

*Maatalouden  
tutkimuskeskuksen  
julkaisuja*

S A R J A A

65

*Aku Leppänen  
Martti Esala*

**Keväisen mineraalityppi-  
analyysin käyttö lannoitus-  
tarpeen ennustamiseen**



*Aku Leppänen ja Martti Esala*

---

# **Keväisen mineraalityppi- analyysin käyttö lannoitustarpeen ennustamiseen**

---

**Maatalouden tutkimuskeskus**

ISBN 951-729-554-5

ISSN 1238-9935

*Copyright*

Maatalouden tutkimuskeskus  
Aku Leppänen ja Martti Esala

*Julkaisija*

Maatalouden tutkimuskeskus, 31600 Jokioinen

*Jakelu ja myynti*

Maatalouden tutkimuskeskus, tietopalveluyksikkö, 31600 Jokioinen  
Puh. (03) 4188 2327, telekopio (03) 4188 2339

*Painatus*

Jyväskylän yliopistopaino 1999

Sisäsivujen painopaperille on myönnetty pohjoismainen joutsenmerkki.  
Kansimateriaali on 75-prosenttisesti uusiokuitua.

---

**Leppänen, A.<sup>1)</sup> & Esala, M.<sup>2)</sup>** 1999. Keväisen mineraalityypianalyysin käyttö lannoitustarpeen ennustamiseen. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 65. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 25 p. + 6 app. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-554-5.

<sup>1)</sup> Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvituotannon tutkimus, Peltokasvit ja maaperä, 31600 Jokioinen

nykyinen osoite: Ruonantie 431, 27230 Lappi TI, [aleppan1@saunalahti.fi](mailto:aleppan1@saunalahti.fi)

<sup>2)</sup> Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvituotannon tutkimus, Peltokasvit ja maaperä, 31600 Jokioinen, [martti.esala@mtt.fi](mailto:martti.esala@mtt.fi)

---

## Tiivistelmä

---

*Avainsanat: karjanlanta, maaperä, typpi, typpiyhdisteet, lannoitustarve, mallintaminen, obra, ennustaminen, viljakasvit*

---

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, mitä mahdollisuuksia olisi kehittää Suomeen menetelmä typpilannoitustarpeen ennakoimiseksi. Syksyllä 1995 ja 1996 perustettiin kenttäkokeet kolmelle paikkakunnalle. Jokioisissa ja Ruukissa levitettiin pääruuduille naudnan lietelantaa 0, 40 ja 80 m<sup>3</sup>/ha ja Ylistarossa sian lietelantaa 0, 20 ja 40 m<sup>3</sup>/ha. Käsittelyjen tavoitteena oli saada maahan kevääksi eri mineraalityypipitoisuuksia. Osaruudut lannoitettiin portaittain suurenevilla typpimäärillä 0, 40, 80, 120, ja 160 kg/ha. Kokeissa tutkittiin maan mineraalityypipitoisuuden vaikutusta ohran sato-optimiin ja mallinnettiin mineraalityypipitoisuuden muutoksia SOIL-SOILN -malleilla. Aineistona käytettiin myös muita MTT:ssä käynnissä olleita typpilannoituskokeita sekä Kemiran maatilakoetta Eurassa. Lisäksi selvitettiin mahdollisuuksia määrittää maan mineraalityypipitoisuus reflektometriin perustuvalla pikamääritysmenetelmillä.

Viljojen typpilannoitus ei ollut kannattavaa, jos maan mineraalityypipitoisuus ylitti keväällä 100–130 kg/ha. Lannoitustarve voitiin karkeasti laskea vähentämällä lannoitussuosituksista maan mineraalityypin määrä. Syksyllä maasta määritetty mi-

neraalityypipitoisuus selitti lannoitustarvetta heikommin kuin keväällä määritetty. Menetelmän luotettavuutta heikentää se, että typpilannoitusoptimi riippuu monista muista ennustamattomista tekijöistä kasvukauden aikana. Mineraalityypen määrittäminen keväällä kaupallisissa laboratorioissa olisi käytännössä vaikeata, koska tulosta ei saataisi riittävän nopeasti viljelijöiden käyttöön.

Reflektometriä osoittautui luotettavaksi mineraalityypen määritysmenetelmäksi, kun ammonium- tai nitraattityypivarat olivat yli 10–15 kg/ha. Parhaaksi uuttoliukseksi osoittautui kaliumsulfaattiliuos, mikäli halutaan määrittää sekä nitraatti- että ammoniumtyypipitoisuus. Käytäntöä varten olisi kehitettävä lyhyempää uuttoja yksinkertaisemmilla välineillä sekä tilavuuspainomääritystä tulosten laskennan pohjaksi. SOIL- ja SOILN -malleilla voitiin simuloida maan mineraalityypen määriä maassa ja kasvuston typenottoa ja kasvua, mutta karjanlannan typhen kohtalon mallintaminen oli vaikeaa. Erityisesti tarvittaisiin lisää tutkimusta ammoniakkin haihtumisen merkityksestä typpilannoituksen optimiin sekä erilaisten lannoitosten typhen käyttäytymisestä erilaisissa maissa.

# Alkusanat

Vuosina 1995–1997 toteutettiin Maatalouden kehittämisrahaston rahoituksella tutkimus ”Typpilannoitustarpeen ennustaminen keväisellä maan mineraalityppianaalisilla” (KEMIN). Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, mitä mahdollisuuksia olisi kehittää Suomeen menetelmä typpilannoitustarpeen ennakoimiseksi. Tutkimus toteutettiin Maatalouden tutkimuskeskuksessa erikoistutkija Martti Esalan johdolla. Käytännön tutkimustyön teki tutkija Aku Leppänen.

Tutkimuksen seurantaryhmän puheenjohtajana oli professori Paavo Elonen (edesmennyt) MTT:sta, maatalousneuvos Mirja

Suurnäkki maa- ja metsätalousministeriöstä, toimitusjohtaja Väinö Mäntylahti Viljavuuspalvelu Oy:stä, kehityspäällikkö Hannu Seppänen Maaseutukeskusten Liitosta, johtaja Heikki Hakkola MTT:n Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasemalta, osastopäällikkö Erkki Rytsä Raisio Yhtymästä, tutkimusaseman esimies Raimo Kauppila Kemirasta sekä erikoistutkija Seppo Rekolainen Suomen ympäristökeskuksesta. Parhaat kiitokset seurantaryhmän jäsenille ja heidän taustaorganisaatioilleen tutkimuksen avustamisesta. Kiitokset myös tutkimuksen toteuttamiseen osallistuneille henkilöille MTT:ssa.

Jokioisissa helmikuussa 1999

*Martti Esala*  
professori

# Sisällys

Tiivistelmä .....	3
Alkusanat .....	4
1 Maan mineraalityppi ja typpilannoitusoptimi .....	7
1.1 Johdanto .....	7
1.2 Aineisto ja menetelmät .....	7
1.3 Tulokset .....	8
1.3.1 Lietelannan levityksen vaikutus maan mineraalityypipitoisuuteen ..	8
1.3.2 Mineraalityppi lannoitustarpeen ennustajana KEMIN-kokeissa . . . .	8
1.3.3 Maan mineraalityypen vaikutus lannoitusoptimiin muissa kokeissa .	11
1.4. Tulosten tarkastelu .....	12
2 Mineraalityypen pikamääritys reflektometrillä .....	13
2.1 Johdanto .....	13
2.1.1 Mineraalityypen määrittämiseen käytettävät uuttoliukset .....	13
2.1.2 Reflektometria nitraattityypen analysointimenetelmänä .....	14
2.1.3 Tutkimuksen tarkoitus .....	14
2.2 Aineisto ja menetelmät .....	14
2.3 Tulokset ja niiden tarkastelu .....	15
2.4 Johtopäätökset .....	16
3 Karjanlannasta vapautuvan typen mallintaminen .....	17
3.1 Johdanto .....	17
3.2 Aineisto ja menetelmät .....	17
3.3 Tulokset .....	19
3.4 Tulosten tarkastelu .....	22
4 Yhteenveto .....	22
Kirjallisuus .....	24
Liitteet	





# 1 Maan mineraalityppi ja typpilannoitusoptimi

## 1.1 Johdanto

Useissa maissa maan mineraalityppi (nitraattityppi tai nitraatti- ja ammoniumtyppi) analysoidaan ennen lannoitusta viljelykasvien typpilannoitustarpeen ennustamiseksi.

Suomessa mineraalityppianalyysin käytökelpoisuutta viljakasveilla ovat tutkineet Sippola ja Ylärinta (1985). Heidän mukaansa mineraalityypen analysoiminen typpilannoitustarpeen määrittämiseksi ei ole kannattavaa jatkuvassa viljanviljelyssä.

Leppänen ja Esala (1995) tutkivat keväällä maassa olevan mineraalityppimäärän vaihtelua 131 peltolohkolta. Suurimmat pitoisuudet löytyivät peltolohkoilta, joille oli levitetty karjanlantaa. Seuraavaksi eniten maassa oli mineraalimuotoista typpeä nurmien ja vihannesviljelyn jälkeen.

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, mikä merkitys maan mineraalityypellä on viljan typpilannoitusoptimin kannalta ja voitaisiinko mineraalityppianalyysillä ennustaa kasvin typpilannoitustarvetta.

## 1.2 Aineisto ja menetelmät

Kenttäkokeet perustettiin Jokioisiin (MTT:n) Kasvintuotannon tutkimuslaitoksen maanviljelyskemian ja -fysiikan tutkimusala, Ylistaroon (MTT:n Etelä-Pohjanmaan tutkimusasema) ja Ruukkiin (MTT:n Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasema). Tarkoituksena oli syksyllä tehtävällä karjanlannan levityksellä saada maahan erilaisia mineraalityppitasoja kevääksi. Koekasvina oli vuosina 1996 ja 1997 ohra ja lajikkeina kullekin alueelle tyypillinen, Jokioisissa Saana, Ylistarossa Arve ja Ruukissa Artturi. Kenttäkoe tehtiin kumpanakin vuonna eri paikalla.

Jokioisissa ja Ruukissa levitettiin pääruuduille naudän lietelantaa 40, 80 ja 0 m<sup>3</sup>/ha (käsittelyt A, B, C) ja Ylistarossa sian

lietelantaa 20, 40 ja 0 m<sup>3</sup>/ha (käsittelyt A, B, C) (Liite 1). Ruudut, joille ei ollut levitetty syksyllä karjanlantaa, lannoitettiin keväällä riittäväksi katsotulla määrällä fosforia ja kaliumia. Osaruudut lannoitettiin Oulunsalpietarilla (tai Suomensalpietarilla) portaittain suurenevilla typpimäärillä keväällä kylvön yhteydessä siten, että typpitasot olivat 0, 40, 80, 120, 160 kg N/ha.

Kenttäkokeista otettiin mineraalityppinäytteet syksyllä noin kuukauden kuluttua lannanlevityksestä 0–25 cm ja 25–60 cm syvyydestä. Keväällä näytteet otettiin syvyyksiltä 0–25 cm, 25–60 ja 60–90 cm roudan sulamisen jälkeen. Näytteet säilytettiin pakastettuina analysointiin asti. Mineraalityppi uutettiin 2 M kaliumkloridilla 2 tunnin ajan. Ammonium- ja nitraattityppi määritettiin Skalar-autoanalyysointorilla (Esala 1991). Mineraalityypen määrän laske-  
miseksi kg/ha kohti otettiin kenttäkokeista tilavuuspainonäytteitä halkaisijaltaan 5 cm kairalla. Näytteet kuivatettiin 105 °C:ssa ja punnittiin.

Kokeisiin levitetyistä lannoista analysoitiin kokonaistyyppi, liukoinen typpi, fosfori (P), kalium- (K), kalsium- (Ca) ja magnesiumipitoisuudet (Mg) sekä kuiva-ainepitoisuus. Kokonaistyyppi määritettiin lannoista Kjeldahl-menetelmällä. Lantojen liukoinen typpi uutettiin 2 M suolahapolla (HCl) ja 2,5 M kalsiumkloridilla (CaCl<sub>2</sub>) (Kemppainen 1989). Kivennäisaineet (P, K, Ca, Mg) uutettiin tuhkatusta näytteestä 4 M ja 2 M suolahapolla (HCl) (Kähäri & Nissinen 1978). Erona Kähärin ja Nissisen (1978) menetelmään käytettiin toisessa happolisäyksessä 2 M suolahappoa 2 M typpihapon (HNO<sub>3</sub>) sijaan.

Mineraalityppinäytteitä otettiin myös muista käytettävistä olevista typpilannoituksen porraskokeista keväisin ennen kylvöä. Tällaisia kokeita oli Jokioisissa kasvintuotannon tutkimuslaitoksella, MTT:n tutkimusasemilla Ylistarossa ja Ruukissa sekä Eurassa Kemiran maatilakokeessa.

