keskiarvojen perusteella kalium sekä rikki olivat viljavuusluokassa tyydyttävä Lisäkalium-kaistalla, ja viljavuusluokassa välttävä Ei lisäkalium -kaistalla. Kalsium ja fosfori olivat molemmilla kaistoilla viljavuusluokassa huononlainen, kuten myös kupari ja mangaani. Magnesiumin viljavuusluokka oli huononlainen lisäkaliumia saaneella kaistalla, ja välttävä kaistalla, joka ei saanut lisäkaliumia. Sinkin viljavuusluokka oli välttävä molemmilla kaistoilla. Myös maan reserviravinteiden pitoisuudet lohkolla olivat heikkoja. Maan reserviravinteista kaliumin viljavuusluokka oli huononlainen, kun taas fosforin sekä magnesiumin viljavuusluokka oli välttävä molemmilla kaistoilla. Kaliumia, rikkiä sekä pH:ta lukuun ottamatta ravinteiden viljavuusluokat olivat kaistojen välillä siis samat, joten testialue oli viljavuudeltaan melko tasainen. (Taulukko 10.)

TAULUKKO 10. Maaperän viljavuusluokat lannoituskaistoittain kivennäismaalohkolla.

	Maa-laji	pH	Ca	P	K	Mg	S	Cu	Mn	Zn	Reservi-P	Reservi-K	Reservi-Mg
Ei lisäkalium	Rm Kht												
Lisäkalium	Erm Kht												

Huono
 Huononlainen
 Välttävä
 Tyydyttävä
 Hyvä
 Korkea
 Arvel. korkea

4.1.1 Lannoitustestaus paksuturpeisella loholla

Paksuturpeiselle lohkolle suunniteltiin kolme lannoituskaistaa tietokoneella käyttäen hyväksi Kart-tapaikkaa (kuvio 21). Suunnitellut kaistat merkittiin pellolle tolilla. Kaistojen leveys oli 24 metriä ja kaistat olivat pituudeltaan lohkon mittaisia. Koeala oli pinta-alaltaan noin 3,5 hehtaaria ja kaistat keskimäärin 1,2 hehtaaria. Kaistojen vertailukelpoisuutta arvioitiin muun muassa havainnoimalla nurmen kevättiheyttä ja talvituhojen määrää kaistoilla. Havaintojen tekeminen oli haastavaa loholla olevan runsaan kuloheinän vuoksi, mutta arvion mukaan kaistat olivat kuitenkin vertailukelpoisia keskenään.



KUVIO 21. Lannoituskaistat paksuturpeisella loholla (Maanmittauslaitos 2021).

Paksuturpeiselle lohkolle suunniteltiin kolme kaliumlannoitustasoa. Lannoituskaistojen kaliumlannoitustasot olivat 150 kg K /ha, 190 kg K /ha ja 230 kg K /ha. Kaliumlannoitustaso 150 kg K /ha oli viljelysuunnitelman suositusten mukainen. Maan reservikaliumpitoisuuteen perustuva suositus lohkolle oli 226 kg K /ha, joten lannoitustaso 230 kg K /ha oli lähellä kyseistä suositusta. Lannoitustaso 190 kg K /ha oli niin sanottu tilan oma taso ja se sijoittui näiden suositusten väliin. Typpilannoitus oli 160 kg/ha ja fosforilannoitus 14 kg/ha kaikilla lannoituskaistoilla. (Taulukko 11.) Ympäristökorvauksen sallima enimmäismäärä lohkon typpilannoitukselle oli 160 kg/ha ja fosforilannoitukselle 24 kg/ha.

Peruslannoituksena paksuturpeiselle lohkolle levitettiin kevätlannoituksessa karjan lietalantaa sekä Yara Mila Y 4 -lannoitetta. Toiselle sadolle levitettiin myös Yara Mila Y 4 -lannoitetta. Kaliumsuola levitettiin kaistoille 29.6.2020 eli viisi päivää 1. niiton jälkeen. Kaliumsuola levitettiin siis vasta toiselle sadolle. Kaliumsuolaa levitettiin ensimmäiselle kaistalle 56 kg/ha, toiselle kaistalle 136 kg/ha

ja kolmannelle kaistalle 216 kg/ha. (Taulukko 12.) Kaistojen leveydet olivat 24 metriä, kuten myös lannoittimen leveys. Apuna kaliumsuolan levityksessä käytettiin traktorin ajo-opastinta.

*TAULUKKO 11. Paksuturpeisella lohkolla toteutetun testauksen typpi-, fosfori- ja kaliumlannoitus-
ten määrät (kg/ha) lannoituskaistoittain 1. niitossa, 2. niitossa ja yhteensä sekä kaliumlannoitusta-
sojen perustelut.*

	K150	K190	K230
1. niitto NPK (kg/ha)	82–6–75	82–6–75	82–6–75
2. niitto NPK (kg/ha)	78–8–75	78–8–115	78–8–155
yhteensä NPK (kg/ha)	160–14–150	160–14–190	160–14–230
kaliumlannoitustason perustelu	viljely- suunnitelman suosituksen mukainen	tilan oma taso, joka asettui viljelysuunnitelman suosi- tuksen sekä reservikalium- pitoisuuteen perustuvan suosituksen väliin	reservikalium- pitoisuuteen perustuvan suosituksen mukainen

*TAULUKKO 12. Paksuturpeisella lohkolla käytetyt lannoitteet ja niiden käyttömäärät sekä lannoi-
tusten ja niittojen ajankohdat.*

toimenpide	ajankohta	määrä
lannoitus, lietelanta	kevät, 16.5.	40 tn/ha
lannoitus, Yara Mila Y 4	kevät, 22.5.	90 kg/ha
1. niitto	kesä, 24.6.	
lannoitus, Kaliumsuola	kesä, 29.6.	56 / 136 / 216 kg/ha
lannoitus, Yara Mila Y 4	kesä, 1.7.	390 kg/ha
2. niitto	syksy, 7.8.	

4.1.2 Lannoitustestaus kivennäismaalohkolla

Kivennäismaalohkolla kaliumlannoitustestaus toteutettiin yhdellä saralla (kuvio 22). Saralle suunniteltiin Karttapaiikkaa hyödyntäen kaksi lannoituskaistaa, joiden pinta-alat olivat noin 0,5 hehtaaria

ja 0,4 hehtaaria (kuvio 23). Ensiksi havaintoja tehtiin siitä, että saran molemmat puolet ovat vertailukelpoisia keskenään muun muassa nurmen tiheyden ja talvituhojen suhteen. Lannoitustestaus toteutettiin siten, että vain saran toiselle puolelle levitettiin kaliumsuolaa.



KUVIO 22. Kivennäismaalohkon sarka, jossa kaliumlannoitustestaus toteutettiin.



KUVIO 23. Suunnitellut lannoituskaistat kivennäismaalohkolla (Maanmittauslaitos 2021).

Kivennäismaalohkolla kaistojen kaliumlannoitustasot olivat 115 kg K/ha ja 155 kg K/ha. Kaliumlannoitustaso 115 kg K/ha oli lähellä sekä viljelysuunnitelman mukaista suositusta, joka oli lohkolle

118 kg K/ha, että maan reservikaliumpitoisuuteen perustuvaa suositusta, joka oli lohkolle 120 kg K/ha. Kaliumlannoitustaso 155 kg K/ha oli niin sanottu tilan oma taso, joka ylitti edellä mainitut suositukset. Typpilannoitus oli kaistoilla 190 kg/ha ja fosforilannoitus 24 kg/ha. (Taulukko 13.) Ympäristökorvauksen sallima enimmäismäärä typpilannoitukselle oli 190 kg/ha ja fosforille 32 kg/ha.

Peruslannoituksena lohkolle levitettiin kevätlannoituksessa Yara Mila Y 3 -lannoitetta. Toinen sato lannoitettiin Yara Mila Y 4 -lannoitteella sekä karjan lietalannalla. Kaliumsuola levitettiin ensimmäiselle sadolle. Se levitettiin 20.5., eli seitsemän päivää peruslannoituksen jälkeen, ja sen käyttömäärä oli 80 kg/ha. Kaliumsuolaa levitettiin vain toiselle kaistalle. (Taulukko 14.) Lannoittimen leveys oli 2,5 m ja se ajoi sarkaa edestakaisin niin, että lannoitetun alueen leveydeksi tuli 12,5 m. Lannoittamaton alue oli noin 10 m leveä.

TAULUKKO 13. Kivennäismaalohkolla toteutetun testauksen typpi-, fosfori- ja kaliumlannoitusten määrät 1. niitossa, 2. niitossa ja yhteensä sekä perustelut kaistojen kaliumlannoitustasoille.

	Ei lisäkalium	Lisäkalium
1. niitto NPK (kg/ha)	92–12–32	92–12–72
2. niitto NPK (kg/ha)	98–12–83	98–12–83
yhteensä NPK (kg/ha)	190–24–115	190–24–155
kaliumlannoitus-tason perustelu	viljelysuunnitelman suosituksen sekä maan reservikaliumpitoisuuteen perustuvan suosituksen mukainen	tilan oma taso, joka ylitti viljelysuunnitelman suosituksen sekä maan reservikaliumpitoisuuteen perustuvan suosituksen

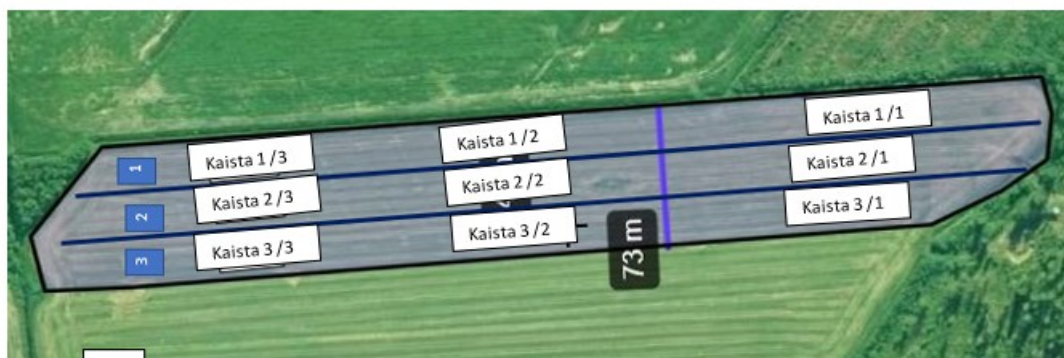
TAULUKKO 14. Kivennäismaalohkolla käytetyt lannoitteet ja niiden käyttömäärät sekä lannoitusten ja niittojen ajankohdat.

toimenpide	ajankohta	määrä
lannoitus, Yara Mila Y 3	kevät, 13.5.	400 kg/ha
lannoitus, Kaliumsuola	kevät, 20.5.	0 / 80 kg/ha
1. niitto	kesä, 22.6.	
lannoitus, Yara Mila Y 4	kesä, 24.6.	280 kg/ha
lannoitus, lietalanta	kesä, 26.6.	33 tn
2. niitto	syksy, 6.8.	

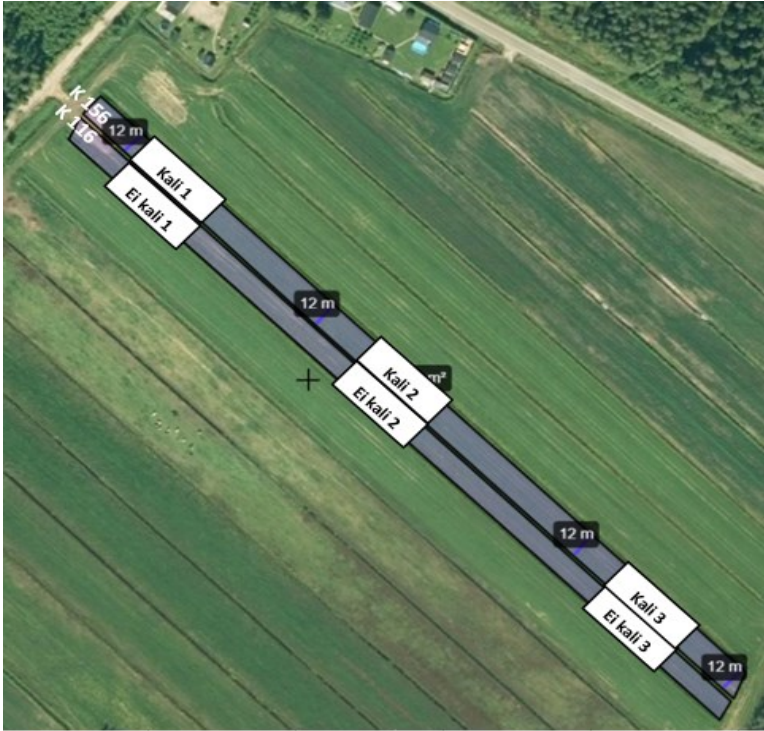
4.1.3 Nurmen satotasojen ja nurmirehun kivennäiskoostumuksen määrittäminen lohkojen lannoituskaistoilta

Paksuturpeisella loholla ensimmäinen niitto tapahtui 24.6. ja toinen niitto 7.8. Kivennäismaaloholla ensimmäinen niitto tapahtui 22.6. ja toinen niitto 6.8. Lisäksi kivennäismaaloholla nurmi murskattiin 14.9. pellolle korkeaan sänkeen, sillä kolmatta satoa ei arvion mukaan olisi ehtinyt enää tehdä, mutta nurmi oli kasvanut liian pitkäksi talvehtimisen kannalta.

Sadonkorjuut toteutettiin lohkoilla siten, että nurmen satotasot sekä laatu voitaisiin määrittää lannoituskaistoittain. Molemmissa kohteissa sadonkorjuu tapahtui testauksen osalta pyöröpäälaimella. Ensin lohkot niitettiin ja kareita yhdistettiin. Jokaiselta lannoituskaistalta valittiin sitten yksi kare satomääritystä ja rehunäytteenottoa varten ja valitut kareet merkittiin tikulla. Loput kareet kerättiin noukivaunulla. Testaukseen valituilta kareilta otettiin ennen paalausta kolme rehunäytettä raaka-aine- ja kivennäisanalyysyjä varten (kuviot 24 ja 25).



KUVIO 24. Kareilta otettujen näytteiden sijoittuminen lannoituskaistoille paksuturpeisella loholla (Maanmittauslaitos 2021).



KUVIO 25. Kareilta otettujen rehunäytteiden sijoittuminen lannoituskaistoille kivennäismaalohkolla (Maanmittauslaitos 2021).

Paalauksen yhteydessä paalien korjuupituudet mitattiin mittanauhan avulla paalien korjuualojen laskentaa varten (kuvio 26). Paalit merkittiin myöhempää tunnistamista varten. Merkityt paalit jätettiin pellon laitaan odottamaan punnitusta. Molempien lohkojen lannoituskaistoilta syntyneet paalit menivät yhteistyötilojen karjoille syöttöön. Paalit punnittiin apevaunussa juuri ennen syöttöä.



KUVIO 26. Valitun kareen paalaus sekä paalin korjuupituuden mittaus paksuturpeisella lohkolla.

Kareilta otetuista rehunäytteistä analysoitiin rehujen koostumus, rehuarvot sekä kivennäisainepitoisuudet. Rehujen kivennäis- ja hivenaineista analysoitiin kalsium-, fosfori-, kalium-, magnesium-, mangaani-, rauta-, kupari- ja sinkkipitoisuus sekä määritettiin rehun ekvivalenttisuhte. Lisäksi kivennäismaalohkon 1. ja 2. sadon DCAD-arvot määritettiin. Määrittystä varten kaistojen keskimmaisista karenäytteistä analysoitiin rehun natrium-, kloori- ja rikki-pitoisuus.

4.2 Aineiston käsittely ja analysointi

Aineisto koostui maanäyteanalyyseistä, kareilta otetuista rehuanalyyseistä, paalien punnitustuloksista, paalien korjuualojen mittaustuloksista sekä havainnoista lohkoilla. Satotasojen laskennassa käytettiin tässä opinnäytetyössä pääosin karenäytteiden kuiva-ainepitoisuuksia. Kivennäismaalohkon ensimmäisen niiton satotasojen laskennassa hyödynnettiin kuitenkin paaleista otettujen rehunäytteiden kuiva-ainepitoisuuksia. Rehun laadun analysoinnissa käytettiin karenäytteiden analyysituloksia.

Paksuturpeisella loholla ja kivennäismaaloholla sekä maanäytteet että rehunäytteet kareilta otettiin lannoituskaistoittain. Maanäytteitä ja rehunäytteitä otettiin jokaiselta kaistalta kolme kappaletta ja maanäytteet ja rehunäytteet pyrittiin ottamaan samoilta alueilta lannoituskaistojen sisällä. Tällöin tulosten analysoinnissa oli mahdollista ottaa huomioon lannoituksen lisäksi myös maaperän vaikutukset rehun koostumukseen.

Opinnäytetyössä käytettiin tulosten analysoinnissa hyväksi Microsoft Excelin työkaluja. Lannoitustestauksen tuloksista muodostettiin erilaisia taulukoita ja kaavioita, jotka auttoivat tulosten hahmotamisessa sekä niiden esittämisessä. Tulosten tilastollista testausta ei tehty, sillä testauksessa ei ollut aitoja toistoja.

5 TULOKSET

Paksuturpeisen lohkon lannoituskaistat osoittautuivat tulosten perusteella osittain vertailukelvottomiksi, minkä takia lohkon tuloksia käsitellään opinnäytetyössä suppeammin kuin kivennäismaalohkon tuloksia. Paksuturpeisen lohkon osalta esitetään tulokset kaliumlannoituksen vaikutuksista nurmen satotasoon, kaliumpoistumaan sekä kivennäispitoisuuksiin. Tulokset kaliumlannoituksen vaikutuksista esitetään sekä ensimmäisen että toisen sadon osalta. Vaikka ensimmäisessä sadossa lannoituskäsittelyssä ei vielä ollut eroja, olivat ensimmäisen sadon tulokset silti tärkeitä muun muassa sen takia, että ne kertoivat lannoituskaistojen vertailukelpoisuudesta.

Kivennäismaalohkon tulokset osoittautuivat opinnäytetyön tutkimuksen kannalta käyttökelpoisemmiksi, joten lohkon tuloksia käsitellään laajemmin. Kivennäismaalohkon osalta esitetään tulokset kaliumlannoituksen vaikutuksista nurmen satotasoon, kaliumpoistumiin sekä kivennäisainepitoisuuksiin. Lisäksi esitetään tulokset muun muassa kaliumlannoituksen vaikutuksista nurmen DCAD-arvoihin. Kivennäismaalohkon tulokset esitetään sekä ensimmäisen että toisen sadon osalta. Lisäkaliumlannoitus annettiin kivennäismaalohkolla jo ensimmäiselle sadolle, joten kaliumlannoitus saattoi vaikuttaa nurmen satotasoon ja kivennäispitoisuuksiin molemmissa sadoissa.

Nurmen satotasojen ja kivennäispitoisuuksien lisäksi esitetään tulokset maaperän ravinnepitoisuuksista sekä niiden mahdollisista vaikutuksista nurmen kivennäispitoisuuksiin. Tulokset esitetään sekä paksuturpeisen lohkon että kivennäismaalohkon osalta.

