Pro gradu -tutkielma

Perunanviljelyn ravinnetaseet ja ravinteiden hyväksikäyttöön vaikuttavat tekijät – tapausesimerkkinä Lappajärven valuma-alue

Henna Latvala

Jyväskylän yliopisto

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Ympäristötiede ja -teknologia

16.6.2008

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Ympäristötiede ja -teknologia

LATVALA, HENNA E.: Perunanviljelyn ravinnetaseet ja ravinteiden hyväksikäyttöön vaikuttavat tekijät – tapausesimerkkinä Lappajärven valuma-alue
Pro gradu: 99 s.
Työn ohjaajat: Prof. Jukka Rintala, FT Anssi Lensu
Tarkastajat: Prof. Markku Kuitunen, FT Anssi Lensu
Kesäkuu 2008

Hakusanat: Ravinnetase, peruna, typpi, fosfori, vesistökuormitus

TIIVISTELMÄ

Peruna on viljelyominaisuuksiltaan vaativa erikoiskasvi, jonka laadulle erityisesti ruokaperunateollisuudessa asetetaan korkeita vaatimuksia. Perunan fosforitalous poikkeaa selvästi muista viljelykasveista siten, että perunan tarvitsema fosforilannoituksen määrä on noin kolme kertaa suurempi kuin sadon mukana poistuvan fosforin määrä. Fosfori on keskeisin ravinne perunan laadun kannalta.

Etelä-Pohjanmaalla sijaitseva Lappajärven valuma-alue on merkittävää perunantuotannon aluetta. Alueella viljellään erityisesti tärkkelysperunaa, jonka viljely on keskittynyt järven rantapelloille. Ravinnetase kertoo, paljonko peltohehtaarilta jää hyödyntämättä ravinteita, kg/ha. Ravinnetaseen avulla voidaan arvioida vesistökuormituksen riskin suuruutta. Tämän työn tavoite oli tutkia ravinnetaselaskelman avulla, paljonko perunanviljelyssä jäi hyödyntämättä pääravinteita (N, P ja K) ja mitkä olivat ravinteiden käytön hyötysuhteet tutkimustiloilla vuonna 2000. Lisäksi tutkittiin vaikuttavatko maan multavuus, viljavuus, pH, maan kasvukunto ja viljelyn monipuolisuus typen ja fosforin hyväksikäyttöön perunalla. Ravinteiden hyväksikäyttöä parantamalla pystytään vähentämään hyödyntämättä jääneiden typen ja fosforin määrää ja vähentämään vesistökuormitusta. Tutkimuksessa oli mukana 30 perunatilaa Alajärveltä, Lappajärveltä ja Vimpelistä. Ravinnetaselaskelmat tehtiin rehevöityneen Lappajärven tilan parantamiseksi käynnistetyssä Lappajärvi Life -hankkeessa.

Tulokset osoittivat, että peruna hyödyntää typpeä ja kaliumia hyvin ja fosforia heikommin. Korkeat fosfori- ja alhaiset kaliumtaseet näkyivät perunatiloilla korkeina maan liukoisen fosforin pitoisuuksina ja alhaisina kaliumpitoisuuksina. Myös perunapeltojen pH-luokat olivat melko alhaiset. Maan liukoisen fosforin pitoisuus paransi tärkkelysperunan fosforin hyväksikäyttöä tilastollisesti merkitsevästi. Multavuuden, pH-luokan ja maan kasvukunnon vaikutuksesta ravinteiden hyväksikäyttöön ei saatu tilastollisesti merkitseviä tuloksia. Viljelyn monipuolisuus näytti parantavan typen hyväksikäyttöä sekä ruoka- ja siemen- että tärkkelysperunalla tilastollisesti merkitsevästi. Tulosten perusteella, peltojen korkeat liukoisen fosforin pitoisuudet ja ylijäämäiset fosforitaseet lisäävät vesistökuormituksen riskiä Lappajärven valuma-alueella.

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, Faculty of Science

Department of Biological and Environmental Science
Environmental Science and Technology

LATVALA, HENNA E.: Nutrient balances in potato cultivation and factors affecting nutrient uptake: case study in Lappajärvi Life project
Master of Science Thesis: 99 p.
Supervisors: Prof. Jukka Rintala, PhD Anssi Lensu
Inspectors: Prof. Markku Kuitunen, PhD Anssi Lensu
June 2008

Key Words: Nutrient balance, potato, nitrogen, phosphorus, nutrient load

ABSTRACT

Potato is a demanding plant for cultivation. The quality of potato is regarded as quite important especially by the food potato industry. Exploitation of phosphorus diverges from potato to other generally cultivated plants. Potato needs approximately three times more phosphorus in application than the amount, which leaves with a potato crop.

The drainage area of lake Lappajärvi in South Botnia is an important area of potato production. Potato culture is concentrated especially on the fields by the lake. Nutrient balance of field describes the amount of unused nutrients per hectare of cultivated land. Nutrient balance does not tell directly the amount of leaching nutrient. It is however possible to estimate the risk of nutrient load to waters by nutrient balance. The objective of this study was to study nutrient (N, P, K) management of potato by nutrient balances. Also the effects of the amount of organic matter of field, the fertility and the pH-class of field, as well as the draining conditions and the structure of field, and the rotation of cultivation to potato nitrogen and phosphorus management were studied. By improving crop nutrient use efficiency it is possible to decrease nutrient surplus and nutrient load from field to waters. In this research 30 potato farms were studied in the municipalities of Alajärvi, Lappajärvi and Vimpeli. The nutrient balances of potato farms were calculated in Lappajärvi Life project, which aimed at improving the condition of eutrophic lake Lappajärvi.

According to the results of this study, potato uses nitrogen and potassium efficiently while the use of phosphorus is poor. High phosphorus surplus and potassium decifit showed as high phosphorus and low potassium concentrations of potato fields. The pH-classes of potato fields were also quite low. The fertility of field improved starch potato phosphorus use efficiency statistically significantly. The amount of organic matter of potato field, pH-class, the draining conditions and the structure of field did not affect to potato nitrogen or phosphorus use efficiency statistically significantly. According to the results of this study high concentration of phosphorus and the high phosphorus surplus of potato fields increase a risk of phosphorus load to waters at the drainage area of lake Lappajärvi.

Sisällys

1 JOHDANTO 6
2 PERUNANVILJELY JA VESISTÖKUORMITUS 7
2.1 Peruna viljelykasvina 7
2.2 Perunan ravinnetalous 9
2.2.1 Perunan ravinnetarve ja lannoitus 9
2.2.2 Ravinteiden hyväksikäyttöön vaikuttavia tekijöitä perunanviljelyssä 15
2.3 Perunanviljelyn ravinnehuuhtoumat 25
2.3.1 Perunanviljelyn typpi- ja fosforihuuhtoumat Lappajärven valuma-alueella 26
2.3.2 Perunanviljelyn fosforihuuhtoumat ja niiden vähentäminen 26
2.3.3 Perunanviljelyn typpihuuhtoumat ja niiden vähentäminen 29
2.4 Maatalouden ravinnetaselaskelmat 33
3 TUTKIMUKSEN TAVOITE 34
4 AINEISTO JA MENETELMÄT 35
4.1 Perunanviljelyn ravinnetaselaskelmat 35
4.2 Ravinnetaseiden laskeminen 36
4.2.1 Peltoviljelyn ravinnetaselaskelma 36
4.2.2 Ravinteiden hyväksikäyttöön vaikuttavat tekijät perunanviljelyssä 42
5 TULOKSET 46
5.1 Tilakohtaiset peltoviljelyn ravinnetaseet 46
5.1.1 Tilojen viljelytiedot 46
5.1.2 Tilakohtaiset peltoviljelyn typpi-, fosfori- ja kaliumtaseet 48
5.1.3 Eri viljelykasvien ravinnetaseet perunatiloilla 48
5.2 Perunanviljelyn lohkokohtaiset ravinnetaseet 50
5.2.1 Perunalohkojen viljelytiedot 50
5.2.2 Perunanviljelyn typpitaseet 54
5.2.3 Perunanviljelyn fosforitaseet 59
5.2.4 Perunanviljelyn kaliumtaseet 63
5.3 Ravinteiden hyväksikäyttöön vaikuttavat tekijät perunalla 64

5.3.1 Maan liukoisen fosforin määrän vaikutus perunanviljelyn fosforitaseeseen 64
5.3.2 Maan happamuuden (pH) vaikutus perunanviljelyn typpi- ja fosforitaseisiin 66
5.3.3 Multavuuden vaikutus perunanviljelyn typpi- ja fosforitaseisiin ...69
5.3.4 Maan kasvukunnon vaikutus perunanviljelyn typpi- ja fosforitaseisiin 71
5.3.5 Viljelyn monipuolisuuden vaikutus perunanviljelyn typpitaseeseen 73
6 TULOSTEN TARKASTELU 74
6.1 Perunanviljelyn ravinnetaseet 74
6.1.1 Perunan ravinteiden käyttö 74
6.1.2 Ravinteiden hyväksikäyttöön vaikuttavat tekijät perunalla 77
6.2 Ravinnetaselaskelma perunanviljelyn ravinnekuormituksen mittarina 82
6.3 Ravinnetaselaskelman käyttö viljelyn ravinnetalouden seurannassa 84
7 JOHTOPÄÄTÖKSET 85
Kiitokset 87
Kirjallisuusluettelo 88

1 JOHDANTO

Etelä-Pohjanmaa on keskeistä perunanviljelyn aluetta Suomessa. Etelä-Pohjanmaalla sijaitsee noin 25 % koko Suomen perunantuotantoalasta ja lähes puolet koko maan tärkkelysperunan viljelyalasta. Etelä-Pohjanmaan koillis-itärajalla sijaitsevalla tutkimusalueella, Lappajärven valuma-alueella, perunaa viljeltiin tutkimusvuonna (2000) noin 1 500 ha:n alalla, mikä vastaa noin 8 %:n osuutta alueen koko viljely-alasta (MMM:n peltolohkorekisteri 2001).

Alueella sijaitsevan, pinta-alaltaan 142 km^2 suuruisen Lappajärven ulkoinen ravinnekuormitus on pääasiassa hajakuormitusta, josta maatalouden osuus on suurin (Aaltonen ym. 2002, Huitu 2003). Ulkoisesta fosforikuormituksesta (54 000 kg v^{-1}) suurin osa tulee maataloudesta (25 100 kg v^{-1}) (Huitu 2003). Typen ulkoisen kuormituksen kokonaismäärästä (934 000 kg v^{-1}) maatalouden osuus on vajaa 40 % (355 000 kg v^{-1}) (Huitu 2003). Maatalouden ravinnekuormitus on pääosin peräisin peltoviljelystä. Kuormitusselvityksestä laskettujen tietojen perustella perunanviljelyn osuus on noin 17 % peltoviljelyn fosforikuormituksesta ja noin 8 % peltoviljelyn typpikuormituksesta Lappajärvellä (Huitu 2003). Rantapelloille keskittyneellä perunanviljelyllä on merkitystä erityisesti Lappajärven fosforikuormituksen kannalta, sillä peruna vaatii muita viljelykasveja suuremmat fosforilannoitusmäärät, mutta satoon siirtyvän fosforin määrä on vain noin $^1/_3$ lannoituksesta.

Tutkimuksen tavoite oli selvittää ravinnetaselaskelman avulla perunanviljelyn typpi-, fosfori- ja kaliumtase, eli hyödyntämättä jääneiden ravinteiden määrä sekä typen ja fosforin hyväksikäyttöön vaikuttavat tekijät perunanviljelyssä. Pääravinteiden: typen, fosforin ja kaliumin lisäksi perunan lannoituksessa keskeisiä ravinteita ovat ainakin magnesium ja kalsium. Tässä tutkimuksessa on kuitenkin keskitytty vain pääravinteisiin ja niistäkin lähinnä vain rehevöitymistä aiheuttaviin typpeen ja fosforiin. Työn alussa tehdään kirjallisuuskatsaus perunan ravinnetalouteen ja ravinteiden hyväksikäyttöön vaikuttaviin tekijöihin, joiden toteutumista tutkittiin Lappajärven valuma-alueen perunanviljelytiloilla. Ravinteiden hyväksikäyttöä parantamalla voidaan vähentää hyödyntämättä jääneiden ravinteiden määrää ja vesistökuormitusta. Työn alussa kerrotaan perunanviljelyn ravinnehuuhtoumista ja siihen vaikuttavista tekijöistä. Tutkimuksen tavoite oli arvioida perunanviljelyn aiheuttaman vesistökuormituksen riskiä ravinnetaselaskelman avulla ja selvittää, mitkä tekijät Lappajärven valuma-alueella vaikuttavat perunanviljelyn aiheuttamaan vesistökuormitukseen.

Ravinnetaselaskelmat laadittiin vuonna 1999 käynnistyneessä Lappajärvi Life -hank-keessa, jonka tavoitteena oli parantaa rehevöityneen järven tilaa vähentämällä mm. maatalouden aiheuttamaa vesistökuormitusta. Ravinnetaselaskelma oli vielä tutkimus-vuonna (2000) varsin tuntematon ja vähän käytetty viljelyn ravinnetalouden suunnittelu- ja seurantalaskelma. Uudella, vuonna 2007 alkaneella ympäristötukikaudella ravinnetaselaskelma tuli osaksi ympäristötukea vapaasti valittavan lisätoimenpiteen muodossa.

2 PERUNANVILJELY JA VESISTÖKUORMITUS

2.1 Peruna viljelykasvina

Suomessa viljeltiin perunaa vuonna 2007 noin 27 600 ha:n alueella, josta suurin osa oli ruokaperunaa. Tärkkelysperunan osuus oli Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskuksen (2007b) mukaan noin 28 % (7 700 ha). Tutkimusvuonna 2000 perunan viljelyala oli noin 32 200 ha (MMM:n Tike 2001), josta suurin osa oli ruokaperunaa (Vorne 2001). Tärkkelysperunaa viljeltiin vuonna 2000 noin 8 600 ha:n alalla (Vorne 2001). Perunanviljely on keskittynyt Suomessa Satakunnan ja Pohjanmaan alueille (MMM:n Tike 2001 ja 2007a). Tutkimusvuonna Suomessa viljeltiin 33 ruokaperunalajiketta ja 5 tärkkelysperunalajiketta (Vorne 2001).

Etelä-Pohjanmaan alueella, jossa tutkimusalue sijaitsee, viljeltiin MMM:n Tiken mukaan (2007a) vuonna 2007 perunaa noin 6 500 ha alueella ja tutkimusvuonna noin 7 900 ha:n alueella (MMM:n Tike 2001). Tärkkelysperunan viljelyosuus perunan koko viljelyalasta on yli puolet (MMM:n Tike 2007b). Etelä-Pohjanmaalla sijaitsee noin 25 % koko Suomen perunantuotantopinta-alasta ja lähes puolet koko Suomen tärkkelys-perunantuotantopinta-alasta.

Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskuksen (2001) mukaan vuonna 2000 keskimääräinen perunasato oli koko maassa 24 460 kg ha^{-1} ja Etelä-Pohjanmaalla 25 970 kg ha^{-1}. Tärkkelysperunan keskisato oli vuonna 2000 koko maassa keskimäärin noin 30 000 kg ha^{-1} (Vorne 2001). Vuonna 2007 perunan keskisato maassa oli 25 730 kg ha^{-1} ja Etelä-Pohjanmaalla 25 440 kg ha^{-1} (MMM:n Tike 2007a). Tärkkelysperunan keskisato oli vuonna 2007 koko maassa 27 550 kg ha^{-1}, ruokaperunan 22 990 kg ha^{-1}, ruokateollisuusperunan 23 510 kg ha^{-1} ja muun perunan (mm. siemenperuna) 22 540 kg ha^{-1} (MMM:n Tike 2007b).

Etelä-Pohjanmaalla sijaitsevalla tutkimusalueella, Lappajärven valuma-alueella, perunaa viljeltiin tutkimusvuonna noin 1500 ha:n alueella (MMM:n peltolohkorekisteri 2001). Käytössä olevasta maatalousmaasta perunan osuus on Etelä-Pohjanmaalla 3,4 % (MMM:n Tike 2001 ja 2007a), kun se Lappajärven valuma-alueella on noin 8 % (MMM:n peltolohkorekisteri 2001). Yli puolet Etelä-Pohjanmaalla viljeltävästä perunasta on tärkkelysperunaa ja alueella toimikin vielä vuonna 2007 kolme perunantärkkelystehdasta. Tutkimusalueella, Lappajärven valuma-alueella toimi tutkimusvuonna yksi tehtaista, Järviseudun Peruna Oy, joka lopetti toimintansa vuonna 2007. Lisäksi viljeltiin ruokaperunaa, ruokateollisuusperunaa ja siemenperunaa.

Peruna on vaatelias viljelykasvi, joskin menestyy lähes koko Suomessa. Koska kyseessä on elintarvike, perunantuotantoa, erityisesti ruoka- ja siemenperunan tuotantoa, säätelevät erilaiset lait ja asetukset, jotka asettavat laatukriteerejä tuotteelle. Laadun turvaaminen on perunantuotannon keskeisiä tekijöitä ja se vaikuttaa viljelytoimiin sadon käyttötarkoituksesta riippuen. Perunan viljely voidaan jakaa kolmeen pääluokkaan käyttötarkoituksen mukaan: siemen- ja varhaisperunaan, ruoka- ja ruokateollisuus-perunaan sekä tärkkelysperunaan. Viljelytekniikka ja -toimenpiteet, kuten ravinnetarve ja lannoitus vaihtelevat perunan käyttötarkoituksen mukaan.

Siemenperunan tuotannolla vaikutetaan ruokaperunan laatuun. Siemenperunantuotantoa säätelevät kotimaiset lait, asetukset ja ohjeet sekä kansainväliset direktiivit (Vorne

2001). Siemenperuna ryhmitellään ja luokitellaan laadun mukaan. Ainoastaan sertifioitua siementä saa markkinoida ruoka- ja ruokateollisuusperunan tuotantoon. Sertifioitu siemen tulee Kankaan ym. (1997) mukaan olla lajikepuhdasta ja tervettä. Maatalouden tutkimuskeskus vastaa lajikekokeista, joissa eri perunalajikkeiden viljelyominaisuuksia tutkitaan (Vorne 2001). Perunalajikkeiden ylläpidosta Suomessa vastaa Siemenperunakeskus Tyrnävällä, jonka tehtävänä on terveen siemenaineksen ylläpito ja korkealaatuisen siemenen tuottaminen ja markkinoiminen (Vorne 2001). Siemenperunan viljelyssä keskeistä on ruoka- ja tärkkelysperunaa alhaisempi typpilannoitus ja tiheämpi istutus sekä riittävästä fosforin ja kalsiumin saannista huolehtiminen, sillä tavoitteena on mukulamäärältään runsas, varastointia kestävä, elinvoimainen ja hyvän itämiskyvyn omaava sato (Kemira GrowHow & Agrimarket 2007). Varhaisperunan viljelyssä puolestaan tavoitellaan nopeasti kasvavaa satoa, johon pyritään mm. valitsemalla kasvupaikaksi lämmin lohko sekä huolehtimalla siemenen idätyksestä ennen kylvöä (Kemira GrowHow & Agrimarket 2007). Fosfori on varhaisperunallekin tärkeä ravinne, sillä sen merkitys korostuu viileissä alkukevään oloissa (Kemira GrowHow & Agrimarket 2007).

Ruokaperunantuotantoa säätelee ruokaperuna-asetus (356/84, 139/92). Ruokaperuna luokitellaan koon ja laadun mukaan. Mitattavia laatutekijöitä ovat mm. puhtaus, virheellisyys ja keitto- ym. laatu (Vorne 2001). Yleisimmät lajikkeet ovat Van Gogh, Matilda, Asterix ja Nicola. Ruoka- ja ruokateollisuusperunaa viljellään useisiin käyttötarkoituksiin, mitkä vaikuttavat myös perunaraaka-aineen vaatimuksiin. Ruokaperunan kaliumin ja kalsiumin riittävästä saannista sekä ravinteiden saannin tasapainosta on huolehdittava, koska ne ovat laadun ja varastointi- ja käsittely-kestävyyden kannalta keskeisiä tekijöitä.

Tärkkelysperunaa tuotetaan Suomessa sopimustuotantona elintarvike- ja paperi-teollisuuteen (Vorne 2001). Tärkkelysperunanviljelyn ensisijainen tavoite on tuottaa mahdollisimman suuri tärkkelyssato, kun taas varastointia ja laatua koskevat vaatimukset eivät ole niinkään keskeisiä. Tärkkelysperunantuotannolle tyypillistä on ruokaperunaa suuremmat typpilannoitusmäärät, millä tavoitellaan suurta mukulasatoa. Liian korkea typpilannoitus viivästyttää kuitenkin sadon kypsymistä.