## 1.3 Tulokset

### 1.3.1 Lietelannan levityksen vaikutus maan mineraalipitoisuuteen

Kenttäkokeissa käytetyillä lannan levitysmäärillä maahan tuli liukoista typpeä 0–205 kg/ha (Liitteet 1 ja 2).

Lannan levityksen vaikutus maan mineraalityypen määrään testattiin tilastollisesti kullakin paikkakunnalla ja vuotena erikseen, koska käytetty lietalanta oli erilaista eri vuosina ja kenttäkokeen paikkaa vaihdettiin vuosittain. Koemallina oli satunnaistettujen täydellisten lohkojen koe, joka analysoitiin toistettujen mittausten koekena. Toistotekijöinä olivat näytteenottoaika (syksy, kevät) ja syvyys (0–25, 25–60 cm). Aineistoon tehtiin logaritmimuunnos varianssien erisuuruuden takia.

Karjanlannan levitys päävaikutuksena lisäsi merkittävästi maan mineraalityypen määrää Jokioisissa ja Ruukissa olleissa kokeissa (Liite 3). Sen sijaan Ylistaron kenttäkokeissa levitys ei lisännyt maan mineraalityypen määrää. Ylistarossa vuoden 1997 kokeessa oli kuitenkin merkittävä yhdysvaikutus ( $p_{hav}$  0,03) karjanlannan levityksen ja syvyyden välillä, mikä johtui kohonneista mineraalityypen määristä erityisesti B-ruuduilla maan pintakerroksessa.

Keväällä maassa oli merkittävästi vähemmän mineraalityppeä vuonna 1996 Jokioisten ja Ylistaron kokeissa kuin edeltävänä syksynä. Muissa kenttäkokeissa syksyn ja kevään välillä ei ollut eroa (Liite 3, Kuvat 1 ja 2). Karjanlannan levitys lisäsi maan mineraalityypen määrää syksyllä, mutta ei vaikuttanut keväisiin pitoisuuksiin vuonna 1997 Jokioisissa ja Ruukissa (Liite 3, Kuva 2).

### 1.3.2 Mineraalityppi lannoitustarpeen ennustajana KEMIN-kokeissa

KEMIN-kokeiden pääruuduilta laskettiin typen taloudellinen lannoitusoptimi satojen (Kuva 3) ja lannoituksen sekä ohran ja ty-

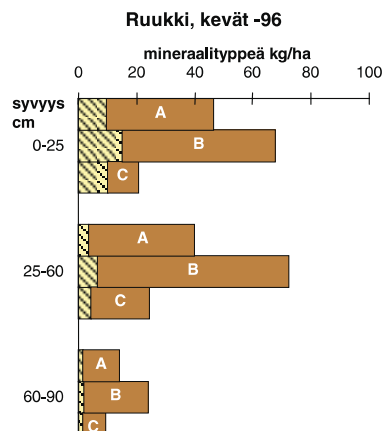
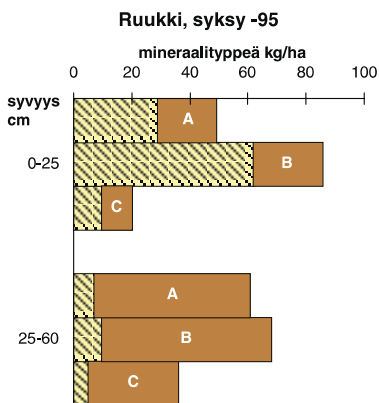
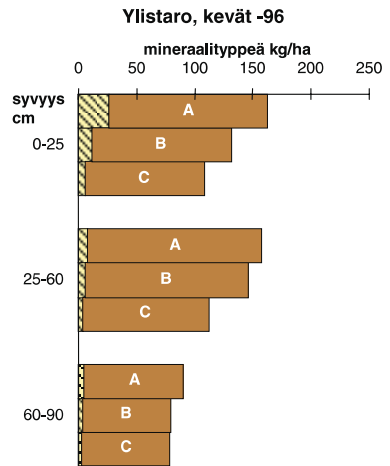
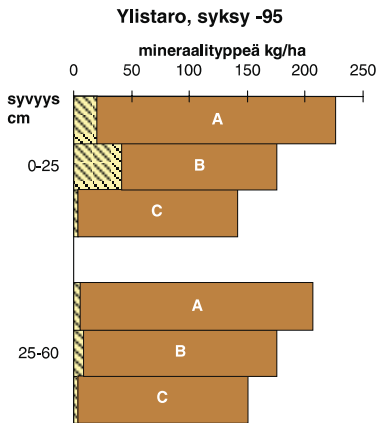
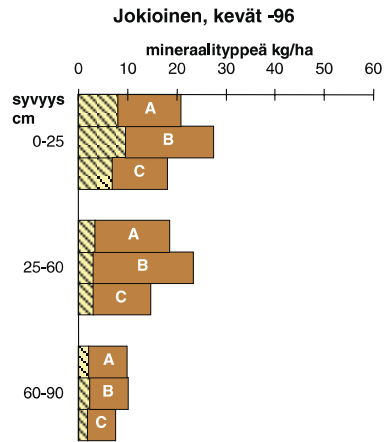
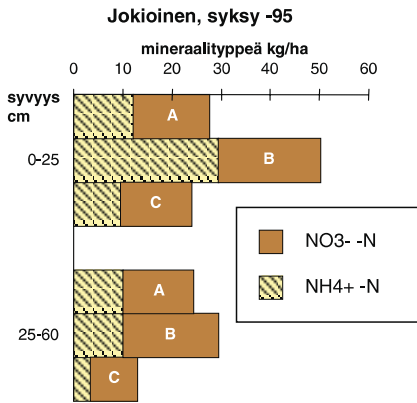
pen hinnan perusteella. Ohran hintana käytettiin 0,70 mk/kg ja typpilannoitteen 3,50 mk/kg, joka oli typen hinta Kemira Oy:n Suomensalpietari-lannoitteessa marras-joulukuussa 1997.

Lasketun optimin mukaan typpilannoitus ei ollut kannattavaa Ylistaron vuoden 1996 kokeessa, muussa kuin yhdessä C-ruudussa (ei karjanlantaa syksyllä) (Kuva 4). Tämä johtui lohkon erittäin suurista typen pitoisuuksista maassa. Myöskään Ruukin vuoden 1997 kokeessa lannoitus ei ollut kannattavaa kaikilla pääruuduilla. Sen sijaan Jokioisten vuoden 1997 kokeessa lannoitusoptimia ei voitu laskea kaikista pääruuduista, koska optimi olisi käytetyillä hinnoilla ylittänyt suurimman keväällä annetun lannoitemäärän 160 kg N/ha.

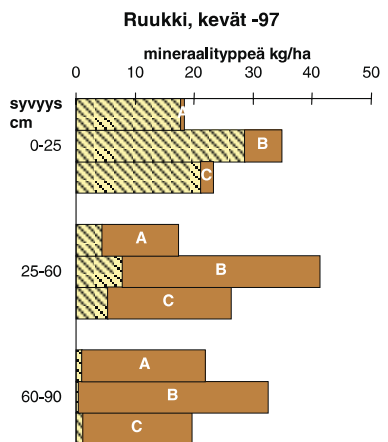
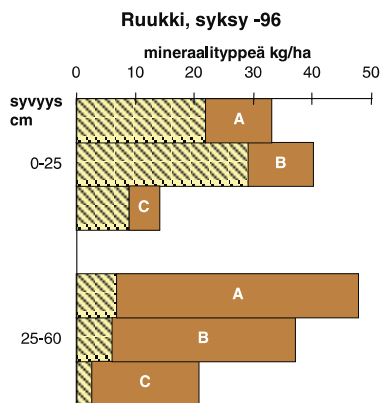
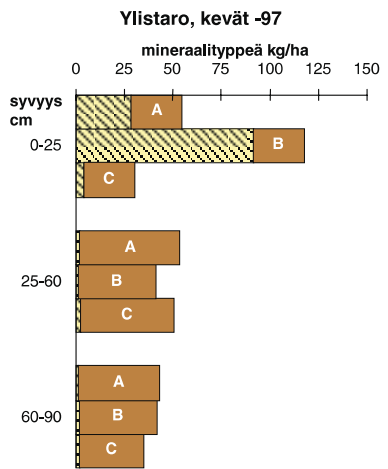
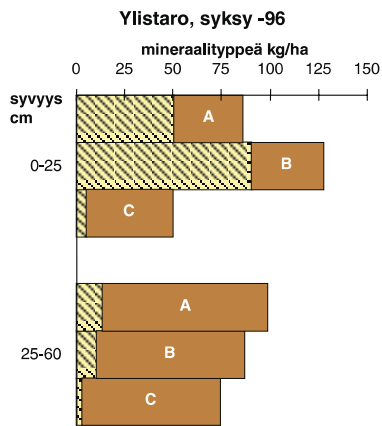
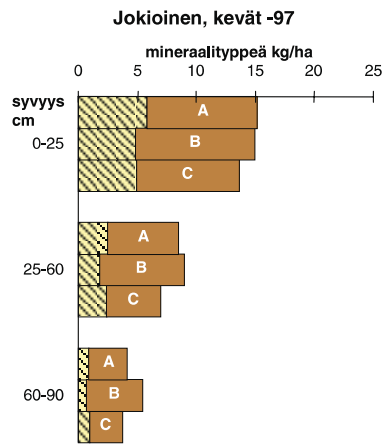
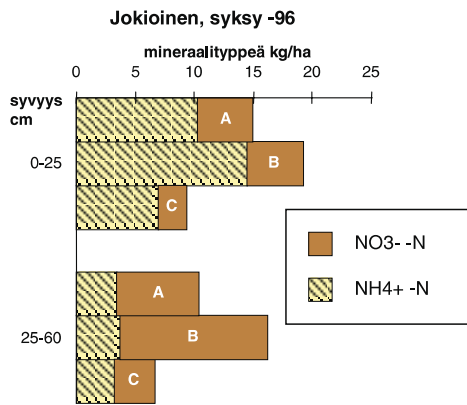
Keväällä maassa ennen lannoitusta olevan mineraalimuotoisen typen vaikutusta laskettuun typpilannoitusoptimiin testattiin tilastollisesti osittain sisäkkäisenä mallina kovarianssianalyysillä, jossa mineraalityypen määrä otettiin kovariaatiksi. Käsittelynä karjanlannan levitys oli sisäkkäinen koepaikalle ja vuodelle. Tilastollisessa käsittelyssä jätettiin pois kaikki Ylistaron vuoden 1996 kokeen havainnot sekä ne Ruukin ja Ylistaron vuoden 1997 havainnot, joissa lannoitusoptimi oli 0. Myöskään Ylistaron vuoden 1997 yksittäisiä havaintoja A- ja B-käsittelyistä ei otettu mukaan (muissa optimi oli 0).

Kovarianssianalyysi tehtiin Littellin et al. (1996, p. 171–227) esimerkin mukaisesti. Tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että käsittelyt (lannan levitys) vaikuttivat kovariaatin arvoon ainakin osassa kokeita (ks. Liite 3).

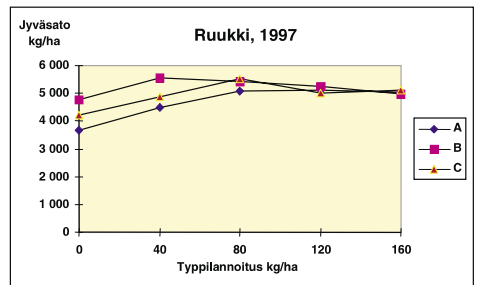
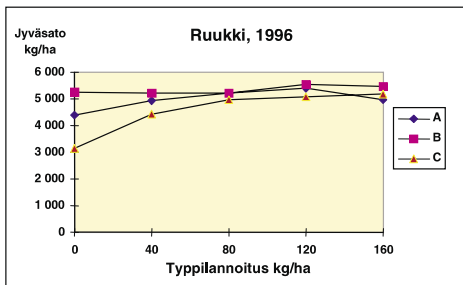
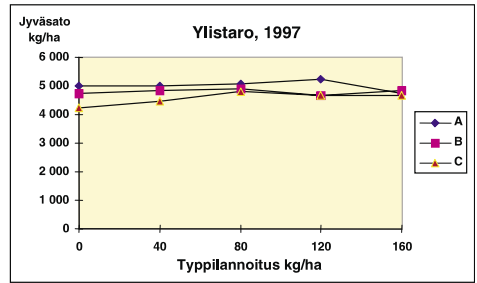
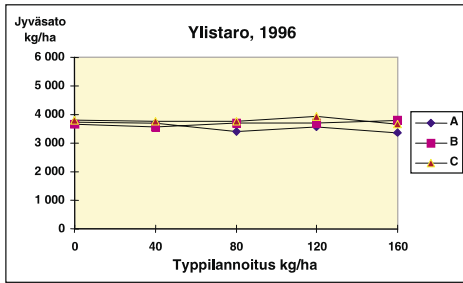
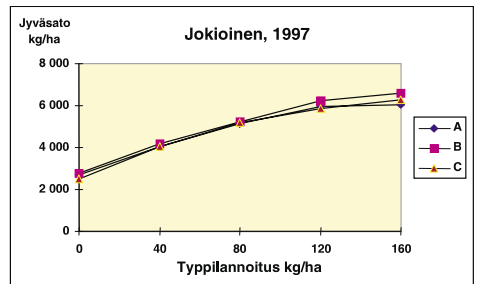
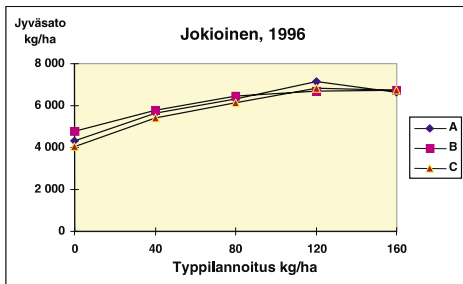
Aineistoon sopi yhdensuuntaisten suorien malli (*parallel lines model*). Merkittäviä vaikutuksia mallissa laskettuun optimiin oli tyypellä ( $p_{hav}$  0,0100), koepaikalla ( $p_{hav}$  0,0194), sekä vuoden ja koepaikan yhdysvaikutuksella ( $p_{hav}$  0,0135), kun typpi oli mitattu 0–60 cm:n kerroksesta (Liite 4). Mallin mukaan Ruukissa lannoitusoptimi oli pienempi vuonna 1997 kuin vuonna 1996 (Kuva 5).