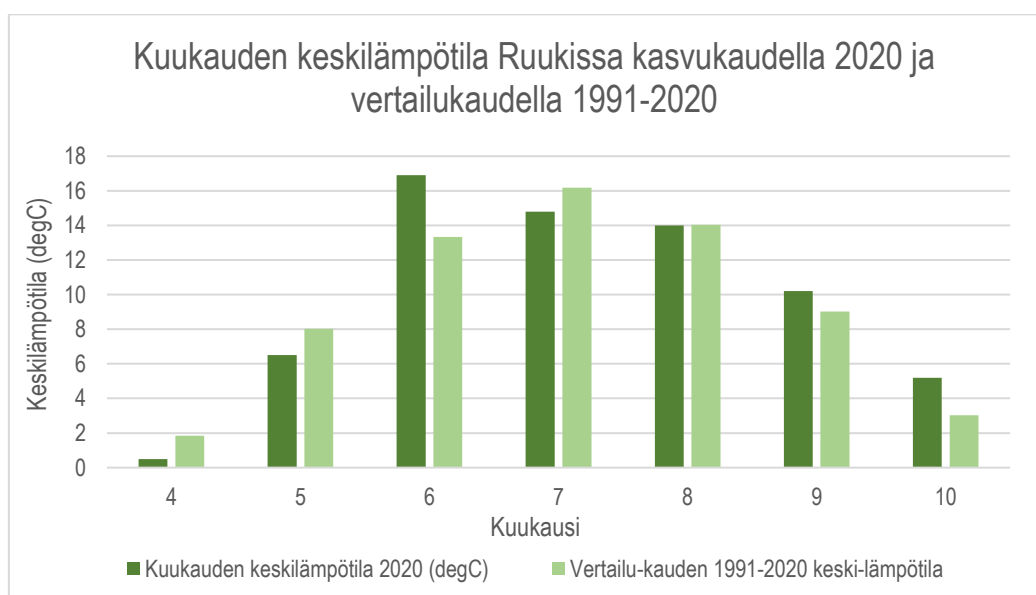
Lisäksi esitetään kasvukauden ja vertailukauden säätiedot. Säätidoista esitetään kuukausittaiset sadesummat ja keskilämpötilat kasvukaudelta 2020 sekä vertailukaudelta 1991–2020. Kasvukauden sekä vertailukauden säätiedot esitetään, jotta kasvukauden sään vaikutus lannoitustestauksen tuloksiin voitaisiin ottaa huomioon.

5.1 Kasvukauden sää

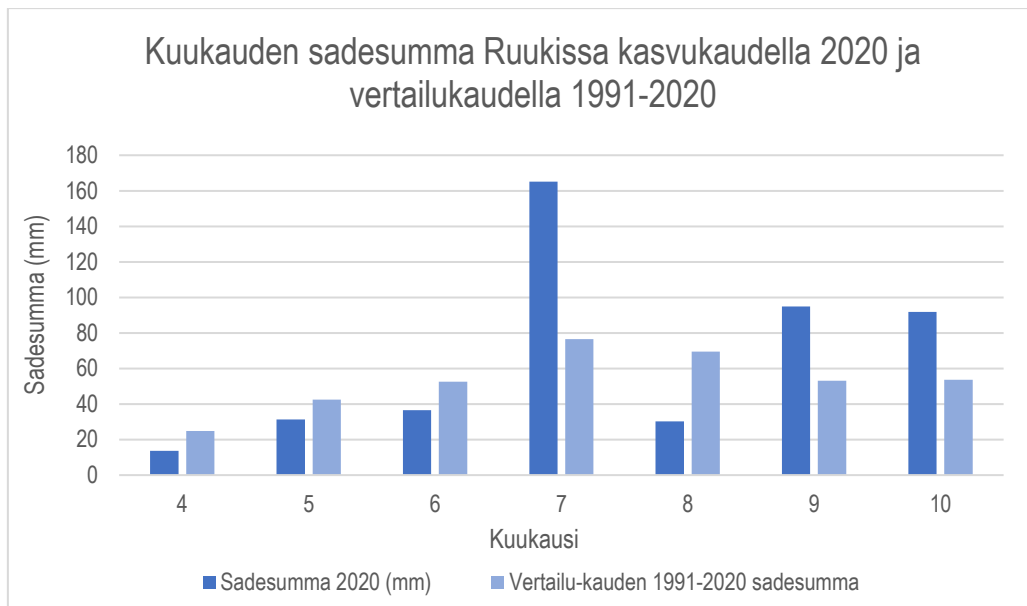
Paksuturpeisella lohkolla säätietoina käytettiin Siikajoki, Ruukki -sääaseman säädataa, sillä lohko sijaitsee Ruukissa. Myös Muhoksella sijaitsevalla kivennäismaalohkolla säätietoina käytettiin samaa

säädataa kuin paksuturpeisella loholla, sillä Oulun sääasemalta kerättyä säädataa ei voitu käyttää. Tämä johtui siitä, ettei Oulun sääasemalta löytynyt pitkän ajan tietoja, joita voitaisiin käyttää vertailutietoina.

Kevät oli lohkoilla normaalia viileämpi ja kuivempi, kun taas kesäkuu oli normaalia selkeästi lämpimämpi ja kuivempi. Keväällä ja alkukesällä ongelmana oli siis kuivuus. Heinäkuu oli puolestaan vertailukautta viileämpi ja huomattavasti sateisempi. Elokuu oli lämpötilaltaan normaali, mutta huomattavasti vertailukautta kuivempi. Syksy oli puolestaan vertailukautta lämpimämpi ja huomattavasti sateisempi. (Kuviot 27 ja 28.) Lohkoilla koko kasvukauden 2020 sadesumma oli 464 mm, kun se on vertailukaudella ollut vain 373 mm. Suurempi sadesumma johtui heinäkuun sekä syys- ja lokakuun sateista. Kuukauden keskilämpötilojen keskiarvo oli 9,7 astetta kasvukaudella 2020, eli vain hieman vertailukautta korkeampi, jonka kuukauden keskilämpötilojen keskiarvo oli 9,4 astetta.



KUVIO 27. Kuukauden keskilämpötila kasvukaudella 2020 ja vertailukaudella 1991–2020 Ruukissa. Säädata on Siikajoki, Ruukki -sääasemalta kerättyä säädataa.

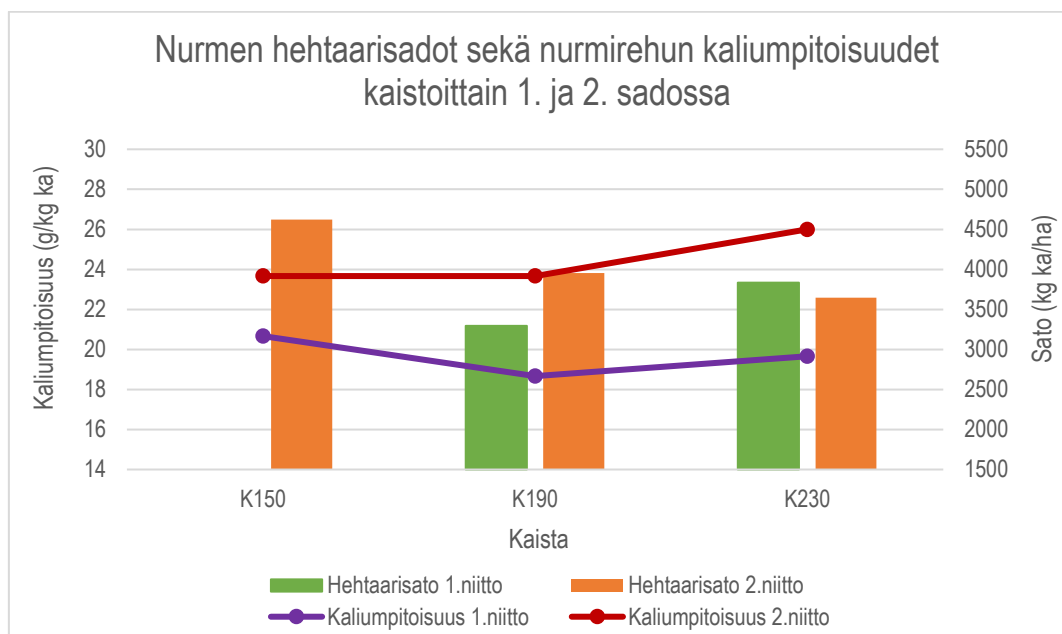


KUVIO 28. Kuukauden sadesumma kasvukaudella 2020 ja vertailukaudella 1991–2020 Ruukissa. Säädata on Siikajoki, Ruukki -sääasemalta kerättyä säädataa.

5.2 Kaliumlannoituksen vaikutukset nurmen satotasoon ja nurmirehun kivennäiskoostumukseen paksuturpeisella loholla

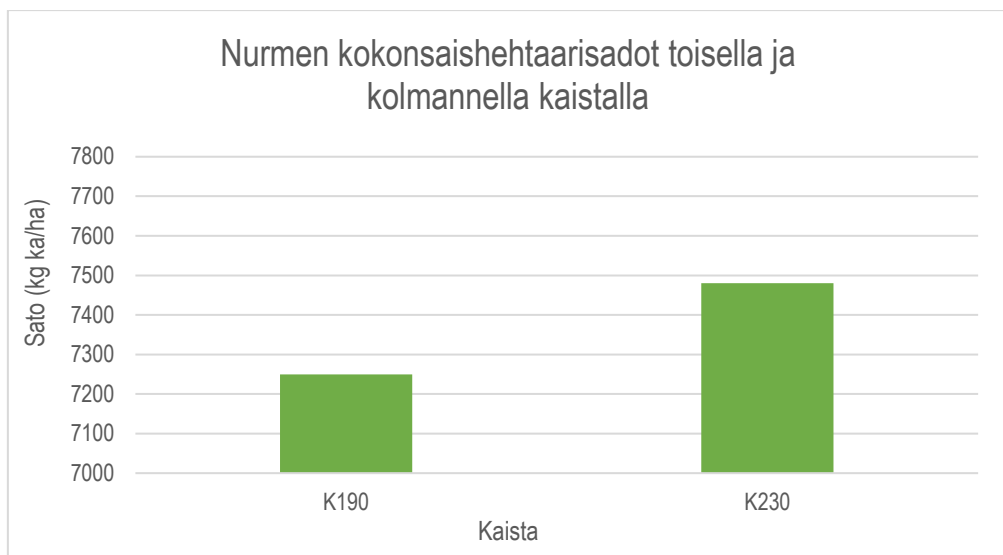
Paksuturpeisella loholla kaistojen kaliumlannoitustasot olivat kevätlannoituksessa samat, joten ensimmäisessä niitossa kaliumilla ei voinut olla vaikutusta nurmen satotuloksiin. Silti satoerot olivat ensimmäisessä niitossa melko suuret. Vaikka ensimmäisessä niitossa ei saatu paalainrikon takia ensimmäisen kaistan (K150-kaistan) satotuloksia, vaikutti siitä tulevan selvästi vähemmän satoa kuin toiselta kaistalta (K190-kaistalta) ja kolmannelta kaistalta (K230-kaistalta). Toisen kaistan sato oli noin 3 300 kg ka/ha, ja kolmannen kaistan noin 3 800 kg ka/ha. Ensimmäisessä niitossa satotaso siis kasvoi siirryttäessä ensimmäiseltä kaistalta kolmannelle kaistalle. Kaliumsuola levitettiin ensimmäisen niiton jälkeen, joten kaistojen välisillä eroilla kaliumlannoitustasoissa saattoi olla vaikutusta vasta toisen sadon tuloksiin. Toisessa niitossa hehtaarisato puolestaan laski merkittävästi siirryttäessä ensimmäiseltä kaistalta kolmannelle kaistalle. Hehtaarisato oli ensimmäisellä kaistalla noin 4 600 kg ka/ha, ja kolmannella kaistalla noin 3 600 kg ka/ha. (Kuvio 29.) Satotaso näytti olevan sitä suurempi, mitä pienempi ensimmäinen sato oli ja mitä pienempi kaliumlannoitus oli. Kaistojen satotasot olivat riippuvaisia lähinnä kasvuston tai maan ominaisuuksista, sillä erot satotasoissa olivat jo ensimmäisessä niitossa melko suuret, vaikka lannoituskäsittelyssä ei ollut vielä eroja. Satomäärän arvioinnissa jouduttiin joidenkin paalien osalta käyttämään keskiarvopainoja, sillä paaleja kertyi todella paljon, eikä kaikkia paaleja saatu punnittua ehjinä.

Ensimmäisessä sadossa nurmirehun kaliumpitoisuus oli ensimmäisellä kaistalla korkein, 20,7 g/kg ka. Toisella kaistalla nurmen kaliumpitoisuus oli 18,7 g/kg ka, ja kolmannella kaistalla 19,7 g/kg ka. Nurmirehun kaliumpitoisuudet olivat ensimmäisessä niitossa melko matalia yleisen suosituksen ollessa 20–30 g/kg ka. Toisessa sadossa nurmen kaliumpitoisuus oli suurin kolmannella kaistalla, 26 g/kg ka. Ensimmäisellä ja toisella kaistalla nurmen kaliumpitoisuudet olivat samat, 23,7 g/kg ka. (Kuvio 29.)



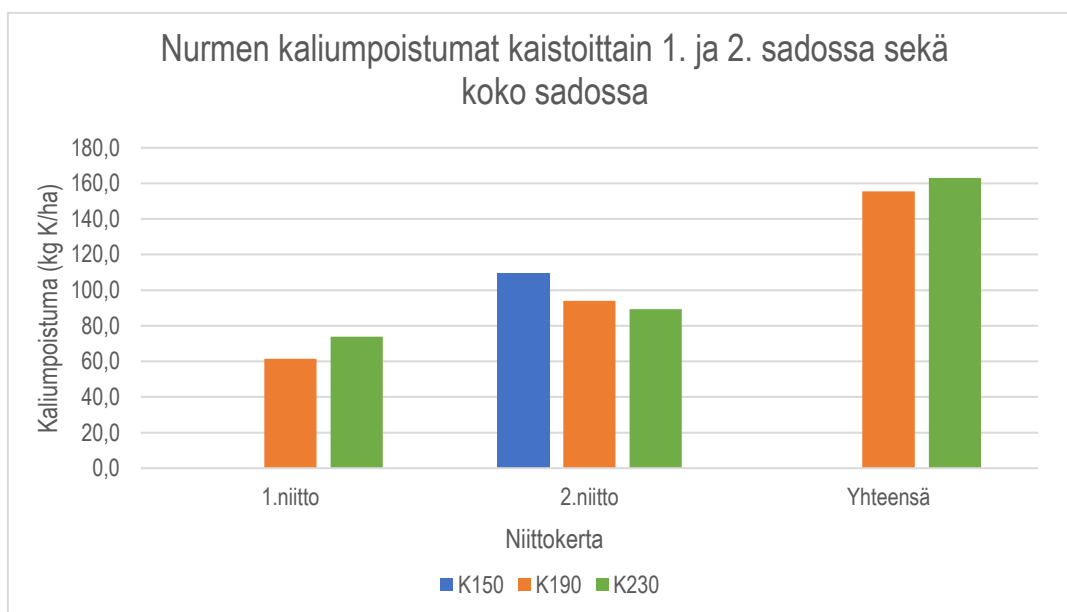
KUVIO 29. Nurmen hehtaarisadot sekä nurmirehun kaliumpitoisuudet 1. ja 2. niitossa paksuturpeella loholla.

Kokonaishehtaarisatoa ei pystytty laskemaan ensimmäiselle kaistalle, koska kaistalta ei saatu sätotulosta ensimmäisessä niitossa. Toisen kaistan kokonaissato oli noin 7 250 kg ka/ha, ja kolmannen kaistan noin 7 480 kg ka/ha (kuvio 30). Kolmannen kaistan kokonaissato oli siis noin 230 kg ka/ha suurempi kuin toisen kaistan kokonaissato, joten ero kokonaishehtaarisadon määrässä ei ollut suuri. Kolmannen kaistan hieman suurempi kokonaishehtaarisato johtui kaistan suuremmasta sadosta ensimmäisessä niitossa.



KUVIO 30. Nurmen kokonsaishehtaarisadot toisella ja kolmannella kaistalla paksuturpeisella loholla.

Ensimmäisessä sadossa ensimmäisen kaistan kaliumpoistumaa ei voitu laskea satotuloksen puuttumisen vuoksi. Toisen kaistan kaliumpoistuma oli 61,4 kg/ha, ja kolmannen kaistan 73,8 kg/ha. Toisen kaistan pienempi kaliumpoistuma johtui pienemmästä hehtaarisadosta sekä kaliumpitoisuudesta kaistalla. Toisessa sadossa kaliumpoistuma oli suurin ensimmäisellä kaistalla (109,6 kg/ha) ja pienin kolmannella kaistalla (89,3 kg/ha). Erot toisen sadon kaliumpoistumissa johtuivat eroista hehtaarisadon määrissä. Koko sadon kaliumpoistuma oli toisella kaistalla 155,5 kg/ha eli noin 7,6 kg/ha pienempi kuin kolmannella kaistalla, jonka kaliumpoistuma oli 163,1 kg/ha. (Kuvio 31.)



KUVIO 31. Nurmen kaliumpoistumat 1. ja 2. sadossa sekä koko sadossa paksuturpeisella loholla.

Paksuturpeisella lohkolla kaistojen väliset satoerot heijastuivat sekä ensimmäisen että toisen sadon rehun koostumukseen ja ruokinnalliseen laatuun niin, että esimerkiksi rehun sulavuus ja muuntokelpoinen energia laskivat sadon määrän lisääntyessä. Nurmen kivennäispitoisuuksissa ei ollut kaistojen välillä suuria eroja, vaikka kaistojen väliset satoerot olivat suhteellisen suuret. Minkään kivennäisaineen pitoisuus nurmessa ei laskenut siirryttäessä ensimmäiseltä kaistalta kolmannelle kaistalle ja vain nurmen magnesiumpitoisuus nousi. (Taulukko 15.) Nurmen kivennäispitoisuudet olivat pääsääntöisesti nurmen tavoitearvojen alapuolella lukuun ottamatta mangaani- ja rautapitoisuuksia, jotka olivat nurmen tavoitearvojen rajoissa. Myös nurmen ekvivalenttisuhteet olivat tavoitearvoissa.

TAULUKKO 15. Nurmirehun kivennäis- ja hivenainepitoisuudet sekä ekvivalenttisuhteet ensimmäisessä sadossa paksuturpeisella lohkolla.

	Ca	P	K	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn	ekv-suhde
	g/kg ka				mg/kg ka				
K150	3,9	2,1	20,7	1,8	81,3	143,3	5,7	30	1,6
K190	4	2	18,7	1,9	80,7	130	6,3	32,3	1,3
K230	3,9	2,2	19,7	2,1	84,7	143,3	6	29,7	1,4

Kaliumlannoitustestaus suoritettiin vasta toiselle sadolle. Toisessa sadossa kalsiumin, magnesiumin, raudan, kuparin ja sinkin pitoisuudet eli lähes kaikki nurmen kivennäis- ja hivenainepitoisuudet laskivat siirryttäessä ensimmäiseltä kaistalta kolmannelle kaistalle. Nurmen kaliumpitoisuus sekä ekvivalenttisuhte puolestaan nousivat. (Taulukko 16.) Nurmen kivennäis- ja hivenainepitoisuudet olivat tavoitearvojen rajoissa lukuun ottamatta magnesiumin, kuparin ja sinkin pitoisuuksia, jotka olivat tavoitearvojen alapuolella. Myös nurmen ekvivalenttisuhte oli tavoitearvojen rajoissa. Kivennäis- ja hivenainepitoisuudet toisessa sadossa olivat pääsääntöisesti sitä pienempiä, mitä suurempi kaliumlannoitus oli, ja mitä pienempi toinen sato oli. Kaistojen väliset erot kasvuston kasvilajeissa ja kehitysasteissa tai maaperän ominaisuuksissa sekä niiden aiheuttamat suuret satoerot kaistoilla saattoivat vaikuttaa nurmen kivennäispitoisuuksiin kaliumlannoituksen lisäksi. Kaistojen vertailukelvottomuuden vuoksi ei voida suoraan päätellä, mikä kaliumlannoituksen vaikutus nurmen kivennäispitoisuuksiin sekä ekvivalenttisuhteisiin toisessa sadossa on ollut.

TAULUKKO 16. Nurmirehun kivennäis- ja hivenainepitoisuudet sekä ekvivalenttisuhteet toisessa sadossa paksuturpeisella lohkokalla.

