

## Maan reservikalium ja nurmien kaliumlannoitus

Perttu Virkajärvi<sup>1)</sup>, Mika Isolahti<sup>2)</sup>, Maarit Hyrkäs<sup>1)</sup>, Ulla Sihto<sup>3)</sup>, Mari Rätty<sup>1)</sup> ja Raimo Kauppila<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>*Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Kotieläintuotannon tutkimus, Halolantie 31A, 71750 Maaninka, etunimi.sukunimi@mtt.fi*

<sup>2)</sup>*Boreal Kasvinjalostus Oy, Myllytie 10, 31600 Jokioinen, mika.isolahti@boreal.fi*

<sup>3)</sup>*Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Kotieläintuotannon tutkimus, Kipinäntie 16, 88600 Sotkamo*

<sup>4)</sup>*Yara Suomi Oy, raimo.kauppila@yara.com*

### Tiivistelmä

Sen lisäksi, että kalium on tärkeä nurmien sadonmuodostuksen kannalta, sillä on huomattava vaikutus myös nurmen ravitsemukselliseen arvoon märehitijöiden rehuna. Perinteisesti kaliumlannoitus on perustunut viljavuusanalyysin kaliumlukuun (mg K/l maata; hapan ammoniumasettiuutto). Viime vuosina on kertynyt aineistoa, jonka mukaan viljavuuskalium ei näytäkään ennustavan nurmien kaliuminottoa kovin hyvin. Niinpä päätettiin tutkia meta-analyysin avulla, selittääkö maaperän reservikalium (2 M HCl-uutto) paremmin nurmien kaliuminottoa ja lannoitustarvetta. Aineistoon sisällytettiin yhteensä 17 koesarjaa, jotka oli suoritettu nurmenviljelyalueella ja joista oli saatavilla analyysin kannalta välttämättömät maaperätiedot sekä pintamaasta että jankosta (mm. maalajikoostumus, reservikalium, jankon ominaisuudet). Erisuuruisia lannoitustasoja aineistossa oli yhteensä 36 ja kaliumlannoitus vaihteli välillä 0-320 kg ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup>. Tärkeimmäksi vastemuuttujaksi valittiin sato. Aineistossa oli hyvin vähän 0-ruutuja, joten lähestymistavaksi valittiin ns. suhteellisen sadon menetelmä. Tämän tarkoituksena oli saattaa eri vuosien ja koepaikkojen sadot toisiinsa nähden paremmin vertailukelpoisiksi. Yksittäisiä satotietueita oli 767. Kunkin kokeen sisällä suhteellista satoa selitettiin kaliumlannoituksella käyttäen satofunktiona joko lineaarista kuvausta tai Mitscherlichin funktioita. Kun kunkin kokeen satofunktio oli ratkaistu, derivoitiin satofunktiot ja laskettiin funktion derivaatan arvo kohdalla 50 kg/ha/v K. Näin eri koesarjat voitiin yhdistää ja verrata kaliumin antamaa sadonlisää kokeen maaperätietoihin korrelaatio- ja regressioanalyysillä. Lopuksi maa jaettiin reservikaliumin perustella kahteen ryhmään ja ryhmille sovitettiin satovastefunktiot.

Reservikalium selitti kaliumlannoituksella saatua nurmien satovastetta selvästi paremmin kuin viljavuuskalium. Jankon reservikalium selitti satovastetta yhtä hyvin kuin pintamaan reservikalium. Reservikaliumpitoisuuden ollessa > 600 mg l<sup>-1</sup>, kaliumlannoituksen vaikutus satoon oli pieni. Kasvi-analyysin K:N-suhde on teoriassa tarkempi kasvianalyysi kuin pelkkä kaliumpitoisuus, mutta tässä aineistossa eroa ei havaittu. Kun ruohon kaliumpitoisuus on 17,5 - 20 g kg<sup>-1</sup> ka, saatiin 95 % maksimisadosta. Vastaavat raja-arvot K:N -suhteelle olivat 0,85-0,86.

Nurmien kaliumlannoitussuosituksia tulisi tarkentaa. Nurmialueella tulisi suosia maan reservikaliumanalyyysiä etenkin, jos rehun kaliumpitoisuus on korkea, mutta maan viljavuuskalium osoittaa lannoitustarvetta. Alhaisen reservikaliumin mailla (< 500 mg K l<sup>-1</sup> maata) kaliumlannoitussuositukset voivat perustua viljavuuskaliumiin. Eloperäisillä mailla kaliumlannoitus on erityisen tärkeä. Näillä mailla reservikaliumin pitoisuus on merkittävä vain, jos sitä on pohjamaassa paljon ja pohjamaa on juuriston ulottuvissa. Jos reservikaliumpitoisuus on korkea (> 1000 mg l<sup>-1</sup>), alhainen viljavuuskaliumin pitoisuus ei ole ongelma ja kaliumlannoituksen hyöty näyttää olevan satunnainen.

### Asiasanat:

Säilörehu, kalium, viljavuusanalyysi, ravinnereservit, nurmet, lannoitus

## Johdanto

Kalium on kasvuotannossa yksi keskeisimpiä pääravinteita. Nurmet tarvitsevat runsaasti kaliumia, koska niistä korjataan vegetatiiviset kasviosat 2–3 kertaa kasvukaudessa. Sadon mukana poistuukin kaliumia huomattavia määriä, tyypillisesti 150–250 kg ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup> (Saarela ym. 1998, Pakarinen ym. 2008). Keskeistä nurmien kaliuminotolle on sen ns. luksusotto: kasvit ottavat kaliumia saatavilla olevan määrän eli mikäli sitä on runsaasti saatavilla, kasvit ottavat sitä yli tarpeen. Sen lisäksi, että kalium on tärkeä nurmien sadonmuodostuksen kannalta, sillä on huomattava vaikutus myös nurmen ravitsemukselliseen arvoon märehittäjien rehuna. Korkea kaliumpitoisuus alentaa kasvin magnesium- ja kalsiumpitoisuutta (Saarela ym. 1998) ja pitoisuudet >30 g kg<sup>-1</sup> ka voivat olla haitallisia märehittäjille. Kaliumin absoluuttisen pitoisuuden lisäksi K/(Ca+Mg) ekvivalenttisuhte sekä kationi-anionitasapaino ovat märehittäjän kannalta tärkeitä (Taurianen 2001) ja kaikissa näissä suhteissa suuri kaliumpitoisuus muuttaa suhdetta haitalliseen suuntaan.