**Kuva 1.** Maan keskimääräiset nitraatti- ja ammoniumtyyppipitoisuudet (kg/ha) KEMIN-kokeissa vuonna 1995 syksyllä ja 1996 keväällä.



**Kuva 2.** Maan keskimääräiset nitraatti- ja ammoniumtyyppipitoisuudet (kg/ha) KEMIN-kokeissa vuonna 1996 syksyllä ja 1997 keväällä.



Kuva 3. Typpilannoituksen vaikutus ohran satoon KEMIN-kokeissa vuosina 1996 ja 1997.

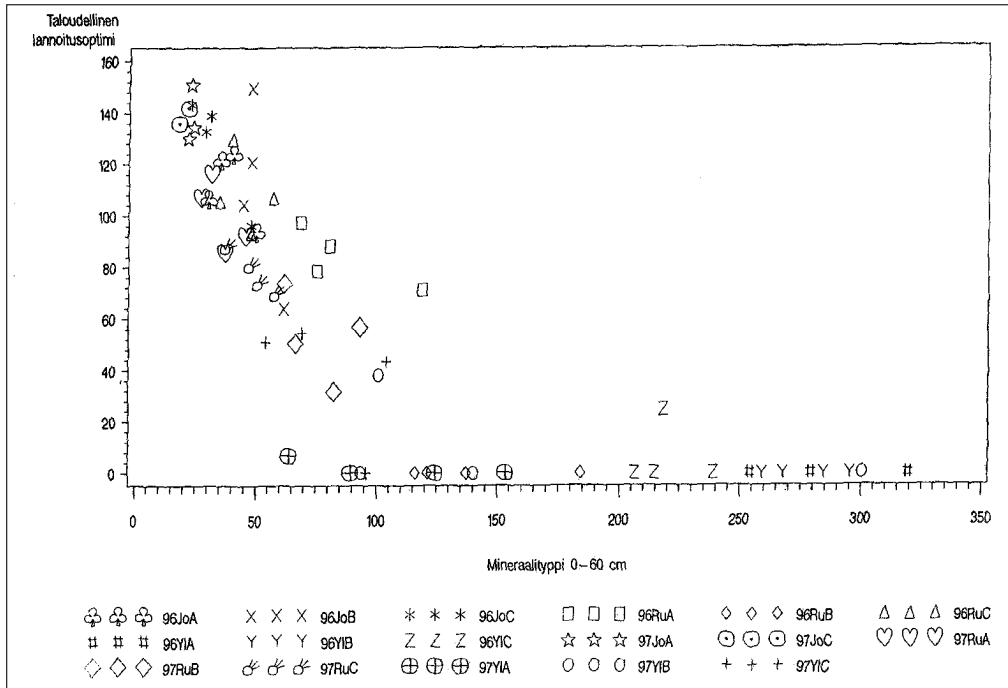
Mineraalityypellä ei ollut merkitsevää vaikutusta lannoitusoptimiin, kun typpi oli määritetty 0–25 cm:n kerroksesta. Sen sijaan näytteenotto-syvyyden lisääminen 90 cm:iin lisäsi typen vaikutusta lannoitusoptimiin (Liite 4). Myös myöhään syksyllä maassa 0–60 cm:ssä ollut mineraalityppi vaikutti seuraavan vuoden lannoitusoptimiin (Liite 5).

### 1.3.3 Maan mineraalitypen vaikutus lannoitusoptimiin muissa kokeissa

Muista käytettävissä olleista kenttäkokeista laskettiin typpilannoitusoptimi vastaavalla menetelmällä (Liite 6). Kokeet olivat pääasiassa lajikekokeita eri viljakasveilla.

Usein laskennallinen typpilannoitusoptimi ylitti suurimman kokeessa käytetyn lannoitemäärän. Näissä kokeissa typpeä oli maassa yleensä vähän, n. 20–30 kg/ha 0–60 cm:n syvyydessä. Poikkeuksena ovat kuitenkin Ylistarossa vuonna 1995 olleet ohran ja kauran typpilannoituskokeet. Näissä mineraalityppeä oli maassa 40–60 kg/ha ennen kylvöä, mutta optimi oli silti yli 160 kg N/ha.

Ruukissa tehdyissä ohran ja kauran lajike- ja typpilannoituskokeissa typpilannoitus ei ollut kannattavaa vuonna 1995. Kyseisellä lohkollla keväiset typpivarat olivat suurempia kuin lohkollla, jolla koe toistettiin seuraavana vuonna ja jolloin optimi puolestaan ylitti käytetyn lannoitemäärän.



**Kuva 4.** Keväällä maassa 0–60 cm kerroksessa olevan mineraalityypen vaikutus typpilannoitusoptimiin. (Selitteessä: 1. vuosiluku; -96, -97, 2. koepaikka; Jo = Jokioinen, Ru = Ruukki, Yi = Ylistar ja 3. käsittely; A, B, C).

#### 1.4. Tulosten tarkastelu

Mineraalityypianalyysillä voidaan ennustaa lannoitustarvetta, jos maanäyte on otettu 60 cm:n syvyydestä saakka. Typpivarat voivat olla huomattavan suuria muokkauskerroksen alapuolella. Näytteen ottaminen on kuitenkin työlästä 60 cm:n syvyydestä, etenkin savimailla tai kivisillä mailla.

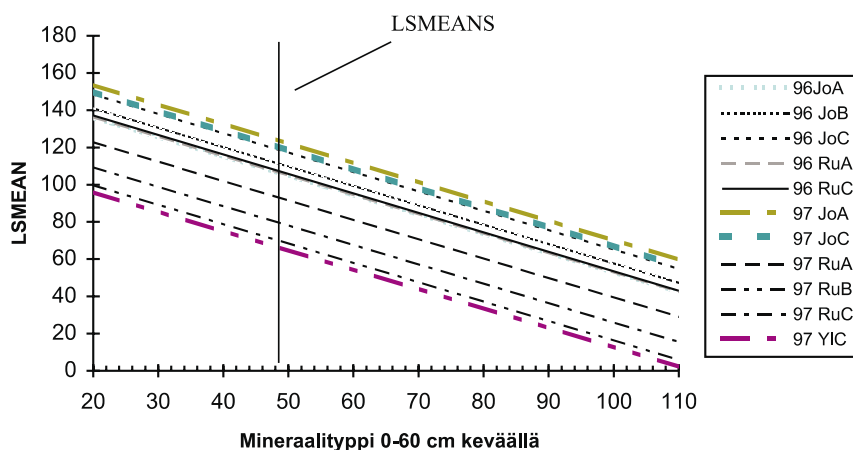
Jos maan mineraalityypipitoisuus ylittää keväällä 0–60 cm:ssä 100–130 kg/ha, typpilannoitus ei liene enää kannattavaa. Jos maassa on tätä vähemmän tyyppiä, lannoitustarvetta voidaan karkeasti ennustaa vähentämällä ohjeellisesta suosituksesta mineraalityypen määrä kg/ha. Lannoitusoptimi oli alempi maan mineraalityypen määrään nähden Ruukin ja Ylistaron kenttäkokeissa kuin Jokioisissa. Tämä johtui ainakin erilaisista lajikkeista ja maalajeista sekä sijainnista.

Syksyllä maasta määritetty mineraalityppi selittää typpilannoitustarvetta hei-

kommin kuin keväällä maasta analysoitu mineraalityppi. Lannoitustarve voidaan laskea samalla tavalla kuin keväällä otetun typpinäytteen perusteella.

On myös muistettava, että mineraalityypianalyysi kuvaa maan liukoisen tyyppimäärää näytteenottohetkellä. Orgaanisesta aineksestä mahdollisesti vapautuvan tai siihen sitoutuvan tyyppimäärien ennustamiseen ei ole onnistuttu kehittämään toimivia menetelmiä. Typpilannoitusoptimi riippuu myös hyvin monista muista ennustamattomista tekijöistä kasvukaudella.

Käytännössä keväällä otetusta näytteenä typpianalyysin teettäminen viljavuustutkimuksia tekevässä laboratorioissa olisi vaikeaa, koska tulosta tai suositusta ei saataisi riittävän nopeasti viljelijän käyttöön. Vaarana olisi myös näytteen sulaminen ja siten pilaantuminen kuljetuksen aikana, koska näytteen olisi pysyttävä jäisenä. Mahdollista olisi kuitenkin analysoida mineraalityppi maanäytteistä pikamääritysmenetelmillä.



**Kuva 5.** Pienimpien neliöiden keskiarvot (LSMEANS = *least square means*) yhden-suuntaisten suorien mallissa, jossa mineraalityppi on kovariaattina.

## 2 Mineraalityypen pikamääritys reflektometrillä

### 2.1 Johdanto

Mineraalityypen pikamääritysmenetelmillä on useita etuja laboratorioanalyysiin verrattuna: näytteen säilytys ja kuljetus jäävät pois, tulokset saadaan suhteellisen nopeasti viljelijän käyttöön, sekä laite- ja analyysikustannukset ovat yleensä pienehköt. Pikamääritysmenetelmien tyypillisiä haittupuolia ovat mineraalityypimäärityksen alhaisempi herkkyys sekä heikompi toistettavuus kuin laboratoriomenetelmillä.

#### 2.1.1 Mineraalityypen määrittämiseen käytettävät uuttoluokset

Bremnerin (1965) mukaan epäorgaanisen vaihtuvan typen (mineraalityypen) uuttomenetelmältä vaaditaan seuraavia ominaisuuksia:

- analysoitavien typen muotojen kvantitatiivinen uutuminen

- biologiset tai kemialliset reaktiot eivät saa vaikuttaa vaihtuvan epäorgaanisen typen ( $\text{NO}_3^-$ -N,  $\text{NH}_4^+$ -N,  $\text{NO}_2^-$ -N) määrään uutuksessa
- analyysimenetelmän kanssa yhteensopi-va ja analyysiä häiritsemätön
- uute, joka voidaan säilyttää usean päivän ajan ennen analyysiä
- suhteellisen yksinkertainen ja nopea menetelmä.

Yleisimmin mineraalityppi määritetään laboratorioissa nykyään kolorimetrisiin menetelmiin perustuvilla autoanalysaattoreilla. Uuttoliuksena näihin menetelmiin käytetään usein 0,5–2,0 M kaliumkloridia (KCl), jolloin nitraatti-, nitriitti- ja ammoniumtypi voidaan määrittää samasta uutuksesta.

Keeneyn ja Nelsonin (1982) mukaan ammoniumtypen uutamisessa on oleellista, että uuttoliuoksen kationikonsentraatio ja tilavuus ovat riittävän suuria ja uuttoaika tarpeeksi pitkä, jotta  $\text{NH}_4^+$ :n kvantitatiivisen vaihtuminen varmistuu.

Nitraattityypen uuttamiseen riittää tavallisesti vesi, mutta useimmissa menetelmissä käytetään suolaliuosta, kalsiumsulfaattia ( $\text{CaSO}_4$ ), natriumsulfaattia ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), kaliumsulfaattia ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) tai KCl:a. Syyinä on usein tarve uuttaa myös nitriitti- ja ammoniumtypi, mutta myös

saada kirkkaampia uutteita (Young & Aldag 1982).