	Ca	P	K	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn	ekv-suhde
	g/kg ka				mg/kg ka				
K150	4,7	3,1	23,7	1,9	100,7	153,3	5,7	26,7	1,5
K190	4	3	23,7	1,7	82	122	5	24,7	1,8
K230	3,6	3,1	26	1,7	92,3	102,7	4,3	22,3	2,1

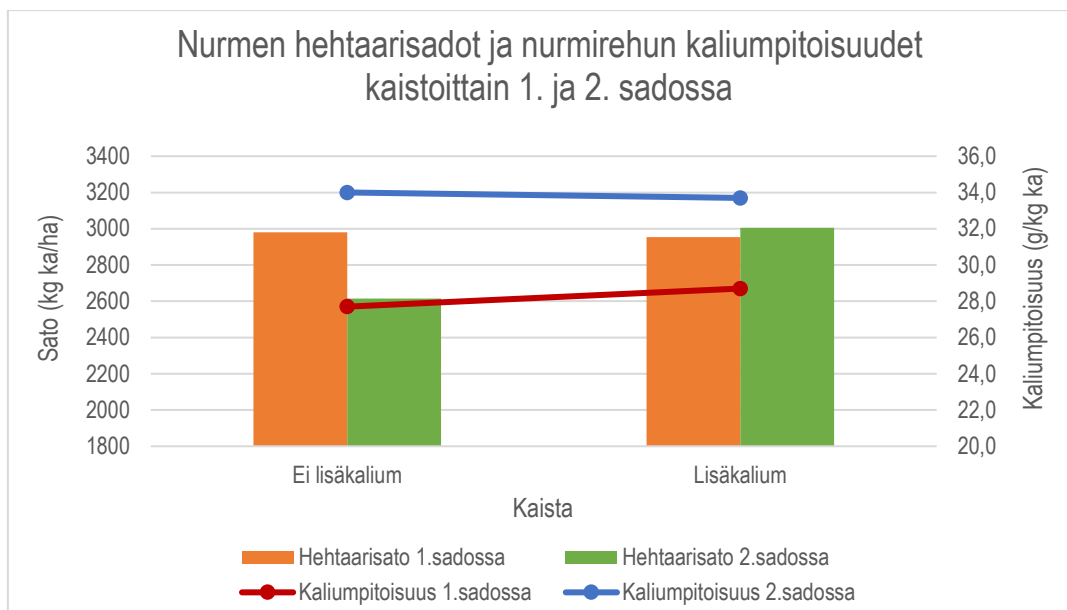
5.3 Kaliumlannoituksen vaikutukset nurmen satotasoon ja nurmirehun kivennäiskoostumukseen kivennäismaalohkolla

Kivennäismaalohkon tuloksia käsitellään paksuturpeisen lohkon tuloksia laajemmin, sillä tulokset ovat tutkimuksen kannalta käyttökelpoisempia. Tulokset esitellään kaliumlannoituksen vaikutuksista nurmen hehtaarisatoon ja kaliumpoistumaan ensimmäisessä ja toisessa sadossa sekä koko sadossa. Lisäksi esitetään tulokset kaliumlannoituksen vaikutuksista ensimmäisen ja toisen sadon kivennäis- ja hivenainepitoisuuksiin, ekvivalenttisuhteisiin sekä DCAD-arvoihin.

5.3.1 Nurmen hehtaarisadot, kaliumpitoisuudet ja kaliumpoistumat

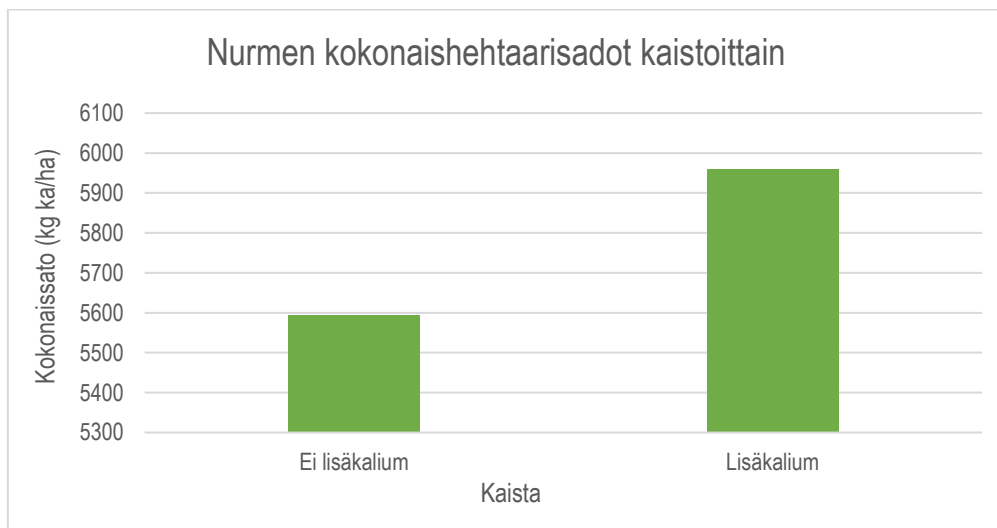
Kivennäismaalohkon ensimmäisessä niitossa hehtaarisato oli molemmilla kaistoilla hieman alle 3 000 kg ka. Eroa kaistojen välillä ei siis juurikaan ollut. Toisen niiton hehtaarisato oli Ei lisäkalium -kaistalla 2 615 kg ka, kun se oli lisäkaliumia saaneella kaistalla 3 006 kg ka. Lisäkalium-kaistan hehtaarisato oli siis selvästi suurempi kuin Ei lisäkalium -kaistan hehtaarisato. (Kuvio 32.)

Ensimmäisessä sadossa nurmen kaliumpitoisuus oli Ei lisäkalium -kaistalla 27,7 g/kg ka ja Lisäkalium-kaistalla hieman korkeampi, 28,7 g/kg ka. Toisessa sadossa nurmen kaliumpitoisuudet olivat molemmilla kaistoilla lähes samat, noin 34 g/kg ka. Nurmen kaliumpitoisuudet olivat korkeita, sillä yleinen suositus nurmen kaliumpitoisuudelle on 20–30 g/kg ka. Etenkin toisessa sadossa nurmen kaliumpitoisuudet olivat hyvin korkeat. (Kuvio 32.)



KUVIO 32. Nurmen hehtaarisadot ja nurmirehun kaliumpitoisuudet 1. ja 2. niitossa kivennäismaalohkolla.

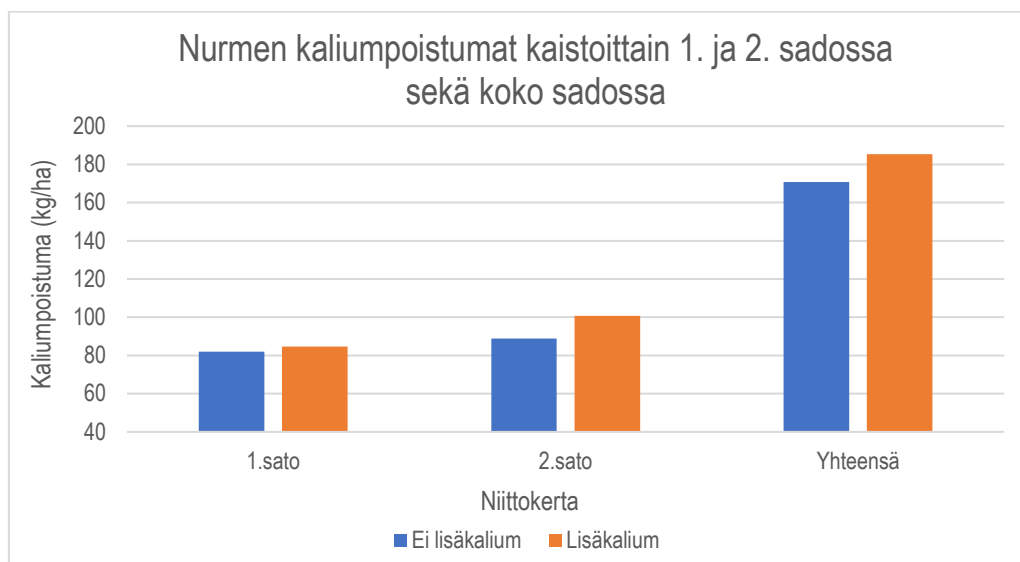
Kivennäismaalohkolla kokonaishehtaarisato oli Ei lisäkalium -kaistalla noin 5 595 kg ka, ja Lisäkalium-kaistalla noin 5 960 kg ka eli noin 365 kg ka suurempi (kuvio 33). Ero kokonaishehtaarisadon määrässä kaistojen välillä ei siis ollut merkittävän suuri, mutta kuitenkin havaittavissa. Lisäkalium-kaistan suurempi kokonaissato johtui kaistan suuremmasta sadosta toisessa niitossa.



KUVIO 33. Nurmen kokonaishehtaarisadot kivennäismaalohkolla.

Ensimmäisessä sadossa kaliumpoistuma oli Ei lisäkalium -kaistalla 81,9 kg/ha ja Lisäkalium-kaistalla 84,7 kg/ha, kun taas toisessa sadossa se oli Ei lisäkalium -kaistalla 88,9 kg/ha ja Lisäkalium-

kaistalla 100,7 kg/ha. Suurempi kaliumpoistuma Lisäkalium-kaistalla johtui ensimmäisessä sadossa suuremmasta kaliumpitoisuudesta ja toisessa sadossa suuremmasta hehtaarisadosta kaistalla. Kokonaiskaliumpoistuma oli Ei lisäkalium -kaistalla 170,8 kg/ha ja Lisäkalium-kaistalla 185,4 kg/ha. Lisäkalium-kaistalla kokonaiskaliumpoistuma oli siis 14,6 kg/ha suurempi. (Kuvio 34.)

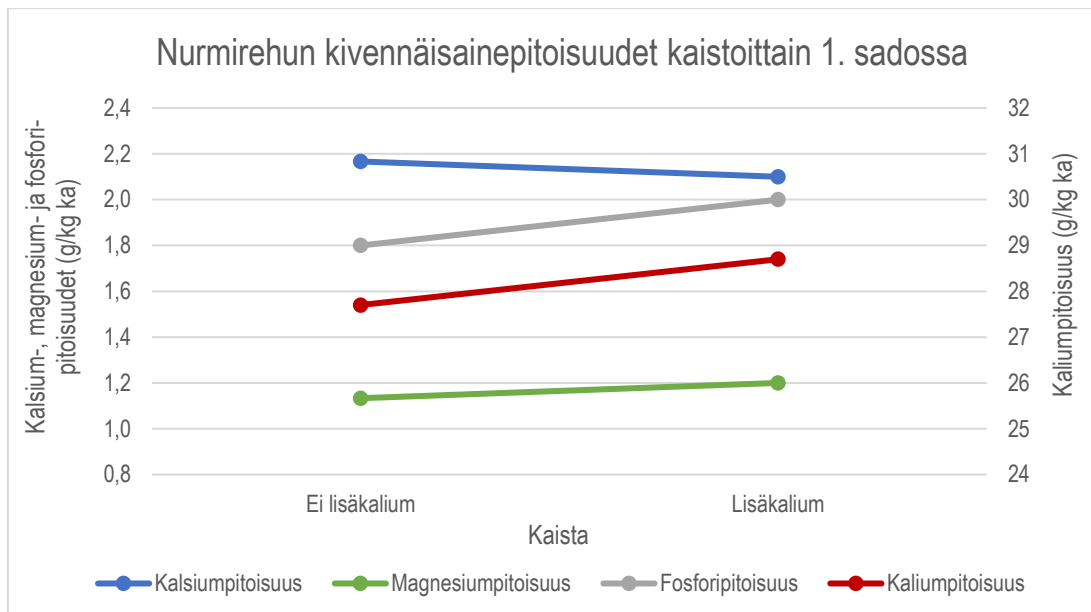


KUVIO 34. Nurmen kaliumpoistumat 1. ja 2. niitossa sekä kokonaiskaliumpoistumat kaistoittain kivennäismaalohkolla.

5.3.2 Nurmirehun kivennäisainepitoisuudet ja ekvivalenttisuhteet ensimmäisessä sadossa

Kivennäismaalohkon ensimmäisessä sadossa nurmen kalium-, magnesium- ja fosforipitoisuudet olivat lisäkaliumia saaneella kaistalla hieman suuremmat, kun taas kalsiumpitoisuus oli Lisäkalium-kaistalla hieman pienempi kuin Ei lisäkalium -kaistalla. Kaistojen väliset erot magnesium-, kalsium- ja kaliumpitoisuuksissa olivat kuitenkin käytännössä lähes mitättömiä. Fosforipitoisuus oli Ei lisäkalium -kaistalla 1,8 g/kg ka ja Lisäkalium-kaistalla 2,0 g/kg ka, joten ero fosforipitoisuuksissa oli myös pieni. (Kuvio 35.) Ensimmäisessä sadossa nurmen kaikki kivennäispitoisuudet olivat tavoitearvojen alapuolella, paitsi kaliumpitoisuus, joka oli melko korkea, mutta kuitenkin alle 30 g/kg ka.

Nurmen ekvivalenttisuhte oli kivennäismaalohkon ensimmäisessä sadossa Ei lisäkalium -kaistalla 3,47 ja Lisäkalium-kaistalla 3,63, eli 0,16 yksikköä suurempi (kuvio 36). Ero kaistojen välisissä ekvivalenttisuhteissa oli siis pieni. Tavoitearvo nurmen ekv-suhteelle on alle 2,2, joten arvot kaistoilla olivat erittäin korkeita.



KUVIO 35. Nurmirehun kivennäisainepitoisuudet ensimmäisessä sadossa kivennäismaalohkolla.



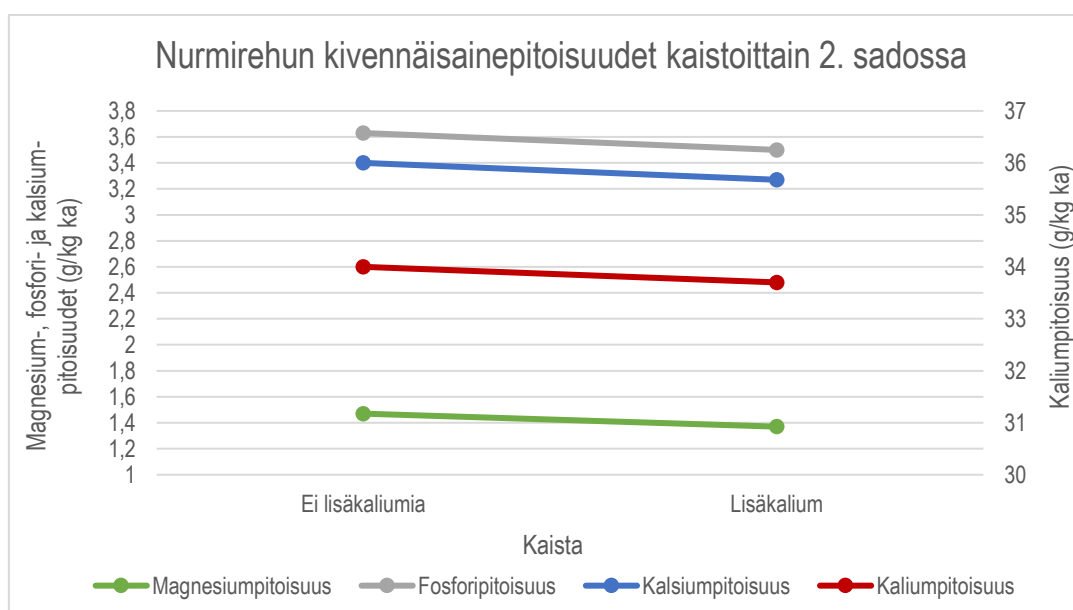
KUVIO 36 Nurmirehun ekvivalenttisuhteet ensimmäisessä sadossa kivennäismaalohkolla.

5.3.3 Nurmirehun kivennäisainepitoisuudet ja ekvivalenttisuhteet toisessa sadossa

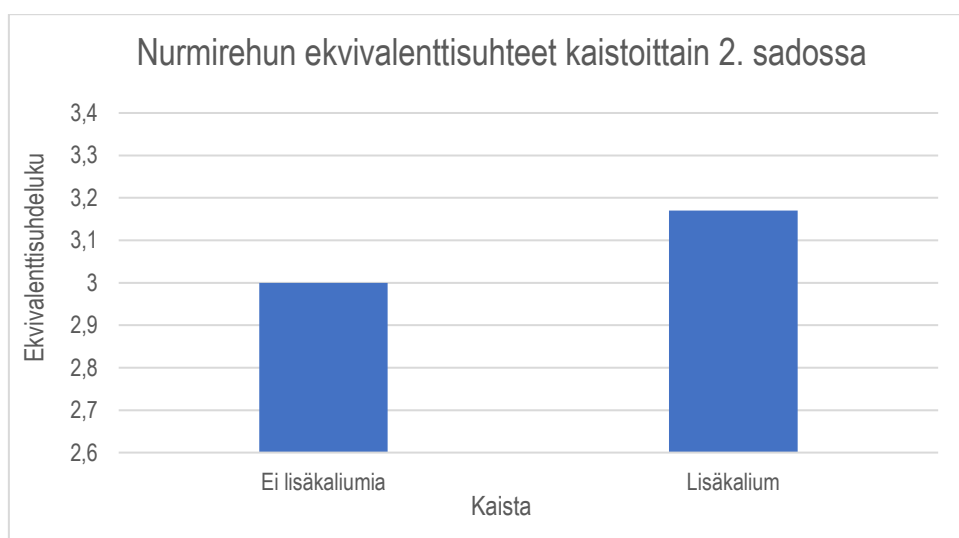
Kivennäismaalohkon toisessa sadossa erot nurmen kivennäisainepitoisuuksissa kaistojen välillä olivat käytännössä lähes mitättömiä. Lisäkaliumia saaneella kaistalla kivennäispitoisuudet olivat kuitenkin hieman matalammat. Suhteellisesti suurin ero oli nurmen magnesiumpitoisuudessa, joka oli Ei lisäkalium -kaistalla 1,47 g/kg ka, ja lisäkaliumia saaneella kaistalla 1,37 g/kg ka. (Kuvio 37.)

Nurmen kaliumpitoisuudet olivat erittäin korkeita ylittäen nurmen tavoitearvot, kun taas magnesium- ja kalsiumpitoisuudet olivat tavoitearvojen alapuolella. Nurmen fosforipitoisuudet olivat tavoitearvoissa.

Toisessa sadossa nurmen ekvivalenttisuhte oli Ei lisäkalium -kaistalla 3,00 ja Lisäkalium-kaistalla 3,17 (kuvio 38). Nurmen ekvivalenttisuhte oli lisäkaliumia saaneella kaistalla siis 0,17 yksikköä korkeampi. Arvot kaistoilla olivat tavoitearvoihin verrattuna suuria, mutta ero kaistojen välillä oli pieni.



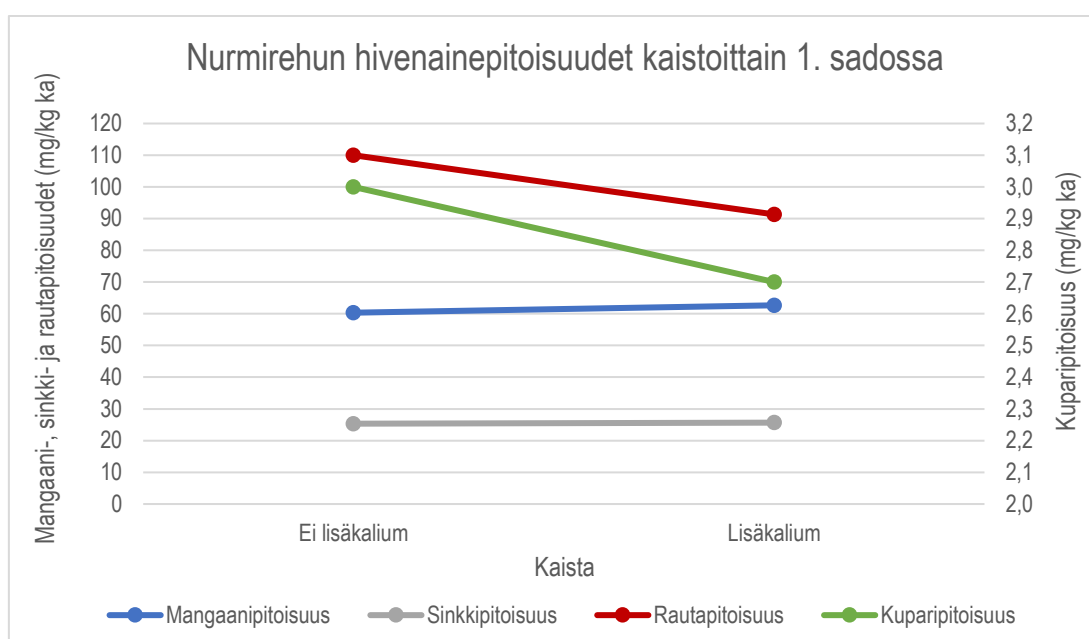
KUVIO 37. Nurmirehun kivennäisainepitoisuudet toisessa sadossa kivennäismaalohkolla.