Maaperässä on kaliumia mineraalien hilarakenteissa, mineraalihilojen väliin pidättyneenä, vaihtuvana kationina ja maanesteessä. Viljavuustutkimuksessa määritetään ns. helppoliukoinen kalium (K<sub>AAC</sub>; mg K l<sup>-1</sup> maata; hapan ammoniumasettiutti, pH 4,65; Vuorinen & Mäkitie 1955). Vaihtuvan kaliumin lisäksi maa sisältää myös happoliukoista kaliumia eli reservikaliumia (K<sub>HCl</sub>), joka määritetään yleensä suolahappoutolla (Sippola 1980, Saarela ym. 1998). Eri tutkimuksissa on voitu käyttää erilaisia uuttomenetelmiä (HCl:n väkevyyt, uuttoaika, lämpötila), joten eri tutkimusten numeroarvoja ei voi aina verrata toisiinsa. Reservikaliumin pitoisuutta maassa ei voida luotettavasti ennustaa viljavuustutkimuksen vaihtuvan kaliumin pitoisuuden tai maalajin perusteella. Poikkeuksena ovat savimaat, joilla reservikaliumin määrä on tyypillisesti korkea (Saarela ym. 1988, Saarela & Mäntylähti 2002). Reservikalium voidaan määrittellä myös happoliukoisen kaliumin ja viljavuuskaliumin erotuksena (reservikalium = K<sub>HCl</sub> - K<sub>AAC</sub>), mutta tässä kirjoituksessa reservikalium tarkoittaa maan happoliukoista kaliumia Viljavuuspalvelu Oy:n uuttomenetelmällä, ellei toisin mainita.

Perinteisesti kaliumlannoitus on perustunut viljavuusanalyysin kaliumlukuun. Viime vuosina on kertynyt koeaineistoa, jonka mukaan viljavuuskaliumin määrän ja kaliumlannoituksen vaikutuksen yhteys ei aina ole selvä (Saarela ym. 1998, Pakarinen ym. 2008). Monivuotiset ja tiheän juuriston omaavat nurmikasvit voivat käyttää myös muitakin kaliumlähteitä kuin maan viljavuuskaliumia (Joy ym. 1973). Saarela & Mäntylähti (2002) ovat osoittaneet, että astiakokeessa reservikaliumin määrä maassa selitti hyvin nurmien kaliuminottoa, etenkin kasvuston vanhetessa.

MTT:n ja Yara Suomi Oy:n yhteistyönä on tehty useita nurmien kaliumlannoitusta selvittäviä tai eri kaliumlannoitustasoja sisältäviä kokeita 1990–2000 luvuilla (esimerkiksi nurmen natriumlannoituksen vaikutus, vähäkalisien NK-lannoksen kehitystyö sekä muokatun biotiitin käyttöarvo). Näissä kokeissa kaliumlannoituksella saatu sadonlisä vaihteli selkeästi koepaikkojen välillä, eikä eroja voitu selittää maan viljavuuskaliumin pitoisuudella. Kuten edellä on kuvattu, erojen taustalla epäiltiin olevan maan reservikaliumin määrä. Näiden syiden pohjalta päätettiin selvittää yleisemmin, selittääkö maaperän reservikalium paremmin nurmien kaliuminottoa ja lannoitustarvetta kuin viljavuuskalium. Selvitys päätettiin suorittaa meta-analyysinä käyttäen hyväksi suomalaisia nurmitutkimuksia.

## Aineisto ja menetelmät

Aineistoon sisällytettiin yhteensä 17 nurmenviljelyalueella suoritettua koesarjaa (Taulukko1), joista oli saatavilla tutkimuksen kannalta välttämättömät maaperätiedot sekä pintamaasta että jankosta (mm. maalajikoostumus, reservikalium, jankon ominaisuudet). Samasta kokeesta saattoi olla käytössä useampia nurmijaksoja tai pääruutuja (mm. Mg-lannoitus, kasvilajipääruudut), joten maaperätietueita oli käytössä 27. Erisuuruisia lannoitustasoja aineistossa oli yhteensä 36 ja kaliumlannoitus vaihteli välillä 0–320 kg ha<sup>-1</sup> v<sup>-1</sup>. Yhdessäkään kokeessa ei käytetty karjanlantaa. Vain muutamissa kokeissa on nurmi-nurmi -kierto, ja suurimmassa osassa on vilja-nurmi -kierto, joten sikäli aineisto ei kuvaa kovin hyvin nykyaikaisen karjatilan viljelykiertoa. Haluttuja maaperämuuttujia ei ollut saatavilla kaikista kokeista. Koska maaperän maalajikoostumus sekä reservikalium muuttuvat hitaasti, päädyttiin siihen, että koepaikoilta voidaan hakea uudet näytteet ja analysoida ne ao. muuttujien osalta. Kokeiden paikat tiedettiin riittävällä tarkkuudella, joskin joidenkin kokeiden osalta pieni riski näytteiden edustavuuden osalta on olemassa. Kokeiden maaperäominaisuuksien välillä erot ovat huomattavat, joten pienten virheiden ei voi katsoa johtavan varsinaisesti vääriin tulkitointeihin.