### 2.1.2 Reflektometria nitraattitypen analysointimenetelmänä

Schaefer (1986) käytti reflektometria ensimmäisen kerran Merckoquant-nitraattiliuskojen värinmittaukseen. Aikaisemmin kasvimehun tai maa uutteen konsentraatio oli määritetty vertaamalla nitraattiliuskojen väriä silmämääräisesti. Reflektometrin käyttö silmämääräiseen arviointiin verrattuna paransi Schaeferin (1986) tutkimuksessa Merckoquant-määrittämissä tarkkuutta huomattavasti.

Reflektometriaa ja väriliuskojen käyttöä nitraattitypen määrittämisessä on verrattu paljon erilaisiin vakiintuneisiin analyysimenetelmiin. Yleensä reflektometrillä määritetty nitraattityppi on selittänyt hyvin muilla menetelmillä analysoitua  $\text{NO}_3^-$ -typpiä, selitysaste on ollut 0,90–0,95 (Schaefer 1986, Jemison & Fox 1988, Roth et al. 1991, Hartz 1994, Schmidhalter et al. 1994, Phillips et al. 1995). Rothin et al. (1992) tutkimuksessa selitysaste ( $r^2 = 0,81$ ) jäi kuitenkin huonommaksi kuin muissa. Yhtenä syynä oli määrittämissä tehneiden henkilöiden vähäinen laboratoriokokemus. He saivat 2–3 tunnin koulutuksen menetelmästä. Muina syinä Roth et al. (1992) esittivät vaihtelevia määrittämissä olosuhteita sekä suurta otantaa. Suuren otannan takia mukaan olisi voinut tulla mukaan maanäytteitä, joissa olisi ollut määrittämissä häiritseviä ioneja.

### 2.1.3 Tutkimuksen tarkoitus

Tämän tutkimuksen tarkoitus oli testata Merckin kehittämää reflektometriä (RQflex) sekä Merckin uusien nitraatti- ja ammoniumtyypin analyysiliuskojen toimivuutta. Tavoitteena oli kehittää myös pikamäärittämissä menetelmälle sopiva uuttoliuos, jolla voitaisiin kvantitatiivisesti uuttaa maasta sekä ammonium- että nitraattityppiä.

## 2.2 Aineisto ja menetelmät

Koemaina käytettiin vuosina 1995 ja 1996 keväällä ennen kylvöä tai myöhään syksyllä otettuja mineraalityypinäytteitä (ks. kapale 1). Maanäytteiden yhtenä valintakriteerinä oli oletettavan suuri nitraatti- tai ammoniumtyypipitoisuus, näin ollen mukaan otettiin paljon maita, joille oli levitetty karjanlantaa.

Vuonna 1995 mineraalityppi uutettiin 19 eri lohkolta otetusta yhteensä 131 maanäytteestä. Uuttoliuksina olivat sekä 2 M KCl että 0,005 M kalsiumkloridi ( $\text{CaCl}_2$ ), jota Schmidhalter et al. (1994) olivat käyttäneet nitraattityypin uuttamisessa. Maata punnittiin huiskuttamista varten 50 g ja uuttoliuosta lisättiin 125 ml. Rinnakkaismäärittämissä tehtiin kaksi. Uuttoaika oli kummallakin liuoksella 2 h. Mineraalityppi analysoitiin Skalar-autoanalysointorilla kahtena rinnakkaisena mittauksena molemmista uutteista. Pikamäärittämissä tehtiin  $\text{CaCl}_2$ -uutteisista RQflex-reflektometrillä (Merck Oy).

Vuonna 1996 uuttokokeita jatkettiin tarkoituksena löytää kationikonsentraatioltaan voimakkaampi uuttoliuos, jotta ammoniumtyppi olisi vaihtunut tehokkaammin kationinvaihtopaikoilta. Tämän takia tehtiin esikoe mittaamalla 0,00035 M ammoniumnitraatin pitoisuuksia väriliuskoilla, kun  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  oli liuotettu ionivaihdettuun veteen; 0,05 M ja 0,1 M kaliumkloridiin; 0,05 M ja 0,1 M kalsiumkloridiin ja 0,05 M, 0,1 M ja 0,5 M kaliumsulfaattiin ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ).

Esikokeen perusteella uuttoliuokseksi vuonna 1996 valittiin 0,05 M kaliumsulfaatti. Vertailtava uuttoliuos oli jälleen 2 M KCl ja mineraalityppi uutettiin ja mitattiin kuten vuonna 1995. Maanäytteitä oli yhteensä 136 kpl, jotka oli otettu 6 peltolohkolta.



**Taulukko 1.** Kaliumkloridilla (2 M KCl) ja laimealla kalsiumkloridilla (0,005 M CaCl<sub>2</sub>) uuttuneen mineraalitypen konsentraation välinen riippuvuus. Kalsiumkloridilla uuttunut tyyppi on selittävänä tekijänä x.

y	x	Malli	Selitysaste
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, Autoanalysaattori, KCl	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, Autoanalysaattori, CaCl <sub>2</sub>	$y = 1,27x - 0,42$	0,980
O <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, Autoanalysaattori, KCl	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, Pikamääritys, CaCl <sub>2</sub>	$y = 1,27x - 0,52$	0,959
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, Autoanalysaattori, CaCl <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, Pikamääritys, CaCl <sub>2</sub>	$y = 0,99x + 0,02$	0,989
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N Autoanalysaattori, KCl	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N Autoanalysaattori, CaCl <sub>2</sub>	$y = 1,71x + 0,27$	0,667
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N Autoanalysaattori, KCl	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N Pikamääritys, CaCl <sub>2</sub>	$y = 1,86x + 1,08$	0,496
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N Autoanalysaattori, CaCl <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N Pikamääritys, CaCl <sub>2</sub>	$y = 1,33x + 0,04$	0,953

## 2.3 Tulokset ja niiden tarkastelu

Yhtenä lähtökohtana tulosten laskemisessa oli pitää standardimäärityksenä 2 M KCl:lla uutettua ja autoanalysaattorilla määritettyä uutteen mineraalityypipitoisuutta. Selittäväenä muuttujana olivat joko 0,005 M CaCl<sub>2</sub>:lla tai 0,05 M K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:lla uuttunut ja autoanalysaattorilla tai reflektometrillä määritetty tyyppi (Taulukot 1 ja 2). Tulosten laskemisessa aineistoon tehtiin logaritmi-muunnos, jolla korjattiin varianssien erisuuruutta ja jakauman normaalisuutta. Kaikkien taulukoissa 1 ja 2 esitettyjen riippuvuuksien merkitsevyytaso on pienempi kuin 0,001.

Nitraattityppi voitiin määrittää reflektometrillä hyvin kalsiumkloridiuutteista (Taulukko 1). Sen sijaan ammoniumtyypen määrittämiseen ei 0,005 M CaCl<sub>2</sub> ollut riittävän voimakas uuttoliuos. Tämän takia pikamääritys ei selittänyt hyvin 2 M KCl:lla uuttunutta ammoniumtyyppiä.

Erialaisten uuttoliuosten esikokeessa lupaavimmaksi kokeiluista osoittautui 0,05 M K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Kuva 1). Vertailun pohjana pi-

dettiin vesiliuosta, jossa ei ollut mittausta häiritseviä ioneja. Ammoniumtyyppiä ei voitu mitata enää 0,05 M ja 0,1 M kalsiumkloridista sakkautumisen vuoksi. Ammoniumin pika-analyysissä lisättävä natriumhydroksidi ja kalsiumkloridi muodostivat ruokasuolaa (NaCl) ja saostunutta kalsiumhydroksidia (Ca(OH)<sub>2</sub>). Aikaisemmin vuonna 1995 käytettävässä laimeampaa kalsiumkloridia, syntynyt Ca(OH)<sub>2</sub> oli vielä kokonaan vesiliukoista.

Kloridi-ionin konsentraation kasvaessa nitraattityypen määrittäytulos pieneni reflektometrillä (Kuva 1). Esimerkiksi 0,1 M KCl pienensi NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-tyypin mittaustulosta puoleen vesiliuokseen verrattuna. Tällöin reflektometrin mittaussyky ei välttämättä enää riittäisi alhaisimpien nitraattityypen pitoisuuksien toteamiseen maassa. Titchen ja Scholefieldin (1992) kehittivät vastaavanlaisen Merckin väriliuskatekniikkaan ja reflektometriaan perustuvan pikamääritysmenetelmän nurmien lannoitusta varten. Heidän menetelmässään käytetään jopa 1 M kaliumkloridia.

Sen sijaan Cl<sup>-</sup>:n konsentraation muutos

**Taulukko 2.** Kaliumkloridilla (2 M KCl) ja laimealla kaliumsulfaatilla (0,05 M  $K_2SO_4$ ) uuttuneen mineraalitypen konsentraation välinen riippuvuus. Kaliumsulfaatilla uuttunut typpi on selittävänä tekijänä x.

y	x	malli	Selitysaste
$NO_3^-$ -N, Autoanalysaattori, KCl	$NO_3^-$ -N, Autoanalysaattori, $K_2SO_4$	$y = 1,03x - 0,46$	0,983
$NO_3^-$ -N, Autoanalysaattori, KCl	$NO_3^-$ -N, Pikamääritys, $K_2SO_4$	$y = 1,19x - 0,77$	0,964
$NO_3^-$ -N, Autoanalysaattori, $K_2SO_4$	$NO_3^-$ -N, Pikamääritys, $K_2SO_4$	$y = 1,15x - 0,25$	0,986
$NH_4^+$ -N Autoanalysaattori, KCl	$NH_4^+$ -N Autoanalysaattori, $K_2SO_4$	$y = 1,09x + 0,10$	0,749
$NH_4^+$ -N Autoanalysaattori, KCl	$NH_4^+$ -N Pikamääritys, $K_2SO_4$	$y = 1,38x + 0,18$	0,702
$NH_4^+$ -N Autoanalysaattori, $K_2SO_4$	$NH_4^+$ -N Pikamääritys, $K_2SO_4$	$y = 1,33x - 0,03$	0,840

ei vaikuttanut ammoniumtyypen mittaustulokseen. Sulfaatin konsentraation kasvaessa ammoniumin mittaustulos kasvoi ja nitraattityypen pieneni (Kuva 6).

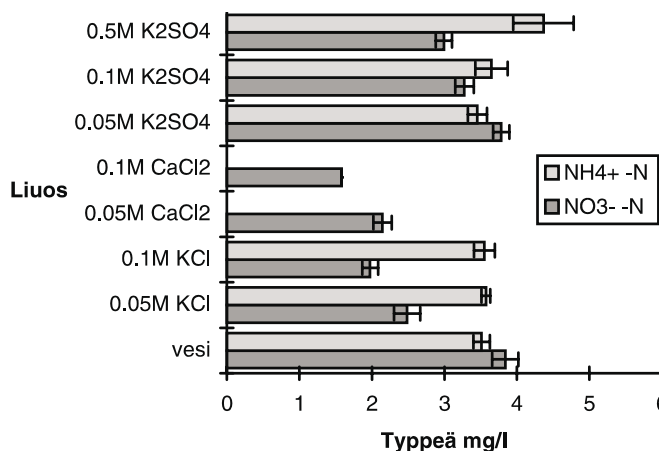
Myös kaliumsulfaattiuutosta nitraattityppi voitiin mitata luotettavasti pikamääritysmenetelmällä (Taulukko 2). Ammoniumityppi uuttui hieman paremmin kaliumsulfaatilla kuin kalsiumkloridilla, tällöin pikamäärityksellä  $NH_4^+$ -N voitiin analysoida paremmin suhteessa 2 M KCl-utteiseseen ammoniumtyyppeen ( $r^2 = 0,70$ ). Sen sijaan reflektometrillä  $K_2SO_4$ -utteisista mitattu ammoniumityppi selitti huonommin ( $r^2 = 0,84$ ) autoanalysaattorilla samoista utteista mitattua  $NH_4^+$ -tyyppiä kuin vastaavasti  $CaCl_2$ -utteisista näillä kahdella menetelmällä mitattu  $NH_4^+$ -typpi ( $r^2 = 0,95$ ). On mahdollista, että tämä johtui laimeankin sulfaattiliuoksen häiritsevistä vaikutuksista  $NH_4^+$ :n pikamäärityksessä (Kuva 6).

## 2.4 Johtopäätökset

Pikamääritysmenetelmänä reflektometria osoittautui luotettavaksi menetelmäksi nitraattityypen määrityksessä. Kokeiltavana olleella laitteella RQFlexilla voidaan mitata maan mineraalityypipitoisuutta, kun maan ammonium- tai nitraattityypivarat ovat suurempia kuin noin 10–15 kg/ha (25 cm:n kerroksessa).