KUVIO 38. Nurmen EKV-suhteet toisessa sadossa kivennäismaalohkolla.

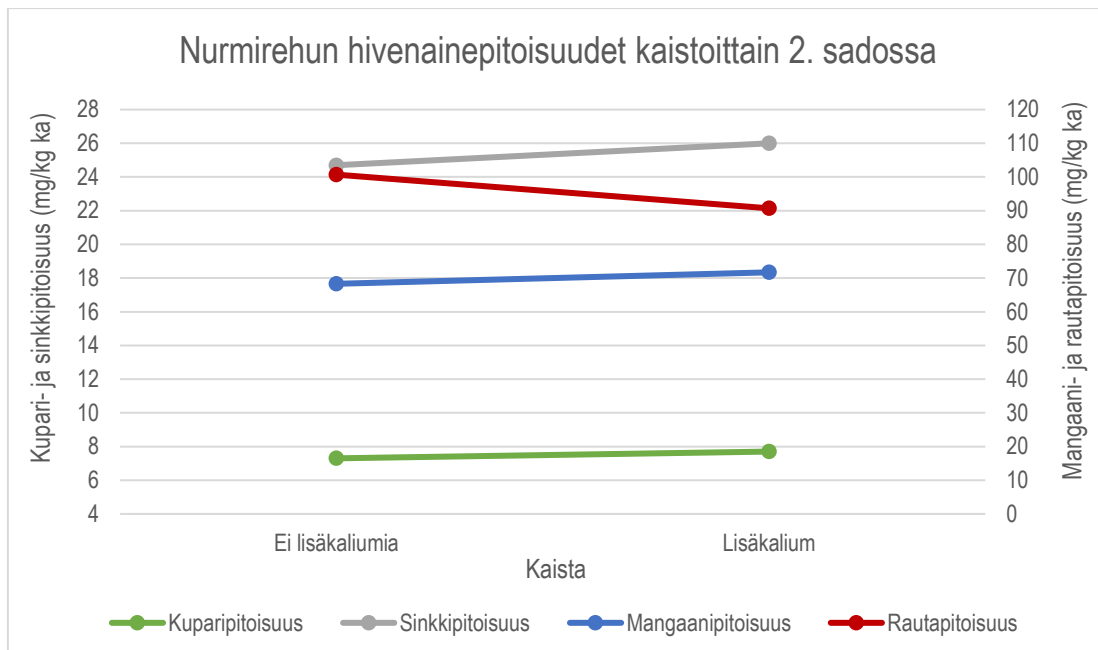
5.3.4 Nurmirehun hivenainepitoisuudet

Kivennäismaalohkon ensimmäisessä sadossa nurmen mangaani- sekä sinkkipitoisuudet olivat kaistojen välillä lähes samat, kun taas nurmen rauta- sekä kuparipitoisuudet olivat lisäkaliumia saaneella kaistalla matalampia. Nurmen rautapitoisuus oli Ei lisäkalium -kaistalla 110 mg/kg ka ja Lisäkalium-kaistalla 91,3 mg/kg ka. Kuparipitoisuus oli Ei lisäkalium -kaistalla 3 mg/kg ka, ja lisäkaliumia saaneella kaistalla 2,7 mg/kg ka. (Kuvio 39.) Kaistojen väliset erot nurmen rauta- ja kuparipitoisuuksissa eivät siis olleet suuria. Hivenaineista rauta- ja mangaanipitoisuudet olivat tavoitearvojen rajoissa, mutta kupari- ja sinkkipitoisuudet olivat tavoitearvojen alapuolella.



KUVIO 39. Nurmirehun hivenainepitoisuudet ensimmäisessä sadossa kivennäismaalohkolla.

Kivennäismaalohkon toisessa sadossa nurmen kupari-, sinkki- ja mangaanipitoisuudet olivat hie-
man suuremmat lisäkaliumia saaneella kaistalla, mutta pitoisuudet olivat kuitenkin kaistojen välillä
lähes samansuuruiset. Nurmen rautapitoisuus oli puolestaan lisäkaliumia saaneella kaistalla hie-
man pienempi. Rautapitoisuus oli Ei lisäkalium -kaistalla 100,7 mg/kgka ja Lisäkalium-kaistalla 90,7
mg/kgka. (Kuvio 40.) Nurmen hivenainepitoisuuksista rauta- ja mangaanipitoisuudet olivat tavoite-
arvojen rajoissa, kun taas sinkki- ja kuparipitoisuudet olivat nurmen tavoitearvojen alapuolella.

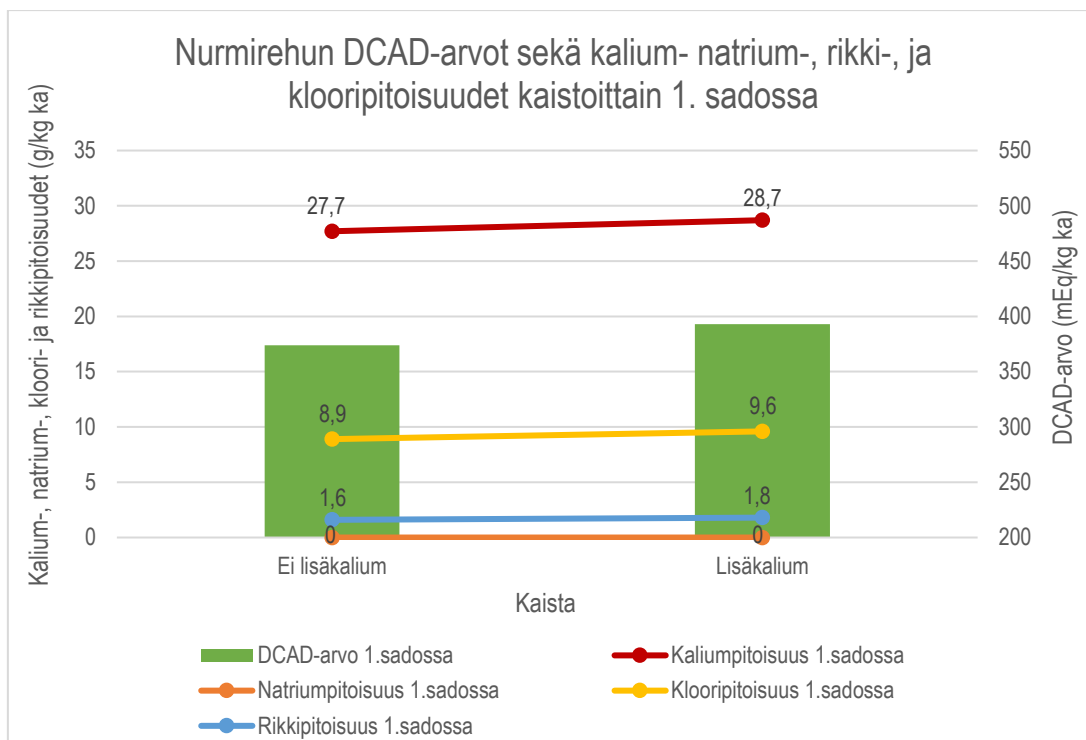


KUVIO 40. Nurmirehun hivenainepitoisuudet toisessa sadossa kivennäismaalohkolla.

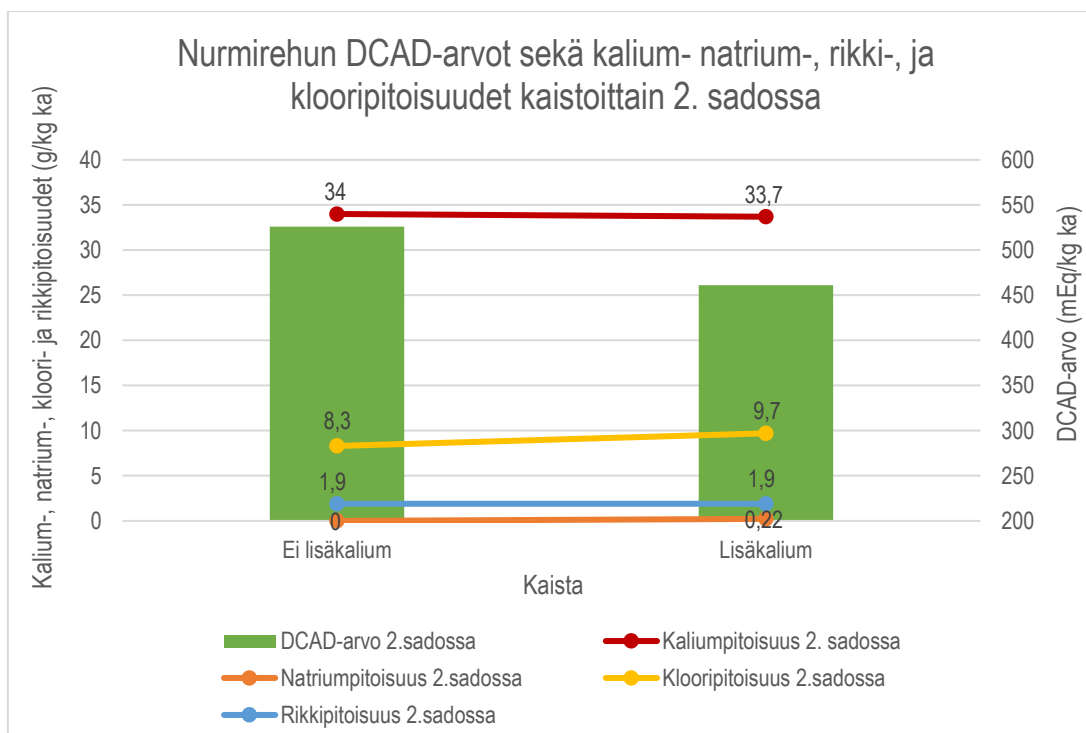
5.3.5 Nurmirehun DCAD-arvot

Kivennäismaalohkon ensimmäisessä sadossa nurmirehun DCAD-arvo oli hieman suurempi lisäkaliumia saaneella kaistalla, sillä nurmirehun kaliumpitoisuus oli kaistalla korkeampi. Nurmen DCAD-arvo oli Ei lisäkalium -kaistalla 374 mEq/kg ka ja Lisäkalium-kaistalla 393 mEq/kg ka. Nurmen kaliumpitoisuuden lisäksi myös nurmen rikki- ja klooripitoisuudet olivat Lisäkalium-kaistalla hieman korkeampia, joten ero DCAD-arvoissa oli pieni. Nurmen natriumpitoisuudet olivat molemmilla kaistoilla alle määrittäysrajan eli alle 0,21 g/kg ka. (Kuvio 41.)

Toisessa sadossa DCAD-arvo oli puolestaan lisäkaliumia saaneella kaistalla pienempi. Nurmirehun DCAD-arvo oli Ei lisäkalium -kaistalla 526 mEq/kg ka ja Lisäkalium-kaistalla 461 mEq/kg ka. Pienempi DCAD-arvo lisäkaliumia saaneella kaistalla johtui siitä, että nurmen klooripitoisuus oli kaistalla suurempi ja nurmen kaliumpitoisuus hieman pienempi. Nurmen rikkipitoisuudet olivat kaistoilla samat. Kaistojen välinen ero nurmen natriumpitoisuuksissa oli myös hyvin pieni. Nurmen natriumpitoisuus oli Ei lisäkalium -kaistalla alle 0,21 g/kg ka eli alle määrittäysrajan, kun se oli Lisäkalium-kaistalla 0,22 g/kg ka. (Kuvio 42.)



KUVIO 41. Nurmirehun DCAD-arvot ja kalium-, natrium-, kloori- ja rikkipitoisuudet 1. sadossa ki-vennäismaalohkolla. Nurmen natriumpitoisuudet olivat alle 0,21 g/kg ka eli alle määrittysrajan.



KUVIO 42. Nurmirehun DCAD-arvot ja kalium-, natrium-, kloori- ja rikkipitoisuudet 2. sadossa ki-vennäismaalohkolla. Nurmen natriumpitoisuus oli Ei lisäkalium -kaistalla alle 0,21 g/kg ka eli alle määrittysrajan.

5.4 Maaperän ravinnepitoisuudet ja niiden yhteydet nurmirehun kivennäispitoisuuksiin

Paksuturpeisen lohkon ja kivennäismaalohkon osalta esitetään tulokset maaperän keskimääräisistä ravinnepitoisuuksista lannoituskaistoittain. Lannoituskaistojen ravinnepitoisuuksia vertaillaan, jotta saadaan selville, olivatko lannoituskaistat viljavuudeltaan vertailukelpoisia. Lannoituskaistojen keskimääräisten ravinnepitoisuuksien lisäksi esitetään mahdolliset maaperän ravinnepitoisuuksien yhteydet nurmen kivennäispitoisuuksiin paksuturpeisella lohkolla ja kivennäismaalohkolla. Tämän avulla saadaan selville, vaikuttivatko maan ravinnepitoisuudet nurmen kivennäispitoisuuksiin. Maaperän ravinnepitoisuuksien yhteydet nurmen kivennäispitoisuuksiin esitetään vertailemalla yksittäisten maanäytteiden tuloksia niiden maa-alueita vastaaviin kivennäysnäytteiden tuloksiin. Jokaiselta lannoituskaistalta otettiin kolme maanäytettä sekä niittojen yhteydessä kolme kivennäysnäytettä, ja näytteet pyrittiin ottamaan samoilta alueilta, mikä mahdollisti maanäytteiden ja kivennäysnäytteiden vertailun.

5.4.1 Paksuturpeinen lohko

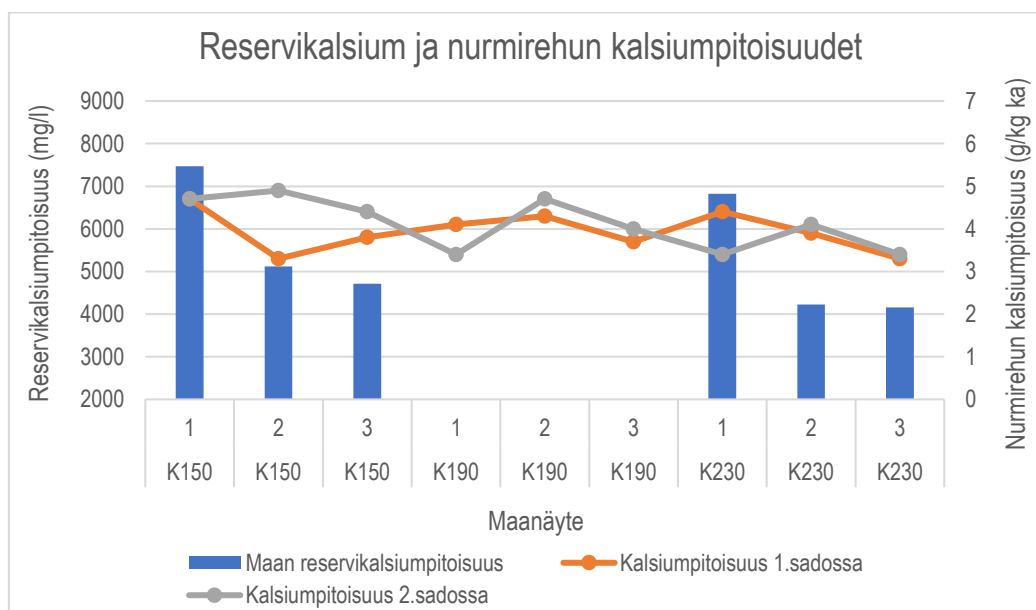
Paksuturpeisella lohkolla ravinteiden viljavuusluokat kaistojen välillä olivat pääosin samat, sillä vain reservimagnesiumin viljavuusluokka oli kaistojen välillä eri. Ravinteiden pitoisuuksissa oli kaistojen välillä eroavaisuuksia, mutta pitoisuuserot kaistojen välillä olivat suurimmaksi osaksi pieniä. Mikään kaistoista ei ollut selvästi toista viljavampi. Kaistat olivat siis viljavuuden suhteen vertailukelpoisia. Suurimmat erot kaistojen välisissä ravinnepitoisuuksissa olivat viljavuusfosforipitoisuudessa sekä reservikaliumpitoisuuksissa. Viljavuusfosforipitoisuus oli ensimmäisellä kaistalla 4,0 mg/l ja kolmannella kaistalla suurempi, 6,3 mg/l. Reservikaliumpitoisuus oli ensimmäisellä kaistalla 148,2 mg/l ja kolmannella kaistalla puolestaan matalampi, 96,8 mg/l. Reservikaliumpitoisuus oli kuitenkin kaikilla kaistoilla erittäin matala, joten pitoisuuseroilla ei ole käytännössä merkitystä. Paksuturpeisen lohkon toiselta kaistalta ei saatu maaperätuloksia kokeen järjestelyjen vuoksi. (Taulukko 17.)

TAULUKKO 17. Maaperän keskimääräiset viljavuus- ja reserviravinnepitoisuudet ensimmäisellä ja kolmannella kaistalla paksuturpeisella lohkolla.

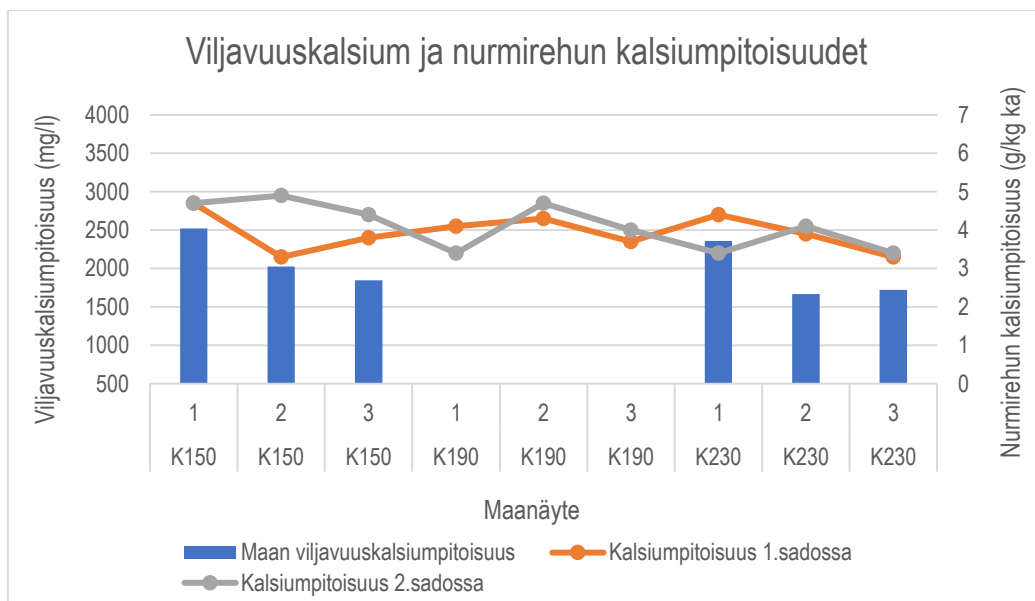
	viljavuusravinnepitoisuudet, mg/l				reserviravinnepitoisuudet, mg/l			
	Ca	P	K	Mg	Ca	P	K	Mg
K150	2 132,0	4,0	41,3	512,3	5 769,4	323,6	148,2	1 079,4
K230	1 916,8	6,3	40,8	532,7	5 069,5	339,9	96,8	966,5

Paksuturpeisella lohkolla vertailtiin yksittäisten maanäytteiden tuloksia niiden maa-alueita vastaaviin karenytteiden tuloksiin. Karenytteiden kaliumpitoisuudet olivat molemmissa sadoissa lähes yhdenmukaiset, mutta toisessa sadossa korkeammat. Kummassakaan sadossa maan viljavuuskaliumpitoisuuksilla ei ollut yhteyttä nurmirehun kaliumpitoisuuksiin, kuten ei myöskään maan reservikaliumpitoisuuksilla. Maan reservikaliumpitoisuus ei käytännössä muutoinkaan voinut vaikuttaa nurmen kaliumin saantiin, sillä maanäytteiden reservikaliumpitoisuudet olivat todella matalia: pitoisuus oli pienimmillään vain 79 mg/l ja suurimmillaankin vain 184 mg/l.