Tärkeimmäksi vastemuuttujaksi valittiin kuiva-ainesato. Aineistossa oli hyvin vähän 0-ruutuja, joten lähestymistavaksi valittiin ns. suhteellisen sadon menetelmä. Suhteellinen sato laskettiin siten, että kunkin kokeen maksimisato oli 100 % ja muiden koejäsenten sadot suhteutettiin tähän. Tämän tarkoituksena oli saattaa eri vuosien ja koepaikkojen sadot toisiinsa nähden paremmin vertailukelpoisiksi. Yksittäisiä sato-tietueita oli 767.

**Taulukko 1.** Aineistona käytetyt koesarjat. Samasta kokeesta saattoi olla käytössä useampia nurmijaksoja tai pääruutuja (esim. Mg-lannoitus tai kasvilajipääruudut).

| No | Paikkakunta   | Koe   | Nimi         | Kasvilaji¶ | Maalaji    | Vuodet    | Jaksoja | Vuosisia | K-lannoitusportaati<br>kg ha <sup>-1</sup> v <sup>-1</sup> |
|----|---------------|-------|--------------|------------|------------|-----------|---------|----------|--|
| 1  | Maaninka      | 435   | K&Na         | TNN        | HeS        | 1995-97   | 1       | 3        | 80,160   |
| 2  | Ruukki        | 641   | K&Na         | T          | KHt        | 1995-97   | 1       | 3        | 80,160   |
| 3  | Maaninka      | 392   | K&Na&Mg      | TNN        | HeS        | 1992-95   | 1       | 4        | 0,40,80,120,160  |
| 4  | Toholampi     | 33    | K&Na&Mg      | T          | Mm         | 1992-93   | 1       | 2        | 0,40,80,120,160  |
| 5  | Maaninka      | 244   | KEM N3 biot. | TNN        | hsHHt      | 2005-06   | 1       | 2        | 8,118  |
| 6  | Maaninka      | 490   | N4 syksyn K  | T, NN      | hsHHt      | 2002-03   | 1       | 2        | 6,155  |
| 7  | Rovaniemi     |       | N4 syksyn K  | T, NN      | CT/Mm      | 2002-03   | 1       | 2        | 0, 220   |
| 8  | Ruukki        | 106   | N4 syksyn K  | T, NN      | KHt        | 2002-03   | 1       | 2        | 0,90   |
| 9  | Ruukki        | 45    | N4a syksyn K | T          | HHt        | 2000      | 1       | 1        | 0,150  |
| 10 | Maaninka      | 539   | N5 (NK-lann) | T          | He<br>HtMr | 1999-2001 | 1       | 3        | 33,80,140  |
| 11 | Rovaniemi     |       | N5 (NK-lann) | T, NN      | Hs         | 1999-2001 | 1       | 3        | 32,63,103  |
| 12 | Ruukki        | 46    | N5 (NK-lann) | T          | HHt        | 1999-2001 | 1       | 3        | 32,63,103  |
| 13 | Tohmajärvi*   | 111   | K-porras     | T          | LCt        | 1973-85   | 3       | 10       | 0,42,83,124,166,250  |
| 14 | Tohmajärvi*   | 112   | K-porras     | T          | Ht         | 1973-85   | 3       | 11       | 0,42,83,124,166,250  |
| 15 | Mouhijärvi**  | 25428 | K-porras     | PA-T, KH   | HeS        | 1979-88   | 2       | 7        | 0,40,80,120,160  |
| 16 | Ylistaro**    | 20232 | K-porras     | T          | He         | 198991    | 1       | 3        | 0,40,80,120,160  |
| 17 | Tohmajärvi*** | 214   | K-porras     | T          | LCt        | 1980-89   | 2       | 8        | 0,80,160,240,320   |

\* Koikkalainen ym.1990 \*\* Saarela ym. 1998\*\*\* Virkajärvi & Huhta 1994

¶ T=timotei, NN=nurminata; PA=puna-apila, KH= koiranheinä

Kunkin kokeen sisällä suhteellista satoa selitettiin kaliumlannoituksella käyttäen satofunktiona joko lineaarista kuvausta:

$$Y = a + bx \quad [1]$$

tai käyräviivaisen yhteyden ollessa ilmeinen, Mitscherlichin funktioita:

$$Y = a + b(1 - e^{-cx}) \quad [2]$$

joissa Y = suhteellinen kuiva-ainesato (%) ja x on kaliumlannoituksen määrä (kg K ha<sup>-1</sup> niitto<sup>-1</sup> tai -vuosi<sup>-1</sup>).

Yhtälön parametrit laskettiin SAS-ohjelmiston NLIN-proseduurilla ja lineaariset suoraan MS EXCEL-trendisuoran sovituksella. Satovasteen muuttaminen funktiomuotoon mahdollisimman tarkasti oli tärkeää, koska näin kokeiden vertaaminen toisiinsa oli mahdollista, vaikka kokeissa käytettiin hyvin erilaisia lannoitustasoja. Tämän vuoksi jokainen sovitus tarkistettiin myös graafisesti. Kun kunkin kokeen satofunktio oli ratkaistu, derivoitiin satofunktiot ja laskettiin funktion derivaatan (dy) arvo kohdalla 50 kg K ha<sup>-1</sup>vuosi<sup>-1</sup>. Tämä lannoitustaso valittiin sen vuoksi, että osassa kokeita ei käytetty 0-ruutuja lainkaan, joten funktion kohdalla x = 50 kg K ha<sup>-1</sup> vuosi<sup>-1</sup> sisältyy vähemmän aineiston ekstrapolointia. Näin eri koesarjat voitiin yhdistää ja verrata kaliumin antamaa sadonlisää kokeen maaperätietoihin korrelaatio- ja regressioanalyseillä.