Perunan kasvukauden pituus vaihtelee Suomessa 140-180 vuorokauden välillä (Kuisma 2002) riippuen mm. sadon käyttötarkoituksesta ja lajikkeesta. Kasvukausi on lyhyt verrattuna moniin muihin maihin, mikä asettaa vaatimuksia viljelytoimenpiteille, kuten lannoitukselle (Kuisma 2002). Heikkojuurisena kasvina peruna on herkkä maaperässä esiintyville ongelmille, kuten tiivistymiselle ja kärsii herkästi kuivuudesta, mutta myös liiasta märkyydestä (Hofman & Salomez 2000). Peruna viihtyy parhaiten multavissa, kevyissä kivennäismaissa (Maasetukeskusten liitto 1992). Vähän orgaanista ainesta maahan jättävän perunan viljelyssä maan rakenne heikkenee, etenkin jos perunaa viljellään monokulttuurissa (Hofman & Salomez 2000). Painava viljely- ja korjuukalusto ja useat ajokerrat pellolla (istutus, kasvinsuojelutoimenpiteet, korjuu, muokkaus) tiivistävät maata (Stark & Porter 2005). Perunanviljelyn onnistuminen edellyttääkin maan rakenteesta ja vesitaloudesta huolehtimista. Viljelykierto, jossa perunan kanssa viljellään viljoja ja nurmia, hoitaa maan rakennetta ja vähentää tautiongelmia (Kuisma 2008, Stark & Porter 2005). Riittävä kuivatus saattaa Suomen oloissa olla ongelma, mutta myös veden puutteen ehkäisyyn kastelulla on alettu kiinnittää yhä enemmän huomiota (Maaseutukeskusten liitto 1992).

2.2 Perunan ravinnetalous

2.2.1 Perunan ravinnetarve ja lannoitus

Perunan kuiva-ainesato kasvaa kasvukauden edetessä (Harris 1992). Harrisin (1992) mukaan kuiva-aine kertyy lähinnä pääsatoon eli mukuloihin. Typen ja kaliumin pitoisuudet kuiva-aineessa vaihtelevat ajan ja satokomponentin (lehdet, varret, mukulat) mukaan ollen korkeimmillaan noin 44 päivää istutuksen jälkeen ja alhaisimmillaan lähellä sadonkorjuuta (Harris 1992). Fosforin pitoisuudet sadossa ovat Harrisin (1992) mukaan selvästi pienempiä kuin muiden pääravinteiden. Fosforin pitoisuudet olivat noin $^{1}/_{10}$ typen ja kaliumin pitoisuuksista, eikä vaihtelua eri kasvinosien pitoisuuksien välillä juurikaan ollut (Harris 1992). Suomessa tehtyjen tutkimusten mukaan perunasato ottaa typpeä keskimäärin 70 kg ha^{-1}, fosforia 10 kg ha^{-1} ja kaliumia 140 kg ha^{-1} (Tall 2007). Harris (1992) on päätynyt huomattavasti suurempiin ravinnepoistumiin (150 kg N ha^{-1}, 20 kg P ha^{-1}, 230 kg K ha^{-1}), mikä johtunee Alankomaissa tehdyissä tutkimuksissa pidemmän kasvukauden mahdollistamasta suuremmasta lannoitusmäärästä.

Maaseutukeskusten liiton (1992) mukaan perunatonnin mukana poistuu pellosta typpeä 2,2-3,5 kg, fosforia 0,3-0,6 kg ja kaliumia 4,0-6,5 kg. Perunan ravinnetarvetta ei voida kuitenkaan päätellä yksinomaan tämän perusteella, sillä se riippuu myös sadon käyttömuodosta, lajikkeesta ja ennen kaikkea pellon ravinnetilasta ja ravinteiden käyttökelpoisuudesta. Lisäksi lannoitustarvetta laskettaessa tulee huomioida mm. esikasvivaikutukset, lannoitustekniikka, mahdollinen sadetus, kasvukauden pituus ja satotavoite. Perunalla liiallinen tai ravinnesuhteiltaan väärä lannoitus tuottaa helposti laatuvirheitä, jotka alentavat sadon laatua.

Maatalouden ympäristötukeen sitoutuneet viljelijät noudattavat lannoituksessa ympäristötuen ehtojen mukaisia kasvikohtaisia lannoitussuosituksia. Valtaosa viljelijöistä on mukana ympäristötuessa ja niitä, jotka eivät ole, sitoo lähes samat lannoitusta koskevat ehdot EU:n nitraattidirektiivin kautta. Lannoitussuositukset perustuvat mm. Maatalouden tutkimuskeskuksen ja Helsingin yliopiston tutkimusaineistoon (Viljavuuspalvelu Oy 2000). Tutkimusvuonna (2000) viljelijöillä oli vielä mahdollisuus noudattaa ympäristötuen ehtojen mukaisessa lannoitussuunnittelussa joko maan viljavuustutkimukseen perustuvaa tarkennettua lannoitusta tai perustasoa, jossa käytettiin kasvilajeittain sovittuja lannoitusmääriä kaikilla kasvulohkoilla. Perustaso määriteltiin ainoastaan typelle ja fosforille. Suositellumpi lannoituskäytäntö on tarkennettu lannoitus, jossa viljeltävää kasvia lannoitettaessa otetaan huomioon mm. maalaji, multavuus, maan luontainen ravinnetila, kasvin käyttötarkoitus ja satotaso lannoitustasoa määritettäessä. Tarkennetun lannoitustason noudattaminen tuli pakolliseksi kaikille ympäristötukeen sitoutuneille tiloille vuodesta 2007 alkaen.

Lannoitukseen käytetään tiloilla pääasiassa kaupallisia, epäorgaanisia lannoitteita. Perunalle käytettävät lannoitteet ovat kloorittomia, koska kloorin tiedetään lisäävän voimakkaasti perunan vetisyyttä ja tummumista ja heikentävän makua (Maaseutukeskusten liitto 1992). Mikäli saatavilla on karjanlantaa tai muita orgaanisia lannoitteita, kuten perunan solunestettä, käytetään sitä myös perunamaiden lannoituksessa. Käytettävien orgaanisten lannoitteiden ravinnemäärät kannattaa yleensä analysoida. Analyysin puuttuessa käytetään lantakohtaisia taulukkoarvoja, jotka perustuvat tutkimustietoon.

Typpi (N)
Typpi vaikuttaa ravinteista eniten perunan kasvuun ja sadon määrään (esim. Cowie 1945, ref. Burton 1966; Harris 1992, Mac Kerron 2000, Molfetta ym. 1993). Typpi rehevöittää varsistoa, viivyttää mukulan muodostusta ja sadon kypsymistä (Brown 1799, ref. Burton 1966; Hakkola & Luoma 1989, Maaseutukeskusten liitto 1992, Mustonen 1995). Typpeä tarvitaan erityisesti kasvukauden alussa kasvin maanpäällisten osien rakentamiseen (Mustonen 1995, Vos & Mac Kerron 2000). Mustosen (1995) mukaan peruna ottaa kukinnan alkuun mennessä noin 60-65 % kokonaistypestä. Typpeä siirtyy varsien alalehdistä uusiin sivuversoihin kasvuston yläosaan kasvukauden edetessä (Mustonen 1995).

Aikaisilla lajikkeilla tai lajikkeilla, joilla kasvuaika on pitkä, voidaan käyttää suurempaa typpilannoitusta, mikä lisää satoa ja mukulakokoa (Hakkola & Luoma 1989, Lewis & Love 1994, ref. Vos & Mac Kerron 2000; Maaseutukeskusten liitto 1992, Mustonen 1995, Vos & Mc Kerron 2000). Millard ja Marshallin (1986, ref. Vos & Mac Kerron 2000) sekä Mustosen (1995) mukaan peruna ottaa typpeä helposti myös liikaa. Liika typpimäärä johtaa sadon kypsymisen viivästymiseen ja sadon nitraattipitoisuuden nousemiseen. Typen on todettu myös alentavan perunan kuiva-ainepitoisuutta (Brown 1799, ref. Burton 1966; Jenkins & Nelson 1992, ref. Vos & Mac Kerron 2000; Vos 1997, ref. Mac Kerron 2000), lisäävän vetisyyttä ja tummumista, heikentävän makua ja huonontavan käsittely- ja varastointikestävyyttä sekä vähentävän taudinkestävyyttä (Hakkola & Luoma 1989, Maaseutukeskusten liitto 1992, Mustonen 1995).

Peruna saa typpeä lannoitteista sekä maassa talven yli säilyneestä ja kasvukauden aikana vapautuneesta mineraalitypestä (Mustonen 1995, Vos & Mac Kerron 2000).Vos ja Mac Kerron totesivat typpilannoituksen määrittämisen ongelmalliseksi, koska satotaso ja kasvin typentarve sekä maan typpivarat vaihtelevat vuosittain, eikä niitä tiedetä etukäteen. Mineralisoituvan typen määrä maassa riippuu monesta tekijästä, minkä vuoksi sen määrää on vaikea selvittää (Vos & Mac Kerron 2000).

Mustonen (1999a) laski perunan typpitarpeen olevan satotasolla 30 tn ha^{-1} 115-130 kg ha^{-1}, kun mukulasadon keskimääräinen typpipitoisuus on 3,0 kg tn^{-1} ja mukulasadon osuus kokonaistypestä 70-75 %. Vastaavasti 40 tn ha^{-1} satotasolla typpitarve nousee määrään 150-165 kg ha^{-1} (Mustonen 1999a). Jäännöstyppi (20-30 kg ha^{-1}) keväällä ja kasvukauden aikana mineralisoituva noin 30-50 kg ha^{-1} typpimäärä huomioiden lannoitetypen laskennallinen tarve Mustosen (1999a) mukaan on 40-50 tn ha^{-1}:n satotasolla 100-115 kg ha^{-1} ja 30 tn ha^{-1}:n satotasolla 65-80 kg ha^{-1}. Maatalouden tutkimuskeskuksen Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasemalla Ruukissa tehdyissä perunan lannoituskokeissa vuosina 1987-1988 lajikkeilla Bintja ja Sabina todettiin sopivan typpilannoitusmäärän olevan 70 kg ha^{-1} (Hakkola & Luoma 1989). Maatalouden tutkimuskeskuksessa Jokioisissa vuosina 1989-1995 tehtyjen perunan typpilannoitus-kokeiden perusteella todettiin, että kasvuston kehityksen kannalta annettavan lannoitetypen optimimäärä on 60-80 kg ha^{-1} (Mustonen ym. 1997). Samaan tulokseen on päästy useissa muissa tutkimuksissa (Biemond & Vos 1992, ref. Mustonen 1999b; Mustonen 1999b, Varis 1973b, ref. Mustonen ym. 1997).

Suurin typpimäärä 120 kg ha^{-1} rehevöitti varsiston kasvua ja lisäsi satoa ja mukulakokoa, mitä ei Mustosen ym. (1997) mukaan voida kuitenkaan käyttää hyväksi, koska kasvukausi rajoittaa perunan kasvua ja tuleentumista. Suurin annettu typpimäärä myöhästyttikin kasvuston tuleentumista kokeessa, mikä taas mm. vähensi selvästi

perunan tärkkelyspitoisuutta (Mustonen ym. 1997). Kasvin kehityksen viivästyminen korkean typpilannoituksen takia hidastaa tärkkelyksen kertymistä mukuloihin (Kleinkopf ym. 1981, ref. Mustonen ym. 1997; Kuisma 2002, Varis 1973b, ref. Mustonen ym. 1997). Mustosen ym. (1997) kokeessa korkea typpilannoitus lisäsi perunan vetisyyttä, heikensi makua ja kasvatti nitraattipitoisuutta, joskaan se ei ylittänyt perunalle suositeltavaa raja-arvoa (200 mg NO_3 kg^{-1}). Myös varhais- ja syysperunan Jokioisissa tehdyissä typpilannoituskokeissa vuosina 1995-1997 todettiin typpilannoituksen lisäävän varsiston rehevyyttä, mikä on todettu useissa muissakin tutkimuksissa (esim. Millard & Marshall 1986, ref. Vos & Mac Kerron 2000) sekä lisäävän hieman mukuloiden lukumäärää ja kokoa, mikä on todettu myös mm. Russelin ja Garnerin (1941, ref. Burton 1966) tutkimuksissa. Korkean typpilannoitusmäärän (120 kg ha^{-1}) huomattiin Mustosen (1999b) tutkimuksessa viivästyttävän mukulan-muodostusta ja sadon kehitystä, kuten muissakin tutkimuksissa (esim. Biemond & Vos 1992, ref. Mustonen 1999b; Carlsson 1979, ref. Mustonen 1999b). Varhaisperunalla korkea typpilannoitus alensi myös tärkkelyspitoisuutta, lisäsi vetisyyttä, heikensi makua ja kasvatti nitraattipitoisuutta. Tämä on todettu myös ruotsalaisissa tutkimuksissa (Carlsson 1979, ref. Mustonen 1999b). Syysperunalla korkea typpilannoitus suurensi tärkkelyspitoisuutta, mitä voidaan pitää poikkeavana tuloksena (Mustonen 1999b).

Maaseutukeskusten liiton (1992) mukaan perunan typpilannoitustarve vaihtelee viljelyvyöhykkeittäin ja vaihtelee lisäksi maalajin, multavuuden, perunan käyttö-muodon, lajikkeen ja satotason mukaan. Karkeilla kivennäismailla typpilannoitusmäärät ovat suurimmat, mutta multavuuden kasvaessa lannoitustarve vähenee (Maaseutu-keskusten liitto 1992). Eri kasvutekijöiden vaikutusta perunan ravinteiden ottoon tarkastellaan enemmän kappaleessa 2.2.2 Ravinteiden hyväksikäyttöön vaikuttavia tekijöitä perunalla.

Sadon käyttömuoto vaikuttaa typpitarpeeseen siten, että tärkkelysperunalla voidaan käyttää suurempia typpilannoitusmääriä, koska sato käytetään heti sadonkorjuun jälkeen. Varastoperunalla, kuten ruokaperunalla, typpilannoitusta vähennetään sen mukaan, mitä enemmän sadolta vaaditaan tuleentumista, kuiva-ainepitoisuutta sekä varastointi- ja käsittelykestävyyttä. Siemenperunan typpilannoituksessa käytetään ruoka- ja ruokateollisuusperunan typpilannoitussuosituksia 15-20 kg ha^{-1} pienempiä määriä (Maaseutukeskusten liitto 1992, Mustonen 1995). Myöhäisillä ja alhaisen kuiva-ainepitoisuuden omaavilla lajikkeilla typpilannoitusta on syytä vähentää suosituksesta (Maaseutukeskusten liitto 1992, Mustonen 1995).

EU:n ympäristötuen ehtojen mukaiset perunan typpilannoituksen enimmäismäärät tarkennetulla lannoitustasolla olivat vielä vuonna 2000 kuitenkin paljon yksinkertaisemmat (taulukko 1), joskin ne perustuvat tutkimustietoon (Viljavuuspalvelu Oy 2000). Vuonna 2000 ympäristötuen ehdoissa perunan typpilannoitussuositus vaihteli tarkennetulla tasolla ainoastaan sadon käyttötarkoituksen ja satotason mukaan. Lannoitustulkki 2000-2001 -oppaassa (Maatilan Kemira 2000) annetaan tarkemmat lajike- ja satotasokohtaiset typpilannoitussuositukset viljelyvyöhykkeittäin ja maalajeittain. Mustosen (1995) mielestä ympäristötuen perustason mukainen typpilannoitus asettuu käytännön viljelysuositusten puitteisiin tai niiden alarajoille, mutta edullisissa kasvuoloissa, joissa saavutetaan suurempia satoja, typpilannoitusta on tarpeen, ja myös ympäristötuen puitteissa lupa, lisätä. Perunan typpilannoitusmäärät ovat Etelä-Ruotsissa ja Länsi-Euroopassa yli kaksinkertaisia Suomeen verrattuna johtuen pidemmästä kasvukaudesta ja korkeammasta satotasosta (Mustonen 1999a).

Taulukko 1. Perunan typpilannoituksen enimmäismäärät ympäristötuen ehtojen tarkennetulla tasolla ja perustasolla v. 2000 (Viljavuuspalvelu Oy 2000).

TYPPI, peruna käyttötarkoitus, lannoitusmenetelmä, satotaso	**Typpilannoitus enintään kg/ha, koko maa**
Ruokaperuna	
- perustaso	60
- tarkennettu taso, satotaso 30 t/ha	70
- tarkennettu taso, satotaso 40 t/ha	100
Ruokateollisuusperuna	
- perustaso	80
- tarkennettu taso, satotaso 30 tn/ha	70
- tarkennettu taso, satotaso 40 tn/ha	100
Tärkkelysperuna	
- perustaso	80
- tarkennettu taso, satotaso 30 t/ha	90
- tarkennettu taso, satotaso 40 t/ha	120

Uusi ympäristötukikausi toi muutoksia perunan tarkennettuun lannoitukseen vuodesta 2007 lähtien. Uudet ympäristötuen ehtojen mukaiset typpilannoituksen enimmäismäärät perunalla huomioivat satotason lisäksi myös viljelyvyöhykkeen ja maalajin (Liite 1: taulukko 1.)

Fosfori (P)

Perunan laadun kannalta fosfori on tärkein ravinne. Fosfori lisää mukulamäärää, vähentää pienten mukuloiden määrää (Russel & Garner 1941, ref. Burton 1966), parantaa perunan varastointi- ja käsittelykestävyyttä sekä lisää perunan jauhoisuutta ja tärkkelyspitoisuutta ja parantaa makua (Hakkola & Luoma 1989, Maaseutukeskusten liitto 1992). Fosforin on todettu myös lisäävän siemenperunan elinvoimaisuutta (Hakkola & Luoma 1989, Maaseutukeskusten liitto 1992) ja jouduttavan sadon-muodostusta ja tuleentumista (Hakkola & Luoma 1989, Maaseutukeskusten liitto 1992, Rogalev 1957, ref. Burton 1966). Rogalevin (1957, ref. Burton 1966) mukaan fosfori vaikuttaa positiivisesti perunan vesitalouteen ja stimuloi juurten kasvua. Fosforin merkitys on suuri erityisesti taimettumisvaiheen ja mukulanmuodostuksen välisen ajan kehityksessä ja merkitys kasvaa viileinä alkukesinä ja kasvukauden jäädessä lyhyeksi (Maaseutukeskusten liitto 1992).

Useissa tutkimuksissa on todettu, että fosforia joudutaan antamaan lannoituksessa selvästi enemmän kuin sitä sadon mukana pellosta poistuu. Saarelan (2001) mukaan eräissä hollantilaisissa tutkimuksissa on todettu, että vesiliukoista fosforia tulee olla perunamaassa kolme kertaa niin paljon kuin vehnällä (Saarela 2001). Ruotsalaisissa lannoituskokeissa perunan fosforitarve on todettu olevan 80 kg ha^{-1}, kun taas viljoilla, öljykasveilla ja nurmilla on riittänyt noin 10 kg ha^{-1} lannoitus (Saarela 2001). Maatalouden tutkimuskeskuksen Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasemalla Ruukissa tehdyissä perunan lannoituskokeissa vuosina 1985-1988 todettiin sopivan fosforilannoitusmäärän olevan 75 kg ha^{-1} (Hakkola & Luoma 1989). Kokeessa oli

mukana kaksi perunalajiketta (Rekord ja Sabina). Tutkimuksen mukaan tällä fosforilannoituksella myös maan fosforiluku pysyi samana kolmen vuoden ajan (Hakkola & Luoma 1989). Tutkimustietoon perustuen, Maaseutukeskusten liitto (1992) arvioi, että ainoastaan 10-30 % lannoitteena annetusta fosforista tulee perunasadon käyttöön.

Toisin kuin typellä, fosforilla sadon käyttötarkoitus ei vaikuta lannoitustarpeeseen, vaan se määräytyy maan viljavuuden mukaan. Maaseutukeskusten liiton (1992) mukaan runsasta typpilannoitusta käytettäessä suositellaan fosforilannoitustakin lisättäväksi noin 10 kg ha^{-1}.

EU:n ympäristötuen ehtojen mukaisessa tarkennetussa lannoituksessa (taulukko 2) fosforilannoitussuositus määräytyy maan viljavuuden eli fosforiluokan mukaan (Viljavuuspalvelu Oy 2000). Kasveille käyttökelpoisen liukoisen fosforin määrää mitataan viljavuustutkimuksessa, joka tehdään tiloilla kasvulohkokohtaisesti viiden vuoden välein. Peltolohkot luokitellaan fosforipitoisuuden mukaan viljavuusluokkiin, jotka ovat: huono, huononlainen, välttävä, tyydyttävä, hyvä, korkea ja arveluttavan korkea. Uudella ympäristötukikaudella fosforilannoituksen enimmäismääriä perunamaan köyhimmissä viljavuusluokissa laskettiin 5 kg ha^{-1} (Mavi 2007) (Liite 1: taulukko 2). Määrää tarkennetaan kuitenkin lisäksi satotason mukaan siten, että 25 % matalammalla satotasolla fosforilannoitusta vähennetään Viljavuuspalvelu Oy:n (2000) mukaan 3 kg ha^{-1}. Perussatotasona perunalla käytetään 30 t ha^{-1}:a. 25 % korkeampi satotaso taas antaa mahdollisuuden 3 kg ha^{-1} runsaampaan fosforilannoitukseen ja mikäli satotaso on 50 % korkeampi kuin perussatotaso, voidaan fosforilannoitusta nostaa 6 kg ha^{-1} (Viljavuuspalvelu Oy 2000).