Maan viljavuus- ja reservikalsiumpitoisuuksilla saattoi olla yhteys nurmirehun kalsiumpitoisuuksiin ensimmäisessä sadossa. Yhteys ei kuitenkaan ollut täysin selkeä. Toisessa sadossa maaperän ja nurmirehun kalsiumpitoisuuksilla ei puolestaan ollut yhteyttä, vaikka maan viljavuus- ja reservikalsiumpitoisuudet sekä toisen sadon kalsiumpitoisuudet olivat keskimäärin ensimmäisellä kaistalla korkeimmat ja kolmannella pienimmät. (Kuvio 43 ja 44.)

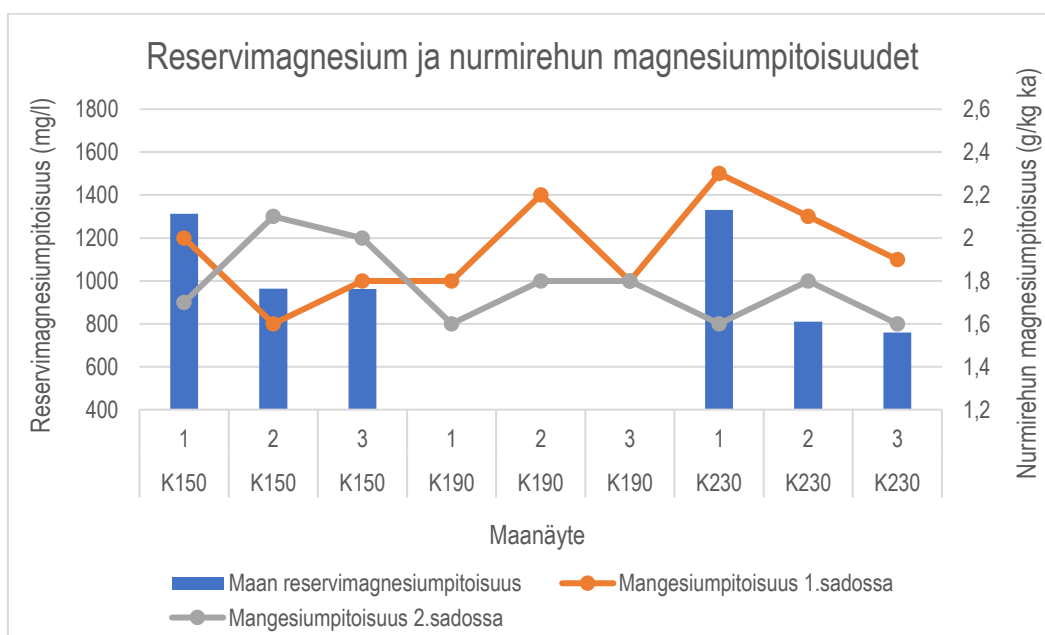


KUVIO 43. Maan reservikalsiumpitoisuudet maanäytteittäin sekä näytteiden ottopaikkoja vastaavien rehunäytteiden kalsiumpitoisuudet paksuturpeisella lohkolla.

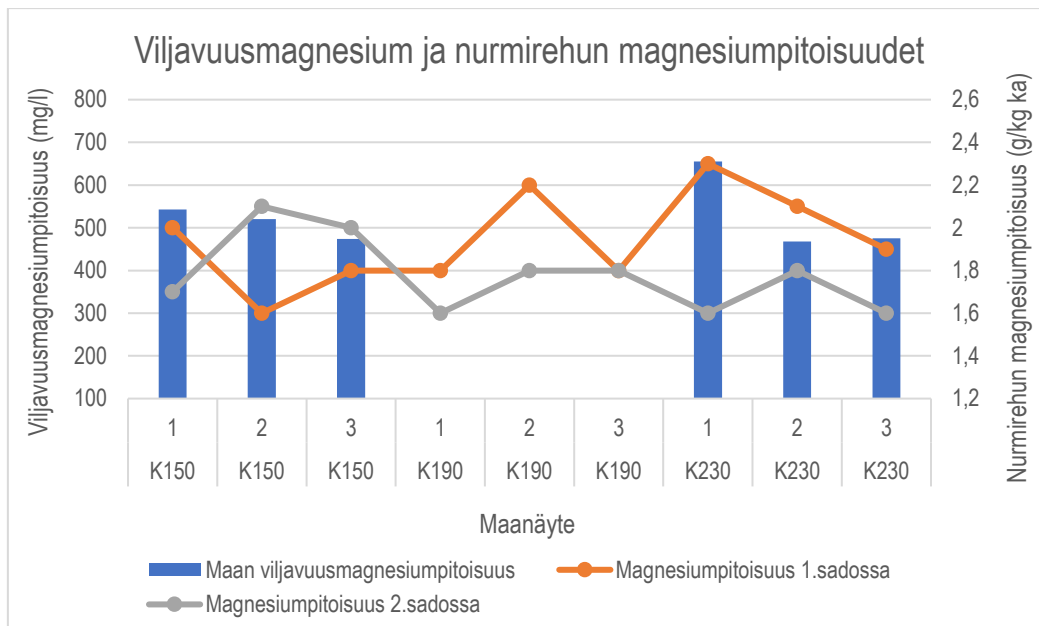


KUVIO 44 Maan viljavuuskalsiumpitoisuudet maanäytteittäin sekä näytteiden ottopaikkoja vastaavien rehunäytteiden kalsiumpitoisuudet paksuturpeisella loholla.

Maan viljavuus- ja reservimagnesiuipitoisuuksilla vaikutti maanäytteiden ja karenäytteiden vertailun perusteella olevan ainakin vähäinen yhteys nurmen magnesiumpitoisuuksiin ensimmäisessä sadossa. Lisäksi ensimmäisessä sadossa nurmen magnesiumpitoisuuksien keskiarvo oli ensimmäisellä kaistalla matalin ja kolmannella korkein, mihin saattoi vaikuttaa keskimäärin hieman korkeampi viljavuusmagnesium kolmannella kaistalla verrattuna ensimmäiseen kaistaan. Toisessa sadossa nurmen ja maan magnesiumpitoisuuksilla ei puolestaan ollut yhteyttä. (Kuvio 45 ja 46.)



KUVIO 45. Maan reservimagnesiumpitoisuudet maanäytteittäin sekä näytteiden ottopaikkoja vastaavien rehunäytteiden magnesiumpitoisuudet paksuturpeisella loholla.



KUVIO 46. Maan viljavuusmagnesiumpitoisuudet maanäytteittäin sekä näytteiden ottopaikkoja vastaavien rehunäytteiden magnesiumpitoisuudet paksuturpeisella loholla.

Lisäksi paksuturpeisella loholla maaperän kuparipitoisuuksilla sekä nurmen kuparipitoisuuksilla ensimmäisessä sadossa oli selkeä yhteys. Toisessa sadossa maan ja nurmirehun kuparipitoisuuksilla ei puolestaan ollut yhteyttä. Myös maan sinkkipitoisuuksilla sekä nurmen sinkkipitoisuuksilla ensimmäisessä sadossa oli selkeä yhteys, kun taas toisen sadon sinkkipitoisuuksiin maaperän sinkkipitoisuuksilla ei ollut yhteyttä.

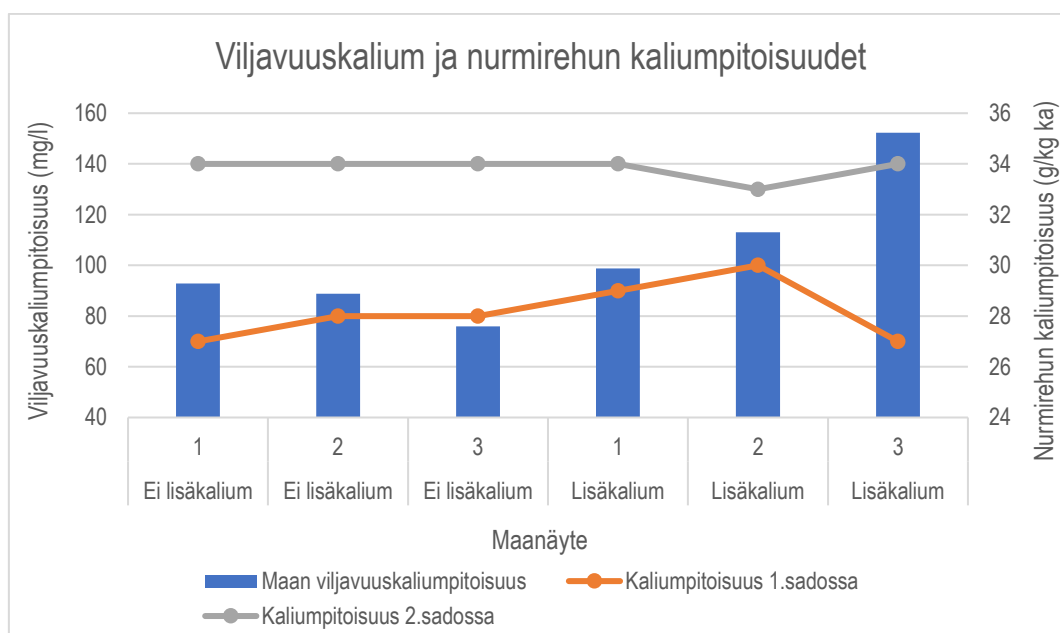
5.4.2 Kivennäismaalohko

Kivennäismaalohko oli viljavuudeltaan erittäin köyhä ravinteiden viljavuusluokkien vaihdellessa huononlaisesta tyydyttävään. Ravinteiden viljavuusluokissa oli eroja kaistojen välillä viljavuuskaliumissa, -magnesiumissa ja -rikissä, ja myös eri ravinteiden pitoisuuksissa oli eroavaisuuksia. Pääosin viljavuusluokat olivat kaistojen välillä kuitenkin samat, ja erot ravinnepitoisuuksissa olivat suhteellisen pieniä. Kaistat olivat siis viljavuudeltaan vertailukelpoiset. Suurimmat erot kaistojen välisissä maan ravinnepitoisuuksissa olivat viljavuuskalium- ja reservikalsiumpitoisuuksissa. Maan viljavuuskaliumpitoisuus oli Ei lisäkalium -kaistalla 85,9 mg/l ja Lisäkalium-kaistalla korkeampi, 121,4 mg/l. Reservikalsiumpitoisuus oli Ei lisäkalium -kaistalla 2 838,9 mg/l, ja lisäkaliumia saaneella kaistalla puolestaan matalampi, 1 472,5 mg/l. Reservikalsiumpitoisuudet olivat kuitenkin molemmilla kaistoilla hyvin matalia. (Taulukko 18.)

TAULUKKO 18. Maaperän keskimääräiset viljavuus- ja reserviravinnepitoisuudet kaistoittain kivennäismaalohkolla.

	viljavuusravinnepitoisuudet, mg/l				reserviravinnepitoisuudet, mg/l			
	Ca	P	K	Mg	Ca	P	K	Mg
Ei lisäkalium	523,7	2,8	85,9	82,8	2 838,9	375,2	316,8	820,2
Lisäkalium	411,5	3,6	121,4	73,1	1 472,5	361,1	367,0	907,6

Myös kivennäismaalohkolla vertailtiin yksittäisten maanäytteiden tuloksia niiden maa-alueita vastaaviin karenytteiden tuloksiin. Toisin kuin paksuturpeisella lohkolla, kivennäismaalohkolla maan ravinnepitoisuuksilla ja nurmirehun kivennäispitoisuuksilla ei vaikuttanut olevan selkeitä yhteyksiä. Maan viljavuuskaliumpitoisuuksilla saattoi kuitenkin olla vähäinen yhteys nurmen kaliumpitoisuuksiin ensimmäisessä sadossa (Kuvio 47). Lisäksi maan keskimääräinen viljavuuskaliumpitoisuus oli Lisäkalium-kaistalla korkeampi kuin Ei lisäkalium -kaistalla, kuten myös nurmen keskimääräinen kaliumpitoisuus ensimmäisessä sadossa. Toisessa sadossa nurmen ja maan kaliumpitoisuuksilla ei puolestaan ollut yhteyksiä. Hivenaineista maan ja nurmen sinkkipitoisuuksilla oli melko selkeä yhteys, kuten myös maan ja nurmen mangaanipitoisuuksilla.



KUVIO 47. Maan viljavuuskaliumpitoisuudet maanäytteittäin sekä näytteiden ottopaikkoja vastaavien rehunäytteiden kaliumpitoisuudet kivennäismaalohkolla.

6 TULOSTEN TARKASTELU

Paksuturpeisen lohkon tuloksien tarkastelussa muun muassa pohditaan, mitkä mahdolliset tekijät saattoivat aiheuttaa suuret satoerot ensimmäisessä niitossa ja siten kaistojen vertailukelvottomuuden. Lisäksi tarkastellaan kaliumlannoituksen vaikutuksia nurmirehun kivennäiskoostumukseen, mutta lannoituskaistojen vertailukelvottomuuden vuoksi kaliumlannoituksen vaikutuksia nurmirehun kivennäiskoostumukseen ei voitu suoraan arvioida.

Kivennäismaalohkon tuloksia tarkastellaan laajemmin. Tulosten tarkastelussa selvitettiin kaliumlannoituksen vaikutuksia nurmen satotasoon ja kivennäiskoostumukseen. Tulosten tarkastelussa otettiin huomioon myös kasvukauden sää, mikä vaikutti kivennäismaalohkon tuloksiin. Tuloksia tarkastellaan viljelyn kannattavuuden sekä lypsykarjan ruokinnan näkökulmasta.

Lisäksi selvitetään, mitkä olivat maaperän ravinnepitoisuuksien yhteydet nurmirehun kivennäispitoisuuksiin paksuturpeisella lohkolla ja kivennäismaalohkolla. Tämän avulla pohditaan, johtuivatko nurmirehun kivennäispitoisuuksien muutokset maaperästä, vai vaikuttiko kaliumlannoitus nurmirehun kivennäispitoisuuksiin.

6.1 Kaliumlannoituksen vaikutukset paksuturpeisella lohkolla

Paksuturpeisella lohkolla kalium ei voinut vaikuttaa ensimmäisen sadon tuloksiin, joten kaistojen väliset suuret satoerot ensimmäisessä niitossa johtuivat maaperän tai kasvuston ominaisuuksista. Lannoituskaistat olivat siis osin vertailukelvottomia, vaikka kaistat olivat viljavuuden osalta vertailukelpoiset ja testialueet vaikuttivat myös kasvuston ja maaperän suhteen melko tasaisilta. Kaistojen väliset erot satotasoissa ovat kuitenkin voineet johtua esimerkiksi eroista kasvuston kasvilajisuhteissa. Havaintojen perusteella ensimmäisellä kaistalla kasvusto saattoi olla hieman natavaltaisempi ja kolmannella kaistalla puolestaan timoteivaltaisempi. Maaperä saattoi esimerkiksi olla kolmannella kaistalla paksuturpeisempaa ja kosteampaa, mikä on voinut johtaa timoteivaltaisempaan kasvustoon. Ensimmäisen kaistan kuivempi kasvualusta on taas voinut suosia nadan kasvua.

Timotei lähtee keväällä nopeasti kasvuun, kun nadan kasvu sen sijaan painottuu loppukesään. Tämä on saattanut aiheuttaa sen, että ensimmäisessä niitossa kolmannen kaistan sato oli suurin

ja ensimmäisen pienin. Toisessa niitossa hehtaarisato oli puolestaan suurin ensimmäisellä ja pienin kolmannella kaistalla, mikä on voinut johtua siitä, että timotein niiton jälkeinen kasvu on vaati-
mattomampaa kuin nurminadan, jonka jälkikasvukyky on hyvä. (Ellä & Mäkilä 2020, 1–2.) Erot toi-
sen niiton satotasoissa kompensoivat ensimmäisen niiton satoeroja, joten kokonaishehtaarisato oli
kolmannella kaistalla vain hieman korkeampi kuin toisella kaistalla. Aiempien tutkimusten perus-
teella kaliumlannoitus nostaa hehtaarisatoa matalan reservikaliumin mailla (Virkajärvi ym. 2014, 3).
Tässä lannoitustestauksessa toisen niiton hehtaarisato oli pienempi kaliumlannoituksen ollessa
suurempi. Kaistojen kasvuston kasvuerojen vuoksi on kuitenkin mahdotonta arvioida kaliumlannoit-
uksen vaikutusta toisen niiton hehtaarisatoihin. Osa paaleista jäi punnitsematta sekä ensimmäi-
sessä että toisessa sadossa, jolloin punnitsemattomien paalien painoina käytettiin punnittujen paa-
lien painojen keskiarvoja. Keskiarvojen käyttäminen paalien painoina vähensi satotulosten luotet-
tavuutta.

Kaliumlannoitustasot olivat ensimmäisessä sadossa samat, joten kaliumilla ei ollut vaikutusta en-
simmäisen sadon kaliumpitoisuuksiin. Toisessa sadossa nurmen kaliumpitoisuus oli kolmannella
kaistalla korkein, mikä on voinut johtua kaistan suurimmasta kaliumlannoitustasosta. Aiempien tut-
kimusten perusteella kaliumlannoitus nostaa nurmen kaliumpitoisuutta matalan reservikaliumin
mailla (Virkajärvi ym. 2014, 31). Sitä, miten kaliumlannoitus on vaikuttanut toisen sadon kaliumpi-
toisuuksiin, on kuitenkin mahdotonta luotettavasti arvioida johtuen eroista kasvuston kasvilajisuh-
teissa ja kehityssasteissa sekä niiden aiheuttamista suurista satoeroista kaistoilla.

Kaistojen kasvuston kasvuerot vaikeuttivat myös kokonaiskaliumpoistumien tarkastelua. Ensimmäisen kaistan kokonaiskaliumpoistumaa ei voitu laskea, sillä määrällistä tulosta sen hehtaarisadosta ensimmäisessä niitossa ei ollut. Ensimmäisessä sadossa kaliumpoistuma oli kolmannella kaistalla noin 12 kg/ha suurempi kuin toisella kaistalla, ja toisessa sadossa noin 5 kg/ha pienempi kuin toisella kaistalla. Kokonaiskaliumpoistuma oli siis kolmannella kaistalla suurempi kuin toisella kaistalla. Kaliumlannoitus ei voinut aiheuttaa kolmannen kaistan suurempaa kaliumpoistumaa ensimmäisessä sadossa. Kuitenkin toisessa sadossa kolmannen kaistan kaliumpoistuma olisi voinut olla ilman lisäkaliumlannoitusta vielä pienempi verrattuna toiseen kaistaan, jolloin kokonaiskaliumpoistuma ei välttämättä olisi ollut kolmannella kaistalla suurin. Kolmannen kaistan suurin kaliumpoistuma on siis voinut johtua kaliumlannoituksesta.

Paksuturpeisella loholla ensimmäisen sadon kivennäispitoisuuksissa ei ollut suuria eroja, vaikka satoerot olivat suuret. Toisessa sadossa melkein kaikki rehun kivennäis- ja hivenainepitoisuudet,

kuten kalsium- ja magnesiumpitoisuudet, laskivat kaliumlannoituksen kasvaessa. Myös aikaisempien tutkimusten mukaan kaliumlannoituksen lisääntyessä kalsium- ja magnesiumpitoisuudet nurmessa laskevat (Farmit 2012b). Kuitenkaan tässä selvityksessä ei voida luotettavasti arvioida, mikä kaliumlannoituksen osuus nurmen kivennäispitoisuuksiin on ollut, sillä pitoisuuksiin ovat voineet vaikuttaa kaliumlannoituksen lisäksi myös nurmen kasvilajisuhde- sekä kasvuaste-erot.

Nurmen ekvivalenttisuhte nousi toisessa sadossa kaliumlannoituksen myötä. Ekvivalenttisuhte oli kuitenkin nurmen tavoitearvojen rajoissa. Tämä johtui siitä, että nurmen kaliumpitoisuudet olivat nurmen tavoitearvojen rajoissa, ja myös kalsiumpitoisuudet olivat pääosin tavoitearvojen rajoissa. Nurmen magnesiumpitoisuudet jäivät kuitenkin hieman tavoitearvojen alapuolelle. Nurmen ekvivalenttisuhteen nousu kaliumlannoituksen kasvaessa johtui siitä, että kaliumlannoituksen kasvaessa nurmen magnesium- ja kalsiumpitoisuudet laskivat ja lisäksi nurmen kaliumpitoisuus oli suurin kolmannella kaistalla. Myös aikaisempien tutkimusten perusteella kaliumlannoituksen lisääntyminen johtaa nurmen ekvivalenttisuhteen nousuun (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 61). Kaistojen kasvuerot saattoivat kuitenkin vaikuttaa myös ekvivalenttituloksiin.