Viimeisessä vaiheessa alkuperäinen satoaineisto jaettiin tulosten perustella kahteen osaan: matalan ja korkean kaliumtilan maihin. Kummallekin ryhmälle estimoitiin satovaste-yhtälöt (lineaarinen tai Mitscherlich) sekä nurmen kaliumpitoisuutta ennustavat yhtälöt SAS MIXED -proseduurilla käyttäen satunnaisker-toimista regressiomallia.

## Tulokset ja tulosten tarkastelu

Kokeiden maaperätietojen yhteenvedo on taulukossa 2. Viljavuuskaliumin pitoisuus on aineistossa verraten alhainen (maksimissaan välttävä/tyydyttävä), mutta reservikalium ylittää parhaimmillaan selvästi hyvän alarajan (Viljavuuspalvelu Oy 2000). Havaittu savespitoisuuden maksimi on merkittävä.

**Taulukko 2.** Koeaineiston maaperämuuttujien kuvaus.  $K_{AAC}$ = viljavuuskalium,  $K_{HCl}$ = reservikalium. N = havaintojen lukumäärä

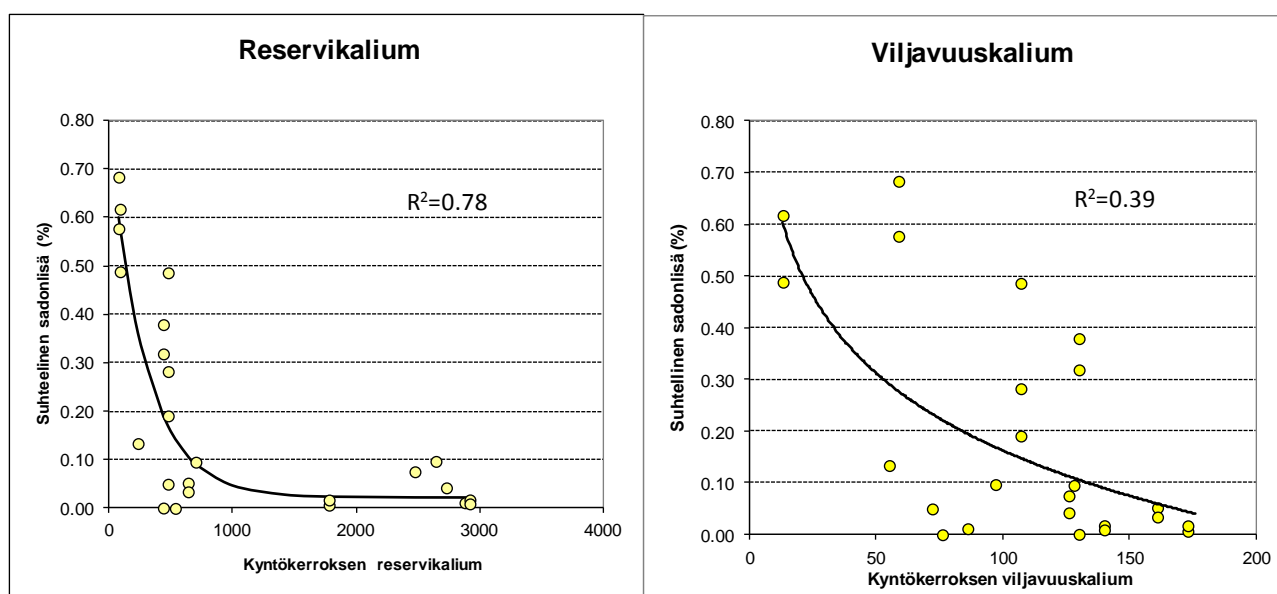
| Muuttuja         | Keskiarvo | Minimi             | Maksimi | N  |
|------------------|-----------|--------------------|---------|----|
|                  |           | mg l <sup>-1</sup> |         |    |
| $K_{AAC}$ pinta  | 119       | 55                 | 176     | 24 |
| $K_{HCl}$ pinta  | 1177      | 77                 | 2920    | 24 |
| $K_{AAC}$ jankko | 93        | 29                 | 160     | 18 |
| $K_{HCl}$ jankko | 1365      | 53                 | 3260    | 24 |
| Saves            | 13        | 0                  | 38      | 24 |
| Hieno hiesu      | 10        | 0                  | 28      | 24 |
| Karkea hiesu     | 10        | 0                  | 24      | 24 |

Maaperämuuttujien ja kaliumlannoituksella saadun sadonlisän yhteyttä tarkasteltiin ensin toisen vuoden nurmissa, joka on tavallaan 'keskimääräinen' nurmivuosi (Kuva 1). Kuvista nähdään, että maan vaihtuva kalium selitti melko huonosti kaliumlannoituksella ( $50 \rightarrow 51 \text{ kg ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ ) saatua sadonlisää ( $r^2=0,39$ ). Sen sijaan kyntökerroksen reservikalium selitti ilmiötä huomattavasti paremmin ( $r^2= 0,78$ ). Tulos on sikäli odotettu, että kotimaisten tutkimusten (Kähäri 1976, Saarela & Mäntylähti 2002) lisäksi myös norjalaiset tutkimustulokset tukevat happoliukoisesta kaliumin merkitystä (Øgaard ym. 2003).

Jankon reservikalium näytti selittävän satoa hienoisesti paremmin kuin kyntökerroksen reservikalium ( $r^2= 0,80$   $p < 0.001$ ), mutta toisaalta pintamaan ja jankon  $K_{HCl}$  korreloi voimakkaasti ( $r^2=0.82$   $p < 0.001$ ). Jankon ravinnevarojen merkitykseen vaikuttaa luonnollisesti juuriston määrä eri maakerroksissa. Nurmikasvien - etenkin timotein - juuriston pääosa on maan pintaosassa (Bolinder ym. 2002). Silti timoteinkin maksimaalinen juurten syvyys on varsin sama kuin muillakin yleisillä heinäkasilajeilla (n. 70–80 cm; Salonen 1949, Holmes 1989). Joy ym. (1973) johtopäätöksenä oli, että nurmien kaliuminotto jankosta on varsin todennäköistä. Witter & Johansson (2001) puolestaan arvioivat, että noin 40–50 % raiheinä- ja puna-apilasadon kaliumista oli peräisin jankosta. Sen sijaan norjalaistutkijat pitivät jankosta otetun kaliumin merkitystä vähäisenä (Øgaard ym. 2003).