Nitraattityppi voitiin mitata luotettavasti sekä 0,05 M  $K_2SO_4$ - että 0,005 M  $CaCl_2$ -utteisista. Tavoitteena oli kuitenkin myös ammoniumtyypen mittaaminen, mikä onnistui paremmin kaliumsulfaatista. Kaliumsulfaatista voitiin tehdä vahvempi uuttoliuos kuin kalsiumkloridista nitraattityypen mittauksen häiriintymättä. Näin ollen  $K_2SO_4$  uutti  $NH_4^+$ :n paremmin maasta.

Ennen kuin esimerkiksi lannoitustarvetta voidaan ennustaa reflektometrillä, olisi vielä tutkittava lyhyemmän ja yksinkertaisilla välineillä tehtävän uutun vaikutusta uutuvan tyypen määrään. Lisäksi on pohdittava tilavuuspainon huomioon ottamista määrittämisessä (ks. kappale 1). Titchenin



**Kuva 6.** Pikamäärityksellä mitatut 0,00035 M NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>:n ammonium- ja nitraattityppipitoisuudet ja 95 % luottamusväli erilaisissa mahdollisissa uutoliuoksissa.

ja Scholefieldin (1992) menetelmässä maanäytteitä otetaan uuttoon tietty tilavuus, jolloin tilavuuspaino-ongelma voidaan sivuuttaa. Hankaluutena saattaa olla kuitenkin suuren maamäärän kertyminen useiden rinnakkaismääritysten vuoksi. Menetelmässä ei voida käyttää kovin pientä kairaa, koska virhelähde kasvaa nopeasti suureksi.

### 3 Karjanlannasta vapautuvan typen mallintaminen

#### 3.1 Johdanto

Dynaamisilla simulointimalleilla tarkoitetaan malleja, joissa systeemin käyttäytymistä kuvataan ajan suhteen. Maa- ja kasvimalleissa voidaan simuloida typen liikkumista maassa, maasta kasviin ja satotuotteisiin erilaisissa olosuhteissa. Malleja voidaan käyttää hyvin useisiin tarkoituksiin - esimerkiksi, miten erilaiset viljelytoimenpiteet vaikuttavat typen kiertoon ja typen hävikkeihin. Malleista voisi olla apua typpilannoituksen mitoittamisessa erilaisilla mailla ja erilaisissa ilmasto-oloissa (Hansen et al. 1990).

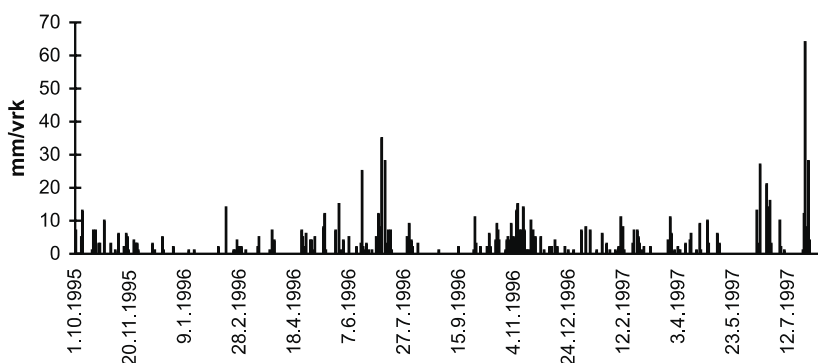
Ruotsissa on kehitetty jo parikymmentä vuotta SOIL- ja SOILN-malleja. SOIL-mallissa simuloidaan veden ja lämmön liikkeitä

ja SOILN-mallissa typen ja hiilen virtauksia. Malleja voidaan käyttää simuloiteihin sekä metsä- että peltoviljelyekosysteemeissä. Malleja on kuvattu tarkasti lukuisissa julkaisuissa (Johnsson et al. 1987, Eckersten & Jansson 1991, Johnsson et al. 1991, Persson & Lindroth 1994, Lewan 1996).

Tarkoituksena oli tutkia, miten SOIL-SOILN -mallilla voidaan simuloida syksyllä levitetystä karjanlannasta vapautuvan typen liikkeitä syksyn ja talven aikana. Tutkimuksessa hyödynnettiin ositain SOIL-SOILN -mallilla tehtyä kalibrointia 0-ruuduille (ei typpilannoitusta) vuosina 1984–1987 Jokioisissa olleeseen kenttäkokeeseen, jolla tutkittiin typen mineralisaation vaikutusta ohran typenottoon (Lindén et al. 1992).

#### 3.2 Aineisto ja menetelmät

Aineistona käytettiin KEMIN-tutkimuksessa tehtyjä Jokioisten kenttäkokeita vuosina 1996 ja 1997. Kenttäkokeiden paikka vaihtui peltolohkolla, minkä takia simulointi aloitettiin syksyllä ennen lannanlevitystä ja päätettiin seuraavan vuoden sadonkorjuuseen. Simulointiin otettiin mukaan koeruudut, joille oli levitetty syksyllä nautan lietalantaa 40, 80 ja 0 t/ha (A-, B- ja C-ruudut), ja joita ei lannoitettu keväällä typpellä.



**Kuva 7.** Sademäärä mm/vrk 1.10.1995–31.8.1997 Jokioisissa.

Kenttäkokeista oli otettu mineraalityypinäytteitä syksyllä n. 1 kuukausi lannanlevityksen jälkeen, keväällä ennen kylvöä ja kahdesta kerranteesta kaksi kertaa kasvukaudella. Kasvukauden aikana otettiin maanäytteiden ottamisen yhteydessä myös kasvustonäytteitä, joista määritettiin kasvuston massa ja sen kokonaistyyppi. Kenttäkokeista oli määritetty jyvä- ja olkisato, sekä niiden kokonaistyyppipitoisuudet.

Maan kosteutta mitattiin kasvukauden aikana pintakerroksesta (0–25 cm) TDR:llä. Maan lämpötilaa puolestaan mitattiin lämpötilapiirturilla 10 cm ja 30 cm syvyydestä. Sääaineisto otettiin MTT:n säärekisteristä (Kuva 7), Jokioisten säähavaintoasema sijaitsi noin 2 km päässä kenttäkokeista.

SOIL-mallia varten maasta tehdään ns. profiili, jossa maa jaetaan kerroksiin, ja luodaan kyseisten kerrosten pF-, ja vedenläpäisevyyskäyrät. Kyllästyneen maan vedenläpäisymittauksia varten vuoden 1996 kenttäkokeesta oli otettu sisähalkaisijaltaan 15,2 cm lieriötä traktorikäyttöisellä maa-

näytekairalla (Pöyhönen et al. 1997). Vedenläpäisevyyden arvona kullekin kerrokselle (0–25, 25–40, 40–60 cm) käytettiin viiden näytteen mittaustulosten mediaania. Vuoden 1997 simulointiin käytettiin edellisen vuoden kenttäkokeesta määritettyjä vedenläpäisevyysarvoja. Mallissa tarvittava pF-käyrä määritettiin maan lajitekokoanalyysin ja orgaanisen aineksen pitoisuuden perusteella.

SOIL- ja SOILN-malli kalibroitiin 0-ruuduille. Karjanlannassa tuleva typpi annetaan malliin liukoisen ammoniumtyypinä, sekä kokonais- ja ammoniumtyypen erotuksena (kiinteän aineksen liukenematon typpi). SOILN-mallista puuttuu kokonaan ammoniakkin haihtuminen, koska lanta oletetaan sijoitettavan maahan tai mullattavan heti levityksen jälkeen. Kenttäkokeissa lanta mullattiin kuitenkin vasta seuraavana päivänä, minkä takia ammoniakkia lie-nee kuitenkin haihtunut runsaasti. Sommerin et al. (1991) empiirisillä, pelkästään ilman lämpötilaan perustuvilla, kaavoilla laskettuna

$$L_{x1} = 0,5 + 1,68 T \quad (t = 0-6 \text{ h})$$

$$L_{x2} = 5,2 + 0,712 T \quad (t = 6-12 \text{ h})$$

$$L_{x3} = 12,7 + 0,5 T_0 + 0,73 T \quad (t = 12-24 \text{ h})$$

$L_x$  = ammoniakkin haihtuminen %-osuutena lannan liukoisesta typestä laskentahetken alussa

$T$  = ilman keskilämpötila ajanjaksolla (°C)

$T_0$  = ilman keskilämpötila aikaisempina ajanjaksoina lannan levityksen alusta (°C)

$t$  = aika lannanlevityksestä (h)

lannan liukoisesta typestä olisi haihtunut vuoden 1995 syksyllä yhden päivän aikana yhteensä 44 % ja 1996 syksyllä 46 %. Lannanlevityspäivinä sää oli pilvinen ja tuulinen (Taulukko 3), eikä lannan pintaan muodostunut kuorettumaa. Lanta imeytyi maahan hyvin hitaasti. Ammoniakkin haihtumisesta ei kuitenkaan ollut mittaustuloksia, joihin laskettuja arvoja olisi voitu verrata. Jotta simulointi olisi toiminut kohtuullisesti lannanlevitysruduilla, ammoniakkin haihtumista oli pitänyt lisätä kumpanakin vuonna 70 %:iin lannan liukoisesta typestä, eli maahan tuleva ammoniumtypen määrä oli 30 % määritetystä lannan liukoisesta typestä.

Myöskään typen huuhtoutumisesta ja denitrifikaatiosta ei ollut mittaustuloksia.

Näin ollen mallia ei voida kalibroida näiden osalta.

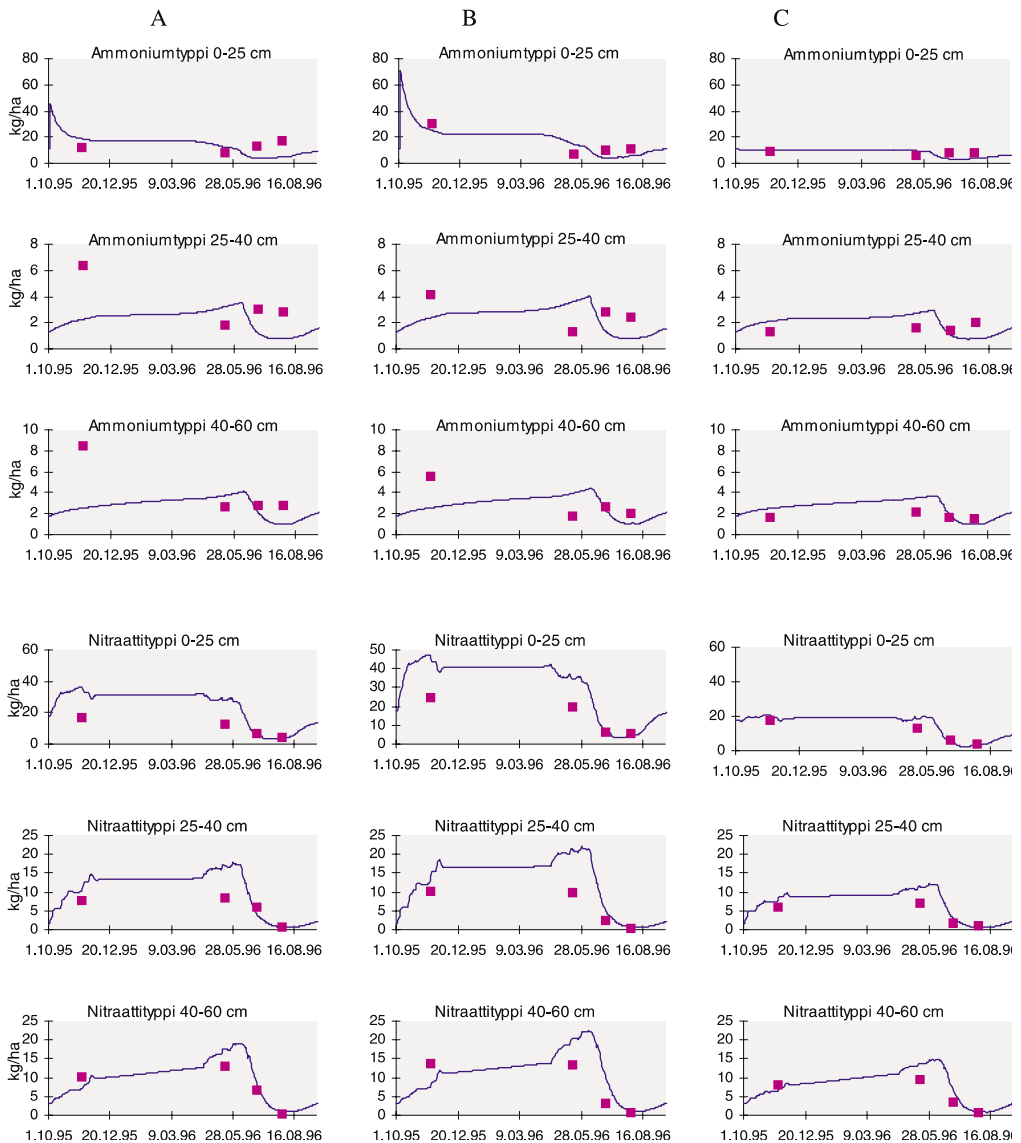
### 3.3 Tulokset

Mallin kalibroinnissa humuksen typen vapautumista kuvaavaa parametria oli nostettava melko korkeaksi verrattuna muihin tehtyihin SOILN-mallin kalibrointeihin (Liite 6) (Johnsson 1987, Lewan 1994). Mineralisaatio oli kesällä nopeaa, erityisesti vuonna 1996. Tällöin ilman typpilannoitustakin ohrasato oli 4900 kg/ha.