Taulukko 2. Perunan fosforilannoitus ympäristötuen tarkennetun tason ja perustason mukaan eri viljavuusluokissa (Viljavuuspalvelu Oy 2000).

FOSFORI, peruna lannoitustaso	**huono, kg/ha**	**huonon-lainen, kg/ha**	**välttävä, kg/ha**	**tyydyttävä, kg/ha**	**hyvä, kg/ha**	**korkea, kg/ha**	**arv. korkea, kg/ha**
tarkennettu taso	75	75	75	55	35	20	-
perustaso	40	40	40	40	40	40	40

Tutkimusvuonna (2000) fosforilannoituksen seurantakausi oli ympäristötuessa neljä vuotta (MMM 2000). Fosforilannoituksen tulee olla tuona aikana keskimäärin sallittu määrä. Toisin sanoen, fosforia voidaan antaa 1-3 vuonna suosituksia suurempi määrä, mutta viimeistään neljäntenä vuonna eli tasausvuonna, tulee määrä tasata siten, että neljän vuoden seurantajakson aikana keskimääräinen fosforilannoitus on suositusten mukainen. Vuonna 2007 ympäristötuen uudistuksessa fosforilannoituksen tasauskauden pituudeksi muutettiin viisi vuotta (Mavi 2007).

Saarela (2001) arvioi, että tukiehtojen mukainen tarkennettu lannoitustaso riittää perunalle aika hyvin, mikäli se annetaan sijoitettuna edullisissa kosteusoloissa.

Hajalevityksessä, esim. karjanlantaa käytettäessä, ja kuivissa oloissa optimia ei Saarelan (2001) mukaan saavuteta.

Kalium (K)

Kalium on tärkeä ravinne perunan laadun kannalta (Kuisma & Hakkola 1996). Kalium lisää mukulakokoa ja suurten perunoiden osuutta sadossa (Hakkola & Luoma 1989, Maaseutukeskusten liitto 1992, Tagawa & Sakai 1953, ref. Burton 1966; Ward 1959, ref. Burton 1966). Vesitalouden säätelijänä se vähentää perunan kuiva-ainepitoisuutta, mutta parantaa kuitenkin käsittely- ja varastointikestävyyttä sekä vähentää jauhoisuutta ja rikkikiehumista (Hakkola & Luoma 1989, Maaseutukeskusten liitto 1992). Kaliumin avulla peruna kestää kuivuutta pidempään (Russel & Garner 1941, ref. Burton 1966). Kaliumin on todettu myös lisäävän perunan C-vitamiinipitoisuutta, vähentävän sokeripitoisuutta, mustelmoitumista ja tummumista (Hakkola & Luoma 1989, Maaseutukeskusten liitto 1992). Edenin (1926, ref. Burton 1966) mukaan kalium parantaa perunan aikaista kasvua. Lisäksi kaliumin on todettu kasvattavan ylempien lehtien kokoa (Fernando 1958, ref. Burton 1966) ja kasvattavan lehtien klorofyllipitoisuutta (Tagawa ja Sakai, 1953 ref. Burton 1966). Liika kalium heikentää kuitenkin perunan makua ja lisää perunan vetisyyttä (Hakkola & Luoma 1989, Maaseutukeskusten liitto 1992). Harris (1992) sekä Kuisma ja Hakkola (1996) havaitsivat korkean kaliummäärän viivästyttävän sadon valmistumista varsinkin, jos samanaikaisesti annettiin runsaasti typpeä. Samassa tutkimuksessa havaittiin kaliumin puutteen hidastavan aikaista kehittymistä.

Peruna on tehokas kaliumin hyväksikäyttäjä (Kuisma & Hakkola 1996). Peruna ottaa kaliumia maasta 1,5-2 kertaa enemmän kuin typpeä (Maaseutukeskusten liitto 1992). Perunasadossa onkin kaliumia enemmän kuin mitään muuta ravinnetta (Saarela 2001). Kuisman (1991) mukaan peruna voi ottaa maasta kaiken irrotettavissa olevan kaliumin, vaikka ei tarvitsisikaan sitä sadonmuodostukseen. Kalium on helposti perunan saatavilla, koska se on liukoisessa muodossa ja kilpailee vahvasti kasvien ravinteidenotossa (Mengel & Kirkby 1982). Lisätyn kaliumin hyväksikäyttöaste on Saarelan (2001) mukaan korkea ja suurin osa siitä poistuu sadon mukana, joskin kalium on myös herkkä huuhtoutumaan erityisesti karkeista kivennäismaista.

Kaliumlannoitus määräytyy pellon viljavuuden ja sadon käyttötarkoituksen mukaan. Peltolohkot luokitellaan kaliumpitoisuuden mukaan viljavuusluokkiin, jotka ovat: huono, huononlainen, välttävä, tyydyttävä, hyvä, korkea ja arveluttavan korkea. Tärkkelysperunan kaliumlannoitus on niukempaa, koska käyttövaatimukset ovat vähäisemmät kuin ruoka- ja siemenperunalla (Maaseutukeskusten liitto 1992). Jonkin verran kaliumia on kuitenkin tarpeen tärkkelyksen muodostumiselle, mutta korkeat määrät (100-150 kg ha^{-1}) alentavat niin kuiva-aine- kuin tärkkelyspitoisuutta (Kuisma & Hakkola 1996). Kuisman ja Hakkolan (1996) mukaan tärkkelysperunalle riittää 150 kg K ha^{-1}, kun taas varastoitava peruna vaatii vähintään 250 kg ha^{-1}. Vaatimukset värin pysyvyydestä, hyvästä säilyvyydestä ja käsittelynkestävyydestä kasvattavat kaliumin tarvetta (Maaseutukeskusten liitto 1992).

Kaliumlannoituksen osalta EU:n ympäristötuki antaa vain suosituksia. Toisin sanoen, suositusten noudattamatta jättäminen ei johda tukisanktioihin. Ympäristötuen ehtojen mukaisessa tarkennetussa lannoituksessa kaliumlannoitussuositus määräytyy maan viljavuuden eli kaliumluokan ja sadon käyttötarkoituksen mukaan (taulukko 3). Määrää suositellaan tarkennettavaksi lisäksi satotason mukaan siten, että 25 % matalammalla

satotasolla kaliumlannoitusta vähennetään 10 kg ha^{-1} (Viljavuuspalvelu Oy 2000). Perussatotasona perunalla käytetään 30 t ha^{-1}:a. 25 % korkeampi satotaso taas antaa mahdollisuuden 10 kg ha^{-1} runsaampaan kaliumlannoitukseen ja mikäli satotaso on 50 % korkeampi kuin perussatotaso, voidaan kaliumlannoitusta nostaa 20 kg ha^{-1} (Viljavuuspalvelu Oy 2000).

Taulukko 3. Perunan kaliumlannoitus ympäristötuen tarkennetun tason mukaan eri viljavuusluokissa (Viljavuuspalvelu Oy 2000).

KALIUM, peruna käyttötarkoitus	**huono, kg/ha**	**huonon-lainen, kg/ha**	**välttävä, kg/ha**	**tyydyttä-vä, kg/ha**	**hyvä, kg/ha**	**korkea, kg/ha**	**arv. korkea, kg/ha**
varhais- ja siemenperuna	210	210	160	115	80	<55	-
ruoka- ja ruoka-teollisuusperuna	240	240	180	130	90	<65	-
tärkkelysperuna	140	140	110	90	60	<40	-

Maatalouden tutkimuskeskuksen Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasemalla Ruukissa tehdyissä perunan lannoituskokeissa vuosina 1985-1988 todettiin sopivan kaliumlannoitusmäärän vaihtelevan lajikkeen mukaan (Hakkola & Luoma 1989). Kokeessa mukana olleista lajikkeista Sabina menestyi parhaiten 150 kg ha^{-1}:lle kaliumlannoituksella, kun taas Rekordille riitti 100 kg ha^{-1} kaliumia (Hakkola & Luoma 1989). Tutkimuksen mukaan tällä kaliummäärällä maan kaliumluku pysyi kolmen vuoden koejakson ajan ennallaan (Hakkola & Luoma 1989). Saarelan (2001) mukaan tavallista runsaampi (50 tn ha^{-1}) perunasato tarvitsee kaliumia huuhtoutumishäviö (30 kg ha^{-1}) huomioiden 280 kg ha^{-1}.

2.2.2 Ravinteiden hyväksikäyttöön vaikuttavia tekijöitä perunanviljelyssä

Ravinteiden hyväksikäyttöön kasvituotannossa vaikuttavat monet tekijät, joista merkittävimpänä kasvukauden aikana vallitsevat sääolot. Se, kuinka suuren osuuden kasvi pystyy hyödyntämään annetuista tai maassa olevista ravinteista riippuu mm. siitä, ovatko ravinteet kasville käyttökelpoisessa muodossa, ulottuvatko kasvin juuret ottamaan ravinteita ja onko ravinteita saatavilla kasville riittävä määrä oikeaan aikaan. Hyvä ravinteiden hyväksikäyttö parantaa satoa ja vähentää hyödyntämättä jääneiden ravinteiden määrää. Tässä luvussa käydään läpi tärkeimmät ravinteiden hyväksikäyttöön vaikuttavat tekijät perunanviljelyssä. Näiden tekijöiden vaikutusta ravinteiden hyväksikäyttöön ja ravinnetaseisiin selvitettiin Lappajärven valuma-alueella tehdyssä tutkimuksessa v. 2000.

Maan rakenteen ja vesitalouden vaikutus ravinteiden hyväksikäyttöön perunalla

Maan rakenne vaikuttaa merkittävästi viljelykasvien vesitalouteen, kuten vedenpidätyskykyyn ja vedenjohtokykyyn. Maan rakenteeseen taas vaikuttavat mm.

maalaji, maan orgaanisen aineksen pitoisuus (multavuus), käytössä oleva viljelytekniikka ja viljelytoimien ajoitus (Maaseutukeskusten liitto 1992). Ravinteita pidättävä orgaaninen aines on tärkeä tekijä myös maan viljavuuden kannalta. Lyhytjuurisena ja vähän orgaanista ainesta maahan jättävänä kasvina peruna on herkkä maan rakenteen ongelmille (Hofman & Salomez 2000). Peruna tarvitsee syvään muokatun, kokkareettoman maan, jossa on hyvä veden-, ilman- ja lämmönjohtokyky sekä kestävä rakenne (Maaseutukeskusten liitto 1992). Suomen oloissa riittävä kuivatus järjestetään pääsääntöisesti toimivalla salaojituksella. Maan rakenne on koetuksella erityisesti syksyllä märissä olosuhteissa, kun perunaa nostetaan painavilla koneilla. Suomessa perunaa viljelläänkin Maaseutukeskusten liiton (1992) mukaan pääasiassa kevyillä kivennäismailla, lähinnä hietamailla, jotka ovat viljelyteknisesti ja vedenläpäisykyvyltään hyviä maita. Hyvä maan rakenne edesauttaa perunan ravinteiden ja veden saantia ja parantaa siten ravinteiden hyväksikäyttöä.

Peruna on mm. Hofmanin ja Salomezin (2000) mukaan herkkä veden puutteelle erityisesti, jos maa on vähänkin tiivistynyt, sillä perunan juuristo on matala ja heikko (Haverkort & Mac Kerron 2000). Toiseksi jo pienetkin kosteusvajaukset aiheuttavat lehtien ilmarakojen sulkeutumisen, mikä heikentää kasvua (Haverkort & Mac Kerron 2000). Kastelun onkin todettu useissa tutkimuksissa vaikuttavan myönteisesti perunan kehitykseen ja satoon (Antila 2008). Tästä huolimatta kuitenkin vain pieni osa (10-15 %) Suomen peruna-alasta on Antilan (2008) mukaan kasteltavissa. Kastelun merkitys on suuri perunan taimettumisen jälkeen, jolloin perunan vedentarve kasvaa nopeasti (Antila 2008). Riittävä vedensaanti on tärkeää ravinteiden saannin kannalta (Brown 1799, ref. Burton 1966). Riittävä vedensaanti parantaa typen hyödyntämistä kasvuun ja siten myös kasvattaa tarvittavan typpilannoituksen määrää (Haverkort & MacKerron 2000). Veden puute nostaa perunan nitraattipitoisuutta (Stark ym. 1993, ref. Vos & Mac Kerron 2000). Maan vedenpidätyskyvyllä on perunan fosforitalouden kannalta varsin keskeinen merkitys. Saarelan (2001) mukaan runsaasti fosforia sisältävässä maassa fosforia kulkee kasvin juuriin suuria määriä veden mukana massavirtauksena. Normaalisti kuitenkin fosforin kulkeutuminen tapahtuu diffuusiolla paikallaan olevassa vesiliuoksessa, mikä on sitä tehokkaampaa, mitä enemmän maassa on veden täyttämiä huokosia (Saarela 2001). Kuivassa maassa fosfori ei liiku lainkaan. Maan runsas multavuus ja hikevyys parantavat maan vedenpidätyskykyä ja edistävät näin kasvin fosforin saantia (Saarela 2001). Saarelan (2001) mukaan viljavuusluokkien raja-arvot ovat eri maalajeissa ja multavuusluokissa vähän erilaisia lähinnä vesitalouden takia. Saarelan ym. (1995) Jokioisilla tehdyissä fosforilannoituksen porraskokeissa v. 1981-1992 todettiin fosforilannoituksen lisäävän mukula- ja tärkkelyssatoa lähes 10 % kuivana vuotena (1992), kun lyhytaikaisessa kokeessa fosforilannoituksen vaikutus satoon oli alle 5 % (Saarela ym. 1995). Fosforin tarve oli tutkimuksen mukaan pienin sateisena kesänä (1987) (Saarela ym. 1995). Maan riittävä kosteus vaikuttaa myös kaliumin ottoon siten, että kaliumia tarvitaan kuivana kautena enemmän (van der Paauw 1957, 1958, ref. Burton 1966).

Maalajin vaikutus ravinteiden hyväksikäyttöön perunalla

Peltomaan maalaji vaikuttaa maankäyttöön, kuivatustarpeeseen, maanparannukseen, maanmuokkaukseen, lannoitukseen ja kasvilajivalintaan (Viljavuuspalvelu Oy 2000). Ravinnepitoisuudeltaan ja ravinteiden pidätyskyvyltään hyvillä maalajeilla viljavuus vähentää lannoitustarvetta ja vähentää siten yleensä hyödyntämättä jääneiden ravinteiden määrää. Rakenteeltaan ja vesitaloudeltaan hyvät maalajit ovat kuohkeita ja helposti muokattavia ja pidättävät riittävästi vettä kasvin tarpeeseen. Orgaaninen aines

parantaa maan ravinteiden- ja vedenpidätyskykyä ja tekee maan ilmavaksi ehkäisten tiivistymistä.

Suomessa maalajit luokitellaan koostumuksensa, eloperäisen aineksen määrän ja maan syntytavan mukaan kivennäismaihin ja eloperäisiin maihin (Heinonen ym. 1992). Kivennäismaissa orgaanisen aineksen pitoisuus on alle 20 %, multamaissa 20-40 % ja turvemaissa yli 40 % (Heinonen ym. 1992). Kivennäismaat jaetaan lajittuneisiin ja lajittumattomiin (moreenimaat) maihin (Heinonen ym. 1992). Maalaji analysoidaan peltolohkoilta noin viiden vuoden välein otettavista maanäytteistä viljavuus-laboratorioissa. Parhaiten perunanviljelyyn soveltuvat hietamaat ovat kuohkeita ja hikeviä ja siten vesitalouden kannalta hyviä viljelysmaita (Maaseutukeskusten liitto 1992). Hieno hieta pidättää ravinteita kohtalaisen hyvin ja on ilmavaa ja kosteaa (Heinonen ym. 1992). Savespitoisuus parantaa Heinosen ym. (1992) mukaan karkeamman hiedan ravinnetaloutta ja tekee siitä ihanteellista viljelysmaata. Hienon hiedan haitallisia ominaisuuksia on kohtalainen eroosioherkkyys ja voimakas rousteen muodostus (Heinonen ym. 1992). Hiesu- ja savimaiden ongelmana on tiivistyminen, mikä haittaa erityisesti heikkojuurisen perunan ravinteiden- ja vedensaantia. Multavuus parantaa Heinosen ym. (1992) mukaan hiesumaan rakennetta ja viljelyominaisuuksia ja karkeilla hiekkamailla ravinteiden- ja vedenpidätyskykyä (Heinonen ym. 1992). Savimaalla hietapitoisuuden nouseminen parantaa Heinosen ym. (1992) mukaan vesi- ja ravinnetaloutta. Myös savimaiden halkeilu ja murustuminen parantavat vedenläpäisykykyä ja lisäävät ilmavuutta (Heinonen ym. 1992). Moreenimaista hietamoreenin kosteus- ja ilmavuusominaisuudet sekä ravinteisuus ovat Heinosen ym. (1992) mukaan edullisimmat. Eloperäisistä maalajeista multamaa on viljely-ominaisuuksiltaan paras maalaji, joskin sen viljelyominaisuuksiin vaikuttaa paljon orgaanisen aineksen pitoisuus ja kivennäisaineksen laatu (Heinonen ym. 1992). Multamaata esiintyy peltojen pintakerroksessa, joka syntyy kun pinnassa alun perin ollut turvekerros on muokattaessa sekoittunut alla olevaan kivennäismaahan. Turvemaiden ongelmana on kylmyys ja kuivatusolot, eikä perunaa juurikaan viljellä turvemailla. Burtonin (1966) mukaan parhaimmat kuiva-ainesadot saatiin perunalla hieta- ja moreenimailla sekä kevyillä hietaisilla savimailla.

Multavuuden vaikutus ravinteiden hyväksikäyttöön perunalla

Multavuus parantaa maan vesi- ja ravinnetaloutta sekä rakennetta ja parantaa siten ravinteiden hyväksikäyttöä perunalla. Hyvärakenteisessa maassa on riittävästi orgaanista ainesta, joka tekee maan ilmavaksi ehkäisten tiivistymistä sekä parantaa maan muokkautuvuutta (Alford ym. 1996, ref. Stark & Porter 2005; Hofman & Salomez 2000). Orgaaninen aines edistää ravinteiden ja veden pidättymistä (Hofman & Salomez 2000) ja parantaa ravinteiden saatavuutta lisäämällä kationinvaihtokapasiteettia (Stark & Porter 2005). Orgaaninen aines lisää myös maan mikrobipopulaation määrää ja diversiteettiä, mikä parantaa kasvin juurien toimintaa ja ravinteiden ottoa (Edwards & Lofty 1982, ref. Ylivainio ym. 2002; Edwards & Shipitalo 1998, ref. Ylivainio ym. 2002; Stark & Porter 2005).

Raskailla kivennäismailla orgaanisen aineksen riittävä määrä on tärkeää erityisesti maan ilmavuuden ja rakenteen takia, kun taas kevyillä kivennäismailla korostuu orgaanisen aineksen veden- ja ravinteidenpidätyskyky (Hofman & Salomez 2000). Maan orgaaninen aines on keskeinen typen lähde, mutta myös merkittävä fosforin varasto (Allison 1973, ref. Hofman & Salomez 2000). Allisonin (1973, ref. Hofman & Salomez 2000) mukaan 15-18 % maan kokonaisfosforista on maan orgaanisessa aineksessa.

Orgaaninen aines edesauttaa myös kasvin kaliumin saantia vähentämällä huuhtoutumista ja estämällä epäorgaanista sitoutumista kationinvaihtokyvyn avulla (Hofman & Salomez 2000).

Perunasta jää maahan niukasti orgaanista ainesta, mikä vähitellen vähentää orgaanisen aineksen määrää maassa ja heikentää näin maan rakennetta (Maaseutukeskusten liitto 1992, Stark & Porter 2005). Perunanviljely vaatii myös paljon muokkaus- ym. toimia pellolla, mikä heikentää maan rakennetta ja hapettaa orgaanista ainesta (Stark & Porter 2005). Orgaanista ainesta saadaan maahan paitsi viljelyn jälkeen maahan jäävistä kasvinjätteistä, kuten oljista ja naateista, myös orgaanisista lannoitteista, kuten karjanlannasta ja viherlannoituksesta (Hofman & Salomez 2000, Stark & Porter 2005). Stark ja Porter (2005) toteavat karjanlannan ym. orgaanisten lannoitteiden lisäävän nopeasti maan orgaanisen aineksen määrää, kun taas kasvinvuorottelulla vaikutus on paljon hitaampi. Karjanlannan ja nurmiviljelyn on myös todettu lisäävän murujen kestävyyttä ja parantavan näin maan rakennetta (SkØien 1993, ref. Ylivainio ym. 2002). Pidemmillä viljelykierroilla, jotka sisältävät monivuotisia nurmikasveja saadaan pidempiaikainen vaikutus (Stark & Porter 2005). Ylivainio ym. (2002) toteavat, että nurmiviljelyllä nostetaan parhaiten maan humuspitoisuutta. Starkin ja Porterin (2005) mukaan kompostin ja karjanlannan käyttö lisäävät perunan juuriston syvyyttä, mikä vaikuttanee positiivisesti perunan ravinne- ja vesitalouteen. Puolassa tehdyssä tutkimuksessa todettiin karjalannalla olevan positiivinen vaikutus perunasatoon ja taudinkestävyyteen (Goffart ym. 1997, ref. Hofman & Salomez 2000). Ampen (1991, ref. Hofman & Salomez 2000) tutkimustulokset vahvistivat käsitystä siitä, että korkeilla lietemäärillä on negatiivinen vaikutus perunan laatuun. Kaikissa tutkimuksissa ei kuitenkaan löydetty eroa lietelannan ja kuivalannan välillä (Bries ym. 1995, ref. Hofman & Salomez 2000), mutta kuivalantaa pidetään perunamaalle suositeltavampana lannoitemuotona, koska se sisältää enemmän kuiva-ainetta ja orgaanista ainesta (Johnson ym. 2000). Karjanlannan käyttö vähentää myös merkittävästi kemiallisten lannoitteiden käyttöä; Starkin ja Porterin (2005) mukaan jopa 52 %. Karjanlannan orgaanisen typen mineralisoitumisen määrää ja ajankohtaa on kuitenkin vaikea arvioida (Johnson ym. 2000), ja näin ollen karjanlannan typen hyödyntämisessä lienee suuria vaihteluita.