Koska ero pintamaan ja jankon selitysasteessa oli pieni, käytettiin jatkossa pelkästään kyntökerroksen  $K_{HCl}$ -pitoisuuteen perustuvaa mallia yksinkertaisuuden vuoksi. Kuvasta 2 nähdään, että nurmen kaliumlannoituksella on saatu sadonlisää lähinnä silloin, kun maan reservikalium on alle  $600 \text{ mg l}^{-1}$ . Kun maan reservikaliumin pitoisuus on luokkaa  $500 \text{ mg l}^{-1}$ , on satovasteen vaihtelu suurta. Sen sijaan alhaisilla reservikaliumin arvoilla ( $<400 \text{ mg l}^{-1}$ ) sadonlisä on lähes säännöllisesti huomattava. Residuaalien tarkastelussa ilmeni, että satovasteet olivat selvästi ennustetta suurempia toisella ja kolmannella nurmijaksolla (5 koetta). Tämä on osoitus nurmien tehokkaasta kaliuminotosta: jos varat ovat niukat, ne käytetään verraten tarkasti jo kolmen ensimmäisen vuoden aikana. Tieto on sikäli merkityksellinen, että tilanne vastaa ns. nurmimonokulttuurua, joka on yleistynyt viime vuosina nautakarjatilojen laajentuessa. Valitettavasti aineisto oli painottunut lyhytkestoisiiin, yhden nurmijakson (3–4 vuotta) kokeisiin, jotka siis näyttävät aliarvioivan nurmien kaliumtarvetta. Poikkeavan suuri positiivinen residuaali havaittiin myös Maaningalla kahdessa kokeessa, joista toinen oli nurminatanurmi ja toinen erittäin kuivan vuoden (2006) timoteinurmi tiiviikhöllä hiesumaalla. Havainto viittaa siihen, että joissain olosuhteissa voidaan satovaste saada myös hyvän kaliumtilan mailla, mutta vasteen suuruus on todennäköisesti pieni. Kolmas residuaalitarkastelussa paljastunut seikka oli ennustetta alhaisempi sadonlisä silloin, kun pohjamaan reservikaliumpitoisuus oli huomattavasti korkeampi kuin pintamaassa (3 koetta), mikä on osoitus jankon merkityksestä kaliumin saannissa (Witter & Johansson 2001).

Viimeisessä vaiheessa alkuperäinen satoaineisto jaettiin kahteen osaan: matalan ja korkean kaliumtilan maihin kuvan 2 perusteella. Matalan kaliumtilan maihin luettiin sellaiset kokeet, joissa sekä pintamaan että jankon  $K_{HCl}$  oli alle  $500 \text{ mg l}^{-1}$  maata. Korkean kaliumtilan maissa joko pintamaa tai jankko sisälsi yli  $600 \text{ mg l}^{-1} K_{HCl}$ . Kummallekin ryhmälle estimoitiiin satovasteyhtälöt nurmen iän mukaan (taulukko 3 ja kuva 2). Tuloksista nähdään, että matalan kaliumtilan mailla kaliumlannoitus selittää sadonlisää hyvin ja se lisää satoa etenkin toisena ja kolmantena vuotena jopa tasolle  $300 \text{ kg K ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$  asti. Ero korkean kaliumtilan maihin on selvä: jälkimmäisillä kaliumlannoitus ei selitä satovaihteluita eikä sillä myöskään saada sadonlisää. Ruohon kaliumpitoisuuksista saadaan yhtäpitävä kuva: matalan kaliumtilan mailla lannoitus selittää ruohon kaliumpitoisuutta hyvin. Korkean kaliumtilan mailla ruohon kaliumpitoisuus on lähtökohtaisesti paljon korkeampi ja mitä nuorempi nurmi on kyseessä, sitä korkeampi on rehun kaliumpitoisuus ja sitä pienempi kaliumlannoituksen vaikutus. Koska matalan kaliumtilan mailla rehun kaliumpitoisuus jää vielä selvästi märehitjän kannalta suositeltavan alarajan alle, on kaliumlannoituksen lisääminen mahdollista.



**Kuva 1.** Kyntökerroksen reservikaliumin sekä viljavuuskaliumin ( $\text{mg l}^{-1}$ ) ja suhteellisen sadonlisäyksen ( $d_{50}$ , %) välinen yhteys, kun kaliumlannoitusta nostetaan 50 kilosta 51 kiloon/ha/v.