Lannan tyyppi ei juurikaan näkynyt mitatuissa maan nitraatti- ja ammoniumtyppipitoisuuksissa Jokioisten KEMIN-kokeessa vuosina 1996 ja 1997. Ainoastaan

**Taulukko 3.** Säätila Jokioisissa lannanlevityspäivinä syksyllä 1995 ja 1996.

Päivämäärä	ilman lämpötila °C (vrk keskiarvo)	tuulen nopeus m/s (vrk keskiarvo)	Sade mm	ilman suhteellinen kosteus % (vrk keskiarvo)	vesihöyryn-paineen kyllästysvajausta Pa
3.10.1995	8,9	4	-	80	231
4.10.1995	11,3	5	-	70	408
9.10.1996	10,7	6	-	92	104
10.10.1996	7,5	5	2	55	473



**Kuva 8.** Mitatut (■) ja simuloitut (käyrä) maan mineraalityypipitoisuudet 1.10.1995–14.9.1996 A-, B- ja C-ruuduilla.

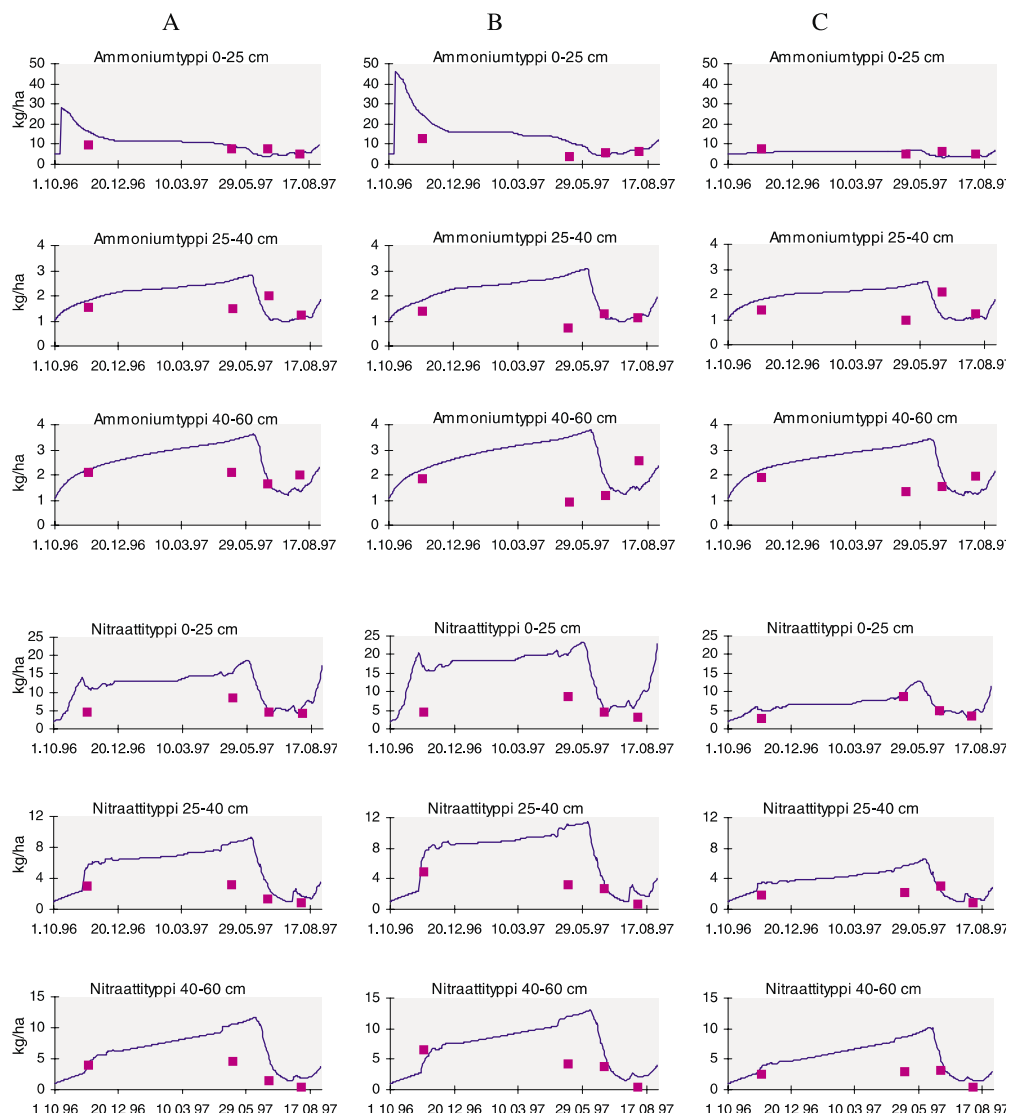
maan ammoniumtyypipitoisuudet olivat suurempia vuoden 1996 syksyllä (Kuvat 8 ja 9).

Simuloitut maan mineraalityypipitoisuudet olivat kumpanakin vuonna suurempia kevään ensimmäisessä näytteenotossa kuin mitatut pitoisuudet. Tämä on saattanut johtua liian nopeasta simuloidusta mineralisaatiosta syksyllä ja keväällä tai ehkä liian vähäisestä huuhtoutumisesta ja denit-

rifikaatiosta. Ensimmäisen vuoden kokeessa typpeä olisi huuhtoutunut mallin mukaan syksyn lannanlevityksen jälkeen seuraavan vuoden sadonkorjuuseen mennessä A-ruuduilta 22 kg/ha, B-ruuduilta 25 kg/ha ja C-ruuduilta 19 kg/ha.

Vastaavasti seuraavan vuoden simuloinnissa typen huuhtoutuminen olisi ollut 12, 13 ja 11 kg/ha A-, B- ja C-ruuduilta.

Karjanlannan typen vapautumista malli

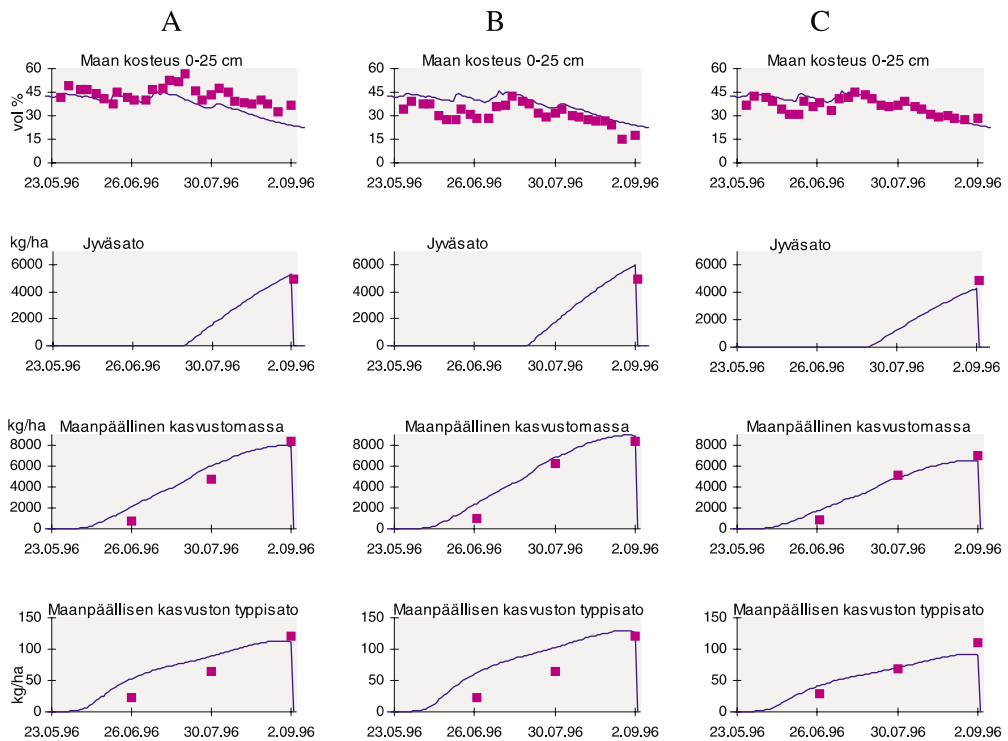


**Kuva 9.** Mitatut (■) ja simuloitut (käyrä) maan mineraalityypipitoisuudet 1.10.1996–31.8.1997 A-, B- ja C-ruuduilla.

kuvasi paremmin vuonna 1996 kuin vuonna 1997. Vuoden 1996 syksyllä ammoniumtyyppiä huuhtoutui syvempiin kerroksiin, mitä malli ei kuitenkaan ota huomioon.

Simuloitu kasvuston typenotto oli vuonna 1997 huomattavasti suurempaa kuin

mitattu typenotto. Tämä johtui mallin liian suurista mineraalityypipitoisuuksista maassa. Vuonna 1996 mallintaminen onnistui sen sijaan paremmin (Kuvat 10 ja 11).



**Kuva 10.** Mitatut (■) ja simuloidut (käyrä) maan kosteudet (0–25 cm), jyväsadot, kasvutomassa ja sen typpipitoisuus vuoden 1996 kesällä A-, B- ja C-ruuduilla.

### 3.4 Tulosten tarkastelu

Malleilla voitiin simuloida maan mineraalityypen määriä maassa ja kasvuston typenottoa ja kasvua. Karjanlannan typhen kohtalon mallintaminen oli sen sijaan vaikeaa.

Erityisesti ammoniakkin haihtumisen osalta, sekä erilaisten lantojen hiili-typpisuhteiden vaikutuksesta lannan typhen mineralisaatioon erilaisissa maissa, jotta karjanlannan typhen käyttäytymistä voitaisiin mallintaa luotettavammin tarvittaisiin lisää tutkimusta.

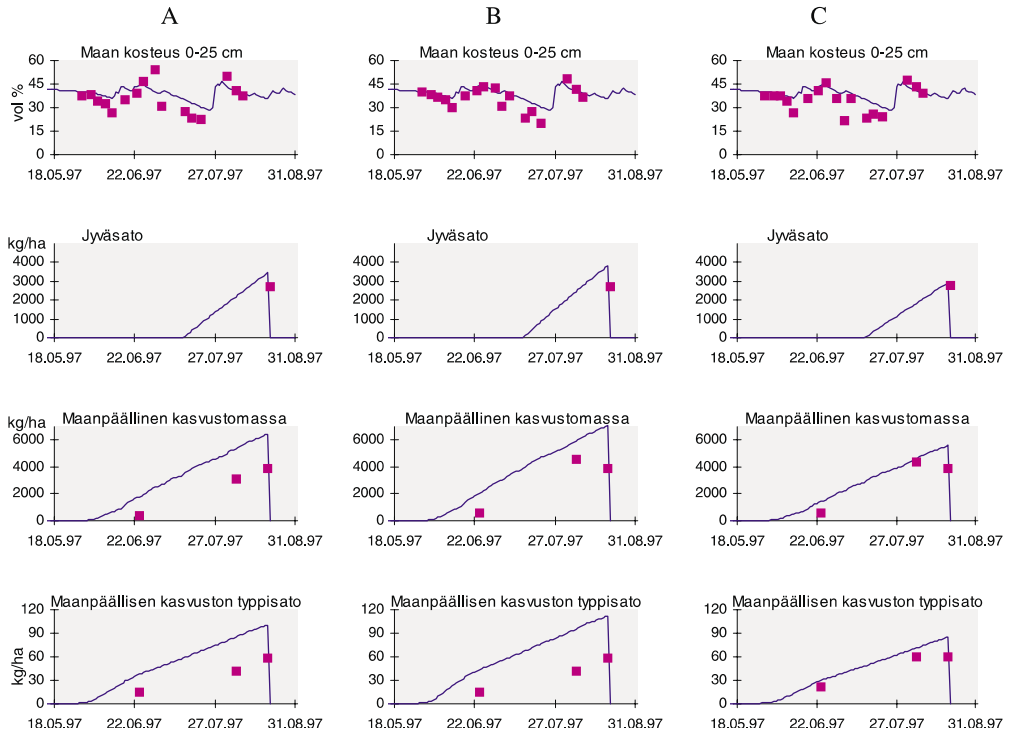
## 4 Yhteenveto

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, mitä mahdollisuuksia olisi kehittää Suomeen menetelmä typpilannoitustarpeen ennakoimiseksi. Tätä varten selvitettiin kevään

maan mineraalityypipitoisuuden vaikutusta typpilannoituksen optimiin, mahdollisuuksia määrittää mineraalityppipitoisuus pikamäärittämenetelmillä sekä tutkittiin SOIL-SOILN -mallien soveltuvuutta syksyllä levitetystä karjanlannasta vapautuvan typhen mallintamiseen.