Maan multavuus analysoidaan peltolohkoilta noin viiden vuoden välein otettavista maanäytteistä viljavuuslaboratorioissa. Multavuusaste luokitellaan seuraavasti: vähämultainen (vm), multava (m), runsasmultainen (rm), erittäin runsasmultainen (erm) ja multamaa (mm). Multavuus vaikuttaa typpilannoituksen määrään sekä maan pH-luokituksen määrittämiseen (Viljavuuspalvelu Oy 2000).

Maan viljavuuden ja ravinteiden käyttökelpoisuuden vaikutus ravinteiden hyväksikäyttöön perunalla

Maan luontainen korkea viljavuus vähentää lannoitustarvetta ja vähentää yleensä siten hyödyntämättä jääneiden ravinteiden määrää. Maan viljavuuteen vaikuttavat mm. maalaji, orgaanisen aineksen pitoisuus (multavuus) sekä pellolla tehtävät viljelytoimenpiteet, kuten lannoitus ja muokkaus. Ravinteet täytyy olla lisäksi oikeassa kemiallisessa muodossa ja fyysisesti lähellä kasvin juurta, josta ravinteiden otto tapahtuu. Ravinteiden hyvä saatavuus on tärkeä erityisesti perunalle, joka on tehokas sadontuottaja, mutta heikkojuurinen kasvi (Saarela ym. 1995).

Peruna, kuten muutkin kasvit, ottaa ravinteet tietyssä kemiallisessa muodossa. Typpeä kasvit ottavat mineraalimuodossa ammonium- ja nitraattityppenä, yleisimmin nitraattityppenä, sillä ammoniumtyppi muuttuu nopeasti nitraattitypeksi (Shepherd & Postma 2000). Nitraattityppi on vesiliukoista ja kulkee helposti maan vesien mukana (Mustonen 1995, Shepherd & Postma 2000). Typpi varastoituu maahan pääasiassa orgaanisessa muodossa ja on vasta mineralisoitumisen jälkeen kasvien käytettävissä (Shepherd & Postma 2000). Yli 95 % maan typestä on orgaanisessa muodossa (Mustonen 1995, Shepherd & Postma 2000). Epäorgaaninen mineraalityppi ei juurikaan varastoidu maahan, koska se on erittäin altis huuhtoutumiselle (Mustonen 1995, Shepherd & Postma 2000).

Orgaaninen typpi stabiloituu maassa pysyvään orgaaniseen ainekseen (= typen immobilisaatio) (Hassink 1992, ref. Shepherd & Postma 2000). Shepherd ja Postman (2000) mukaan maan orgaanisen typen määrään vaikuttavat maatyyppi (rakenne ja kuivatus), maan viljelyhistoria ja pellon topografia. Eniten orgaanista ainesta on pellossa, joka on ollut pitkään nurmiviljelyssä ja jota ei ole kynnetty (Shepherd & Postma 2000). Sippola ja Yläranta (1985, ref. Ylivainio ym. 2002) arvioivat viljellyssä mineraalimaassa olevan yleensä 5-6 t ha^{-1} typpeä, kun taas eloperäisissä maissa sitä on huomattavasti enemmän. Tästä typestä orgaanisessa muodossa on Wildin (1988, ref. Ylivainio ym. 2002) mukaan yli 90 %. Muokkaus hapettaa orgaanista ainesta, jolloin orgaanisen typen pitoisuus laskee (Shepherd & Postma 2000). Keskimäärin viljellyllä pellolla on Shepherdin ja Postman (2000) mukaan 7 tn ha^{-1} orgaanista typpeä ja vain 76 kg ha^{-1} mineraalityppeä. Typen nettomineralisaatio (= mineralisaatio-immobilisaatio (Sheperd & Postma 2000)) riippuu mm. typen ja orgaanisen hiilen suhteesta maassa sekä maan lämpötilasta ja kosteudesta (Vos & Mac Kerron 2000). Typen kierto maassa on biologinen prosessi (Jarvis ym. 1996, ref. Shpherd & Postma 2000), jota ohjaavat maan kasvit ja eläimet. Mineraalitypen määrään maassa vaikuttaa siis maan biologinen aktiivisuus (Shepherd & Postma 2000). Toisaalta typpeä myös katoaa maasta huuhtoutumalla, denitrifikaation myötä ja haihtumalla (Vos & Mc Kerron 2000). Näin ollen mineralisoituvan typen ja maan typpivarojen määrää on vaikea arvioida. Ammoniumtyppi muuttuu yleensä nopeasti nitraattitypeksi nitrifikaation kautta, joka on myös mikrobiologinen prosessi (Shepherd & Postma 2000). Nitrifikaatiota säätelevät Shepherdin ja Postman (2000) mukaan ammoniumtypen määrä, maan happamuus, maan happitila sekä lämpötila.

Maan ominaisuudet, kuten multavuus ja pellon aikaisempi viljelytausta vaikuttavat siihen, paljonko maassa on keväällä liukoista typpeä (Mustonen 1995). Vapautuvan mineraalitypen määrä riippuu maatyypistä, lisätystä orgaanisesta aineesta ja ympäristötekijöistä (Shepherd & Postma 2000). Esimerkiksi runsaasti hiiltä sisältävän olkisadon kyntäminen maahan aiheuttaa nettoimmobilisaation ja mineraalitypen määrän vähenemisen. Shepherd ja Postma (2000) arvioivat vapautuvan mineraalitypen määrän olevan yleensä 0,1-1,0 kg ha^{-1} d. Talven aikana huuhtoutuu osa syksyllä maassa olleesta mineraalitypestä (Mustonen 1995, Shepherd & Postma 2000). Eniten typpeä huuhtoutuu hietamailla, vähiten raskailla kivennäismailla (Shepherd & Postma 2000). Lähinnä huuhtoutuu nitraattityppeä, sillä ammoniumtyppi on vähemmän altis huuhtoutumaan, koska se sitoutuu negatiivisesti varautuneihin savipartikkeleihin (Shepherd & Postma 2000). Typpeä voi poistua maasta myös denitrifikaation myötä, jossa nitraattityppi muuttuu anaerobisissa oloissa tiettyjen bakteerien toimesta dityppioksidiksi (N_2O) tai typpikaasuksi (N_2) ja karkaa ilmaan. Denitrifikaatiota voi tapahtua esimerkiksi kovan sateen jälkeen (Addiscott & Powlson 1992, ref. Shepherd & Postma 2000). Denitrifikaation määrä on yleensä alhainen (Wheatley ym. 1991, ref. Postma ym. 2000).

Määrä vaihtelee Postman ym. (2000) mukaan 0-100 kg ha^{-1} vuodessa ja eniten denitrifikaatiota tapahtuu lannoituksen jälkeen, jos on märkää tai maahan lisätään paljon orgaanista hiiltä sisältävää ainesta (Aulakh ym. 1992, ref. Postma ym. 2000). Denitrifikaatiota säätelevät maan happitilan lisäksi lähinnä nitraatin määrä, orgaanisen hiilen määrä ja happamuus (Shepherd & Postma 2000). Typpeä voi myös karata maasta haihtumalla ammoniakkikaasuna, joskin sen merkitys on kuitenkin vähäistä, koska ammoniumtyppi nitrifioituu nopeasti nitraattitypeksi (Shepherd & Postma 2000). Sen sijaan karjanlantaa levitettäessä ammoniumtyppeä karkaa Shepherdin ja Postman (2000) mukaan helposti ammoniakkikaasuna ilmaan jopa 50 % ammoniumtypestä. Tähän voidaan vaikuttaa merkittävästi lannanlevitystekniikalla (Dosch & Gutser 1996, ref. Postma ym. 2000).

Maatalouden tutkimuskeskuksen otantamittauksissa vuosina 1991-1992 ja vuonna 1994 perunanviljelyssä olevilta pelloilta mitattiin 15-50 kg:n mineraalityppimääriä hehtaaria kohden. Tutkimuksen mukaan liukoisen typen määrään vaikuttivat maan multavuus ja esikasvi. Perunan käyttöön kasvukauden aikana maasta vapautuvaa typen määrää voidaan Mustosen (1995) mukaan arvioida maalajin, multavuuden ja esikasvin perusteella, joskin se on vaikeaa. Yleisarvio typen mineralisoitumisesta perunamaalla on Suomessa ja Ruotsissa tehtyjen tutkimusten mukaan keskimäärin 30-50 kg ha^{-1} (Mustonen 1995).

Kasvit ottavat fosforia yleensä epäorgaanisina fosfaatteina (Mengel & Kirkby 1982). Kailan (1963, ref. Ylivainio ym. 2002) mukaan suomalaisissa kivennäismaissa on fosforia yhteensä 390-1830 mg kg^{-1} ja turvemaissa 220-1990 mg kg^{-1}. Larsenin (1967, ref. Ylivainio ym. 2002) mukaan vain murto-osa tästä on liukoisessa muodossa maanesteessä. Merkittävä osuus fosforista on maan orgaanisessa aineksessa (Williams 1959, ref. Mengel & Kirkby 1982). Orgaanisen fosforin osuus kokonaisfosforista vaihtelee Dalalin (1977, ref. Ylivainio ym. 2002) ja Mandalin (1975, ref. Mengel & Kirkby 1982) mukaan välillä 20-80 %. Saarelan (2001) mukaan epäorgaanisten yhdisteiden merkitys on kasvin kannalta suurempi. Suomalaiset kivennäismaat sisältävät runsaasti raudan ja alumiinin oksideja ja hydroksideja, jotka pidättävät tehokkaasti fosfaatti-ioneja (Saarela 2001). Myös kalsium ja magnesium voivat muodostaa fosforin kanssa niukkaliukoisia komplekseja (Larsen 1967, ref. Ylivainio ym. 2002). Vähän fosforia sisältävässä maassa, fosfori saattaa pidättyä täydellisesti, mutta maan fosforipitoisuuden kasvaessa pidätyskyky heikkenee ja lisätty fosfori jää liukoiseen muotoon maanesteeseen, jossa se on kasvien käytettävissä (Saarela 2001). Maanesteestä kasvin juuriin siirtynyt fosfori korvautuu tehokkaasti maahiukkasten pinnoilta vapautuvalla fosforilla (Saarela 2001), sillä helppoliukoinen fosfori on tasapainossa maanesteen kanssa: kun fosforin konsentraatio maanesteessä kasvaa, sitoutuminen lisääntyy ja maanesteen laimentuessa fosforin liukoisuus taas kasvaa (Mengel & Kirkby 1982). Fosforin mineralisaatio orgaanisesta aineksesta riippuu maan mikrobien ja vapaitten fosfataasien aktiivisuudesta (Dalal 1977, ref. Ylivainio ym. 2002), joita molempia kontrolloi maanesteen fosforipitoisuus (Mc Gill & Cole 1981, ref. Ylivainio ym. 2002). Larsonin ym. (1972, ref. Ylivainio ym. 2002) mukaan lauhkeilla vyöhykkeillä vapautuu fosforia noin 10 kg ha^{-1} vuodessa.

Kalium on vesiliukoista ja siksi kasveille helposti käyttökelpoista. Perunanviljelyn tuloksena kalium on köyhtynyt monilta peltomailta (Kuisma & Hakkola 1996) ja siksi kaliumlannoitukseen on syytä kiinnittää jatkossa enemmän huomiota. Joistakin maista kaliumia rapautuu poistuneen tilalle ja näin negatiivinen kaliumtase voi jatkua pitkäänkin (Saarela 2001). Heikosti kaliumia sisältävillä mailla poistettu kalium tulee

korvata lannoituksella. Maalaji vaikuttaa helppoliukoisen kaliumin määrään maassa. Savimailla on hietamaita suurempi puskurikapasiteetti ylläpitää kaliumpitoisuutta maanesteessä. Eloperäisillä ja karkeilla kivennäismailla tarvitaan enemmän kaliumlannoitusta, koska niissä huuhtoutuminen on suurempaa (Mengel & Kirkby 1982).

Väkilannoitteiden ravinteet ovat aina kasveille käyttökelpoisessa mineraalimuodossa. Karjanlannassa ja muissa orgaanisissa lannoitteissa typpi ja fosfori ovat osaksi orgaanisessa muodossa ja niiden mineralisoituminen kasveille käyttökelpoiseen muotoon vie aikaa. Esimerkiksi Kemppaisen (1989, ref. Ylivainio ym. 2002) mukaan naudan kuivalannan kokonaistypestä (4,6 g kg^{-1}) vain 26 % on liukoisessa, kasville heti käyttökelpoisessa muodossa. Näin ollen karjanlannan typen käyttökelpoisuus on alhaisempi kuin väkilannoitetypen. Gutser ja Dosch (1996, ref. Ylivainio ym. 2002) ovat laskeneet, että merkittävin osa (66 %) kasvien vuotuisesta typen otosta on väkilannoitteita käytettäessä peräisin suoraan lannoitteesta, kun taas lietelantaa saaneessa pellossa merkittävin osuus (73 %) kasvin ottamasta typestä on peräisin maan orgaanisen typen mineralisaatiosta. Pangin ja Leteyn (2000, ref. Ylivainio ym. 2002) mielestä orgaanisilla lannoitteilla on vaikea tyydyttää sellaisen kasvin typen tarvetta, jolla on lyhyt kasvuaika ja joka ottaa typpeä jossakin kasvun vaiheessa hyvin nopeasti. Ympäristötuen ehtojen mukaan (MMM 2000, Mavi 2007) karjanlannan lannoitusarvoa laskettaessa, lannan ravinteista katsotaan kasveille käyttökelpoisiksi vain tietty osuus. Vuonna 2000 karjanlannan liukoisesta fosforista katsottiin olevan kasveille käyttökelpoista 75 % (MMM 2000). Uudella ympäristötukikaudella hyötysuhteen laskettiin olevan 85 % (Mavi 2007). Karjanlannan liukoisen typen käyttökelpoisuuteen vaikuttaa levitysajankohta. Vuonna 2000 syyslevityksessä lannan liukoisesta typestä laskettiin kasville käyttökelpoista olevan 50 % (MMM 2000). Hyötysuhde nostettiin uudella ympäristötukikaudella 75 %:in (Mavi 2007).

Maan viljavuus määritetään laboratoriotesteillä maanäytteistä, joita viljelijöiden tulee ottaa peltolohkoista viiden vuoden välein. Pääravinteiden osalta maanäytteistä analysoidaan liukoisen fosforin ja kaliumin pitoisuudet, joiden mukaan peltolohkot luokitellaan kappaleessa 2.2.1. mainittuihin viljavuusluokkiin.

Maan happamuuden vaikutus ravinteiden hyväksikäyttöön perunalla

Maan happamuus eli pH vaikuttaa erityisesti viljelykasvien ravinteiden ottoon ja maan rakenteeseen (Kuisma 1994) ja sitä kautta ravinteiden hyväksikäyttöön. Happamuuden vähentäminen parantaa Kuisman (1994) mukaan sekä pää- että sivuravinteiden (erityisesti Ca, Mg ja S) käyttökelpoisuutta. Maan happamuus vaikuttaa erityisesti fosforin liukoisuuteen ja käyttökelpoisuuteen kasveille (Kuisma 1994, Saarela 2001, Ylivainio ym. 2002). Happamassa maassa fosfori sitoutuu rauta- ja erityisesti alumiiniyhdisteiden (Saarela 2001, Ylivainio ym. 2002) kanssa, eikä ole enää kasvien saatavilla. Hyvin happamassa maassa tietyt kasveille haitalliset raskasmetallit (Al, Cd, Pb) sekä rauta, joka suurina määrinä on kasveille myrkyllinen, muuttuvat helppoliukoisiksi ja syrjäyttävät kasvulle välttämättömät ravinteet (Kuisma 1994).

Happamuus huonontaa myös maan rakennetta, sillä happamassa maassa mururakenne on huono, minkä seurauksena maa liettyy ja tiivistyy helposti (Kuisma 1994). Kuisman (1994) mukaan vaikutus korostuu, jos perunaa viljellään monokulttuurissa. Neutraalissa maassa (pH n. 7) mururakenne on hyvä ja kestävä (Kuisma 1994). Maan rakennetta parantavat Kuisman (1994) mukaan lisäksi neutraalissa maassa viihtyvät maan

pieneliöt, joista erityisesti bakteerit ja kastemadot ovat happamuudelle herkkiä. Niiden limamaiset eritteet edesauttavat hyvän mururakenteen muodostumista (Kuisma 1994).

Peruna pystyy kasvamaan Kuisman (1998) mukaan myös happamassa maassa (pH 3,5). Maan pH-luvun nousemisen kalkituksen seurauksena on myös esitetty lisäävän perunan rupisuutta, eikä perunamaita ole siksi juurikaan kalkittu (Kuisma 1998). Maan happamuuden haitat ja kalsiumin puute ovat Kuisman (1998) mukaan kuitenkin alkaneet yleistyä erityisesti ruokaperunateollisuudessa, jossa perunan sisäisen laadun hallinta on tullut keskeiseksi tekijäksi. Kaliumlannoituksen lisääntyminen laadun varmistajana ja sadetuksen yleistyminen ovat lisänneet kalkin puutosoireita erityisesti karkeilla, huuhtoutumisherkillä kivennäismailla (Kuisma 1994). Myös runsas magnesium haittaa kalsiumin saatavuutta, sillä pellossa vaihtuvan kalsiumin ja magnesiumin kokonaismäärä on kiinteä ja sidoksissa maan pH-lukuun, jolloin paljon magnesiumia sisältävälle maalle ei voi kertyä lisää kalsiumia, ellei maan pH-lukua nosteta kalkitsemalla (Kuisma 1998).

Viljavuustutkimuksen tulkinta peltoviljelyssä -oppaan (Viljavuuspalvelu Oy 2000) mukaan optimi maan pH-luku useimpien kasvien viljelyyn olisi 6,0-6,5 eli lievästi hapan. Perunanviljelylle suositellaan maan happamuusluokkaa tyydyttävä. Maaseutukeskusten liiton (1992) mukaan tavoite-pH ruoka-, ruokateollisuus- ja siemenperunalle on 5,8-6,0 ja tärkkelysperunalle 6,2-6,7 ja maan Ca-pitoisuus tulisi olla vähintään 1 000 mg l^{-1}. Saarelan (2001) mukaan 1 000 mg:n Ca-pitoisuustavoitetta ei pystytä läheskään kaikilla mailla saavuttamaan, jolloin päähuomio tulisi kiinnittää kalsiumin ja magnesiumin keskinäiseen suhteeseen, joka tulisi olla $^{8}/_{1}$-$^{13}/_{1}$. Siikajoella vuosina 1979-1982 tehdyn perunan kalkituskokeen mukaan maan pH-luvun nouseminen yli 6:n saattaa aiheuttaa rupiongelman (Hakkola & Luoma 1989). Kuisman (1998) mukaan perunatärkkelysteollisuuden kalkituskokeet (1979-1982), Maatalouden tutkimuskeskuksen kokeet Pohjois-Pohjanmaan Ruukin tutkimusasemalla 1970-1980 ja 1980-1990-lukujen vaihteessa sekä Perunantutkimuslaitoksella Lammilla 1980-luvun lopulla tehdyt kokeet osoittavat selvästi, että perunamaalle voidaan antaa kalkkia ainakin ylläpitokalkituksen mukainen määrä (n. 5 tn ha^{-1}) rupisuusriskin kasvamatta. Saarelan (2001) mukaan voimakas maan happamuus (huonompi kuin välttävä pH-luokka) ja korkeat pH-luvut (yli 6,7) heikentävät fosforin saantia. Korkeassa pH:ssa kasvien fosforin ottoa heikentää fosforin saostuminen kalsiumin kanssa (Saarela 2001).

Kalkitus paitsi nostaa peltomaan pH:ta ja vähentää happamuutta, tuo myös perunalle tärkeää kalsiumia maahan. Kalsium on perunalle tärkeä ravinne mm. kasvulle välttämättömän yhteyttämisvalmiuden edistäjänä (Kuisma 1994). Kuisman (1994) mukaan kalsium edistää myös itämistä. Riittävä kalsiumin saanti on tärkeää perunalle erityisesti mukulanmuodostuksen aikana (Kuisma 1994). Ruokaperunateollisuudessa riittävällä kalsiumin saannilla on merkitystä perunan kiinteän rakenteen säilyttämisen ja käsittely- ja taudinkestävyyden kannalta (Kuisma 1994).