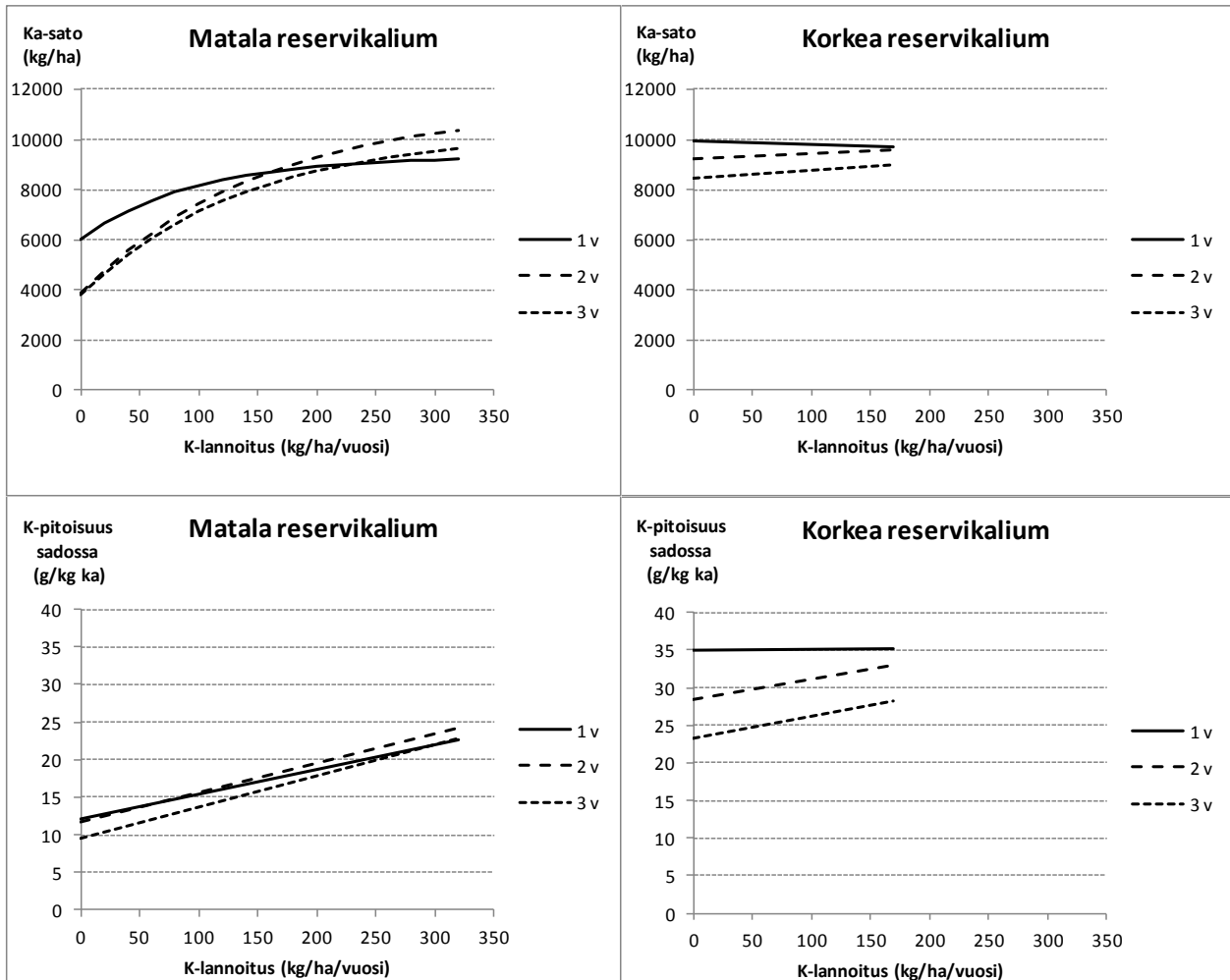
**Taulukko 3.** Reservikaliumpitoisuuteen perustuvan luokittelun satovaste ja ruohon kaliumpitoisuusfunktiot. Matala = sekä pintamaa että jankko  $< 500 \text{ mg l}^{-1} \text{ K}_{\text{HCl}}$ , Korkea = pintamaa tai jankko  $> 600 \text{ mg l}^{-1} \text{ K}_{\text{HCl}}$ . Nurmen ikä (vuosia), N kokeiden lukumäärä, a, b ja c yhtälöiden parametrit sekä niiden keskivirheet. SEE = ennusteen keskivirhe,  $R^2$  mallin selitysaste. Yhtälö: M = Mitscherlich  $Y = a + b(1 - e^{-cx})$ , Lin = lineaarinen yhtälö  $Y = a + bx$ .

| Kuiva-ainesato, $\text{kg ka ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ |     |    |                |                   |                   |      |       |        |  |
|---|-----|----|----------------|-------------------|-------------------|------|-------|--------|--|
| Kaliumtila  | Ikä | N  | a              | b                 | c                 | SEE  | $R^2$ | Yhtälö |  |
| Matala  | 1   | 8  | $6033 \pm 152$ | $3291 \pm 412$    | $0,011 \pm 0,003$ | 441  | 0,87  | M      |  |
|   | 2   | 10 | $3859 \pm 171$ | $7468 \pm 753$    | $0,006 \pm 0,001$ | 569  | 0,93  | M      |  |
|   | 3   | 7  | $3795 \pm 218$ | $6493 \pm 980$    | $0,007 \pm 0,002$ | 603  | 0,90  | M      |  |
| Korkea  | 1   | 15 | $9945 \pm 297$ | $-1,4 \pm 3,2$    |                   | 1349 | 0     | Lin    |  |
|   | 2   | 16 | $9224 \pm 342$ | $2,3 \pm 3,5$     |                   | 1471 | 0,01  | Lin    |  |
|   | 3   | 12 | $8467 \pm 188$ | $2,9 \pm 1,9$     |                   | 705  | 0,05  | Lin    |  |
| Sadon K-pitoisuus, $\text{g kg}^{-1} \text{ ka}$      |     |    |                |                   |                   |      |       |        |  |
| Matala  | 1   | 4  | $12,2 \pm 0,8$ | $0,062 \pm 0,006$ |                   | 2,19 | 0,83  | Lin    |  |
|   | 2   | 7  | $11,7 \pm 0,4$ | $0,074 \pm 0,003$ |                   | 1,39 | 0,95  | Lin    |  |
|   | 3   | 5  | $9,5 \pm 0,5$  | $0,078 \pm 0,005$ |                   | 1,68 | 0,92  | Lin    |  |
| Korkea  | 1   | 4  | $35,0 \pm 0,7$ | $0,001 \pm 0,007$ |                   | 1,84 | 0     | Lin    |  |
|   | 2   | 8  | $28,4 \pm 1,0$ | $0,027 \pm 0,009$ |                   | 2,85 | 0,25  | Lin    |  |
|   | 3   | 5  | $23,4 \pm 0,5$ | $0,029 \pm 0,005$ |                   | 1,13 | 0,69  | Lin    |  |