6.2 Kaliumlannoituksen vaikutukset kivennäismaalohkolla

Kivennäismaalohkon tulosten tarkastelussa pohditaan, mikä oli kaliumlannoituksen vaikutus nurmen satotasoon ja kivennäiskoostumukseen. Tulosten tarkastelussa otettiin huomioon kasvukauden sääolosuhteet, sillä etenkin alkukesän raju kuivuus vaikutti kivennäismaalohkon tuloksiin. Lisäksi lohkon matala viljavuus vaikutti tuloksiin, mikä täytyi ottaa huomioon tulosten tarkastelussa. Saatuja tuloksia verrataan aiempien tutkimusten tuloksiin, joiden mukaan kaliumlannoituksella on muun muassa nostava vaikutus nurmen satotasoon ja kaliumpitoisuuteen. Kivennäismaalohkon tulosten tarkastelussa näkökulmana on viljelyn kannattavuus sekä karjan ruokinta.

6.2.1 Kaliumlannoituksen vaikutukset nurmen satotasoon, kaliumpitoisuuteen sekä kaliumpoistumaan

Kivennäismaalohkolla hehtaarisadot olivat ensimmäisessä niitossa kaistoilla lähes samat, kun taas toisessa niitossa hehtaarisato oli lisäkaliumia saaneella kaistalla suurempi kuin Ei lisäkalium -kaistalla. Ensimmäisessä sadossa nurmikasvusto kärsi äärimmäisestä kuivuudesta, mikä rajoitti sadon

määrää. Todennäköisesti tästä syystä nurmi ei voinut hyödyntää lisäkaliumlannoitusta sadonmuodostukseen ensimmäisessä sadossa. Vaikka lisäkaliumia annettiin vain kevätlannoituksessa, on lisäkalium voinut vaikuttaa vielä toisen sadon tuloksiin. Todennäköisesti kevätlannoituksen lannoitteet eivät alkukesän kuivuuden takia lienneet kuin osittain ensimmäiselle sadolle. Heinäkuun runsaat sateet ovat luultavasti saaneet lannoitteet liukenemaan toiselle sadolle, ja lisäksi kasvuolosuhteet olivat toisessa sadossa vedensaannin kannalta paremmat. Nurmi on siis toisessa sadossa voinut käyttää keväällä annetun lisäkaliumlannoituksen sadonmuodostukseen. Kokonaishehtaarisadon määrä oli lisäkaliumia saaneella kaistalla noin 6 000 kg ka, eli lähes 400 kg ka suurempi kuin kaistalla, joka ei saanut lisäkaliumia. Kaistojen välinen ero kokonaishehtaarisadossa ei siis ollut merkittävän suuri, mutta kuitenkin huomattavissa. Aiempien tutkimusten perusteella hehtaarisato kasvaa matalan reservikaliumin mailla kaliumlannoituksen kasvaessa (Virkajärvi ym. 2014, 3). Lannoitustestauksen tulokset tukivat siis toisen sadon sekä kokonaissadon osalta aiempien tutkimuksien tuloksia.

Suurempi kokonaissato vaikuttaa säilörehun tuotantokustannukseen ja sitä kautta myös kannattavuuteen. Mikäli säilörehun tuotantokustannus olisi ollut Ei lisäkalium -kaistalla esimerkiksi 26,5 snt/kg ka (Anttila ym. 2014, 20), olisi Lisäkalium-kaistan tuotantokustannus säilörehulle kaliumlannoituksen hinta ja satotason nousu huomioon ottaen ollut 25,5 snt/kg ka. Kaliumlannoituksen hintana käytettiin kasvukaudella 2021 ollutta kaliumsuolan hintaa, josta lannoitteiden hinnat ovat kuitenkin jo nousseet. Lisäkaliumia saaneella kaistalla kaliumlannoitustaso 155 kg/ha ylitti sekä maan viljavuuskaliumpitoisuuteen perustuvan (118 kg/ha) että maan reservikaliumpitoisuuteen perustuvan (120 kg/ha) kaliumlannoitussuosituksen. Vaikka Lisäkalium-kaistan kaliumlannoitustaso oli korkea ja lohko oli viljavuudeltaan erittäin köyhä, nosti lisäkaliumlannoitus silti nurmen kokonaissatoa ja olisi ollut näillä tuotantokustannuksilla, lannoitteiden hinnoilla ja kaliumlannoituksen määrillä myös taloudellisesti kannattavaa. Kivennäismaalohkolla lannoitustestauksen satotulosten luotettavuudessa aiheutti kuitenkin puutteita se, että ensimmäisessä sadossa molemmilta kaistoilta saatiin kolme paalia, ja yksi kuudesta paalista jäi punnitsematta.

Kivennäismaalohkon ensimmäisessä niitossa nurmen kaliumpitoisuus oli lisäkaliumia saaneella kaistalla hieman suurempi kuin kaistalla, joka ei saanut lisäkaliumia. Kaliumpitoisuus vaikutti nousseen siis kaliumlannoituksen kasvaessa, vaikka ensimmäisessä sadossa lannoitteet eivät luultavasti lienneet kuin osittain. Kuivuus kuitenkin väkevöittää maanestettä, mikä voi tehostaa nurmen

kaliuminottoa (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 53–54). Aiempien tutkimusten perusteella nurmen kaliumpitoisuus nousee matalan reservikaliumin mailla kaliumlannoituksen lisääntyessä, joten tulos mukailee aiempien tutkimusten tuloksia (Virkajärvi ym. 2014, 31).

Nurmen kaliumpitoisuudet olivat ensimmäisessä sadossa melko korkeita molemmilla kaistoilla, vaikka pitoisuudet olivat alle 30 g/kg ka, mikä on yleinen nurmirehun kaliumpitoisuuden riskiraja lehmän ruokinnan kannalta. Kaliumlannoituksesta johtuva nurmen kaliumpitoisuuden nousu heikensi kuitenkin hieman rehun ruokinnallista laatua, koska korkea kaliumpitoisuus rehussa voi heikentää magnesiumin imeytymistä lehmällä sekä altistaa lehmiä poikimahalvauksille ja utaretulehduksille (Partanen 2012, 11). Toisessa niitossa nurmen kaliumpitoisuudet olivat kaistoilla lähes samat, joten keväällä annettu lisäkalium ei nostanut nurmen kaliumpitoisuutta. Toisaalta lisäkaliumia saaneella kaistalla hehtaarisato oli suurempi, mikä on voinut olla ainakin osittain syynä siihen, ettei nurmen kaliumpitoisuus noussut kaliumlannoituksen myötä. Toisessa sadossa nurmirehun kaliumpitoisuudet olivat kuitenkin molemmilla kaistoilla erittäin korkeita ylittäen nurmen tavoitearvot. Korkeisiin kaliumpitoisuuksiin saattoi vaikuttaa se, että alkukesällä nurmikasvusto kärsi kuivuudesta. Kevätlannoitus saattoi liueta kunnolla vasta toiselle sadolle heinäkuun runsaiden sateiden seurauksena, minkä vuoksi maanesteen kaliumpitoisuus on voinut olla korkea. Tämä on voinut johtaa nurmirehun korkeisiin kaliumpitoisuuksiin toisessa sadossa. Lisäksi maan yleinen heikko viljavuus on todennäköisesti vaikuttanut siihen, että nurmen kaliumpitoisuudet olivat korkeita molemmissa sadoissa. Nurmen korkeisiin kaliumpitoisuuksiin on vaikuttanut lisäksi se, että loholla kasvoi ensimmäisen vuoden nurmi, joilla kaliumpitoisuus on korkeampi verrattuna vanhempiin nurmiin (Virkajärvi ym. 2014, 31).

Kokonaiskaliumpoistuma oli lisäkaliumia saaneella kaistalla yhteensä noin 185 kg/ha, eli noin 15 kg/ha suurempi kuin kaistalla, joka ei saanut lisäkaliumia. Lisäkaliumlannoitus nosti siis odotetusti kokonaiskaliumpoistuman määrää. Kaliumlannoituksen määrä oli Ei lisäkalium -kaistalla 115 kg/ha ja Lisäkalium-kaistalla 155 kg/ha, joten kaliumtase oli Ei lisäkalium -kaistalla -56 kg/ha, ja lisäkaliumia saaneella kaistalla -30 kg/ha. Nurmi on siis molemmilla kaistoilla hyödyntänyt annetun lannoituksen lisäksi myös maan kaliumvaroja.

6.2.2 Kaliumlannoituksen vaikutukset nurmirehun kivennäisainepitoisuuksiin ja ekvivalenttisuhteisiin

Kivennäismaalohkon ensimmäisessä niitossa nurmen kivennäisainepitoisuudet olivat kaistojen välillä pääosin todella tasaisia. Ensimmäisessä sadossa nurmen kaliumpitoisuus oli korkeampi ja kalsiumpitoisuus matalampi kaliumlannoituksen ollessa suurempi, mutta erot pitoisuuksissa olivat käytännössä lähes mitättömiä. Aikaisempien tutkimusten mukaan nurmen kaliumpitoisuus nousee kaliumlannoituksen lisääntyessä, ja korkea kaliumpitoisuus nurmirehussa laskee sen magnesium- ja kalsiumpitoisuuksia (Farmit 2012b; Virkajärvi ym. 2014, 31). Tulokset ovat siis kaliumin sekä kalsiumin osalta aikaisempien tutkimusten kanssa samalla linjalla. Nurmirehun matalampi kalsiumpitoisuus heikentää rehun ruokinnallista laatua. Kalsiumin puutos altistaa lehmä poikimahalvauksille, ja lisäksi lehmät voivat kärsiä myös näkymättömästä kalsiumvajeasta, mikä voi oirehtia eri tavoin (Koskinen 2020, 12). Tässä tapauksessa ero nurmen kalsiumpitoisuuksissa kaistoilla oli kuitenkin hyvin pieni. Kaliumia lukuun ottamatta nurmen kivennäisaineet olivat alle nurmen tavoitearvojen, mikä johtui todennäköisesti maan heikoista ravinnepitoisuuksista. Etenkin nurmen kalsium- ja magnesiumpitoisuudet olivat todella alhaisia molemmilla kaistoilla. Nurmirehun kalsiumpitoisuudet esimerkiksi olivat kaistoilla vain reilu 2 g/kg ka, kun säilörehun kalsiumpitoisuuden tavoitearvo on vähintään 4 g/kg ka (Yara 2021).

Kivennäismaalohkon toisessa sadossa nurmen kivennäisainepitoisuudet olivat korkeampia kuin ensimmäisessä sadossa. Tämä johtui todennäköisesti siitä, että toisessa sadossa lehtien osuus nurmikasvustossa on suurempi kuin ensimmäisessä sadossa, ja lehdet sisältävät korteen verrattuna enemmän kivennäisaineita (Virkajärvi ym. 2012, 15; Virkajärvi ym. 2014, 32). Lisäksi toisessa sadossa kasvuolosuhteet olivat paremmat, mikä on vaikuttanut ravinteiden hyödyntämiseen. Nurmen kivennäispitoisuudet toisessa sadossa olivat kaistojen välillä erittäin tasaiset, mutta lisäkaliumia saaneella kaistalla hieman matalammat. Kaliumpitoisuudet olivat kaistoilla lähes samat, joten kaliumlannoitus ei nostanut nurmen kaliumpitoisuutta toisessa sadossa. Hieman matalammat magnesium- ja kalsiumpitoisuudet lisäkaliumia saaneella kaistalla ovat luultavasti johtuneet korkeammasta kaliumlannoituksesta. Tätä tukevat aiemmat tutkimukset, joiden mukaan kaliumlannoitus laskee nurmen magnesium- ja kalsiumpitoisuuksia. Magnesiumpitoisuuden lasku nurmessa heikentää sen ruokinnallista laatua. Matala magnesiumpitoisuus ruokinnassa voi aiheuttaa lehmälle magnesiumin puutoksen, mikä voi puolestaan johtaa kalsiumvajeeseen. Magnesiumin puutteen ollessa vakava lehmä voi sairastua esimerkiksi laidunhalvaukseen. (Koskinen 2020, 13–14.) Ero

rehun magnesiumipitoisuuksissa kaistojen välillä oli kuitenkin pieni, kuten myös ero kalsiumpitoisuuksissa. Toisessa sadossa kaliumpitoisuudet nurmessa ylittivät reilusti nurmen tavoitearvot. Magnesium- ja kalsiumpitoisuudet olivat puolestaan alle nurmen tavoitearvojen johtuen todennäköisesti ravinteiden matalista pitoisuuksista maassa. Nurmen fosforipitoisuudet olivat tavoitearvojen sisällä, vaikka fosforin viljavuusluokka olikin huononlainen.

Kivennäismaalohkon ensimmäisessä sadossa nurmen ekvivalenttisuhte oli lisäkaliumia saaneella suurempi kuin Ei lisäkalium -kaistalla. Arvot olivat molemmilla kaistoilla erittäin korkeita, mikä johtui nurmen melko korkeista kaliumpitoisuuksista sekä hyvin matalista kalsium- ja magnesiumipitoisuuksista. Lisäkalium-kaistan hieman korkeamman ekvivalenttisuhteen aiheutti nurmen hieman korkeampi kaliumpitoisuus ja matalampi kalsiumpitoisuus, jotka johtuivat todennäköisesti kaistan suuremmasta kaliumlannoituksesta. Kaliumlannoitus on siis todennäköisesti nostanut nurmen ekvivalenttisuhdetta. Myös aiempien tutkimusten perusteella ekvivalenttisuhte nousee kaliumlannoituksen lisääntyessä (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 61). Korkeat ekvivalenttisuhteet nurmirehussa aiheuttavat ongelmia lypsykarjan ruokinnassa, ja ekvivalenttisuhteen nouseminen kaliumlannoituksen seurauksena heikentää rehun ruokinnallista laatua entisestään. Korkea ekvivalenttisuhte ruokinnassa aiheuttaa lehmälle muun muassa laidunhalvauksen riskin (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 19). Ero nurmen ekvivalenttisuhteissa oli kaistojen välillä kuitenkin hyvin pieni.

Nurmen ekvivalenttisuhteet toisessa sadossa olivat molemmilla kaistoilla korkeita, mikä johtui erittäin korkeista kaliumpitoisuuksista sekä matalista magnesium- ja kalsiumpitoisuuksista. Nurmen ekvivalenttisuhte oli lisäkaliumia saaneella kaistalla korkeampi kuin kaistalla, joka ei saanut lisäkaliumia. Lisäkalium-kaistalla nurmen hieman korkeampi ekvivalenttisuhte johtui kaistan hieman matalammista magnesium- ja kalsiumpitoisuuksista nurmessa. Koska suurempi kaliumlannoitus Lisäkalium-kaistalla on todennäköisesti ollut syynä nurmen matalampiin magnesium- ja kalsiumpitoisuuksiin, on hieman korkeampi ekvivalenttisuhte kaistalla todennäköisesti johtunut suuremmasta kaliumlannoitustasosta. Myös aiempien tutkimusten perusteella kaliumlannoituksen lisääntyminen johtaa ekvivalenttisuhteen nousuun. Korkeat ekvivalenttisuhteet nurmirehussa sekä ekvivalenttisuhteen kasvaminen kaliumlannoituksen seurauksena heikentävät rehun ruokinnallista laatua, mutta ero nurmen ekvivalenttisuhteissa oli kuitenkin erittäin pieni.

6.2.3 Kaliumlannoituksen vaikutukset nurmirehun hivenainepitoisuuksiin

Kivennäismaalohkolla molemmissa sadoissa nurmen rautapitoisuus oli korkeampi Ei lisäkalium -kaistalla verrattuna lisäkaliumia saaneeseen kaistaan. Kaliumlannoitus on siis voinut vaikuttaa laskevasti nurmen rautapitoisuuksiin. Lypsykarjalla raudan puute voi aiheuttaa useita erilaisia oireita, esimerkiksi anemiaa sekä heikentyntä immuunipuolustusta (Koskinen 2020, 16). Erot nurmen rautapitoisuuksissa eivät kuitenkaan olleet suuria, ja rautapitoisuudet olivat molemmilla kaistoilla tavoitearvojen rajoissa sekä ensimmäisessä että toisessa sadossa. Erot kaistojen välisissä mangaani- ja sinkkipitoisuuksissa olivat käytännössä lähes olemattomat. Sekä ensimmäisessä että toisessa sadossa nurmen mangaanipitoisuudet olivat tavoitearvojen sisällä, vaikka maan mangaanipitoisuus oli alhainen. Nurmen sinkki- ja kuparipitoisuudet olivat puolestaan molemmissa sadoissa tavoitearvojen alapuolella, mikä johtui todennäköisesti maan alhaisista sinkki- ja kuparipitoisuuksista. Etenkin ensimmäisessä sadossa nurmen kuparipitoisuudet olivat erittäin matalia, ja nurmikasvustossa havaittiinkin molemmilla kaistoilla selkeitä kuparipuutosoireita.

6.2.4 Kaliumlannoituksen vaikutukset nurmirehun DCAD-arvoon

Kivennäismaalohkolla ensimmäisen sadon DCAD-arvo oli Ei lisäkalium -kaistalla 374 mEq/kg ka ja Lisäkalium-kaistalla hieman korkeampi, 393 mEq/kg ka. Lisäkalium-kaistalla nurmirehun kalium-, rikki- ja klooripitoisuudet olivat hieman korkeampia kuin Ei lisäkalium -kaistalla. Koska rikillä ja kloorilla on DCAD-arvoon laskeva vaikutus, ja kaliumilla ja natriumilla on siihen nostava vaikutus, on hieman suurempi DCAD-arvo lisäkaliumia saaneella kaistalla johtunut rehun suuremmasta kaliumpitoisuudesta. Kaliumlannoitus sekä maan hieman korkeampi viljavuuskalium ovat voineet aiheuttaa rehun hieman korkeamman kaliumpitoisuuden ja siten myös hieman korkeamman DCAD-arvon. Myös aiemmissa tutkimuksissa kaliumlannoituksen on todettu nostavan nurmen DCAD-arvoa (Hyvärinen & Pekonen 2014, 71). Umpilehmillä koko rehuannoksen tavoiteltu DCAD-arvo on -50 mEq/kg ka, eikä arvon tulisi nousta rehuannoksessa yli 250 mEq/kg ka. Arvon noustessa tätä korkeammaksi lehmän kalsiumaineenvaihdunta voi häiriintyä, jolloin riski sairastua poikimahalvaukseen sekä utaretulehdukseen kasvaa. (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 18.) Nurmen DCAD-arvot olivat molemmilla kaistoilla tavoitearvoihin nähden korkeita. Lisäksi kaliumlannoituksen myötä DCAD-arvo kasvoi entisestään, mikä heikensi rehun ruokinnallista laatua. Kaistojen välinen ero nurmen DCAD-arvoissa kuitenkin todella pieni.

Nurmen DCAD-arvo oli toisessa sadossa Lisäkalium-kaistalla 461 mEq/kg ka eli puolestaan 65 mEq/kg ka pienempi kuin Ei lisäkalium -kaistalla. DCAD-arvot olivat siis nurmen tavoitearvoihin verrattuna hyvin korkeita. Lisäkalium-kaistalla nurmen klooripitoisuus oli suurempi. Nurmen rikkipitoisuudet olivat kaistoilla samat, ja natrium- ja kaliumpitoisuudet olivat lähes samat. Lisäkaliumia saaneella kaistalla kaliumpitoisuus oli kuitenkin hieman pienempi kuin Ei lisäkalium -kaistalla. Nurmen matalampi DCAD-arvo Lisäkalium-kaistalla johtui siis nurmen korkeammasta klooripitoisuudesta sekä hieman pienemmästä kaliumpitoisuudesta. Kaliumsuola on kaliumkloridia, eli se sisältää klooria. Lisäkalium-kaistalla nurmi sai siis suuremman kloorilannoituksen, mikä oli todennäköisesti syynä nurmen korkeampaan klooripitoisuuteen kaistalla. Kaliumlannoitus on siis todennäköisesti laskenut nurmen DCAD-arvoa nostamalla nurmen klooripitoisuutta. Myös aikaisempien tutkimusten perusteella kaliumlannoitus saattaa laskea nurmen DCAD-arvoa, kun kaliumlannoitteena käytetään kaliumsuolaa, mikä johtuu kaliumsuolan sisältämästä kloorista ja kloorin korkeasta hyväksikäyttöasteesta nurmessa (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 71; Virkajärvi ym. 2016). Koska kaliumlannoitus on laskenut nurmirehun DCAD-arvoa, on se tässä tapauksessa siis parantanut rehun ruokinnallista laatua. Rehun DCAD-arvoa ajatellen kaliumlannoitus kannattaa siis toteuttaa kaliumsuolalla.