Suomen maaperä on luontaisesti hapan ja se pyrkii edelleen happamoitumaan, mitä edesauttavat happamat typpilannoitteet, kasvien ravinteiden otto ja huuhtoutuminen (Kuisma 1994, Viljavuuspalvelu Oy 2000) sekä kasvien elintoimintojen tuottamat hapot ja happamat sateet (Kuisma 1994). Kuisman mukaan peruna ottaa 40-60 kg ha^{-1} kalkkia vuodessa, joskin sadonkorjuussa poistuu noin 6 % kaikesta perunan ottamasta kalkista, jolloin suurin osa otetusta kalsiumista palautuu peltoon. Kuisma (1994) suosittelee perunamaalle peruskalkituksen lisäksi ylläpitokalkitusta 8-10 vuoden välein siten, että perunaa ei viljellä heti kalkitsemisen jälkeen. Kalkituskokeissa on Kuisman (1994)

mukaan saatu hyviä tuloksia myös välittömästi istutuksen jälkeen tai ennen multausta tehdyllä kalkituksella.

Maan happamuus selvitetään viljavuusanalyysissä. Peltomaat luokitellaan happamuuden mukaisiin viljavuusluokkiin paitsi pH-luvun myös maalajin ja multavuuden mukaan. Savimailla ja vähämultaisilla mailla tarvitaan korkeampi pH tietyn viljavuusluokan saavuttamiseksi verrattuna multaviin ja eloperäisiin maihin. Viljavuusluokat ovat samat kuin ravinneanalyyseissä, eli: huono, huononlainen, välttävä, tyydyttävä, hyvä, korkea ja arveluttavan korkea.

Esikasvin ja viljelykierron vaikutus ravinteiden hyväksikäyttöön perunalla

Kasvinvuorottelu vaikuttaa ravinteiden hyväksikäyttöön erityisesti parantamalla maan rakennetta ja vähentämällä rikkakasvien ja tautien ja tuholaisten määrää (Maaseutukeskusten liitto 1992). Monokulttuurissa, jossa perunaa viljellään samalla peltolohkolla vuodesta toiseen, maan orgaanisen aineksen määrä vähenee, mikä mm. heikentää maan rakennetta ja ilmavuutta sekä veden- ja ravinteidenpidätyskykyä (Stark & Porter 2005). Perunantuotantoon erikoistuneilla tiloilla monokulttuurin haitat ovat yleinen ongelma niin Suomessa (Maaseutukeskusten liitto 1992) kuin ulkomailla (Stark & Porter 2005).

Ravinnetalouden kannalta monokulttuurin haittoja ovat maan ravinnepitoisuuden vääristyminen. Pitkäaikaisessa perunanviljelyssä on tyypillistä maan kalium- ja fosforiarvojen sekä liukoisen typen määrän nouseminen ja magnesiumin määrän väheneminen (Maaseutukeskusten liitto 1992). Muita monokulttuurin haittoja ovat kasvitautien ja tuholaisten sekä tiettyjen hankalasti hävitettävien rikkakasvien lisääntyminen (Maaseutukeskusten liitto 1992).

Tutkimusten mukaan peruna menestyy parhaiten lyhytikäisten nurmien, kauran ja palkokasvien jälkeen (Maaseutukeskusten liitto 1992). Peruna on myös hyvä esikasvi muille viljelykasveille (Maaseutukeskusten liitto 1992). Kuisman (2008) mielestä nurmi ei toimi tiiviissä viljelykierrossa, koska monivuotisen nurmen päättäminen vaatii aikaa. Runsas kasvinjäte nurmen jälkeen tuottaa Kuisman (2008) mukaan teknisiä ongelmia perunan viljelylle. Myös juurimato saattaa vaivata perunaa nurmen jälkeen (Kuisma 2008). Kuisma (2008) suosittelee kiertoa, jossa on 1-2 vuotta perunaa ja 4-5 vuotta nurmea sekä 2 vuotta viljaa pitkän nurmen jälkeen ennen perunaa. Rahkosen (1995) mukaan kesannointi perunakierrossa hoitaa maan rakennetta ja parantaa kasvukuntoa sekä tuottaa typpeä seuraavan sadon käyttöön. Parhaita kesantokasveja ovat tutkimusten mukaan monivuotinen heinänurmi tai heinäapilaseosnurmi, jotka talvehtivat hyvin sekä yksivuotiset raiheinät, virnat ja öljyretikka sekä rehurapsi (Rahkonen 1995).

Maaseutukeskusten liiton (1992) suositusten mukaan perunan osuus ei saisi olla perunatilan viljelykierrossa yli 50 %:a vaan kahden perunavuoden jälkeen tulisi viljellä kolme vuotta välikasvia. Kuisman (2008) mielestä turvallinen viljelykierto on 1 vuosi perunaa, jonka jälkeen 2-3 vuotta välikasvia. Kuisman (2008) mukaan monokulttuurin haitoista ensimmäisenä vastaan tulevat maan rakenteen heikkeneminen ja kasvinsuojeluongelmat. Perunan laadun kannalta jo toinen perunavuosi peräkkäin on liikaa, mikä korostuu ruokaperunanviljelyssä (Kuisma 2008). Kuisman (2008) mielestä vilja on teknisesti paras esikasvi perunalle. Viljoista kannattaa Kuisman (2008) mukaan valita vähempiolkinen ohra, sillä suuri määrä orgaanista ainesta (runsas olkisato)

aiheuttaa herkästi typpivajausta ja liika ilmavuus saattaa aiheuttaa tautiongelmia, kuten seittiä ja versolaikkua. Rypsin esikasviarvoa haittaavat samat taudit (esim. pahkahome) perunan kanssa (Kuisma 2008).

Viljely- ja lannoitustekniikan vaikutus ravinteiden hyväksikäyttöön perunalla

Ravinteiden hyväksikäyttöä parantavat Rajalan ym. (2001) mukaan olosuhteisiin sopivan viljely- ja lannoitustekniikan käyttö, viljelytoimien oikea ajoitus, elinvoimaisen kylvösiemenen käyttö, satoisan ja alueelle sopivan lajikkeen käyttö sekä onnistunut kasvinsuojelu. Tässä yhteydessä tarkastellaan lähemmin vain perunan lannoitustekniikkaa.

Lannoitteen sijoittamisen hyötyjä perunanviljelyssä on tutkittu niin kotimaassa kuin ulkomailla. Matalajuurisena kasvina peruna pystyy ottamaan ravinteita vain hyvin läheltä mukulapesää, joskin Saarelan (2001) mielestä peruna pystyy ottamaan joitakin ravinteita myös muokkauskerrosta syvemmältä. Maahan keväällä levitetty lannoite sekoittuu maahan epätasaisesti ja esimerkiksi liukoinen fosfori liikkuu vain parin sentin säteelle lannoiterakeesta (Saarela 2001). Perunalla käytettävät suuremmat fosforimäärät, pidemmät lannoiterivien välit ja maan fosforikylläisyys mahdollistanevat fosforin leviämisen sijoitettuna vähän pidemmälle (Saarela 2001). Lannoitteen sijoittamisella lähelle mukulaa on saatu hyviä tuloksia niin kotimaisissa kuin ulkomaisissakin (esim. Harris 1992, Postma ym. 2000) tutkimuksissa. Esimerkiksi perunantutkimuslaitoksen kokeissa vuosina 1986-1988 sijoituslannoitus nosti satoa lannoitusmäärästä riippumatta (Torttila 1995). Jokioisilla vuosina 1981-1992 tehdyissä kokeissa verrattiin mm. rivilannoituksen ja sijoitetun lannoituksen vaikutusta perunasatoon. Sijoitetulla fosforilannoitteella saatu sadonlisä oli 2,4 t ha^{-1} (Saarela 2001). Maaseutukeskusten liiton (1992) mukaan sijoittamalla lannoite lähelle kasvin juurta pinta- ja hajalevityksen sijaan, voidaan lannoitusmäärää perunalla vähentää jopa 25 %.

Karjanlannan ravinteiden hyödyntämistä voidaan Postman ym. (2000) mukaan parantaa multaamalla sekä lannan kemiallisella (nitrifikaation inhibiittorit) käsittelyllä. Joki-Tokolan ym. (1998, ref. Ylivainio ym. 2002) mukaan lietelannan hajalevityksessä voi jopa 40 % liukoisesta typestä haihtua ammoniakkina ilmaan. Lietelannan sijoittaminen vähensi haihdunnan määrän 0,4 %:in (Joki-Tokola ym. 1998, ref. Ylivainio ym. 2002). Myös lannan levitysajankohta vaikuttaa. Syyslevityksessä typen hyötysuhde on selvästi huonompi (Froment ym. 1992, ref. Ylivainio ym. 2002; Gladwin ja Beckwith 1992, ref. Ylivainio ym. 2002). Karjanlannan pikaisella multauksella levityksen jälkeen pystytään vähentämään merkittävästi typen haihtumista (Turtola & Kemppainen 1998, ref. Ylivainio ym. 2002).

Jaetun typpilannoituksen vaikutuksia perunan typpitalouden tehostamiseen on tutkittu ulkomailla ja Suomessa. Suurten lannoitetyppimäärien jakamisella useampaan erään on saatu hyviä tuloksia keskieurooppalaisissa ja ruotsalaisissa tutkimuksissa (Kuisma 2002). Perunantutkimuslaitoksella vuosina 1993-1995 tehty tutkimus kuitenkin osoitti, ettei typpilannoituksen jakamisesta ole Suomen kasvuoloissa hyötyä noudatettaessa voimassa olevia lannoitesuosituksia. Samaan tulokseen on päästy myös useissa ulkomaalaisissa tutkimuksissa (esim. Joern & Vitosh 1995a, Gavlak ym. 1993, Carlsson 1995).

Lannoitteen koostumusta muuttamalla on myös pyritty parantamaan ravinteiden hyväksikäyttöä. Esimerkiksi lannoitteen kapseloinnilla on saatu hyviä tuloksia

hietamailla tehdyissä tutkimuksissa, jossa kaliumin ja typen huuhtoumaa pystyttiin vähentämään (Bester 1996). Maatalouden tutkimuskeskuksen Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasemalla Ruukissa tutkittiin fosforin starttilannoitusta vuonna 2000. Tutkimuksessa selvitettiin fosforilannoituksen tehostamista antamalla osan fosforilannoitteesta tehokkaammassa MAP–muodossa sijoittamalla tai nestemäisenä kastelulannoitteena (KEMFOS). Tulosten mukaan fosforilannoituksen määrä tai olomuoto ei vaikuttanut satomääriin, mutta fosforin hyväksikäyttöaste oli selvästi parempi tehokkaimmilla fosforilannoitteilla (MAP ja KEMFOS) kuin muilla lannoitemuodoilla (Maatalouden tutkimuskeskus 2000).

2.3 Perunanviljelyn ravinnehuuhtoumat

Vesistönsuojelun kannalta on olennaista tarkastella typen ja fosforin ylijäämää perunanviljelyssä. Sisävesissä, kuten tutkimusalueella Lappajärven valuma-alueella, fosfori on vesistöjen ravinnekierrossa minimitekijä ja siten rehevöitymisen pääasiallinen aiheuttaja. Maahan helposti ja lujasti sitoutuva fosfori päätyy vesistöihin yleensä kevät- ja syysvalunnoissa maa-aineksen mukana eroosion myötä (Tiainen & Puustinen 1989, Turtola 1999, ref. Ylivainio ym. 2002).

Ympäristötuen vaikutuksia maatalouden vesistökuormitukseen on seurattu MYTVAS -tutkimuksin, joista jälkimmäisen, MYTVAS 2 -tutkimuksen tulokset julkaistiin huhtikuun alussa 2008. Sen mukaan maatalouden typpilannoitteiden käyttömäärä on vähentynyt 25 % hehtaaria kohti ja fosforin määrä 60 % vuodesta 1995 lähtien, jolloin Euroopan Unioniin liittymisen myötä valtaosa viljelijöistä sitoutui ympäristötuen ehtojen mukaiseen viljelyyn (Turtola & Lemola 2008). Myös ravinnetaseet ovat tulosten mukaan pienentyneet. Keskimääräinen hehtaarikohtainen typpitase on laskenut 90 kg:sta 50 kg:aan ja fosforitase 18 kg:sta 6 kg:aan (Turtola & Lemola 2008). MYTVAS 2 -tutkimuksen ravinnetaselaskelmat osoittivat typpitaseitten olevan korkeammat kotieläintiloilla kuin kasvinviljelytiloilla. ICECREAM -mallinnuksella todettiin typpilannoituksen vähenemisen vähentävän typen huuhtoumaa, joskin sääolojen suuri vaikutus huuhtoumiin saattaa estää lyhyellä aikavälillä tapahtuneiden muutosten näkymisen tuloksissa (Turtola & Lemola 2008). Kuitenkin vaikutukset vesistöön ovat varsinkin fosforin osalta hitaita, eikä muutos vielä näy vesistöjen laadussa. Tulosten mukaan typpitaseiden pieneneiminen on mitä todennäköisimmin johtanut vesistökuormituksen vähenemiseen ja fosforitaseitten pieneneminen on pienentänyt kuormituspotentiaalia (Turtola & Lemola 2008).

Vesiensuojelun kannalta ongelmalliseksi Turtola ja Lemola (2008) kokevat kotieläintuotannon keskittymisen, joka johtaa paikalliseen lannan ylituotantoon ja ravinnetaseiden nousuun. Lannan käyttöä tulisi heidän mielestään tehostaa nostamalla lannan sisältämien ravinteiden lannoituksessa käytettävät hyötysuhteet 100 %:in. Toinen ongelma on se, että lannoitussuositusten ravinnemäärät ovat edelleen korkeampia kuin sadon mukana poistuvat ravinnemäärät, mikä kasvattaa ravinnetaseita. Turtolan ja Lemolan (2008) mielestä lannoitustarpeita tulisi tutkia uudelleen. Lannoituksen tarkentamisen lisäksi muita vesiensuojelun kannalta tärkeitä tekijöitä ovat maan hyvästä rakenteesta ja vesitaloudesta huolehtiminen ja säännöllinen kalkitus (Turtola & Lemola 2008). Kohdennettuja toimenpiteitä tulisi suunnata kuormitukseltaan suurimmille kohteille, joita ovat korkean P-luvun omaavat tai kaltevat tai vesistöä lähellä olevat pellot.

2.3.1 Perunanviljelyn typpi- ja fosforihuuhtoumat Lappajärven valuma-alueella

Maatalouden on arvioitu Suomessa aiheuttavan noin 50 % vesistöjen typpi- ja 60 % vesistöjen fosforikuormituksesta (Uusitalo ym. 2007, Valpasvuo-Jaatinen ym. 1997, ref. Ylivainio ym. 2002). Voimakkaasti rehevöityneen Lappajärven (142 km^2) ulkoinen kuormitus on pääasiassa hajakuormitusta, josta maatalouden osuus on suurin (Aaltonen ym. 2002, Huitu 2003). Ulkoisesta fosforikuormituksesta (54 000 kg a^{-1}) suurin osa tulee maataloudesta (25 100 kg a^{-1}), josta pääosa on peltoviljelyn aiheuttamaa kuormitusta (Huitu 2003). Typen ulkoisen kuormituksen kokonaismäärästä (934 000 kg a^{-1}) maatalouden osuus on 355 000 kg a^{-1}, mikä on noin 50 000 kg pienempi kuin typen perushuuhtouma alueelta (Huitu 2003). Fosforilla perushuuhtouman on laskettu olevan 19 400 kg a^{-1}. Huitu (2003) on tehnyt kuormituslaskelmat vuodelle 1999 paikkatietojärjestelmään perustuen hyödyntäen lisäksi aikaisempia kuormitusselvityksiä alueelta (Aaltonen ym. 2002, Viitasaari 1989, ref. Huitu 2003). Huitun (2003) mukaan peltoviljely on Lappajärven suurin kuormittaja. Peltoviljelyn kuormituksen Huitu (2003) arvioi hehtaarikohtaisten ominaiskuormituskertoimien avulla, jossa perunan viljelyn vuotuisena fosforikuormituksena käytettiin 1990 g P ha^{-1} , mikä on noin kaksinkertainen verrattuna viljan fosforikuormitukseen ja noin kolminkertainen verrattuna nurmen tai viherkesannon fosforikuormitukseen. Typen vuotuisena kuormituksena laskelmassa käytettiin 17 kg N ha^{-1} viljelykasvista riippumatta (Huitu 2003). Peltoviljelyn aiheuttama kuormitus Lappajärven valuma-alueella oli Huitun (2003) laskelmien mukaan vuonna 1999 noin 19 700 kg fosforia ja 355 000 kg typpeä. Perunan osuus Lappajärven kuormituksesta on Huitun (2003) kuormitusselvityksestä laskettujen tietojen mukaan 3 284 kg fosforia a^{-1}, mikä vastaa noin 17 % osuutta peltoviljelyn fosforikuormituksesta, ja 28 050 kg N a^{-1}, mikä on peltoviljelyn aiheuttamasta typpikuormituksesta noin 8 %.

2.3.2 Perunanviljelyn fosforihuuhtoumat ja niiden vähentäminen

Rekolaisen ym. (1995, ref. Ylivainio ym. 2002) ja Vuorenmaan ym. (2002, ref. Ylivainio ym. 2002) mukaan Suomessa huuhtoutuu viljellyiltä mailta vuosittain 0,8-1,9 kg ha^{-1} fosforia. Fosforia huuhtoutuu pelloilta pinta- ja salaojavalunnassa maahiukkasten mukana tai liukoisessa muodossa (Heckrath ym. 1995, ref. Ylivainio ym. 2002; Hooda ym. 1999, ref. Ylivainio ym. 2002; Turtola 1999, ref. Ylivainio ym. 2002; Turtola & Jaakkola 1995, ref. Ylivainio ym. 2002; Uusitalo ym. 2001, ref. Ylivainio ym. 2002). Pääosa fosforista huuhtoutuu pintavalunnassa (Turtola 1999, ref. Ylivainio ym. 2002; Turtola & Jaakkola 1995, ref. Ylivainio ym. 2002; Turtola & Kemppainen 1998, ref. Ylivainio ym. 2002) maahiukkasiin sitoutuneena eroosion seurauksena kevät- ja syysvalunnoissa (Tiainen & Puustinen 1989; Turtola 1999, ref. Ylivainio ym. 2002). Fosforin huuhtoutumiseen vaikuttavat Ylivainion ym. (2002) mukaan maan fosforitila (fosforin kylläisyysaste) ja maan helppoliukoisen fosforin pitoisuus, lannoitusmäärä, -ajankohta ja -menetelmä, maalaji, kasvillisuus, sateen määrä ja voimakkuus sekä maan muokkaus. Tutkimusten mukaan maan fosforin kyllästysasteen kasvaessa, fosforin liukoisuus kasvaa ja riski huuhtoutumiseen lisääntyy (Ylivainio ym. 2002). Myös Turtolan ja Lemolan (2004) mukaan valumavesien liuenneen fosforin ja maa-analyysin liukoisen fosforiluvun (P-luku) välillä on selvä yhteys.

Pelloille levitettävän fosforin määrä on selvästi vähentynyt viimeisten parin vuosikymmenen aikana. Väkilannoitefosforin myynti alkoi kasvaa 1950-1960-lukujen

vaihteessa ja saavutti huippunsa vuonna 1975, jolloin väkilannoitefosforia laskettiin levitettävän pellolle reilusti yli 30 kg ha^{-1} (Yli-Halla ym. 2001). Väkilannoitefosforin määrät ovat pudonneet tuosta nykyiseen noin 10 kg:on ha^{-1} (Yli-Halla ym. 2001). Fosforin osalta vaikutukset ovat kuitenkin hitaita, koska vuosikymmenten aikana maahan kertyneiden fosforireservien purkaminen vie aikaa. Suomen Viljavuuspalvelu Oy:n tilastojen perusteella maan fosforireservit kasvoivat lähes kolminkertaisiksi 1960-luvun alun keskimääräisestä pitoisuudesta 1990-luvun loppuun mennessä, jonka jälkeen pitoisuudet ovat ehkä hieman laskeneet (Turtola ja Lemola 2008). Maan helppoliukoisen fosforin pitoisuudet ovat Yli-Hallan ym. (2001) mukaan lannoituksen vähentymisestä huolimatta edelleen korkeat. Odotettavaa on, että pitkällä tähtäimellä maan helppoliukoisen fosforin varat reagoivat fosforilannoituksen määrän pienenemiseen (Yli-Halla ym. 2001). Turtola ja Lemola (2008) tutkivat maatalouden ympäristötuen vaikutuksia vesistökuormitukseen MYTVAS 2 -tutkimuksessa, jossa mm. laskettiin ravinnetaseita eri alueilla Suomessa. Heidän mukaansa erikoiskasveja, kuten perunaa tuottavilla tiloilla olivat korkeammat fosforitaseet kuin muilla tuotantosuunnilla. Turtolan ja Lemolan mukaan (2008) erikoiskasvien lannoitustarpeet vaatisivat lisää tutkimusta. Myös kotieläintiloilla oli viljatiloja korkeammat fosforitaseet, mikä Turtolan ja Lemolan (2008) mukaan johtuu karjanlannan fosforin heikosta hyödyntämisestä. Fosforitaseissa näkyi myös aluekohtaisia eroja riippuen mm. kotieläintuotannon sijoittumisesta maassamme. Tulosten mukaan ylijäämäinen fosforitase kasvatti peltomaan helppoliukoisen fosforin pitoisuutta ja lisäsi näin huuhtoumariskiä (Turtola & Lemola 2008).