Lannoituksen taloudellisuus lyhyellä aikavälillä voidaan laskea derivoimalla taulukon 3 satovasteyhtälö ja lisäämällä yhtälöön kaliumin ja keskimääräisen rehukilon hinta. Viime vuosina säilörehun tuotantokustannus on vaihdellut välillä  $19,9 - 23,7 \text{ snt ry}^{-1}$  (Peltonen 2010). Esimerkin vuoksi hintasuhteilla  $23 \text{ snt ry}^{-1}$ ; ja  $2 \text{ € kg}^{-1} \text{ K}$  kannattavan kaliumlannoituksen yläraja sijoittuisi ensimmäisenä satovuonna  $100-120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$  tasolle ja siitä eteenpäin noin  $220-240 \text{ kg ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$  tasolle. Rehun kaliumpitoisuus jäisi edelleen ruokintaa ajatellen hyväksyttävän alhaiseksi.

Kasvien sisältämä kalium on luonnollisesti lopullinen indikaattori maan kaliuminluovutuskyvystä. Tässä aineistossa saatiin 95 % maksimisadosta, kun ruohon kaliumpitoisuus on  $17,5-20 \text{ g kg}^{-1} \text{ ka}$ . Tämä vastaa hyvin valitsevaa käsitystä (Saarela ym. 1998, Virkajärvi & Huhta 1994), mutta Andersson ym. (2007) esittävät 40 vuotta Ruotsissa jatkuneiden kenttäkokeiden perusteella kriittiseksi rajaksi niinkin alhaista pitoisuutta kuin  $10-15 \text{ g kg}^{-1} \text{ ka}$ . Kasvianalyysin K:N-suhde on teoriassa tarkempi kasvianalyysi kuin pelkkä

kaliumpitoisuus, sillä se ottaa huomioon myös kasvin kehitysvaiheen. Tässä aineistossa eroa ei havaittu ja 95 % maksimisadosta saatiin kun K:N –suhde oli välillä 0,85–0,86. Nämä arvot ovat hyvin lähellä aiemmin Suomessa julkaistuja arvoja (Saarela ym. 1998: noin 1; Virkajärvi & Huhta 1994: > 0,9) joten sikäli suhdetta voidaan pitää luotettavana.



**Kuva 2.** Kaliumlannoituksen vaikutus eri-ikäisten nurmien kuiva-ainesatoihin ja sadon kaliumpitoisuuteen matalan ja korkean kaliumtilan mailla. Matala = sekä pintamaa että jankko <math> < 500 \text{ mg l}^{-1} \text{ K}\_{\text{HCl}} </math>, Korkea = pintamaa tai jankko >math> > 600 \text{ mg l}^{-1} \text{ K}\_{\text{HCl}} </math>.

Aineistossa on kaksi puutetta, jotka vaikeuttavat tulosten tulkintaa. Ensinnäkin, kokeissa ei käytetty lainkaan karjanlantaa. Vaikka lietalannan kalium on täysin rinnastettavissa lannoitekaliumiin, sen tyyppi ei ole (Kemppainen 1989) ja siten nurmilohkojen kaliumtase voi muodostua toisenlaiseksi kuin koeaineistossa. Eurooppalaisissa tutkimuksissa karjanlanta on osoittautunut ei ainoastaan hyväksi kaliumin lähteeksi, vaan se on myös nostanut maan kationinvaihtokapasiteettia ja sitä kautta vaikuttanut edullisesti kasvin kaliumtalous (Blake ym. 1999) Toiseksi, kokeet painottuivat lyhyisiin koesarjoihin (vain yksi nurmijakso). Näin ollen aineistosta ei voi laskea, kuinka kauan maan kaliumvarat parhaimmillaan riittävät, etenkin, jos merkittävä osa kaliumista olisi annettu karjanlannassa. Koeaineistossa keskimääräinen vuotuinen kaliumpoistuma oli  $175 \text{ kg K ha}^{-1}\text{v}^{-1}$  (keskihajonta  $113 \text{ kg K ha}^{-1}\text{v}^{-1}$ ) ja havaittu maksimi oli peräti  $412 \text{ kg K ha}^{-1}\text{v}^{-1}$ . Tämän perusteella suurin osa koeruuduista toimi jatkuvasti negatiivisella kaliumtaseella. Ulkomaisten lähteiden mukaan kaliumtilaltaan hyvien maiden kaliumvarat voivat riittää 40 (Andersson ym. 2007) – 200 vuotta (Öborn ym. 2010), Arvio riippuu ennen kaikkea maan mineralogiasta (mm. kiilteet vs. maasälvät), maan rakenteesta (savi vs. karkeat kivennäismaat), orgaanisen aineksen määrästä, juuriston syvyydestä sekä käytetystä kasvilajista. Luonnollisesti paras mittari kasvien kaliumin saannista on rehun kaliumpitoisuus. Se kan-

nattaa määrittää erikseen sellaisilta lohkoilta, joiden kaliumvaroista vallitsee suurin epävarmuus. Koska kalium on kallis ravinne, on rehuanalyysi siihen nähden erittäin edullinen.