Tutkimusta varten perustettiin kenttäkokeet Jokioisiin, Ylistaroon ja Ruukkiin. Jokioisissa ja Ruukissa levitettiin pääruuduille nautan lietelantaa 40, 80 ja 0 m<sup>3</sup>/ha ja Ylistarossa sian lietelantaa 20, 40 ja 0 m<sup>3</sup>/ha, tavoitteena saada maahan eri mineraalityypipitoisuuksia. Käytetyillä lannan levitysmäärillä maahan tuli liukoista typpeä 0–205 kg/ha. Osaruudut lannoitettiin portaittain suurenevilla typpimäärillä 0, 40, 80, 120, ja 160 kg/ha. Kokeista määritettiin maan mineraalityypipitoisuus syksyllä ja keväällä. Mineraalityppinäytteet otettiin myös muista MTT:ssä käynnissä olevista typpilannoituskokeista sekä Kemiran maa-





**Kuva 11.** Mitatut (■) ja simuloitut (käyrä) maan kosteudet (0–25 cm), jyväsadot, kasvutomassa ja sen typpipitoisuus vuoden 1997 kesällä A-, B- ja C-ruuduilla.

tilakokeesta Eurasta. Koetulosten perusteella laskettiin typpilannoituksen optimi ohralla sekä tutkittiin maan mineraalityppipitoisuuden vaikutusta optimiin ja mallitettiin mineraalityppipitoisuuden muutoksia. Maanäytteiden mineraalityppimääritykset tehtiin myös reflektometriin perustuvalla pikamääritysmenetelmällä ja tulosta verrattiin laboratoriomenetelmien tuloksiin.

Ennustetta varten näytteet on otettava vähintään 0–60 cm:n syvyydestä, sillä typpivarat voivat olla huomattavan suuria muokkauskerroksen alapuolella. Pelkkä nitraatin määritys ei riitä, sillä myös ammoniumtypen osuus voi olla huomattava. Tulosten mukaan viljojen typpilannoitus ei ole enää kannattavaa, jos maan mineraalityppipitoisuus ylittää keväällä 100–130 kg/ha. Jos maassa on tätä vähemmän tyyppiä, lannoitustarve voidaan karkeasti ennustaa vähentämällä ohjeellisesta suosituksesta mineraalityypen määrää kg/ha. Syksyllä maasta

määritetty mineraalityppipitoisuus selittää typpilannoitustarvetta heikommin kuin keväällä määritetty, mutta lannoitustarve voidaan laskea samalla tavalla kuin kevätmäärityksen perusteella. Menetelmän luotettavuutta heikentää se, että typpilannoitusoptimi riippuu monista muista ennustamattomista tekijöistä kasvukauden aikana.

Reflektometriä osoittautui luotettavaksi menetelmäksi mineraalityypen määrittämiseksi, kun ammonium- tai nitraattityppivarat olivat yli 10–15 kg/ha. Parhaaksi uuttoluokseksi osoittautui kaliumsulfaattiliuos, mikäli haluttiin määrittää sekä nitraattietä ammoniumtyppipitoisuus. Käytäntöä varten olisi kehitettävä lyhyempää uuttoa yksinkertaisemmillä tutkimusvälineillä, sekä tilavuuspainomääritystä tulosten laskennan pohjaksi.

SOIL- ja SOILN -malleilla voitiin simuloita maan mineraalityypen määriä maassa ja kasvuston typenottoa ja kasvua, mutta karjanlannan typen kohtalon mallintami-

nen oli vaikeaa. Erityisesti ammoniakkin haihtumisen merkityksestä lannoitusoptimiin, sekä erilaisten lantojen hiili/typpi-suhteiden vaikutuksesta lannan typen käyttäytymiseen tarvittaisiin lisää tutkimusta.

Käytännössä keväinen mineraalitypen määrittäminen laajamittaisesti viljavuustutkimuksia tekevissä laboratorioissa olisi vaikeata, koska tulosta ei saataisi riittävän nopeasti viljelijöiden käyttöön. Siksi olisi

kehitettävä pikamääritysmenetelmiä, typen mineralisaatiota kuvaavia uuttmenetelmiä tai syksyisen mineraalityppipitoisuuden sekä mallinnuksen käyttöä ennusteiden pohjana. Mineraalitypen määrän laskentaa varten olisi kehitettävä maan tilavuuspainon määrittystä laskelmien pohjaksi.

## Kirjallisuus

---

**Bremner, J. M.** 1965. Inorganic forms of nitrogen. In: Black, C. A. et al. (eds.). Methods of soil analysis. Chemical and microbiological properties. Agronomy 9(2). Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy. p. 1179–1237.

**Eckersten, H. & Jansson, P.-E.** 1991. Modelling water flow, nitrogen uptake and production for wheat. Fertilizer Research 27: 313–329.

**Esala, M.** 1991. Split application of nitrogen: Effects on the protein in spring wheat and fate of <sup>15</sup>N-labelled nitrogen in the soil-plant system. Annales Agriculturae Fenniae 30: 219–309.

**Hansen, S., Jensen, H. E., Nielsen, N. E. & Svendsen, H.** 1990. DAISY - soil plant atmosphere system model. Npo-forskning fra Miljøstyrelsen. Nr. A10. 269 p. ISBN 87-503-8790-1.

**Hartz, T. K.** 1994. A quick test procedure for soil nitrate-nitrogen. Communications in Soil Science and Plant Analysis 25, 5&6: 511–515.

**Jemison, J.M. & Fox, R.H.** 1988. A quick-test procedure for soil and plant tissue nitrates using test strips and a hand-held reflectometer. Communications in Soil Science and Plant Analysis 19(14): 1569–1582. ISSN 0010-3624.

**Johnsson, H., Bergström, L., Jansson, P.-E. & Paustian, K.** 1987. Simulated nitrogen dynamics and losses in a layered agricultural soil. Agriculture, Ecosystems and Environment 18: 333–356.

–, **Klemedtsson, L., Nilsson, Å & Svensson B. H.** 1991. Simulation of field scale denitrification losses from soils under grass ley and barley. Plant and Soil 138: 287–302.

**Keeney, D. R. & Nelson, D. W.** 1982. Nitrogen - inorganic forms. In: Page, A. L. et al (eds.). Methods of soil analysis. Chemical and microbiological properties. Agronomy 9 (2) 2nd ed. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. p. 643–698. ISBN 0-89118-072-9.

**Kempainen, E.** 1989. Nutrient content and fertilizer value of livestock manure with special reference to cow manure. Annales Agriculturae Fenniae 28: 163–284.

**Kähäri, J. & Nissinen, H.** 1978. The mineral element contents of timothy (*Phleum pratense* L.) in Finland. Acta Agriculturae Scandinavica, Supplement 20: 26–39.

**Leppänen, A. & Esala, M.** 1995. Keväisen mineraalityppianalyysin käyttö lannoitustarpeen ennustamisessa. Esitutkimus. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 1/95. Jokioinen. Maatalouden tutkimuskeskus. 29 p. ISSN 0359-7652.

**Lewan, E.** 1994. Effects of a catch crop on leaching of nitrogen from a sandy soil: Simulations and measurements. Plant and Soil 166:137–152.

– 1996. Evaporation, discharge and nitrogen leaching from a sandy soil in Sweden. Simulations and measurements at different scales in space and time. Uppsala: Department of Soil Sciences. Reports and dissertations 27. Academic dissertation. ISBN 91-576-5097-7.

**Lindén, B., Lyngstad, I., Sippola, J., Søegaard K. & Kjellerup, V.** 1992. Nitrogen mineralization during the growing season. 1. Contribution to the nitrogen supply of spring barley. Swedish Journal of

Agricultural Research 22: 3–12.

**Littell, R. C., Milliken, G. A., Stroup, W. W. & Wolfinger, R. D.** 1996. SAS<sup>®</sup> system for mixed models. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc. 633 p. ISBN 1-55544-779-1.

**Persson, G. & Lindroth, A.** 1994. Simulating evaporation from short-rotation forest: variations within and between seasons. *Journal of Hydrology* 156: 21–45.

**Phillips, S. B., Raun, W. R. & Basta, N. T.** 1995. Use of reflectometry for determination of nitrate-nitrogen in well water. *Journal of plant nutrition* 18(12): 2569–2578.

**Pöyhönen, A., Alakukku, L. & Pitkänen, J.** 1997. Maanäytteenoton koneellistaminen ja työntutkimus. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 22. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 39 p. ISBN 951-729-489-1, ISSN 1238-9935.

**Roth, G. W., Beegle, D. B., Fox, R. H., Toth, J. D. & Piekielek, W. P.** 1991. Development of a quicktest kit method to measure soil nitrate. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 22(3&4): 191–200. ISSN 0010-3624.

–, **Beegle, D. B. & Bohn, P. J.** 1992. Field evaluation of a presidedress soil nitrate test and quicktest for corn in Pennsylvania. *Journal of Production Agriculture* 5, 4: 476–481. ISSN 0890-8524.

**Schaefer, N. L.** 1986. Evaluation of a hand held re-

flectometer for rapid quantitative determination of nitrate. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 17, 9: 937–951.

**Schmidhalter, U., Ruh, R., Rautenkrantz, R. & Rösch T.** 1994. A new quick, accurate and inexpensive on-farm soil nitrate-nitrogen test procedure. In: 8th Nitrogen Workshop. University of Ghent, Belgium, 5-8 Sept. 1994. Book of abstracts.

**Sippola, J. & Ylärinta, T.** 1985. Mineral nitrogen reserves in soil and nitrogen fertilization of barley. *Annales Agriculturae Fenniae* 24: 117–124. ISSN 0570-1538.

**Sommer, J. & Olesen, J. E. Christensen. B. T.** 1991. Effects of temperature, wind speed and air humidity on ammonia volatilization from surface applied cattle slurry. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 117: 91–100.

**Titcher, N. M. & Scholefield, D.** 1992. The potential of a rapid test for soil mineral nitrogen to determine tactical applications of fertilizer nitrogen to grassland. *Aspects of Applied Biology*. 30: 223–229.

**Young, J. L. & Aldag, R. W.** 1982. Inorganic forms of nitrogen in soil. In: Stevenson, F. J. (ed.). *Nitrogen in agricultural soils*. Agronomy 22. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, Crop Science Society of Agronomy, Soil Science Society of America. p. 43–66. ISBN 0-89118-070-2.



Lietelantojen ravinnepitoisuudet kg/t tuoretta lantaa. Ylistarossa syksyllä 1996 levitetyn lannan tiedot puuttuvat.

Levitysaika ja paikka	kokonais- typpi	liukoinen typpi	fosfori	kalium	kalsium	magne- sium	kuiva-aine %
Jokioinen, syksy 1995	4,34	2,57	1,14	4,72	1,17	0,48	8,6
Jokioinen, syksy 1996	3,23	1,65	0,82	4,74	1,01	0,43	8,3
Ylistaro, syksy 1995	3,23	2,51	0,89	1,42	0,67	0,35	3,0
Ruukki, syksy 1995	3,49	2,07	0,84	3,44	1,17	0,53	6,6
Ruukki, syksy 1996	2,30	1,62	0,31	3,20	0,69	0,22	3,0

## LIITE 2

---

Kenttäkokeissa levitetyn lannan liukoisen typen määrät kg/ha kohti.

Levitysaika ja paikka	Lantalaji	Määrä t/ha	lannan liukoista typpeä kg/ha
Jokioinen, syksy 1995	Naudan	0	0
	lietelanta	40	103
		80	206
Jokioinen, syksy 1996	Naudan	0	0
	lietelanta	40	66
		80	132
Ylistaro, syksy 1995	sian	0	0
	lietelanta	20	50
		40	100
Ruukki, syksy 1995	naudan	0	0
	lietelanta	40	83
		80	166
Ruukki, syksy 1996	naudan	0	0
	lietelanta	40	65
		80	130

Karjanlannan syyslevityksen vaikutus maan mineraalitypen määrään. Toistettujen mittausten koe näytteenoton ajankohdan (syksy, kevät) ja syvyyden (0–25 cm, 25–60 cm) suhteen.