Lemolan ym. (2000) perunanviljelytiloilta kerättyihin viljelytietoihin perustuvassa tutkimuksessa selvitettiin mm. perunanviljelyn fosforikuormitusta ja maan fosforitilan muutoksia perunanviljelyn seurauksena. Fosforikuormituksen laskennassa käytettiin simulointiin perustuvaa ICE CREAM -mallia, joka on kehitetty Suomen ympäristö-keskuksessa (Turtola & Lemola 2004). Pelloilta simuloitiin eroosiomäärät sekä liukoisen fosforin määrät. Eroosiofosforin määrät vaihtelivat < 0,1-1,4 kg ha^{-1} pellon kaltevuuden mukaan (0,1-4 %). Eroosiofosforin osalta saatiin pienempiä määriä kuin Turtola ja Kemppainen (1998, ref. Lemola ym. 2000) saivat kenttäkokeissa ohralla vuosina 1992-1993. Eroosiofosforin tulokset Lemolan ym. (2000) tutkimuksessa ovat kuitenkin sopusoinnussa sen kanssa, että tutkimuksessa mukana olleet lohkot olivat varsin tasaisia ja maalajiltaan karkeaa hietaa. Eroosio on suurempaa jyrkemmillä ja hienojakoisemmilla mailla (esim. Palva ym. 2001, Puustinen 1994, ref. Lemola ym. 2000). Tulosten mukaan pellolta tulevan fosforikuormituksen suuruuteen vaikuttivat eniten pellon kaltevuus ja maan P-luku (Lemola ym. 2000). Runsas fosforilannoitus kasvattaa maan fosforireservejä ja nostaa P-lukua. Simuloitu keskimääräinen liuenneen fosforin kuormitusmäärä vaihteli välillä 0,18-0,33 kg ha^{-1} (Lemola ym. 2000). Tulokset olivat selvästi suurempia kuin Turtolan ja Kemppaisen (1998, ref. Lemola ym. 2000) tutkimuksessa Toholammin (< 0,1 kg P ha^{-1}) tasaisilla, karkeilla hietamailla, mikä johtunee siitä, että Toholammin kokeessa huuhtoutumiskentän P-luku oli vain välttävä ja lohko oli lannoittamaton. Suurimmat huuhtoumat (> 0,3 kg ha^{-1}) saatiin P-luvultaan korkeilla mailla, mikä tukee Yli-Hallan ym. (1995) saamia tuloksia. Liuenneen fosforin kuormitusmäärät olivat perunamailla pienempiä kuin NPK-lannoitetuilla nurmiruuduilla Toholammin kentällä, jossa vuosittainen valumaveteen liuenneen fosforin määrä oli 0,9-2,0 kg ha^{-1}. Lemola ym. (2000) pitävät tuloksia oikeina, sillä perunalla lannoitteet mullataan, mikä vähentänee valumaveteen pääsevän liukoisen fosforin määrää verrattuna pintalannoitettuihin nurmiin.

Lannoitefosforin keskeisenä ongelmana on huono hyväksikäyttöaste, sillä lannoitteessa annettu helppoliukoinen fosfori sitoutuu herkästi levityksen jälkeen maan kiintoainekseen (Kuisma 1990). Suomessa arvioidaan lannoitteen fosforista tulevan kasvien käyttöön ainoastaan 10-30 % (Kuisma 1990). Kuisman (1990) mukaan maahan pidättyvän fosforin määrä kasvaa koko ajan ja on voimakkaampaa viljelykasveilla, joilla fosforilannoitus on suuri, kuten perunalla. Karkeilla kivennäismailla kyntökerroksen alapuolelle on saattanut huuhtoutua fosforia (Saarela 2001). Korkeita fosforipitoisuuksia muokatun kerroksen alapuolelta löytyy helposti myös turvemailta sekä runsaasti fosforia sisältäviltä mailta (Saarela 2001). Maatalouden tutkimuskeskuksen viljavuustutkimuksen mukaan perunapeltojen fosforipitoisuudet ovat nousseet parin vuosikymmenen aikana ollen korkeampia kuin vastaavien maaseutukeskusten alueen kevyillä kivennäismailla keskimäärin (Lemola ym. 1998, 2000). Maan korkea fosforiluku lisää fosforin huuhtoumariskiä (Ylivainio ym. 2002, Turtola & Lemola 2004) .

Maahan herkästi pidättyvä fosfori liikkuu maassa huonosti (Kuisma 1990). Vesistöihin fosfori päätyykin pääasiassa maa-aineksen mukana eroosion myötä. Kuisma (1990) arvioi suurimman osan tästä fosforista olevan biologisesti tehotonta, minkä vuoksi vesiensuojelussa päähuomio tulisikin fosforin osalta kiinnittää lannoituksen sijasta eroosion torjuntaan. Savimaita ei ole pidetty yhtä eroosioherkkinä kuin karkeampia lajittuneita kivennäismaita. Saveksessa on kuitenkin paljon hienoainesta, joka on kemiallisesti aktiivista ja vaikuttaa vahvasti vesistöjen laatuun sinne joutuessaan (Aura ym. 2006). Uusitalon ja Ekholmin (2003, ref. Aura ym. 2006) arvion mukaan pienissä maahiukkasissa kulkeutuu vesistöön leville käyttökelpoista fosforia yhtä paljon kuin epäorgaanisessa vesiliukoisessa muodossa. Hapettomuus lisää merkittävästi kiinteän aineen fosforin aktiivisuutta (Aura ym. 2006). Kasvipeitteisyys ja muokkauksen keventäminen sekä talviaikaisten katekasvien viljely vähentää eroosiota (Aura ym. 2006). Nämä toimenpiteet eivät ole Auran ym. (2006) mukaan kuitenkaan riittäviä eroosion torjumiseksi. Salaojituksen toimivuudesta huolehtiminen vähentää pintavaluntaa ja lisää maan kestävyyttä vähentäen siten eroosiota (Aura ym. 2006). Turtolan ja Paajasen (1995, ref. Aura ym. 2006) sekä Uusitalon ym. 2001 (ref. Aura ym. 2006) mukaan toimivien salaojien kautta tapahtuva fosforin huuhtouma voi olla merkittävää. Salaojista huuhtoutuvan fosforin vähentämiseen on käytetty kalkkisuodinsalaojitusta (Palva ym. 2001). Ojituksen kautta tapahtuvan fosfori-huuhtouman hallintaan tarvitaan lisää tutkimusta ja tekniikan kehitystä (Paasonen-Kivekäs & Koivusalo 2006). Maan rakenteen kestävyyden lisäämisestä stabilointi-aineita, kuten kalkkia käyttämällä on myös saatu lupaavia tutkimustuloksia (Aura ym. 2006, Paasonen-Kivekäs & Koivusalo 2006). Vesistöjen lähellä tarpeellisten kasvipeitteisten suojakaistojen ja -vyöhykkeiden on todettu pidättävän tehokkaasti ravinteita. Nurmipeitteisten suojakaistojen on todettu vähentävän keskimäärin 60 % eroosioaineksen määrää syksyllä ja 40 % keväällä (Uusi-Kämppä & Kilpinen 2000). Maa-ainekseen sitoutuvasta fosforista suojakaistat pidättävät keskimäärin 40 % (Uusi-Kämppä & Kilpinen 2000). Liuenneen fosforin kuormitusta suojakaistat vähentävät Uusi-Kämpän ja Kilpisen (2000) tutkimusten mukaan 10-20 %. Nurmipeitteisen suojakaistan niittäminen ja niittojätteen pois kerääminen on Uusi-Kämpän ja Kilpisen (2000) mukaan tärkeää liukoisen fosforin kulkeutumisen vähentämiseksi. Suojakaistoja tarvitaan erityisesti jyrkillä rinnepelloilla. Vähintään 3 metriä leveät suojakaistat ovat pakollisia vesistöjen ja valtaojien varsilla (Mavi 2007). Sopiviin paikkoihin voidaan myös perustaa laskeutusaltaita tai kosteikkoja sekä näiden yhdistelmiä, joiden on todettu pidättävän kiintoainesta sekä siihen sitoutuneita ravinteita (Äijö & Tattari 2000).

Vaikka peruna ottaakin sadossaan niukasti fosforia, vain 15-20 kg ha^{-1}, on fosfori perunan kehityksen ja laadun kannalta tärkein ravinne. Voimakkaan maahan pidättymisen takia fosforia on annettava lannoituksessa tarpeeseen nähden moninkertainen määrä riittävän saannin turvaamiseksi (Kuisma 1990). Maatalouden tutkimuskeskuksessa ja Perunantutkimuslaitoksella tehtyjen uusimpien tutkimusten myötä on myös tarkistettu perunan fosforilannoitussuositukset nykyiselle tasolle, jossa ympäristönäkökohdat on pyritty ottamaan mahdollisimman hyvin huomioon (Kuisma 1990). Suositusten mukaan fosforilannoitus on tarpeellinen perunalle myös fosforitilaltaan hyvässä pellossa (Mavi 2007).

2.3.3 Perunanviljelyn typpihuuhtoumat ja niiden vähentäminen

Typpi huuhtoutuu pääasiassa nitraattimuodossa (NO_3^-) (Postma ym. 2000) juurivyöhykkeeltä alaspäin, kun sataa tai kastellaan. Ylivainion ym. (2002) mukaan Suomessa huuhtoutuu viljellyiltä mailta vuosittain noin 10-20 kg ha^{-1} typpeä pinta- ja salaojavalunnassa. Eniten typpeä huuhtoutuu salaojien kautta, mikäli ne toimivat hyvin (Ylivainio ym. 2002). Huuhtoutuman määrään vaikuttaa nitraattitypen määrä juurivyöhykkeellä (Postma ym. 2000), mikä taas Ylivainion ym. (2002) mukaan riippuu mm. lannoitustasosta, typen mineralisaation määrästä sekä sadon määrästä. Huuhtouman määrään vaikuttavat myös pellon kaltevuus (Ylivainio ym. 2002), kastelun tai sateen määrä (Postma ym. 2000, Ylivainio ym. 2002), juurten syvyys ja maan ominaisuudet (rakenne, maalaji) (Postma ym. 2000, Ylivainio ym. 2002). Maalaji ja maan rakenne vaikuttavat vedenjohtokykyyn, joka määrää valunnan jakautumisen pinta- ja salaojavaluntaan (Ylivainio ym. 2002). Shepherdin (1992, ref. Postma ym. 2000) ja Ylärannan ym. (1993, ref. Ylivainio ym. 2002) mukaan eniten typpeä huuhtoutuu hietamailta, jossa suurempi osa typestä on mineraalimuodossa, ja vähiten turvemailta. Turvemailta on Ylivainion ym. (2002) mukaan saatu myös hieta- ja savimaita korkeampia typen huuhtoumia, mikä johtuu siitä, että turvemailta huuhtoutuu enemmän muita typen muotoja. Maan savespitoisuuden ja orgaanisen aineksen pitoisuuden kasvaminen parantavat maan vedenpidätyskykyä ja vähentävät siten huuhtoutuvan typen määrää (Bergström & Johanson 1991, ref. Ylivainio ym. 2002).

Kasvukauden aikana huuhtoutuvan nitraattitypen määrään vaikuttavat Postman ym. (2000) mukaan mineraalitypen määrä maassa ja maan kuivatusolot. Säätekijät vaikuttavat olennaisesti huuhtoumiin. Keväällä runsas evaporaatio vähentää huuhtoumia, vaikka maan nitraattipitoisuus on lannoituksen myötä korkea (Ylivainio ym. 2002). Kova sade voi kuitenkin huuhtoa lannan nitraattitypestä jopa yli puolet ja kokonaistypestä 20 % (Edwards & Daniel 1993, ref. Ylivainio ym. 2002). Kolmen ensimmäisen viikon aikana lannoitteiden kylvöstä tapahtuva vesisade oli pääsyy nitraattitypen huuhtoutumiseen syysvehnällä, kun maan nitraattityppipitoisuus oli korkea (Postma ym. 2000). Shepherdin (1992, ref. Postma ym. 2000) mukaan typpihuuhtoumat voivat olla perunalla lannoitteiden kylvön jälkeen merkittäviä (40-80 kg ha^{-1}). Postman ym. (2000) mukaan typpihuuhtoumista perunalla ei ole juurikaan tutkimustuloksia. Postma ym. (2000) arvioivat typpilannoituksen hävikin olevan perunalla 10-20 %.

Typpihuuhtoumat ovat suuremmat kasvukauden jälkeen syksyn ja talven sateiden sekä kevään sulamisvesien huuhtoessa maahan jäänyttä mineraalityppeä (Eltun & Fugleberg 1996, ref. Ylivainio ym. 2002; Turtola & Kemppainen 1998, ref. Ylivainio ym. 2002). Postman ym. (2000) mukaan maahan kasvukauden jälkeen jäävä mineraalityppi

todennäköisesti huuhtoutuu. Maahan jäävän nitraattitypen määrään vaikuttaa mm. annettu lannoitus ja viljeltävä kasvi sekä maahan jäävän tai lisättävän orgaanisen aineksen määrä (Postma ym. 2000). Useissa tutkimuksissa on todettu typen huuhtouman olevan pienempää nurmelta kuin viljalta (esim. Barraclouhg ym. 1992, ref. Ylivainio ym. 2002; Turtola ja Puustinen 1998). Johnson ym. (1996) huomasivat typen huuhtoumien olevan suurempia perunalla kuin viljalla. Eltunin ja Fuglebergin (1996, ref. Ylivaino ym. 2002) mukaan viljelykasvi vaikuttaa siihen, kuinka suuri osuus typestä on nitraattimuodossa syksyllä. Nitraattitypen osuus oli alhaisin nurmella (23 %) ja korkein varhaisperunalla (80 %). Myös Vos ja Mac Kerron (2000) huomasivat perunan jättävän maahan melko korkeita jäännöstyppimääriä. Solbergin (1995, ref. Ylivainio ym. 2002) ja Honischin ym. (2002, ref. Ylivainio ym. 2002) mukaan perunanviljely kohottaa korkeiden nitraattitypen huuhtoutumispotentiaalia pintamaan korkeiden nitraattipitoisuuksien vuoksi. Shepherdin ja Lordin (1996, ref. Postma ym. 2000) mukaan jäännöstypen määrä on perunalla suurempi kuin muilla kasveilla, tosin tutkimuksessa annettu typpilannoitusmäärä (220 kg ha^{-1}) perunalle oli yli kaksinkertainen Suomen lannoitussuositukseen (80 kg ha^{-1}) verrattuna. Lisäksi Suomessa syksyn ja kevään alhaiset lämpötilat vähentävät typen mineralisaatiota ja huuhtoumia (Sippola & Yläranta 1985, ref. Ylivainio ym. 2002).

Postma ym. (2000) totesivat perunasatojen ja lannoitusmäärien kasvamisen johtaneen ravinteiden vuotamisen lisääntymiseen. Laskettaessa typpitaseita eri viljelykasveille Postma ym. (2000) laskivat perunan typpitaseen vaihtelevan –11 ja +30 kg:n ha^{-1} välillä. Tulosten mukaan tase oli sitä suurempi, mitä suurempi oli typpilannoitus (Postma ym. 2000). Vos ja Mac Kerron (2000) toteavat, että vaikka typen otto kasvaa lineaarisesti typpilannoituksen määrän kanssa, tarkemmat tutkimukset osoittavat vasteen pienenevän lannoitusmäärän kasvaessa, jolloin sadon nitraattipitoisuus ja typen huuhtoutumisriski kasvavat. Myös Postma ym. (2000) totesi jäännöstypen määrän kasvavan suhteessa enemmän korkeammilla lannoitustasoilla, kun se matalilla lannoitustasoilla kasvoi lineaarisesti annetun lannoituksen kanssa. Lannoitusaika vaikuttaa siten, että märkänä aikana typen huuhtoutuminen on todennäköisempää, samoin kuin muut typen häviämismuodot (Postma ym. 2000). Riittävä veden saanti parantaa perunan typen ottoa (Guarda ym. 1996). Hietamailla tehdyissä kokeissa Iso-Britanniassa kuivatusvesien typpipitoisuudet vaihtelivat välillä 288-525 mg l^{-1} ollen keskimäärin 390 mg l^{-1}. Korkein lukema 953 mg l^{-1} saatiin kuivana kesänä perunalohkolla, jota ei kasteltu. Vähiten typpeä huuhtoutui perunapellolta sateisena kesänä, kun oli käytetty 75 % typpilannoitussuosituksesta (Johnson ym. 1996).

Typen huuhtoumariski kasvaa lannoitusmäärien kasvaessa (Neeteson 1992, ref. Johnson ym. 2000). Optimaalisen typpilannoituksen määrittäminen on ongelmallista, koska satotasoa eikä maan typpivaroja tiedetä etukäteen ja liika nitraattityppi huuhtoutuu herkästi (Vos & Mac Kerron 2000). Neetesonin (1989, ref. Johnson 2000) mielestä typpilannoitussuositusten on oltava riittävä korkean sadon turvaamiseksi, mutta samalla riittävän matala ravinnehuuhtoumien välttämiseksi ja taloudellisen optimin saavuttamiseksi. Kasvukauden aikana tulisi maan mineraalityppipitoisuudet minimoida siihen aikaan, kun kasvi ei ota typpeä (Postma ym. 2000). Vos ja Mac Kerron (2000) mukaan typpihukkaa voidaan pienentää vähentämällä typpilannoitusta ja hyödyntämällä enemmän maan typpivaroja. Spiertz ja De Vries (1996) laskivat, että vaikka perunan typpilannoitusta laskettaisiin 25 %:lla, keskisato tippuisi vain 1,5 %. Suomessa lannoitusmäärät ovat huomattavasti pienempiä ja nykyiset typpilannoitussuositukset on laadittu ympäristö huomioon ottaen. Kuisman (2002) jaettua typpilannoitusta koskeva tutkimus osoitti, että perunan kyky hyödyntää maan typpivaroja on erittäin hyvä, mikäli

riittävästä veden saannista huolehditaan. Tulokset osoittivat myös, että typpilannoitus parantaa luontaisten typpivarojen hyödyntämistä. Ilman typpilannoitusta kasvatetun perunasadon mukana poistui typpeä maasta 46-62 kg ha^{-1}, kun taas lannoitetun sadon mukana poistui 76-176 kg ha^{-1} typpeä (Kuisma 2002).

Sadon typpitarpeen ja maan typpivarojen tasapainon saavuttamisessa optimaalisella typpilannoituksella on suuri merkitys. Typpitarpeen määrittämiseksi suositellaan maan typpivarojen analysoimista maanäytteistä keväällä ennen kylvöä tai kasvista kasvun aikana (Mac Kerron 2000). Kasvin typpimäärä heijastaa maan typpivaroja. Lehtivihreän määrä taas on lähes suorassa suhteessa nitraattipitoisuuteen ja se mitataan yleensä lehdestä SPAD -laitteilla, jotka mittaavat valon aallonpituutta (Haase ym. 2000). Typpipitoisuuksien mittauksissa tulee huomioida, että perunan typpipitoisuudet vaihtelevat kasvinosan, kasvuvaiheen, maan typpivarojen, viljelytekniikan ja ympäristötekijöiden mukaan (Mac Kerron 2000). Maan typpivarojen määrittäminen maanäytteistä on otettu käyttöön vasta viime vuosina (Johnson ym. 2000). Analyysimenetelmiä on useita (mm. Kjeldahl- ja Dumas -tekniikat). Johnsonin ym. (2000) analyysituloksissa on kuitenkin suurta vaihtelua ja sen pohjalta on vaikea tehdä lannoitussuosituksia. Neetesonin (1989, ref. Johnson ym. 2000) tulosten mukaan lannoituksen perustumisella maan mineraalitypen määritykseen saavutettiin 10 %:n vähennys typpilannoituksessa satomäärän kärsimättä.