6.3 Maaperän ravinnepitoisuudet ja niiden yhteydet nurmirehun kivennäispitoisuuksiin

Paksuturpeisella lohkolla eri ravinteiden viljavuusluokat olivat kaistojen välillä samat reservimagneesiumia lukuun ottamatta, ja kaistojen väliset erot maan ravinnepitoisuuksissa olivat pääsääntöisesti pieniä. Kaistat olivat siis viljavuudeltaan vertailukelpoisia. Maan viljavuus ei siis ollut syynä suuriin satoeroihin kaistoilla, kuten ei myöskään kaliumlannoitus. Kaistojen välisiin satoeroihin vaikuttivat mahdolliset erot muissa maan ominaisuuksissa sekä erot kasvuston kasvilajisuhteissa ja kehityksasteissa.

Vaikka paksuturpeisella lohkolla kaistat olivat keskiarvoviljavuuden suhteen vertailukelpoisia, ovat maan ravinnepitoisuudet kuitenkin voineet vaikuttaa nurmirehun kivennäispitoisuuksiin. Tätä tarkasteltiin vertailemalla yksittäisten maanäytteiden ravinnepitoisuuksia maanäytteiden ottopaikkoja vastaavien korenäytteiden kivennäispitoisuuksiin. Maanäytteiden ja korenäytteiden vertailun perusteella paksuturpeisella lohkolla maan kaliumpitoisuudet eivät vaikuttaneet nurmirehun kaliumpi-

toisuuksiin kummassakaan sadossa. Toisessa sadossa kolmannen kaistan suurimpaan kaliumpitoisuuteen eivät siis vaikuttaneet maaperän kaliumpitoisuudet, joten toisessa sadossa kaliumlannoitus luultavasti nosti nurmirehun kaliumpitoisuutta.

Paksuturpeisella loholla maan kalsiumpitoisuudet saattoivat vaikuttaa nurmen kalsiumpitoisuuksiin ensimmäisessä sadossa, mutta toisessa sadossa maan ja nurmirehun kalsiumpitoisuuksilla ei ollut yhteyttä. Toisessa sadossa nurmen kalsiumpitoisuus laski kaliumlannoituksen kasvaessa. Maaperän kalsiumpitoisuuksilla ei siis ollut vaikutusta nurmirehun kalsiumpitoisuuksiin toisessa sadossa, joten nurmirehun kalsiumpitoisuuden lasku johtui todennäköisesti kaliumlannoituksesta.

Paksuturpeisella loholla maaperän magnesiumpitoisuuksilla saattoi olla vähäinen yhteys ensimmäisen sadon magnesiumpitoisuuksiin, mutta toisessa sadossa maan magnesiumpitoisuuksilla ei ollut yhteyttä nurmen magnesiumpitoisuuksiin. Toisessa sadossa nurmen magnesiumpitoisuus laski kaliumlannoituksen kasvaessa, eivätkä maaperän magnesiumpitoisuudet vaikuttaneet nurmen magnesiumpitoisuuksiin, joten kaliumlannoituksella oli todennäköisesti pieni laskeva vaikutus nurmen magnesiumpitoisuuteen.

Paksuturpeisen lohkon maaperän ravinnepitoisuuksilla ei siis ollut vaikutusta esimerkiksi toisen sadon kalium-, kalsium- ja magnesiumpitoisuuksiin. Kaliumlannoituksen lisäksi nurmirehun kivennäispitoisuuksiin ovat kuitenkin saattaneet vaikuttaa erot kasvuston kasvilajisuhteissa ja kehitysasenteissa. On siis mahdotonta suoraan arvioida, mikä kaliumlannoituksen osuus muun muassa nurmirehun kaliumpitoisuuden nousuun sekä kalsium- ja magnesiumpitoisuuksien laskuun toisessa sadossa on ollut.

Myös kivennäismaalohkolla vertailtiin yksittäisten maanäytteiden ravinnepitoisuuksia maanäytteiden ottoapaikkoja vastaavien kivennäispitoisuuksiin, jotta saataisiin selville mahdolliset maaperän vaikutukset nurmirehun kivennäispitoisuuksiin. Vertailun perusteella maan viljavuuskaliumpitoisuuksilla saattoi olla vähäinen yhteys nurmen kaliumpitoisuuksiin ensimmäisessä sadossa, mutta toisessa sadossa yhteyttä maan ja nurmen kaliumpitoisuuksilla ei ollut. Ensimmäisessä sadossa nurmen hieman korkeampi kaliumpitoisuus Lisäkalium-kaistalla on voinut johtua sekä kaliumlannoituksesta että maan viljavuuskaliumista.

Kivennäismaalohkolla ei löytynyt muita yhteyksiä nurmirehun kivennäisainepitoisuuksien ja maan ravinnepitoisuuksien välillä. Kaliumlannoituksella saattoi siksi arvioida tulosten mukaan olleen hyvin pieni vaikutus nurmirehun kalsium- ja magnesiumipitoisuuksiin.

Kivennäismaalohkolla nurmirehun hivenaineista sinkki- ja mangaanipitoisuudet olivat hieman suuremmat Lisäkalium-kaistalla, mikä johtui maaperän pitoisuuksista. Kaliumlannoitus ei siis vaikuttanut nurmen sinkki- ja mangaanipitoisuuksiin. Kaliumlannoitus saattoi laskea nurmen rautapitoisuutta, mutta maan rautapitoisuuksista ei ollut saatavilla tuloksia, joten maan ja nurmen rautapitoisuuksien yhteyttä ei voitu tarkastella.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tutkimus perustui kahdessa kohteessa toteutettuun kaliumlannoitustestaukseen. Lannoitustestauksissa ei ollut aitoja toistoja eri kaliumlannoitustasoissa, joten tilastanalyysiä tuloksista ei voitu tehdä. Aitojen toistojen puuttumisen seurauksena tuloksista ei voida vetää täysin luotettavia johtopäätöksiä. Opinnäytetyön tutkimuksen tulokset voivat kuitenkin tarkasti toteutettuina mittauksina ja havaintoina tukea aiempien tutkimusten tuloksia ja lisätä tietoa tutkittavasta aiheesta.

Toinen tutkimuksen kohteista oli paksuturpeinen lohko. Testialue lohkolla vaikutti tasaiselta, ja sen viljavuus oli myös kohtuullisen tasainen. Kevätlannoituksessa lannoituskaistojen kaliumlannoitustasot olivat vielä samat, mutta ensimmäisen niiton satoerot kaistoilla olivat silti suuret. Kaistojen väliset satoerot johtuivat siis kasvuston tai maaperän ominaisuuksista. Todennäköisesti kasvuston kasvilajisuhteissa oli eroavaisuuksia kaistojen välillä. Kaistat osoittautuivat vertailun kannalta haastaviksi, eikä lohkon lannoitustestauksen tuloksista voida vetää luotettavia johtopäätöksiä, vaikka tuloksia tarkasteltiin mahdollisimman monipuolisesti.

Toinen kohteista oli reservikaliumin osalta köyhäksi todettu kivennäismaalohko. Lannoitustestaus täytyi toteuttaa lohkolla johtuen alkuperäisen testilohkon talvituhosta. Kivennäismaalohko oli raivio, mutta viljavuuden oletettiin olevan lohkolla silti kohtuullinen, sillä lohko oli vasta kalkittu. Ravinnepitoisuudet lohkolla osoittautuivat kuitenkin erittäin mataliksi, ja lohkon heikko viljavuus näkyi myös tuloksissa. Kivennäismaalohkon tulokset ovat kuitenkin omalla tavallaan ainutlaatuisia, ja ne kertovat kokonaisviljavuuden merkityksestä tuotannolle. Tuloksista käy ilmi, ettei kaliumlannoituksen tarvetta määrää ainoastaan maan reservikalium, vaan lannoituksen tulee olla kokonaisuutena tasapainoinen sekä perustua satotavoitteeseen.

Kivennäismaalohkolla Ei lisäkalium -kaistan kaliumlannoitustaso 115 kg K/ha oli lähellä maan reservikaliumpitoisuuteen perustuvaa suositusta, mikä on matalan reservikaliumin mailla 120 kg K/ha ensimmäisen vuoden nurmilla (Virkajärvi ym. 2014, 36). Lisäkaliumia saaneella kaistalla kaliumlannoitustaso (155 kg K/ha) puolestaan ylitti reservikaliumpitoisuuteen perustuvan lannoitussuosituksen. Silti lisäkaliumlannoitus vaikutti nostaneen nurmen satotasoa, ja oli myös taloudellisesti kannattavaa, kun säilörehun tuotantokustannuksen oletettiin Ei lisäkalium -kaistalla olevan 26,5 snt/kg ka. Myös muissa hankkeen havaintokohteissa saatiin samansuuntaisia tuloksia. Voidaan

siis pohtia, onko kaliumlannoitussuositus matalan reservikaliumin mailla riittävä, kun kyseessä on ensimmäisen vuoden nurmi. Tulosten perusteella olisi tarpeellista tutkia lisää sitä, mikä kaliumlannoituksen satovaste on ensimmäisen vuoden nurmilla matalan reservikaliumin mailla.

Kivennäismaalohkolla nurmen kaliumpitoisuudet olivat molemmissa sadoissa korkeat. Nurmen kaliumin saanti oli siis riittävää suhteessa muihin ravinteisiin, ja nurmen kasvua rajoittivat muut tekijät, kuten todennäköisesti ainakin alkukesän raju kuivuus sekä lohkon matala kokonaisviljavuus. Nurmen korkeat kaliumpitoisuudet johtuivat luultavasti samoista tekijöistä, ja lisäksi kaliumlannoituksen melko suuresta määrästä. Nurmen kaliumpitoisuus oli ensimmäisessä sadossa Ei lisäkalium -kaistalla melko korkea, ja lisäkaliumia saaneella kaistalla hieman korkeampi. Lisäkaliumia saaneella kaistalla nurmen kaliumpitoisuus oli kuitenkin alle 30 g/kg ka, mikä on nurmirehun kaliumpitoisuuden riskiraja naudnan ruokinnan kannalta. Toisessa sadossa nurmen kaliumpitoisuus oli molemmilla kaistoilla naudoille haitallisella tasolla, mutta lisäkaliumlannoitus ei nostanut nurmen kaliumpitoisuutta toisessa sadossa.

Opinnäytetyön tutkimuksen tulokset tukivat aiempien tutkimusten tuloksia, joiden mukaan kaliumlannoituksen lisääminen nostaa nurmen satotasoa. Kaliumlannoituksen aiheuttama rehun kaliumpitoisuuden nousu ensimmäisessä sadossa sekä nurmen kalsium- ja magnesiumpitoisuuksien lasku tukivat aiempien tutkimusten tuloksia. Myös näistä johtuva ekvivalenttisuhteen nousu nurmessa oli samalla linjalla aiempien tutkimusten kanssa. Lisäksi aiempien tutkimusten mukaan nurmen DCAD-arvo yleensä nousee kaliumlannoituksen seurauksena, mutta voi myös laskea, kun kaliumlannoitteena käytetään kaliumsuolaa, kuten myös opinnäytetyön tutkimuksenkin perusteella. Opinnäytetyön tutkimuksen tulosten perusteella kaliumlannoitustason nostaminen vaikutti kuitenkin rehun kivennäispitoisuuksiin, ekvivalenttisuhteisiin sekä DCAD-arvoihin vain vähän. Kaliumlannoitus ei siis käytännössä heikentänyt rehun ruokinnallista laatua juuri lainkaan. Kaliumlannoitus nosti nurmen satotasoa ja laski nurmirehun tuotantokustannuksia. Opinnäytetyön tutkimuksen tulosten perusteella kaliumlannoituksen nostaminen matalan reservikaliumin mailla on todennäköisesti järkevää sen taloudellisen hyödyn vuoksi.

Myös aiempien tutkimusten mukaan nurmien kaliumlannoituksen perusteena kannattaisi käyttää maan reservikaliumpitoisuuteen perustuvia lannoitussuosituksia, sillä maan reservikaliumpitoisuus kuvaa maan viljavuuskaliumpitoisuutta paremmin nurmen kaliumin saantia, ja matalan reservikaliumin mailla kaliumlannoituksen satovaste voi olla merkittävä. Nurmen korkeammat satotasot alentavat rehukustannuksia ja johtavat peltojen parempaan hyödyntämiseen. (Luke 2014.) Tutkimusten

mukaan kaliumlannoitus kuitenkin heikentää rehun ruokinnallista laatua. MTT:n julkaiseman tutkimuksen mukaan nurmirehun kaliumpitoisuuden riskiraja karjan ruokinnan kannalta (30 g/kg ka) ylittyi matalan reservikaliumin mailla vasta kaliumlannoitustason ollessa 220–290 kg ka/ha (Virkajärvi ym. 2014, 31). Aikaisempien tutkimusten, kuten myös opinnäytetyön tutkimuksen, mukaan kaliumlannoituksen nostaminen matalan reservikaliumin mailla on siis nautojen ruokinnan kannalta turvallista.

Karjatilallisien olisi kannattavaa panostaa nurmien kaliumlannoituksen optimointiin sen taloudellisen hyödyn vuoksi. Kun nurmien kaliumlannoitusta lisätään matalan reservikaliumin mailla, on kuitenkin tärkeää ottaa huomioon myös odotettavissa oleva nurmen satotaso sekä lohkon kokonaisviljavuus, jotta kaliumlannoituksella saataisiin paras mahdollinen satovaste. Lisäksi nurmien kaliumlannoituksen huolellinen suunnittelu on tärkeää myös rehun ruokinnallisen laadun kannalta. Koska lypsykarjan rehustuksesta suuri osa koostuu nurmesta, on ruokinnan oikeanlainen kivennäistasapaino helpompi saavuttaa nurmirehun kivennäiskoostumuksen ollessa tasapainossa. Etenkin liika kaliumpitoisuus nurmirehussa aiheuttaa ongelmia, sillä lehmät saavat kaiken tarvitsemansa kaliumin perusrehuista, ja tavallisesti ongelmana on liian suuri kaliumin saanti (Hyvärinen & Pehkonen 2014, 17). Kivennäisten epätasapaino ruokinnassa laskee tuotosta sekä aiheuttaa ongelmia eläinterveydessä, mikä johtaa lisäkustannuksiin.

Nurmen kaliumpitoisuuden seuraaminen nousi opinnäytetyön selvityksen perusteella tärkeäksi. Rehun kaliumpitoisuus kertoo lopulta kaliumin riittävydestä parhaiten (Virkajärvi ym. 2014, 40). Kaliumpitoisuuksia seuraamalla vältetään tarpeettoman suuri kaliumlannoitus ja vältetään ylimääräisiltä lannoitekustannuksilta. Lisäksi, kun kaliumlannoitusta lisätään matalan reservikaliumin mailla, kaliumpitoisuuksia seuraamalla vältetään rehun kaliumpitoisuuden nouseminen ruokinnan kannalta liian korkeaksi.

Pohjois-Pohjanmaalla matalat reservikaliumpitoisuudet ovat yleisiä. Alueella sijaitsevilla tiloilla reservikaliumpitoisuuksiin perustuva kaliumlannoitus pääsääntöisesti siis lisää nurmien kaliumlannoitusta ja siten myös lannoitekustannuksia. Reservikaliumpitoisuuksiin perustuva kaliumlannoitus kuitenkin lisää tilan kannattavuutta silloin, kun matalan reservikaliumin mailla satotasoa saadaan nostettua ja rehukustannuksia laskettua. Nurmen korkeammat satotasot vähentävät peltoalan tarvetta, ja etenkin laajenevilla tiloilla peltoala on usein niukka, jolloin peltojen parempi hyödyntäminen on erityisen tärkeää. Alueella sijaitsevien tilojen kannattaisi siis analysoida maan

reservikaliumpitoisuuksia ja lannoittaa nurmia maan reservikaliumpitoisuuksiin perustuvien suositusten mukaisesti huomioiden kuitenkin odotettu satotaso, lohkon kokonaisviljavuus sekä nurmen kaliumpitoisuudet. Reservikaliumpitoisuuksia kannattaa analysoida etenkin rehuntuotannon kannalta tärkeimmiltä lohkoilta, joiden viljavuus on kohtuullinen ja joiden kaliumlannoitukseen olisi valmis panostamaan. Reservikaliumpitoisuus kannattaa analysoida pintamaan lisäksi myös jankosta, sillä jankon reservikaliumpitoisuudella on myös merkitystä.

8 POHDINTA

Ennen agrologiopintoja minulla ei ollut maanviljelystä juuri yhtään tietoa. Opintojeni aikana kuitenkin kiinnostuin rehunviljelystä, mikä johtui osaltaan siitä, että lypsykarja ja etenkin niiden ruokinta on minua eniten kiinnostava osa-alue. Sain ajatuksen hakea kesäksi töihin Kaliumilla turvemaat tuottamaan -hankkeeseen, sillä opintoihini kuului työharjoittelu, ja hanke vaikutti mielenkiintoiselta työpaikalta. Halusin hankkeeseen töihin, sillä vaikka lypsykarja on minua eniten kiinnostava osa-alue, minulla oli rehunviljelystä kertynyt vain teoreettista tietoa, ja tavoitteeni oli oppia lisää rehunviljelystä sekä saada käytännönläheinen kuva kasvukauden tapahtumista. Pääsinkin hankkeeseen töihin kesäksi 2020, ja hanke tarjosi minulle opinnäytetyön aiheen, minkä sain päättää itse, kunhan se perustuisi hankkeen tuloksiin. Valitsin aiheeksi nimenomaan kaliumlannoituksen nostamisen vaikutukset nurmirehun kivennäiskoostumukseen lypsykarjan ruokinnan näkökulmasta. Pääsyy tähän oli se, että halusin opinnäytetyöni koskevan myös lypsykarjaa jollain tavalla. Opinnäytetyössä käsitellään kaliumlannoituksen vaikutuksia nurmen kivennäiskoostumukseen vain matalan reservikaliumin mailla, sillä hankkeen testilohkot olivat reservikaliumin osalta köyhiä.

Opinnäytetyön aihe on mielestäni useista syistä tärkeä sekä ajankohtainen. Nurmien kaliumlannoitusta on alettu tutkia enemmän, kun taas aiemmin tutkimukset ovat koskeneet enemmän typpi- sekä fosforilannoituksia niiden ympäristövaikutusten vuoksi. Kalium on kuitenkin erittäin tärkeä ravinne nurmen sadonmuodostuksen kannalta, ja lisäksi nautojen ruokinnassa kaliumilla on suuri merkitys. Nurmien kaliumlannoitus perustuu edelleen maan viljavuuskaliumpitoisuuteen, vaikka tutkimusten perusteella on selvää, että kaliumlannoituksen perusteena tulisi käyttää maan reservikaliumpitoisuutta. Matalan reservikaliumin mailla kaliumlannoituksella on suuri satovaste, mikä laskee rehun tuotantokustannuksia, mutta kaliumlannoitus vaikuttaa kuitenkin nurmirehun ruokinnalliseen laatuun heikentävästi. Tämän takia oli mielestäni tärkeää tutkia nurmien kaliumlannoitusta matalan reservikaliumin mailla sekä sen vaikutuksia nurmirehun kivennäiskoostumukseen ja sitä kautta karjan ruokintaan. Opinnäytetyössä yhdistyvät siis reservikaliumpitoisuuteen perustuvan kaliumlannoituksen vaikutukset nurmirehun kivennäiskoostumukseen sekä se, mitä merkitystä sillä on karjan ruokinnassa. Mielestäni oli tärkeää yhdistää nämä aiheet, sillä juuri karjatilalliset viljelevät nurmea, ja kaliumlannoituksella on merkittävä vaikutus nurmirehun laatuun ja siten karjan ruokintaan.

Opinnäytetyön tutkimuksen tulokset tukevat aiempien tutkimusten tuloksia siitä, miten kaliumlannoitus vaikuttaa nurmen satotasoon sekä kivennäiskoostumukseen matalan reservikaliumin mailla.