### Johtopäätökset

Nurmien kaliumlannoitusosuuksia tulisi tarkentaa. Nurmialueella tulisi suosia maan reservikaliumanalyysiä etenkin, jos rehun kaliumpitoisuus on korkea, mutta maan viljavuuskalium osoittaa lannoitustarvetta. Alhaisen reservikaliumin mailla (< 500 mg K l<sup>-1</sup> maata sekä pintamaassa että jankossa) kaliumlannoituksella on merkittävä vaikutus nurmen sadonmuodostukseen. Jos reservikaliumpitoisuus on korkea (> 600 mg/l) joko pintamaassa, jankossa tai molemmissa, alhainen viljavuuskaliumin pitoisuus maassa ei ole ongelma ja kaliumlannoituksen hyöty näyttää olevan satunnainen. Lisäksi kaliumlannoituksesta riippumatta rehun kaliumpitoisuudella on selvä taipumus olla korkea. Nurmenviljelykokeissa on lähes mahdotonta välttää voimakkaan negatiivisia kaliumtaseita, erityisesti silloin, kun halutaan välttää märehitjän kannalta liian korkeita kaliumpitoisuuksia. Maan lähtöaineksen mineraalikoostumus on avainasemassa maan kaliumvarojen riittävyyden kannalta. Koska lannoitusvaste näyttää olevan sitä suurempi mitä useampi nurmijakso lohkolle on viljelty, olisi syytä tutkia maan kaliumvarojen riittävyyttä ja kaliumlannoitusta nimenomaan pitkäaikaisessa tyypillisen nurmimonokulttuurin viljelykierrossa. Karjanlanta tulisi ehdottomasti sisällyttää koejärjestelyihin. Suurin mielenkiinto kohdistuu maihin, joiden reservikaliumpitoisuus on välillä 400–700 mg l<sup>-1</sup> K<sub>HCl</sub>.

### Kirjallisuus

- Andersson, S., Simonsson, M., Mattson, L., Edwards, A.C. & Öborn, I. 2007.** Response of soil exchangeable and crop potassium concentrations to variable fertilizer and cropping regimes in long-term field experiments on different soil types. *Soil Use and Management* 23: 10-19
- Blake, L. Mercik, S., Koerschens, M., Goulding, K.W.T., Stempen, S., Weigel, A., Poulton, P.R. & Powlson, D.S. 1999.** Potassium content in soil, uptake in plants and the potassium balance in three European long-term field experiments. *Plant and Soil* 216: 1-14.
- Bolinder, M.M., Angers, D.A., Bélanger, G., Michaud, R. & Laverdiere, M.R. 2002.** Root biomass and shoot to root ratios of perennial forage crops in eastern Canada. *Canadian Journal of Plant Science*. 82: 731-737.
- Holmes, W. 1989.** Grass – its production and utilization. 2<sup>nd</sup> ed. 306 p. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK.
- Joy, P., Lakanen, E., & Sillanpää M. 1973.** Effects of heavy nitrogen dressings upon release of potassium from soils cropped with ley grasses. *Annales agriculturae fenniae. Seria agrogeologia et -chimica* 12(64): 172-184.
- Kemppainen, E. 1989.** Nutrient content and fertilizer value of livestock manure with special reference to cow manure. *Annales Agriculturae Fenniae* 28:163-284.
- Koikkalainen, K., Huhta, H., Virkajärvi, P., & Heikkilä, R. 1990.** Pitkäaikaisen säilörehunurmen kaliumlannoitus heikosti kaliumia pidättävillä mailla. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 9/90: 59 p.
- Kähäri, J. 1976.** Hiue-, hiesu-, ja hiesusavimaiden kaliumin käyttökelpoisuudesta kasville. Lisensiaattityö.
- Pakarinen, K., Virkajärvi, P., Luoma, S., & Keränen, O. 2008.** Muokattu biotiitti nurmen perustamisen yhteydessä (KEM N3) 2007. Teoksessa: K.Pakarinen ja P. Issakainen (Toim.). Lannoitus- ja kasvinsuojelukokeiden tuloksia 2007. MTT. p. 32-50.
- Peltonen, S. 2010.** Säilörehun tuotantokustannusten hallinta. Maataloustieteen Päivät 2010. [www.smts.fi](http://www.smts.fi). 4 p.
- Saarela, I., Huhta, H., Salo, Y., Sippola, J., & Vuorinen, M. 1998.** Kaliumlannoituksen porraskokeet 1977-1994. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 42: 41 p.
- Saarela, I. & Mäntylähti, V. 2002.** Kiillepitoisten karkeiden maiden kaliumin vapautuminen kasville. In: Liisa Pietola ja Martti Esala (toim.). *Pro Terra* 15: p. 140-142.
- Salonen, M. 1949.** Tutkimuksia viljelykasvien juurten sijainnista Suomen maalajeissa. *Acta Agralia Fennica* 70,1. 83 p.
- Sippola, J. 1980.** The dependence of yield increases obtained with phosphorus and potassium fertilization on soil test values and soil pH. *Annales Agriculturae Fenniae* 19, 2: *Seria Agrogeologia et -chimica* 102: 100-107.
- Tauriainen, S. 2001.** Dietary cation-anion balance and calcium and magnesium intake of the dairy cow. PhD thesis. University of Helsinki, Department of animal Science Publication 37. 54 p.
- Virkajärvi, P. & Huhta, H. 1994.** Nurmen viljely polttoturvesoiden jätöalueilla : timoteinurmen kaliumlannoitus Tohmajärven Valkeasuolla. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 13/94: 23 p.
- Viljavuuspalvelu 2000.** Viljavuustutkimuksen tulkinta peltoviljelyssä. 31 p.
- Vuorinen, J. & Mäkitie, O. 1955.** The method of soil testing in use in Finland. *Agrogeol. Publ.* 63:1-44.
- Witter, E. & Johansson, G. 2001.** Potassium uptake from the subsoil by green manure crops. *Biol. Agr. Hort.* 19:127-141.
- Öborn, I., Edwards, A.C. & Hillier, S. 2010.** Quantifying uptake rate of potassium from soil in a long-term grass rotation experiment. *Plant and Soil* 335:3-19
- Øgaard, A.F. Krogstad, T. & Lunnan, T. 2003.** Ability of some Norwegian soils to supply grass with potassium(K) – soil analyses as predictors of K supply from soil. *Soil Use and Management* 18:412-420