Maan orgaanisen typen määrityksellä on merkitystä, mikäli pellolle on levitetty orgaanisia lannoitteita (Johnson ym. 2000). Orgaanisen typen mineralisaation määrää ja aikaa on kuitenkin vaikea arvioida, joskin siihen on olemassa laboratorioanalyyseja (Jarvis ym. 1996, ref. Johnson ym. 2000). Onnistuessaan typpimääritysten hyödyntäminen mahdollistaa tarkemman lannoituksen ja esimerkiksi lannoittamisen kahdessa erässä, jossa toisen lannoituserän suuruus määräytyy typpianalyysin perusteella. Suomen olosuhteissa ja alhaisemmilla lannoitustasoilla typpilannoituksen jakamisesta ei ole kuitenkaan todettu olevan hyötyä (Kuisma 2002). Analyysimenetelmiä on useita riippuen mm. siitä, mitä typpeä mitataan (orgaaninen vai mineraalityppi), eivätkä kaikki sovellu viljelijöiden itsensä tekemiksi, vaan vaativat laboratoriovälineet (Haase ym. 2000, Johnson ym. 2000). Helpot ja halvat testit ovat monesti vähemmän luotettavia (Haase ym. 2000). Suomessa mineraalitypen määritys maaperästä yleistynee ympäristötuen uuden ohjelmakauden myötä, jossa viljelijöillä on mahdollista valita lisätoimenpiteeksi liukoisen typen määritys kasvulohkolta. Lisätoimenpide edellyttää myös toimenpiteitä, mikäli tulokset osoittavat sen tarpeelliseksi. Pellolta yli 20 kg ha^{-1} mitatut typpipitoisuudet johtavat typpilannoituksen vähentämiseen 20 kg ha^{-1} ylimenevän osuuden verran kyseisellä viljelyslohkolla (Mavi 2007).

Iso-Britanniassa tehdyssä perunanviljelyn jäännöstyppimääriä ja typpihuuhtoumia koskevassa tutkimuksessa huomattiin typen huuhtoumien olevan suurempia perunapelloilla, joilla oli käytetty karjanlantaa (Johnson ym. 1996). Karjalannan käytössä saattaa Johnsonin ym. (2000) mukaan olla ongelmana se, että lannan sisältämä orgaaninen typpi mineralisoituu vasta kasvukauden lopussa, mikä paitsi viivästyttää sadon valmistumista, jättää myös maahan korkeita huuhtoutumiselle herkkiä mineraalityppimääriä. Thomsenin ym. (1997, ref. Ylivainio ym. 2002) ja Bergsrömin ja Kirchmannin (1999, ref. Ylivainio ym. 2002) mukaan pitkäaikainen lannankäyttö saattaa lisätä nitraatin huuhtoutumista johtuen lannan heikommasta hyväksikäyttöasteesta. Karjanlannan ravinnehuuhtoumien määrä riippuu olennaisesti levitysajankohdasta ja -tekniikasta (Drinkwater ym. 2000, ref. Ylivainio ym. 2002).

Typpihuuhtoumia kasvattavat syyslevitys (Froment ym. 1992, ref. Ylivainio ym. 2002; Gladwin & Beckwith 1992, ref. Ylivainio ym. 2002), jossa jopa 40 % lietteen kokonaistypestä saattaa huuhtoutua. Turtolan ja Kemppaisen (1998, ref. Ylivainio ym. 2002) mukaan lannan multauksella vähennetään merkittävästi huuhtoumia. Kyntö voi lisätä typen mineralisaatiota ja nitrifikaatiota vaikuttaessaan positiivisesti maan happitilaan ja huokoisuuteen, mikä taas kasvattaa nitraattitypen huuhtoutumisriskiä (Postma ym. 2000).

Seuraavilla lannoitus- ja viljelytekniikan keinoilla voidaan Postman ym. (2000) mukaan vähentää typpihukkaa kasvukaudella: liete levitetään keväällä ja kylvö tehdään nopeasti lannan levityksen jälkeen, typpilannoitus annetaan kahdessa tai useammassa erässä ja/tai käytetään lehtilannoitusta nopeana ja tehokkaana täsmälannoitteena, karjanlannan hyödyntämistä parannetaan lietteen käsittelyllä (nitrifikaation inhibiittorit) ja sijoituslevityksellä, lannoitteet sijoitetaan tai mullataan lähelle mukulaa ja kastelu järjestetään oikein typen huuhtoumien välttämiseksi.

Peite- ja kerääjäkasvien viljely vähentää Posman ym. (2000) mukaan typen huuhtoutumista perunalohkolta sadonkorjuun jälkeen. Vos ja van der Putten (1997, ref. Postma ym. 2000) tutkivat kerääjäkasvien käyttöä perunanviljelyssä Alankomaissa. Tulosten mukaan kerääjäkasvi tulee kylvää heti sadonkorjuun jälkeen, jotta sillä saavutetaan toivottu typpeä keräävä vaikutus. Goffartin ym. (1992, ref. Postma ym. 2000) kokeissa kerääjäkasveilla saatiin vähennettyä maan mineraalityppipitoisuutta 40-80 % syksyn ja talven aikana. Rahkonen (1995) suosittelee kesannointia osaksi perunakiertoa. Oikeanlainen viherkesanto lisää maan multavuutta ja parantaa rakennetta. Viherkesanto suositellaan kynnettäväksi vasta myöhään syksyllä tai seuraavana keväänä, ettei kasvijätteiden, erityisesti palkokasvien, sisältämät suuret typpimäärät mineralisoidu liian aikaisin ja huuhtoudu talven aikana (Rahkonen 1995). Kesannointi ehkäisee Rahkosen (1995) mielestä myös ravinteiden huuhtoutumista perunamailta ja lisää viljelyn monipuolisuutta.

Perunantuotannossa viljelemättömissä päisteissä ja suojakaistoissa kannattaa käyttää viherkasvustoa, monivuotisiin kaistoihin sopii lähinnä monivuotinen heinä-nurmikasvusto (Rahkonen 1995). Varhaisperunan viljelyssä hyvään viljelytapaan kuuluu kerääjäkasvien/maanpeitekasvien kylvö heti noston jälkeen. Sopivia kasveja Rahkosen (1995) mukaan ovat nopeasti kehittyvät lajit kuten öljyretikka ja westerwoldin raiheinä. Kerääjäkasvit ottavat talteen varhaisperunalta hyödyntämättä jääneen typen ja parantavat maan vedenpidätyskykyä ja kasvukuntoa lisäämällä orgaanisen aineen määrää maassa (Rahkonen 1995). Ylivainion ym. (2002) mielestä kerääjäkasvien käyttöä tulisi hyödyntää enemmän typen huuhtoutumisen vähentämisessä. Vesistöjen varsille perustettavat suojakaistat ja -vyöhykkeet pidättävät merkittävän määrän typen kuormituksesta. Nurmipeitteisten suojakaistojen on todettu pidättävän syksyllä 70-80 % ja keväällä keskimäärin 60 % nitraattitypen sekä keskimäärin 60 % kokonaistypen kuormituksesta (Uusi-Kämppä & Kilpinen 2000). Suojakaistojen teho on Uusi-Kämpän ja Kilpisen (2000) mukaan parhaimmillaan kesällä ja syksyllä.

2.4 Maatalouden ravinnetaselaskelmat

Ravinteiden käytön tehokkuutta ja hyödyntämättä jääneiden ravinteiden määrää maataloudessa voidaan tutkia ravinnetaselaskelman avulla. Laskelman avulla voidaan selvittää yksittäisen tilan ravinnetaloutta peltolohkotasolle saakka. Ravinnetaselaskelma voidaan myös laskea tietylle alueelle, esim. valuma-alueelle. Laskelma antaa tilalle tietoa ravinteiden hyödyntämistehokkuudesta, hyödyntämättä jääneiden ravinteiden määrästä sekä ravinteiden vuotokohdista. Laskelmien avulla voidaan myös vertailla tiloja tai alueita keskenään ja selvittää syitä hyödyntämättä jääneiden ravinteiden määrään. Hyödyntämättä jääneet ravinteet (N ja P) saattavat olla haitallisia ympäristölle, esimerkiksi huuhtoutuessaan vesistöihin. Ravinteet, joita ei pystytä tilalla hyödyntämään satoon tai tuotokseen, ovat myös ylimääräinen kustannuserä tiloille.

Maatalouden ravinnetaselaskelma laaditaan yleensä pääravinteille: typelle (N), fosforille (P) ja kaliumille (K). Ravinnetaselaskelmassa lasketaan systeemiin (esim. peltoon) lisättyjen ja sieltä poistuneiden ravinteiden määrän erotus (Rajala ym. 2001). Laskelmaa varten tarvitaan tiedot systeemiin lisätyistä ravinteista eli tuotantopanoksista sekä sieltä poistuneista ravinteista eli tuotoksesta sekä näiden ravinnepitoisuuksista. Tase voi olla positiivinen eli ylijäämäinen, jolloin ravinteita on jäänyt hyödyntämättä systeemissä erotuksen mukainen määrä. Negatiivinen eli alijäämäinen tase kertoo puolestaan, että ravinteita on käytetty systeemissä enemmän kuin niitä on sinne lisätty. Esimerkiksi peltolohkolla on tällöin käytetty satoon kaikkien lannoitteena annettujen ravinteiden lisäksi maan ravinnevaroja. Ravinteiden käytön hyötysuhde lasketaan systeemistä poistuneiden ja systeemiin lisättyjen ravinteiden suhteena. Ravinnetaselaskelma voidaan laatia koko tilalle (tilan porttitase), peltoviljelylle ja yksittäiselle peltolohkolle (peltotase, lohkokohtainen tase) sekä karjalle (karjan tase) ja karjanlannan varastoinnille (lantatase) (Rajala ym. 2001).

Maatalouden ravinnetaseita on laskettu vielä varsin vähän niin Suomessa kuin muualla maailmassa. Suomessa ravinnetaseita laskettu lähinnä tietyillä rajatuilla alueilla, esimerkiksi jonkin hankkeen yhteydessä (esim. Kestävä maatalous Vantaanjoella -projekti, Kemira Agron ja Suomen Rehu Oy:n Menestyksen avaimet -projekti Kaakkois-Suomessa, Kuortaneenjärvi-hanke, Tuusulanjärven kunnostushanke ja MYTVAS 2 -hanke Lepsämäenjoella). Vuonna 2007 EU:n ympäristötuen uudistuksessa komissio hyväksyi Suomen esityksen ravinnetasetoimenpiteestä ympäristötuen vapaasti valittavaksi lisätoimenpiteeksi. Ravinnetasetoimenpiteen valinneet viljelijät saavat peltohehtaarikohtaista tukea laatiessaan vuosittain ravinnetaselaskelman viljelyslohkoilleen.

Peltotase

Peltotase, eli peltoviljelyssä hyödyntämättä jääneiden ravinteiden määrä lasketaan pellolle lannoitteena levitettyjen ja sieltä satotuotteina kerättyjen ravinteiden määrien erotuksena (Rajala ym. 2001). Ravinteiden käytön hyötysuhde lasketaan sadon sisältämien ravinteiden ja lannoitteena annettujen ravinteiden suhteena. Osa annetuista ravinteista siirtyy kasvin juuriin tai olkiin/naatteihin, jotka yleensä jäävät peltoon. Laskelmassa voidaan ottaa huomioon kylvösiemenen ravinnemäärä sekä biologinen typensidonta ja esikasvivaikutus. Peltotaselaskelma voidaan laatia tilan koko peltoviljelylle tai yksittäiselle peltolohkolle. Laskelma voidaan tehdä yhdelle

satovuodelle, mutta parhaan hyödyn laskelmasta saa, kun se laaditaan viljelykierroittain 4-5 vuodelle (Rajala ym. 2001).

Ravinnetaseen tulosten tulkinnassa on otettava huomioon, mitkä tekijät kulloinkin vaikuttavat taseeseen. Esimerkiksi peltotase on kullekin kasvilajille ominainen, koska sekä kasvin lannoitustarve että sadossa poistuva ravinnemäärä ovat riippuvaisia kasvilajista (Rajala ym. 2001). Eri viljelykasvien ravinnetaseita onkin syytä tarkastella erikseen. Rajalan ym. (2001) mukaan mitä pienemmällä lannoituksella saavutetaan suuri sato, sitä pienempi on tase ja ravinteiden käytön hyötysuhde. Negatiivinen eli alijäämäinen tase saavutetaan, kun lannoitteessa annettujen ravinteiden lisäksi on hyödynnetty maan ravinnevaroja. Hyötysuhde on tällöin yli 100 %. Alijäämäinen tase voi olla ympäristön kannalta edullinen, mutta kasvin ravinnetarpeen kannalta näin ei ole läheskään aina, vaan tuloksen tulkinnassa on muistettava tapauskohtaisuus. Viljavassa maassa lannoitustarve on pienempi, kun voidaan hyödyntää maan runsaita luontaisia ravinnevaroja. Tase on yleensä tällöin pieni ja hyötysuhde korkea. Köyhässä maassa kasvin tarvetta alhaisempi lannoitus sen sijaan saattaa kuluttaa jo ennestään niukkoja maan ravinnevaroja ja ravinteiden puute alentaa satotasoa. Myös korkean taseen ja alhaisen hyötysuhteen tulkinnassa on syytä selvittää taustalla vaikuttavia tekijöitä. Esimerkiksi köyhän maan ravinnetilan parantaminen kasvin tarvetta korkeammalla lannoituksella tuottaa yleensä korkean taseen ja alhaisen hyötysuhteen. Lannoittamaton viljelyslohko, jolta korjataan sato, tuottaa taas alijäämäisen ravinnetaseen ja korkean hyötysuhteen. Ravinnetaseiden ja hyötysuhteiden tulkinnassa ei siis voida yksiselitteisesti sanoa, mikä tase on hyvä ja mikä huono, vaan tulkinnassa on muistettava tapauskohtaisuus. Rajala ym. (2001) ovat laatineet yleisimmille viljelykasveille soveltuvan typpitaseen ja fosforitaseen tulkinta-avaimen (Liite 2: taulukot 1 ja 2), jota voidaan hyödyntää tulosten tulkinnassa.

3 TUTKIMUKSEN TAVOITE

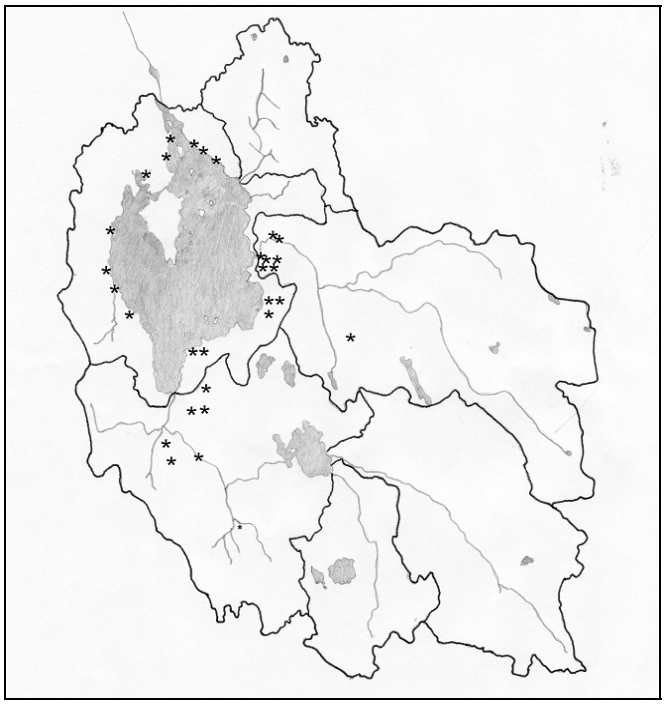
Tutkimuksen tavoite oli selvittää vaativan erikoiskasvin, perunan, ravinnetaloutta ravinnetaselaskelman avulla ja saada tietoa, vaikuttavatko maan multavuus, pH, viljavuus, rakenne ja kuivatus sekä viljelyn monipuolisuus typen ja fosforin hyväksikäyttöön perunanviljelyssä. Tavoite oli selvittää, pystyykö ravinnetaselaskelman avulla arvioimaan perunanviljelyn aiheuttamaa vesistökuormitusta. Hankkeessa tutkittiin uutta menetelmää ravinteiden hyödyntämistehokkuuden mittaamiseen maataloudessa sekä hyödyntämättä jääneiden ravinteiden, erityisesti fosforin, määrän selvittämiseen. Tavoite oli antaa tiloille uutta tietoa ja neuvontaa tilan ravinnetalouden seurantaan ja ravinteiden käytön tehostamiseen tilalla. Hankkeen tavoitteena oli vähentää maatalouden ja perunanviljelyn aiheuttamaa ravinnekuormitusta vesistöihin tiloille laadittujen laskelmien ja annetun neuvonnan avulla.

4 AINEISTO JA MENETELMÄT

4.1 Perunanviljelyn ravinnetaselaskelmat

Etelä-Pohjanmaalla sijaitseva tutkimusalue, Lappajärven valuma-alue (2 054 km^2) kuuluu Ähtävänjoen vesistöalueeseen (47). Lappajärvi (145 km2) on vesistön keskusjärvi, jonka valuma-alue jakaantuu kolmen kunnan: Alajärven, Lappajärven ja Vimpelin alueelle. Lappajärven alue on tehokasta maataloustuotannon aluetta, jossa erityisesti perunanviljely on voimakasta (Aaltonen ym. 2003). Valuma-alueesta noin 14 % on peltoa, kun Suomen keskimääräinen peltojen osuus on vain 7 % (Aaltonen ym. 2003). Peltoviljely on keskittynyt vesistöjen varsille. Ähtävänjoen alueen 27 600 viljelystä peltohehtaarista vajaat 21 000 ha sijaitsee Aaltosen ym. (2003) mukaan Lappajärveen laskevien vesistöjen varsilla. Pelloista noin neljännes sijaitsee Lappajärven lähivaluma-alueella ja toinen neljännes järveen laskevan suurimman uoman, Kurejoen varrella ja Alajärven lähivaluma-alueella (Aaltonen ym. 2003). Heikosti fosforia hyödyntävän perunan osuus peltoviljelystä Lappajärven valuma-alueella on noin 8 %, eli 1 650 ha (Huitu 2003). Perunanviljely on keskittynyt alueella erityisesti järven lähivaluma-alueelle, rantapelloille, järven luoteispuolelle Ylipäähän, järven eteläpäähän laskevan Kurejoen varrelle ja järven itäpuolelle laskevan Savonjoen suulle (MMM:n peltolohkorekisteri 2001). Kuntien maaseutuviranomaisilta saatujen tietojen mukaan Alajärvellä oli tutkimusvuonna 37 (Halkosaari 2001), Lappajärvellä 60 (Savola 2001) ja Vimpelissä 20 (Mäkelä 2001) perunatilaa. Perunanviljelyllä on merkitystä erityisesti Lappajärven fosforikuormituksen kannalta.

Ravinnetaselaskelmat laadittiin Lappajärvi Life -nimisessä vesiensuojeluhankkeessa, jonka tavoite oli löytää uusia taloudellisia ja tehokkaita keinoja rehevöityneen Lappajärven kunnostamiseksi. Samalla haluttiin luoda yleispäteviä toimintamalleja vesistöjen ja valuma-alueiden tilan parantamiseksi myös muualla Suomessa (Hippi & Rautio 2001). Laskelmat laadittiin kesän 2001 aikana. Laskelma tehtiin yhdelle vuodelle, ajalle 1.1.-31.12.2000. Tutkimustilojen valinnassa käytettiin ositettua otantaa ja tasakiintiöintiä. Kunkin ositteen sisällä käytettiin satunnaisotantaa. Kustakin hankkeen vaikutusalueen pitäjästä, Alajärveltä, Lappajärveltä ja Vimpelistä, oli mukana 10 satunnaisesti valittua perunatilaa, eli yhteensä tutkimuksessa oli mukana 30 perunatilaa (kuva 1). Tiloista 18 oli kasvinviljelytiloja ja loput 12 tilaa olivat kotieläintiloja. Kotieläintiloista 6 oli lypsykarjatiloja, 3 lihanautatiloja, 2 lihasikatiloja ja 1 kanatila. Yhdellä lypsykarjatilalla oli lisäksi turkiseläintuotantoa (minkkejä), josta tulevaa lantaa käytettiin peltoviljelyssä lannoitteena.



Kuva 1. Tutkimustilojen sijoittuminen Lappajärven valuma-alueella. Karttaan on merkitty osavaluma-aluejako (toinen jakoluokka).

Kaikille tiloille laskettiin tilan keskimääräinen peltoviljelyn typpi-, fosfori- ja kaliumtase sekä ravinteiden hyötysuhteet. Peltoviljelyn ravinnetaseet laskettiin jokaiselle peltolohkolle, joita oli 711 kpl kokonaisalan ollessa noin 1044 ha. Tutkimusaineisto koostui perunalohkoista, joita oli yhteensä 287 kpl. Perunaa viljeltiin yhteensä 432,40 ha:n alalla ja se oli yleisin viljelykasvi tiloilla (41 % kokonaisalasta). Tiedot kerättiin viljelijöiden omasta kirjanpidosta sekä haastattelemalla tilakäynnin yhteydessä. Laskelmat laadittiin Jukka Rajalan ja Kainuun maaseutukeskuksen kehittämällä Sirkula 2.0 -ohjelmalla (1999).

Peltoviljelyn ravinnetaselaskelmiin kerättiin tiedot tilan peltoviljelystä ja siihen tuoduista ja poistetuista ravinteista. Viljelytapahtumat, pellolle levitetyt lannoitteet ja korjatut sadot selvitettiin tilan kirjanpidosta ja haastattelemalla. Peltojen maalaji- ja viljavuustiedot kirjattiin laskelmaan tilan peltojen viljavuustutkimuksesta. Tiedot tilan ravinnekierrosta, kuten ostetuista tuotantopanoksista ja myydystä sadosta tai eläintuotteista saatiin tilan kirjanpidosta. Laskelmilla selvitettiin ravinteiden lisäys (panos), poisto (tuotos) ja tase (panoksen ja tuotoksen erotus) sekä hyötysuhde (tuotoksen suhde panokseen, %).