Jokioinen, syksy 1995, kevät 1996

Vaihtelun lähde	ndf	ddf	F	p <sub>hav</sub>
Karjanlannan levitys	2	6	23,77	0,0014
Näytteenottoaika	1	3	11,35	0,0435
Karjanlannan levitys * näytteenottoaika	2	6	2,92	0,1299
Syvyys	1	3	8,51	0,0616
Karjanlannan levitys * syvyys	2	6	1,73	0,2551
Näytteenottoaika * syvyys	1	3	2,45	0,2152
Karjanlannan levitys * näytteenottoaika * syvyys	2	6	1,12	0,3856

Jokioinen, syksy 1996, kevät 1997

Vaihtelun lähde	ndf	ddf	F	p <sub>hav</sub>
Karjanlannan levitys	2	6	7,62	0,0226
Näytteenottoaika	1	3	3,26	0,1688
Karjanlannan levitys * näytteenottoaika	2	6	23,47	0,0015
Syvyys	1	3	24,49	0,0158
Karjanlannan levitys * syvyys	2	6	0,62	0,5673
Näytteenottoaika * syvyys	1	3	13,98	0,0334
Karjanlannan levitys * näytteenottoaika * syvyys	2	6	0,62	0,5670

Ylistaro, syksy 1995, kevät 1996

Vaihtelun lähde	ndf	ddf	F	p <sub>hav</sub>
Karjanlannan levitys	2	6	4,29	0,0696
Näytteenottoaika	1	3	20,97	0,0196
Karjanlannan levitys * näytteenottoaika	2	6	0,04	0,9624
Syvyys	1	3	0,14	0,7322
Karjanlannan levitys * syvyys	2	6	0,70	0,5327
Näytteenottoaika * syvyys	1	3	0,85	0,4252
Karjanlannan levitys * näytteenottoaika * syvyys	2	6	0,56	0,6006

## LIITE 3 (2/2)

### Liite 3 jatkuu

Ylistaro, syksy 1996, kevät 1997

Vaihtelun lähde	ndf	ddf	F	p <sub>hav</sub>
Karjanlannan levitys	2	6	2,57	0,1562
Näytteenottoaika	1	3	21,13	0,0193
Karjanlannan levitys * näytteenottoaika	2	6	0,70	0,5312
Syvyys	1	3	0,00	0,9795
Karjanlannan levitys * syvyys	2	6	6,46	0,0319
Näytteenottoaika * syvyys	1	3	0,89	0,4145
Karjanlannan levitys * näytteenottoaika * syvyys	2	6	1,99	0,2170

Ruukki, syksy 1995, kevät 1996

Vaihtelun lähde	ndf	ddf	F	p <sub>hav</sub>
Karjanlannan levitys	2	6	59,49	0,0001
Näytteenottoaika	1	3	0,89	0,4147
Karjanlannan levitys * näytteenottoaika	2	6	0,59	0,5822
Syvyys	1	3	2,77	0,1948
Karjanlannan levitys * syvyys	2	6	2,04	0,2107
Näytteenottoaika * syvyys	1	3	1,84	0,2681
Karjanlannan levitys * näytteenottoaika * syvyys	2	6	1,19	0,3672

Ruukki, syksy 1996, kevät 1997

Vaihtelun lähde	ndf	ddf	F	p <sub>hav</sub>
Karjanlannan levitys	2	6	10,91	0,0100
Näytteenottoaika	1	3	1,76	0,2764
Karjanlannan levitys * näytteenottoaika	2	6	16,61	0,0036
Syvyys	1	3	2,32	0,2250
Karjanlannan levitys * syvyys	2	6	0,24	0,7908
Näytteenottoaika * syvyys	1	3	0,96	0,3990
Karjanlannan levitys * näytteenottoaika * syvyys	2	6	1,00	0,4209



Karjanlannan levityksen ja maassa olevan mineraalityypen vaikutus taloudelliseen typpilannoitusoptimiin. Mineraalityppi on yhdensuuntaisten suorien mallissa kovariaattina. Vapausasteet on laskettu Satterthwaiten mukaan (Littell et al. 1996). Alla kovarianssianalyysin tulokset, kun typpi on määritetty *kevällä* ennen kylvää syvyyksiltä 0–60 cm, 0–25 cm ja 0–90 cm otetuista näytteistä.

## Mineraalityppi 0–25 cm

Vaihtelun lähde	ndf	ddf	F	p <sub>hav</sub>
Koevuosi	1	21,1	0,32	0,5759
Koepaikka	2	23,3	10,09	0,0007
Koevuosi * koepaikka	1	16,1	8,38	0,0105
Karjanlannan levitys (Koevuosi * koepaikka)	6	20,1	1,88	0,1338
Mineraalityppi 0–25 cm	1	27,3	1,89	0,1804

## Mineraalityppi 0–60 cm

Vaihtelun lähde	ndf	ddf	F	p <sub>hav</sub>
Koevuosi	1	18,7	1,25	0,2774
Koepaikka	2	21,7	4,75	0,0194
Koevuosi * koepaikka	1	15,7	7,76	0,0134
Karjanlannan levitys (Koevuosi * koepaikka)	6	19,8	1,11	0,3929
Mineraalityppi 0–60 cm	1	28	7,65	0,0100

## Mineraalityppi 0–90 cm

Vaihtelun lähde	ndf	Ddf	F	p <sub>hav</sub>
Koevuosi	1	16,7	0,64	0,4333
Koepaikka	2	21,6	2,62	0,0958
Koevuosi * koepaikka	1	17	4,16	0,0572
Karjanlannan levitys (Koevuosi * koepaikka)	6	19,8	0,95	0,4836
Mineraalityppi 0–90 cm	1	28	9,53	0,0045

## LIITE 5

Karjanlannan levityksen ja maassa olevan mineraalityypen vaikutus taloudelliseen typpilannoitusoptimiin. Mineraalityppi on yhdensuuntaisten suorien mallissa kovariaattina. Vapausasteet on laskettu Satterthwaiten mukaan (Littell et al. 1996). Alla kovarianssianalyysin tulokset, kun typpi on määritetty *syksyllä* n. 1 kuukauden kuluttua lannan levityksen jälkeen syvyyksiltä 0–60 cm ja 0–25 cm otetuista näytteistä.

### Mineraalityppi 0–25 cm

Vaihtelun lähde	ndf	ddf	F	p <sub>hav</sub>
Koevuosi	1	17,9	0,02	0,8927
Koepaikka	2	19,9	17,57	0,0001
Koevuosi * koepaikka	1	16,5	6,66	0,0198
Karjanlannan levitys (Koevuosi * koepaikka)	6	19,8	4,46	0,0052
Mineraalityppi 0–25 cm	1	28	0,53	0,4742

### Mineraalityppi 0–60 cm

Vaihtelun lähde	ndf	Ddf	F	p <sub>hav</sub>
Koevuosi	1	18,4	0,78	0,3871
Koepaikka	2	20,4	6,70	0,0058
Koevuosi * koepaikka	1	15,3	6,32	0,0236
Karjanlannan levitys (Koevuosi * koepaikka)	6	19	6,05	0,0011
Mineraalityppi 0–60 cm	1	27,6	5,16	0,0311

## SOILN-SOILN -mallin kalibrointi

	<u>yksikkö</u>	<u>Arvo</u>
<b><i>Viljelytoimenpiteiden ajankohdat</i></b>		
Karjanlannan levitys		3.10.1995
Kyntö		4.10.1995
Kylvö		23.5.1996
Sadonkorjuu		3.9.1996
Karjanlannan levitys		9.10.1996
Kyntö		10.10.1996
Kylvö		19.5.1997
Sadonkorjuu		20.8.1997
<b><i>Karjanlanta</i></b>		
Lannan kiinteän aineksen hiili-typpisuhde (CNFEC)	-	30
Kuivikkeen typpimäärä lannassa (MANLN)	g N/m <sup>2</sup>	0
<b><i>Mineralisaatio ja immobilisaatio</i></b>		
Humuksen ominaishajoamisnopeus (HUMK)	vrk <sup>-1</sup>	0,00015
Karikkeen ominaishajoamisnopeus (LITK)	vrk <sup>-1</sup>	0,035
Ominaisnitrifikaationopeus (NITK)	vrk <sup>-1</sup>	0,2
<b><i>Maan abioottinen vaste</i></b>		
Mineralisaatio-immobilisaatiokerroin (TEMQ10)	-	4
<b><i>Juuren typenotto</i></b>		
Kasville ja mineralisaatiolle käyttökelpoisen mineraalitypen osuus (UPMA)	vrk <sup>-1</sup>	0,08
Korvaava typenotto muista kerroksista (UPMOV)	-	0,8
<b><i>Lehden yhteyttäminen</i></b>		
Lehden minimityppipitoisuus kasvulle (NLEAFN)	-	0,005
Lehden typpipitoisuus maksimikasvulle (NLEAFXG)	-	0,045
Säteilyn käyttötehokkuus (PHOEFF)	g k.a./MJ	2,5

Julkaisija



31600 JOKIOINEN

Julkaisun sarja ja numero  
Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja.  
Sarja A 65

Julkaisuaika (kk ja vuosi)  
Lokakuu 1999

Tekijä(t)  
Aku Leppänen ja Martti Esala

Tutkimushankkeen nimi

Toimeksiantaja(t)  
Maatalouden tutkimuskeskus

### Nimike

Keväisen mineraalityppianalyysin käyttö lannoitustarpeen ennustamiseen

### Tiivistelmä

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, mitä mahdollisuuksia olisi kehittää Suomeen menetelmä typpilannoitustarpeen ennakoinniseksi. Syksyllä 1995 ja 1996 perustettiin kenttäkokeet kolmelle paikkakunnalle. Jokioisissa ja Ruukissa levitettiin pääruuduille nautan liete- ja Ylistarossa sian liete- ja Ruukissa 0, 20 ja 40 m<sup>3</sup>/ha. Käsittelyjen tavoitteena oli saada maahan kevääksi eri mineraalityppipitoisuuksia. Osaruudut lannoitettiin portaittain suurenevilla typpimäärillä 0, 40, 80, 120, ja 160 kg/ha. Kokeissa tutkittiin maan mineraalityppipitoisuuden vaikutusta ohran sato-optimiin ja mallinnettiin mineraalityppipitoisuuden muutoksia SOIL-SOILN -malleilla. Aineistona käytettiin myös muita MTT:ssä käynnissä olleita typpilannoituskokeita sekä Kemiran maatilakoetta Eurassa. Lisäksi selvitettiin mahdollisuuksia määrittää maan mineraalityppipitoisuus reflektometriin perustuvalla pikamääritysmenetelmällä Viljojen typpilannoitus ei ollut kannattavaa, jos maan mineraalityppipitoisuus ylitti keväällä 100–130 kg/ha. Lannoitustarve voitiin karkeasti laskea vähentämällä lannoitussuosituksen maan mineraalityypen määrä. Syksyllä maasta määritetty mineraalityppipitoisuus selitti lannoitustarvetta heikommin kuin keväällä määritetty. Menetelmän luotettavuutta heikentää se, että typpilannoitusoptimi riippuu monista muista ennustamattomista tekijöistä kasvukauden aikana. Mineraalityypen määrittäminen keväällä kaupallisissa laboratorioissa olisi käytännössä vaikeata, koska tulosta ei saataisi riittävän nopeasti viljelijöiden käyttöön. Reflektometria osoittautui luotettavaksi mineraalityypen määritysmenetelmäksi, kun ammonium- tai nitraattityppivarat olivat yli 10–15 kg/ha. Parhaaksi uuttoluokseksi osoittautui kaliumsulfaattiliuos, mikäli halutaan määrittää sekä nitraattityppin että ammoniumtyppipitoisuus. Käytäntöä varten olisi kehitettävä lyhyempää uttoa yksinkertaisemmillä välineillä sekä tilavuuspainomääritystä tulosten laskennan pohjaksi. SOIL- ja SOILN -malleilla voitiin simuloida maan mineraalityypen määriä maassa ja kasvuston typenottoa ja kasvua, mutta karjanlannan typen kohtalon mallintaminen oli vaikeaa. Erityisesti tarvittaisiin lisää tutkimusta ammoniakkin haihtumisen merkityksestä typpilannoituksen optimiin sekä erilaisten lantojen typen käyttäytymisestä erilaisissa maissa.

**Avainsanat:** karjanlanta, maaperä, typpi, typpiyhdisteet, lannoitustarve, mallintaminen, ohra, ennustaminen, viljakasvit

**Toimintayksikkö** Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Peltokasvit ja maaperä, 31600 Jokioinen

ISSN 1238-9935  
ISBN 951-729-554-5

Tuloksia voi soveltaa luomuviljelyssä

**Myynti:** MTT tietopalveluyksikkö, 31600 JOKIOINEN  
Puhelin (03) 4188 2327  
Telekopio (03) 4188 2339

**Sivuja**  
25 s. + 6 liitettä

**Hinta**

Jyväskylän yliopistopaino 1999  
ISBN 951-729-554-5  
ISSN 1238-9935