Opinnäytetyön selvityksen perusteella kaliumlannoituksen nostaminen matalan reservikaliumin mailla on järkevää sen taloudellisen hyödyn vuoksi, mutta lannoitettaessa reservikaliumpitoisuuksiin perustuvien suositusten mukaisesti tulee ottaa huomioon myös odotettu satotaso sekä lohkon viljavuus, jotta kaliumlannoituksen satovaste olisi mahdollisimman hyvä. Aiempien tutkimusten perusteella kaliumlannoitustason nostaminen matalan reservikaliumin mailla on myös nautojen ruokinnan kannalta turvallista, mutta opinnäytetyön tutkimuksen perusteella kaliumlannoituksen nostaminen matalan reservikaliumin mailla vaatii kuitenkin nurmirehun kaliumpitoisuuden aktiivista seuraamista, jotta välttyttäisiin yllannoittamiselta. Liika kaliumlannoitus aiheuttaa nurmirehun ruokinnallisen laadun heikkenemisen lisäksi myös tarpeettomia kustannuksia, koska kalium on kallis ravinne. Opinnäytetyön tutkimuksen perusteella matalan reservikaliumin mailla kaliumlannoitus suositus ei välttämättä ole riittävä ensimmäisen vuoden nurmilla, joten aiheetta kannattaisi tutkia lisää. Mielestäni tarvitaan muutoinkin lisää tutkimustietoa maan reservikaliumpitoisuuteen perustuvasta kaliumlannoituksesta ja sen vaikutuksista nurmen satotasoon sekä rehun ruokinnalliseen laatuun, jotta maan reservikaliumpitoisuuksiin perustuvia lannoitussuosituksia saataisiin tarkennettua sekä aiheetta enemmän näkyville.

Opinnäytetyötä tehdessäni opin paljon uutta nautojen kivennäisruokinnasta, mutta myös nurmien kaliumlannoituksesta. Opinnäytetyö opetti myös käsittelemään tutkimustuloksia sekä ymmärtämään laajoja kokonaisuuksia, mikä tulee olemaan varmasti hyödyksi myös tulevaisuudessa. Opinnäytetyön tutkimuksen tulokset olivat haastavia tarkasteltavia. Toisessa kohteista lannoituskaistat osoittautuivat vertailun kannalta haastaviksi ja luotettavien johtopäätösten tekeminen mahdottomaksi. Kivennäismaalohkolla tulosten tarkastelusta teki haastavaa lohkon heikko viljavuus sekä kasvukauden sääolosuhteet, jotka vaikuttivat tuloksiin. Esimerkiksi kivennäismaalohkolla niinkin korkeat kaliumpitoisuudet nurmessa yllättivät, sillä maan kaliumpitoisuudet eivät olleet korkeita. Vaikeaa tulosten tarkastelussa oli ymmärtää koko kokonaisuus ja eri tekijöiden yhdysvaikutukset tuloksiin sekä selittää ne ymmärrettävästi. Mielestäni sain kuitenkin haastavista tuloksista koottua ymmärrettävän kokonaisuuden. Myös kirjallisuuskatsauksen sisällön suunnittelu oli vaikeaa, sillä työn aihe oli moniulotteinen. Käytin ohjausta runsaasti hyödyksi opinnäytetyötä tehdessäni, mistä oli suuri apu koko opinnäytetyöprosessissa. Opinnäytetyön teossa auttoi myös se, että olin mukana lannoitustestauksen toteutuksessa. Opinnäytetyön raporttiin olen lopulta tyytyväinen, mikä on todella palkitsevaa, sillä opinnäytetyössä oli haasteita riittämiin.

LÄHTEET

Aho, Pirjo, Aspila, Pentti, Huhtanen, Pekka, Kokkonen, Tuomo, Mälkiä, Pirjo, Mäntysaari, Päivi, Peltomäki, Arja, Rautala, Helena & Suvitie, Marjatta 2006. Lypsylehmän ruokinta. ProAgria Maa-seutukeskuksen Liiton julkaisuja nro 1031. Tieto tuottamaan 117. Hakupäivä 9.12.2021. El-library. Vaatii käyttöoikeuden.

Anttila, Anne, Niskanen, Markku, Palva, Reetta, Puumala, Lea & Vallinovi, Sari 2014. Hävikit kuriin ja säilörehun laadunvaihtelu hallintaan. NurmiArtturi-kehittämishanke. Vaasa: Fram Oy. Hakupäivä 3.3.2022. https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/nurmiartturi-lehti_pienempi_resoluutio_2.pdf

Ellä, Anu & Mäkilä, Riikka 2020. Nurmiopas. ProAgria Länsi-Suomi. ProAgrian hankejulkaisut 10. Aikaa On -hanke 2020. Hakupäivä 18.1.2022. <https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/nurmiopas2020-web.pdf>

Eurofins 2017. Viljavuustutkimuksen tulkinta. Pdf-tiedosto. Hakupäivä 27.11.2021. <https://cdnmedia.eurofins.com/european-east/media/1818630/viljavuustutkimuksentulkinta2017teroprint.pdf>

Farmit 2012a. Lypsylehmien kivennäisruokinta. Hakupäivä 8.12.2021. <https://www.farmit.net/kohtelain/lypsylehma/ruokinta/kivennaisruokinta>

Farmit 2012b. Nurmen kaliumlannoitus ja reservikaliumin määrittäminen. Hakupäivä 29.5.2021. <https://www.farmit.net/kasvinviljely/2012/12/14/nurmen-kaliumlannoitus-ja-reservikaliumin-maaritys>

Hankkija 2022a. Lehmän Kalsiumpasta 4x360g. Hakupäivä 19.2.2022. <https://www.hankkija.fi/rehut/nautojen-rehut-ja-ruokinta/lypsylehmien-rehut-ja-ruokinta/ia-lehman-kalsiumpasta-4x390g-2021427/>

Hankkija 2022b. Acetona Dry 25 kg. Hakupäivä 19.2.2022. <https://www.hankkija.fi/rehut/nautojen-rehut-ja-ruokinta/lypsylehmien-rehut-ja-ruokinta/acetona-dry-25-kg/>

Hartikainen, Helinä, Aura, Erkki, Jaakkola, Antti & Kemppainen, Erkki 1992. Maa, viljely ja ympäristö (toim. Reijo Heinonen). Porvoo: WSOY.

Hyrkäs, Maarit, Kykkänen, Sanna, Virkajärvi, Perttu, Pehkonen, Arto, Hyvärinen, Tiina, Järvenranta, Kirsi, Suomela, Raija & Kurki, Päivi 2014. Nurmien kaliumlannoitustarve. Kehitystä naudanlihantuotantoon -loppuraportti. MTT Raportti 167. Jokioinen: MTT. Hakupäivä 10.2.2022. <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti167.pdf>

Hyvärinen, Tiina & Pehkonen, Arto 2014. Nurmen kaliumlannoituksen vaikutus maaperään ja säilörehun eläinravitsemukselliseen laatuun. Savonia-ammattikorkeakoulu. Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 13.5.2021. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/76462/Hyvarinen Tiina Pehkonen Arto.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/76462/Hyvarinen_Tiina_Pehkonen_Arto.pdf?sequence=1)

Hyvärinen, Tiina & Pehkonen, Arto 2014. Kuvakaappaus. Nurmen kaliumlannoituksen vaikutus maaperään ja säilörehun eläinravitsemukselliseen laatuun. Savonia-ammattikorkeakoulu. Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 13.5.2021. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/76462/Hyvarinen Tiina Pehkonen Arto.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/76462/Hyvarinen_Tiina_Pehkonen_Arto.pdf?sequence=1)

Karlström, Tiina 2020. Säilörehun kivennäiset tasapainoon. Maito ja me. Hakupäivä 8.12.2021. <https://www.maitojame.fi/artikkelit/sailorehun-kivennaiset-tasapainoon/>

Kinnusen Tähti-rehut 2021. Kivennäiset tärkeä osa nautakarjan ruokintaa. Hakupäivä 8.12.2021. <https://kinnusentahtirehut.fi/maan-parhaista-antimista/kivennaiset-tarkea-osa-nautakarjan-ruokintaa/>

Koskinen, Jonna 2020. Umpilehmien kivennäisruokinta. Savonia-ammattikorkeakoulu. Agrologin tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 8.12.2021. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/334016/Koskinen Jonna.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/334016/Koskinen_Jonna.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Kurki, Päivi & Savikurki, Riitta 2017a. Varastoravinteet. Varastokalium. Ravinnepiika-hankkeen keväinfo. Mikkeli. Hakupäivä 29.5.2021. <https://docplayer.fi/49548216-Varastoravinteet-varastokalium.html>

Kurki, Päivi & Savikurki, Riitta 2017b. Kalium kasvintuotannossa. Ravinnepiika-hankkeen keväinfo. Mikkeli. Pdf-tiedosto. Hakupäivä 27.11.2021. https://www.maajakotitalousnaiset.fi/sites/default/files/attachment/22.3.2017_riitta_savikurki_kalium_kasvintuotannossa.pdf

Kurki, Päivi & Savikurki, Riitta 2017b. Kuvakaappaus. Kalium kasvintuotannossa. Ravinnepiika-hankkeen keväinfo. Mikkeli. Pdf-tiedosto. Hakupäivä 27.11.2021. https://www.maajakotitalousnaiset.fi/sites/default/files/attachment/22.3.2017_riitta_savikurki_kalium_kasvintuotannossa.pdf

Kykkänen, Sanna & Virkajärvi, Perttu 2014. Nurmen lannoitussuositukset muuttuvat. Nauta verkkolehti 5/2014. Hakupäivä 19.12.2021. https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/mtt/esittely/toimipaikat/ruukki/Tietopankki/Peltoikasvituotanto/Nurmikasvit/Nurmen%20lannoitussuositukset_%20kykk%C3%A4nen.pdf

Kykkänen, Sanna, Virkajärvi, Perttu, Hyrkäs, Maarit, Järvenranta, Kirsi & Rätty, Mari 2016. Nurmen lannoitus – satovasteet, rehun laatu ja tuotantokustannus. Luke Maaninka. Maitoa nurmesta seminaari. Pdf-tiedosto. Hakupäivä 13.5.2021. https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/npk_satovasteet_rehun_laatu_ja_kustannus_joensuu_sk.pdf

Kykkänen, Sanna, Virkajärvi, Perttu, Hyrkäs, Maarit, Järvenranta, Kirsi & Rätty, Mari 2016. Kuva-kaappaus. Nurmen lannoitus – satovasteet, rehun laatu ja tuotantokustannus. Luke Maaninka. Maitoa nurmesta seminaari. Pdf-tiedosto. Hakupäivä 17.5.2021. https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/npk_satovasteet_rehun_laatu_ja_kustannus_joensuu_sk.pdf

Lehtonen, Satu 2021. Viljelijä: ”Lannoitteiden hinnannousu järkyttävä, monella vielä viime keväänkin lannoitteet maksamatta”. Maaseudun tulevaisuus. Hakupäivä 7.1.2022. <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/artikkeli-1.1584165>

Lemola, Riitta, Uusitalo, Risto, Hyväluoma, Jari, Sarvi, Minna & Turtola, Eila 2018. Suomen peltojen maalajit, multavuus ja fosforipitoisuus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 17/2018. Helsinki: Luonnonvarakeskus. Hakupäivä 30.11.2021. https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/541851/luke-luobio_17_2018.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Lemola, Riitta, Uusitalo, Risto, Hyväluoma, Jari, Sarvi, Minna & Turtola, Eila 2018. Kuvakaappaus. Suomen peltojen maalajit, multavuus ja fosforipitoisuus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus

17/2018. Helsinki: Luonnonvarakeskus. Hakupäivä 30.11.2021. https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/541851/luke-luobio_17_2018.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Luke 2014. Maan reservikaliumin esiintyminen Suomessa ja sen merkitys nurmen lannoituksen optimoinnissa. Hakupäivä 27.11.2021. <https://www.luke.fi/projektit/reservi-k/>

Luke 2021a. Lypsylehmien kivennäisruokintasuositukset, g/pv. Hakupäivä 9.12.2021. https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/Rehutaulukot/Ruokintasuositukset/Marehtijat/Lypsylehmien_kivennaisruokintasuositukset

Luke 2021b. Nautojen hivenainesuositukset. Hakupäivä 9.12.2021. https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/Rehutaulukot/Ruokintasuositukset/Marehtijat/nautakarjan_hivenainesuositukset

Luke 2022. Lihakarjan kivennäisruokintasuositukset, g/pv. Hakupäivä 5.6.2022. https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/Rehutaulukot/Ruokintasuositukset/Marehtijat/Lihakarjan_kivennaisruokintasuositukset

Lämsä, Tiina 2018. Maaperän luontaisten kaliumvarojen ja kaliumlannoituksen merkitys säilörehunurmen viljelyssä turvemailla IV-viljelyvyöhykkeellä. Oulun ammattikorkeakoulu. Maaseutuelinkeinojen tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 30.11.2021. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/152403/Lamsa_Tiina.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Lämsä, Tiina 2018. Kuvakaappaus. Maaperän luontaisten kaliumvarojen ja kaliumlannoituksen merkitys säilörehunurmen viljelyssä turvemailla IV-viljelyvyöhykkeellä. Oulun ammattikorkeakoulu. Maaseutuelinkeinojen tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 30.11.2021. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/152403/Lamsa_Tiina.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Maanmittauslaitos 2021. Kuvakaappaus. Karttapaikka. Hakupäivä 30.12.2021. <https://www.maanmittauslaitos.fi/asioi-verkossa/karttapaikka>

Merikarvia-lehti 2020. Kuvakaappaus. Häätätilanteita riittää eläinlääkäreillä: Tuotantoeläimilläkin vä-
lillä tukalaa ja vaivoja helteillä – laidunhalvauksia, kaviokuumetta, kyyn puremia ja petojen iskuja...
Hakupäivä 14.12.2021. <https://www.merikarvialehti.fi/uutiset/art-2000006794531.html>

Partanen, Kaisa 2012. Nuorkarjan väkirehuruokinnan suunnittelu. Hämeen ammattikorkeakoulu.
Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 8.12.2021.
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/43459/Partanen.pdf?sequence=1>

Pro-Agria Itä-Suomi 2018. Tilojen välisiä eroja poikimahalvausten määrässä tutkittiin säilörehun
kivennäispitoisuuksien avulla. Hakupäivä 22.12.2021. [https://ita-suomi.proagria.fi/blogit/savola-
eset-ossoojat/2018/04/12/tilojen-valisia-eroja-poikimahalvausten-maarassa-tutkittiin](https://ita-suomi.proagria.fi/blogit/savola-
eset-ossoojat/2018/04/12/tilojen-valisia-eroja-poikimahalvausten-maarassa-tutkittiin)

Pyörälä, Satu & Tiuhonen, Tiina 2005. Vitamiinien ja hivenaineiden puutostilat ja liikasaanti. Nauto-
jen sairaudet 2005. Pdf-tiedosto. Hakupäivä 13.12.2021. [https://helda.helsinki.fi/bitstream/han-
dle/1975/544/07_vitamiinien_ja_hivenaineiden_puutostilat_ja_liikasaanti.pdf?sequence=13](https://helda.helsinki.fi/bitstream/han-
dle/1975/544/07_vitamiinien_ja_hivenaineiden_puutostilat_ja_liikasaanti.pdf?sequence=13)

Ruokavirasto 2021. Ympäristösitoumuksen muistilista. Hakupäivä 3.3.2022 [https://www.ruokavi-
rasto.fi/viljelijat/tuet-ja-rahoitus/ymparistokorvaus/ymparistositoumuksen-muistilista/](https://www.ruokavi-
rasto.fi/viljelijat/tuet-ja-rahoitus/ymparistokorvaus/ymparistositoumuksen-muistilista/)

Saarela, Into, Huhta, Harri, Salo, Yrjö, Sippola, Jouko & Vuorinen, Martti 1998. Kaliumlannoituksen
porraskokeet 1977–1994. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 42. Jokioinen: Maa-
talouden tutkimuskeskus. Hakupäivä 28.12.2021. <http://www.mtt.fi/asarja/pdf/asarja42.pdf>

Seppänen, Mervi 2020. Maan varastokaliumin määrätyksestä. Maito ja me. Hakupäivä 3.12.2021.
<https://www.maitojame.fi/artikkelit/maan-varastokaliumin-maarityksesta/>

Suomela, Raija & Luoma, Sirkka 2014. Kalkitseamalla laadukasta nurmirehua nautakarjalle. Kehi-
tystä naudanhantautantoon -loppuraportti. MTT Raportti 167. Jokioinen: MTT. Hakupäivä
10.2.2022. <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti167.pdf>

Virkajärvi, Perttu, Pakarinen, Kirsi, Hyrkäs, Maarit, Lemettinen, Jyri-Pekka, Rinne, Marketta, Man-
ninen Outi & Seppänen, Mervi 2012. Nurmen kasvu- ja kehitysprosessit. NURFYS-hankkeen
2006–2011 loppuraportti. MTT Raportti 56. Jokioinen: MTT. Hakupäivä 24.1.2022. [https://ju-
kuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/479803/mttraportti56.pdf?sequence=1](https://ju-
kuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/479803/mttraportti56.pdf?sequence=1)

Virkajärvi, Perttu, Kykkänen, Sanna, Rätty, Mari, Hyrkäs, Maarit, Järvenranta, Kirsi, Isolahti, Mika & Kauppila, Raimo 2014. Nurmien kaliumtalous. Maan reservikaliumin merkitys kaliumlannoituksen suunnittelussa. MTT Raportti 165. Jokioinen: Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. Hakupäivä 13.5.2021. <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/485102/mttraportti165.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Virkajärvi, Perttu, Kykkänen, Sanna, Rätty, Mari, Hyrkäs, Maarit, Järvenranta, Kirsi, Isolahti, Mika & Kauppila, Raimo 2014. Kuvakaappaus. Nurmien kaliumtalous. Maan reservikaliumin merkitys kaliumlannoituksen suunnittelussa. MTT Raportti 165. Jokioinen: Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. Hakupäivä 20.5.2021. <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/485102/mttraportti165.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Virkajärvi, Perttu, Rätty, Mari, Hyrkäs, Maarit, Järvenranta, Kirsi, Kykkänen, Sanna 2016. Nurmien kaliumtalous. Luke Maaninka. Pdf-tiedosto. Hakupäivä 3.12.2021. https://ravinnerenki.savonia.fi/images/Nurmien_kaliumtalous_PerttuV_130416.pdf

Virkajärvi, Perttu, Rätty, Mari, Hyrkäs, Maarit, Järvenranta, Kirsi, Kykkänen, Sanna 2016. Kuva-kaappaus. Nurmien kaliumtalous. Luke Maaninka. Pdf-tiedosto. Hakupäivä 3.12.2021. https://ravinnerenki.savonia.fi/images/Nurmien_kaliumtalous_PerttuV_130416.pdf

Värränkivi, Sanni 2015. Riittääkö seleeni vai tarvitaanko lisää? Nauta. Hakupäivä 23.12.2021. <https://nauta.fi/lihakarja/riittaako-seleeni-vai-tarvitaanko-lisaa/>

Yara 2020. Lannoiteopas 2020–2021. Pdf-tiedosto. Hakupäivä 27.11.2021. https://www.yara.fi/contentassets/933fda523d41435ca01181ddbd46f4b1/yara_lannoiteopas_2020_fi_0409.pdf/

Yara 2020. Kuvakaappaus. Lannoiteopas 2020–2021. Pdf-tiedosto. Hakupäivä 27.11.2021. https://www.yara.fi/contentassets/933fda523d41435ca01181ddbd46f4b1/yara_lannoiteopas_2020_fi_0409.pdf/

Yara 2021. Nurmen lannoitus. Hakupäivä 23.12.2021. <https://www.yara.fi/lannoitus/nurmi/nurmen-lannoitus/>

Yara 2021. Kuvakaappaus. Nurmen lannoitus. Hakupäivä 23.12.2021. <https://www.yara.fi/lannoitus/nurmi/nurmen-lannoitus/>

Yara 2022. Kaliumin vaikutus nurmisatoon. Hakupäivä 7.1.2022. <https://www.yara.fi/lannoitus/nurmi/kaliumin-vaikutus-nurmisatoon/>