4.2 Ravinnetaseiden laskeminen

4.2.1 Peltoviljelyn ravinnetaselaskelma

Peltojen ravinnetaseet laskettiin tilakohtaisesti ja kasvulohkokohtaisesti liukoisina ravinteina, jolloin orgaanisia lannoitteita (pääasiassa karjanlantaa) käytettäessä huomioon otettiin typen ja fosforin liukoisessa ja kasveille käyttökelpoisessa muodossa

oleva osa lannan ravinteista. Pellolle lisätyiksi (panos) ravinteiksi laskettiin lannoitteiden (kemialliset, orgaaniset) liukoiset ravinteet, laitumelle jääneet laiduntavien eläinten lannat sekä kylvösiementen ravinnemäärät. Biologista typensidontaa, esikasvivaikutusta ja typpilaskeumaa ei huomioitu laskelmassa. Mukana olleille luomutiloille laskettiin vertailulaskelmat, joissa mukana olivat biologinen typensidonta ja esikasvivaikutus. Tässä tutkimuksessa mukana ovat vain ne laskelmat, joissa biologista typensidontaa ei ole huomioitu. Pellolta poistuneiksi (tuotos) ravinteiksi laskettiin korjattu sato, sekä pellolta pois korjatut oljet ja naatit. Korjaamatta jäänyttä satoa ja pellolle jääneitä olkia tai naatteja ei otettu huomioon laskelmissa. Peltolohkon ravinnetase laskettiin vähentämällä panoksesta tuotos (kaava 1). Ravinteiden hyötysuhde peltolohkolla laskettiin tuotoksen suhteena panokseen, kaavalla 2.

Peltotase = (kemiallisten ja orgaanisten lannoitteiden + laidunlannan + kylvösiementen sisältämät ravinteet) – (pääsadon + olkien/naattien sisältämät ravinteet) (1)

Hyötysuhde = (pääsadon + olkien/naattien sisältämät ravinteet)/ (kemiallisten ja orgaanisten lannoitteiden + laidunlannan + kylvösiementen sisältämät ravinteet) * 100 % (2)

Lannoitteet

Perunalohkojen lannoitukseen käytettiin tiloilla kemiallisia ja orgaanisia lannoitteita. Kahdella mukana olleella luomutilalla lannoitus koostui pelkästään orgaanisesta lannoituksesta. Yleisimmät tiloilla käytettävät kemialliset lannoitteet olivat kloorivapaita Y-lannoitteita, joiden fosforipitoisuus vaihteli 3-8 %:in välillä (taulukko 4). Laskelmaan kirjattiin lohkokohtaiset lannoitemäärät.

Taulukko 4. Perunanviljelyssä yleisimmin käytetyt väkilannoitteet ja niiden ravinnepitoisuudet (N-P-K, %) tutkimustiloilla v. 2000 (Sirkula 1999).

Lannoite	**Ravinnepitoisuus, %**			**Tilojen lkm**
	N	**K**	**P**	
Kloorivapaa Y 1	8	5	19	11
Kloorivapaa Y 2	9	8	14	7
Kloorivapaa Y 3	12	6	14	18
Kloorivapaa Y 4	14	3	16	5
Puutarhan Y 2	6	5	20	1
Puutarhan Y 3	10	4	17	2
Superfosfaatti	0	8,7	0	2
Raedap, starttilannos	12	6	17	5

Tutkimustiloista 12 tilalla oli kotieläimiä. Kotieläintiloilla peltojen lannoitukseen käytettiin kaikki tilalla syntyvä karjanlanta, jonka täydennykseen käytettiin ostettavia väkilannoitteita. Osa kasviviljelytiloista (8 kpl) käytti myös orgaanisia lannoitteita. Orgaanisia lannoitteita käytettiin 67 %:lla tiloista, yhteensä 20 tilalla. 17 tilaa (57 % tiloista) käytti lannoitukseen karjanlantaa ja 9 tilaa (30 % tiloista) käyttivät solunestettä. Karjanlantaa käyttävillä tiloilla lannoitettiin yleisimmin naudan kuivalannalla (8 tilaa). Naudan lietettä ja fosforipitoista kanan kuivalantaa käytettiin 4 tilalla. Sian lietelantaa käytettiin 3 tilalla, turkiseläinten fosforipitoista kuivalantaa 3 tilalla ja sian kuivalantaa 1 tilalla. Naudan virtsaa käytettiin lannoitukseen 5 tilalla. Myös laidunlannan määrä arvioitiin tilalla ja huomioitiin ravinnetaselaskelmassa. Laidunlannan määrä ja ravinnepitoisuus saatiin Sirkula-ohjelmasta (1999).

Suurimmalla osalla orgaanisia lannoitteita käyttävistä tiloista oli analyysit käytetystä lannasta. Solunesteestä oli analyysi kahdella tilalla. Mikäli tilalla ei ollut omaa lanta-analyysia, käytettiin Sirkula-ohjelmassa (1999) olevia lannan ravinnepitoisuuksia (taulukko 5). Solunesteen osalta käytettiin Polson (2001) antamia tietoja solunesteen ravinnemääristä, koska Sirkula-ohjelmassa (1999) eikä ympäristötuen ehdoissa ollut olemassa ravinnepitoisuuksia solunesteelle. Myöhemmin on laadittu perunan solunesteen lannoituskäytöstä opas (Vihlman ym. 2002), josta löytyvät solunesteen keskimääräiset ravinnepitoisuudet (taulukko 5). Polson (2001) mukaan solunesteen levitysajankohta vaikuttaa merkittävästi erityisesti typen käyttökelpoisuuteen lannoituksessa, mikä on huomioitu laskelmia tehtäessä. Kaikki lannan ravinteet eivät ole kasveille käyttökelpoisessa muodossa. Laskelmissa huomioitiin levitettävästä karjanlannasta tai muusta orgaanisesta lannoitteesta typen liukoinen osuus, joka on kasveille käyttökelpoisessa muodossa sekä fosforista kasveille käyttökelpoisessa muodossa oleva osa ravinteesta. Näin orgaaniset lannoitteet ovat vertailukelpoisempia kemiallisten lannoitteiden kanssa, joissa ravinteet ovat pelkästään liukoisessa ja kasveille käyttökelpoisessa muodossa. Lannan kasveille käyttökelpoisten ravinteiden määrä laskettiin Sirkula-ohjelman (1999) hyötysuhteiden mukaan ja ne poikkeavat hieman ympäristötuen ehtojen mukaisista taulukkoarvoista (taulukko 5). Ympäristötuen ehtojen mukaisia lannan ravinnepitoisuuksia on tarkistettu uudella ympäristötukikaudella ja ne poikkeavat hieman vuoden 2000 taulukkoarvoista (Liite 3: taulukko 2). Karjanlannan sisältämän käyttökelpoisen fosforin osuutta nostettiin samalla 75 %:sta 85 %:in (Mavi 2007).

Lannan jälkivaikutuksen sisältämien ravinteiden osalta käytettiin laskelmassa aina Sirkula-ohjelman ravinnepitoisuuksia. Sirkula-ohjelman (1999) ravinnepitoisuudet ja lannan jälkivaikutukseksi laskettu ravinnemäärä perustuvat eri lähteisiin ja poikkeavat jonkin verran ympäristötuen ehtojen mukaisista taulukkoarvoista (Liite 3: taulukko 1). Sirkula-ohjelmassa (1999) huomioidaan kuivanlannan lisäksi lietelannalle pieni typen jälkivaikutus seuraavalle vuodelle, mitä ympäristötuen mukaisessa lannoituksessa ei lasketa. Ympäristötuen ehdoista poiketen, Sirkula-ohjelmassa (1999) huomioitiin vielä vuonna 2000 myös fosforille pieni jälkivaikutus seuraavalle vuodelle niin kuiva- kuin lietelantaa käytettäessä. Sirkula-ohjelman (2002) viimeisimmässä versiossa (3.0) fosforin jälkivaikutus on poistettu kaikilta muilta paitsi turkiseläinten lannoilta. Sirkula-ohjelmassa (1999) karjanlannan typen jälkivaikutukset kirjattiin laskelmaan suoraan lannoitusarvoina (Liite 3: taulukko 1). Ympäristötuen ehtojen mukaan lannoitettaessa taas seuraavan vuoden typpilannoitustarvetta vähennetään lantalajista riippuen 10-20 kg ha^{-1}, jos lohkolle on edellisenä kasvukautena levitetty kuivalantaa ympäristötuen ehtojen taulukkoarvojen mukaisia määriä (Viljavuuspalvelu Oy 2000).

Taulukko 5. Orgaanisten lannoitteiden sisältämät ravinnemäärät Sirkula-ohjelmassa (1999), Ympäristötuen ehtojen mukaan (MMM 2000) sekä tilojen lanta-analyyseissä.

	N kok., kg/m3	N liuk., kg/m3	Nliuk. osuus % Nkok.:stä	P kok., kg/m3	Pliuk., kg/m3	Pliuk. osuus % Pkok.:sta	K
Naudan kuivikelanta							
Sirkula	4,6	1,6	35	1,6	1,0	65	4,2
Ympäristötuen normi	4,1	1,2	29	1,2	0,9	75	3,2
tilat, minimi	0,7	0,2	35	1,0	0,7	65	2,0
tilat, maksimi	5,3	1,9	35	3,3	2,1	65	9,6
tilat, keskimäärin	3,3	1,1	35	1,5	1,0	65	3,9
Naudan litetelanta							
Sirkula	2,8	1,8	65	0,6	0,4	65	2,9
Ympäristötuen normi	3,3	1,9	57	0,6	0,5	75	2,9
tilat, minimi	2,5	1,6	65	0,1	0,06	65	2,8
tilat, maksimi	2,5	1,6	65	0,9	0,6	65	4,5
tilat, keskimäärin	2,5	1,6	65	0,5	0,3	65	3,6
Naudan virtsa							
Sirkula	3,0	3,0	100	0,1	0,1	100	4,4
Ympäristötuen normi	3,1	2,2	71	0,1	0,1	75	4,5
tilat, minimi	0,7	0,7	100	0	0	100	2,8
tilat, maksimi	3,0	3,0	100	0,1	0,1	100	2,8
tilat, keskimäärin	1,4	1,4	100	0,07	0,07	100	2,8
Sian kuivalanta							
Sirkula	6,7	2,4	35	2,3	1,5	65	4,0
Ympäristötuen normi	5,4	1,3	24	2,3	3,1	75	2,8
Sian lietelanta							
Sirkula	4,2	2,9	70	1	0,7	65	1,6
Ympäristötuen normi	4,2	2,9	69	1	0,8	75	1,9
tilat, minimi	3,1	2,2	70	0,6	0,5	75	1,5
tilat, maksimi	4,8	3,4	70	1,2	0,9	75	2,1
tilat, keskimäärin	3,8	2,7	70	0,9	0,7	75	1,7
Sian virtsa							
Sirkula	2,1	1,9	90	0,1	0,1	100	1,6
Ympäristötuen normi	2,6	1,8	69	0,2	0,2	75	1,5
Kanan kuivalanta							
Sirkula	15,6	6,2	40	4,2	1,9	45	6,1
Ympäristötuen normi	6,2	5,1	82	3,5	2,6	75	4,5
tilat, minimi	1,6	0,6	40	2,5	1,1	45	14
tilat, maksimi	18,4	7,4	40	6,5	2,9	45	1,6
tilat, keskimäärin	7,6	3,0	40	4,7	2,1	45	6,8

Ketun kuivalanta							
Sirkula	18	6,3	35	11,5	5,8	50	3,1
Ympäristötuen normi		9,5		11,5	4,6	40	1,2
tilat, minimi	3,3	1,2	35	19	9,5	50	1,4
tilat, maksimi	4,9	1,7	35	10,8	5,4	50	2,1
tilat, keskimäärin	4,1	1,4	35	14,9	7,45	50	1,8
Minkin kuivalanta							
Sirkula	18,1	6,3	35	9,5	4,8	50	3,3
Ympäristötuen normi		6,2		9,5	3,8	40	1,3
tilat, minimi	9,3	3,3	35	1,6	0,8	50	3,5
tilat, maksimi	9,3	3,3	35	1,6	0,8	50	3,5
tilat, keskimäärin	9,3	3,3	35	1,6	0,8	50	3,5
Perunan soluneste							
laskelmat, normi	3	0,8 syyslev.	25	0,3	0,3 syyslev.	90	4,7 (*
solunesteopas	3,3	1,7	50	0,5	0,4	80	4,7
tilat, minimi	1,6	0,4	25	0,3	0,27	90	3,6 (*
tilat, maksimi	3	0,75	25	0,4	0,36	90	4,7 (*
tilat, keskimäärin	2,3	0,56	25	0,35	0,32	90	4,15 (*

(* Perunan solunesteen syyslevityksessä kaliumista laskettu käyttökelpoiseksi 80 % (Polso 2001).

Laskelmissa ei ole huomioitu karjanlannan levitysajankohtaa karjanlannan ravinteiden hyötysuhteissa. Ympäristötuen ehdoissa huomioidaan lannan levitysajankohdan vaikutus ravinteiden käyttökelpoisuuteen. Tutkimusvuonna syyslevityksessä huomioitiin ympäristötuen ehtojen mukaan kasville käyttökelpoiseksi lannoitteeksi 50 % karjanlannan liukoisesta typestä (Viljavuuspalvelu Oy 2000). Uudella ympäristötukikaudella syyslevityksen hyödyntämisaste on nostettu 75 %:in (Mavi 2007). Ympäristötuen ehdoissa on myös määrätty pienemmät levitysmäärät syksyllä levitettävälle karjanlannalle kuin keväällä levitettävälle lannalle (Viljavuuspalvelu Oy 2000). Sirkula-ohjelmassa (1999) levitysajankohta kirjataan ylös, jolloin levitysajankohdan vaikutusta ravinnetaseisiin ja ravinteiden hyötysuhteisiin voidaan tutkia. Oletuksena on, että keväällä levitetty karjanlanta pystyttäisiin hyödyntämään paremmin satoon kuin syksyllä levitetty. Tässä tutkimuksessa ei ole kuitenkaan verrattu karjanlannan levitysajankohdan vaikutusta ravinnetaseisiin.

Karjanlannan levityksessä mahdollisesti tapahtuvaa typpihävikkiä ei ole huomioitu laskelmassa, vaan oletettiin, että tilan lanta-analyysissä tai Sirkula-ohjelman (1999) taulukkoarvossa on jo huomioitu varastoinnin aikana tapahtuva typpihävikki. Sirkula-ohjelmaan (1999) on mahdollista kirjata karjanlannan levitystekniikka ja verrata sen vaikutusta ravinteiden hyväksikäyttöön. Levitystavan vaikutusta ravinnetaseen suuruuteen ei kuitenkaan tutkittu perunatiloilla. Osa karjalannan ja virtsan sisältämästä typestä haihtuu varastoinnin aikana, mihin vaikuttaa lantasuojan rakenne. Lannan pintalevityksessä haihtuu Joki-Tokolan ym. (1998, ref. Ylivainio ym. 2002) eniten typpeä. Lannan sijoittamisella tai pikaisella multauksella levityksen jälkeen voidaan merkittävästi vähentää typen haihduntaa (Joki-Tokola ym. 1998, ref. Ylivainio ym. 2002; Turtola & Kemppainen 1998, ref. Ylivainio ym. 2002).

Luomutiloilla käytettiin myös viherlannoitusta typen saannin lähteenä. Edellisenä vuotena viljellyllä, peltoon kynnetyllä viherlannoituskasvustolla (esim. raiheinä, ruisvirna, apila) on typpilannoitusarvoa, josta käytetään nimitystä viherlannoitus. Luomutiloilla arvioitiin biologisella typensidonnalla saatu typpimäärä sekä viherlannoitusnurmesta saatu typpimäärä, jotka kirjattiin vaihtoehtoiseen ravinnetaselaskelmaan. Luomutiloille tehtiin kaksi laskelmaa, joista toisessa oli huomioitu edellä mainitut typpierät. Toisessa laskelmaversiossa kirjattiin samat ravinne-erät kuin tavanomaisillakin tiloilla. Tutkimusaineistoon otettiin luomutiloilta ne laskelmat, joissa biologista typensidontaa ja viherlannoitusvaikutusta ei ole huomioitu. Näin saatiin keskenään vertailukelpoinen aineisto. Typpilannoitustarvetta vähentävää esikasviarvoa on jonkin verran myös tavallisella nurmikasvustolla. Viljavuuspalvelun (2000) oppaan mukaan tarkennettua lannoitustasoa noudatettaessa tulee typpilannoituksessa huomioida esikasviarvo. Mikäli viljoilla ja öljykasveilla on ollut esikasvina nurmi, tulee typpilannoitusta vähentää 10-20 kg ha^{-1} (Viljavuuspalvelu Oy 2000). Perunalle ei esitetä Viljavuuspalvelu Oy:n (2000) mukaan vastaavanlaisia vähennyksiä typpilannoitukseen. Esikasviarvoa ei ole huomioitu laskelmassa, vaan sen oletetaan näkyvän parempana typpitaseena lohkoilla, etenkin jos nurmen esikasvivaikutus on huomioitu typpilannoituksessa.

Tutkimustilojen lannoituksessa huomioon otettiin myös kylvösiemenen sisältämä ravinnemäärä. Käytetyn kylvösiemenen määrä saatiin varsin tarkasti viljelijöiden muistiinpanoista ja ravinnepitoisuuksina käytettiin Sirkula-ohjelmassa (1999) olevia arvoja.

Sato

Yleisimpien viljelykasvien ravinnepitoisuudet perustuvat Sirkula-ohjelmassa (1999) valmiina olleisiin ravinnepitoisuuksiin. Perunan pääsadon ravinnepitoisuudet on laskettu Rehutaulukot ja ruokintasuositukset 2001 -oppaassa (Tuori ym. 1996) ilmoitettujen perunan raakavalkuais-, fosfori- ja kaliumpitoisuuksien pohjalta. Yhdelläkään tilalla ei ollut analyysitietoja perunasadon ravinnepitoisuudesta. Pellolta korjattavien olkien ja naattien ravinnepitoisuuksina käytettiin Sirkula-ohjelman ravinnepitoisuuksia, koska yhdelläkään tilalla ei ollut näistä analyyseja. Perunalohkojen laskelmissa naattien ravinnepitoisuuksia tai pellolle jäävän sadon määrää ei huomioitu, koska yhdelläkään tilalla naatteja ei korjattu pois pellolta. Yleisimpien viljelykasvien ravinnepitoisuudet ovat taulukossa 6 (Sirkula-ohjelma 1999). Taulukon ravinnepitoisuudet ovat yhtenevät Ravinnetaseet-oppaan (Mavi 2008) taulukkoarvojen kanssa niin perunan kuin muidenkin yleisimpien viljelykasvien osalta. Perunan, samoin kuin muidenkin viljelykasvien satomäärät laskettiin osalla tiloista tilan kokonaissadosta, koska lohkokohtaisia satotietoja ei ollut tilalla tiedossa. Näin ollen osalle tiloista peltolohkoille kirjattiin viljelykasveittain tilan keskisadot.

Taulukko 6. Tutkimustiloilla yleisimmin viljeltyjen kasvien ravinnepitoisuuksia Sirkulassa (1999).

viljelykasvi	Ravinnepitoisuus (%) tuorepainossa		
	N	P	K
ohra	1,73	0,3	0,52
kaura	1,84	0,3	0,52
rypsi	3,5	0,8	0,83
peruna	0,3	0,05	0,5
kuiva heinä	1,33	0,18	2,49
säilörehu	0,63	0,08	0,55
olki	0,54	0,07	1,7

4.2.2 Ravinteiden hyväksikäyttöön vaikuttavat tekijät perunanviljelyssä

Tässä tutkimuksessa keskityttiin selvittämään lannoituksen ja sadon, maalajin ja multavuuden, maan pH:n ja viljavuuden sekä maan kasvukunnon ja viljelyn monipuolisuuden vaikutuksia typpi- ja fosforitaseisiin. Tutkimuksessa keskityttiin typpeen ja fosforiin, koska ne ovat vesistöjen rehevöitymisen kannalta keskeisiä ravinteita. Tästä syystä kalium rajattiin tarkastelujen ulkopuolelle. Tutkimuksen tavoite oli selvittää vähentävätkö maan korkea multavuus, riittävän korkea pH, hyvä viljavuus ja kasvukunto sekä monipuolinen viljelykierto hyödyntämättä jääneiden typen ja fosforin määrää perunanviljelyssä.

Ravinteiden hyväksikäyttöön vaikuttavien tekijöiden tutkimiseksi jokaiselta kasvulohkolta kirjattiin ylös tieto viljelykierrosta, viljelykasvi, lajike, esikasvi, muokkausaika ja -tapa, lannoitusaika ja -tapa, maalaji ja multavuus, maan pH ja viljavuus (P- ja K-luokka), maan rakenne ja kuivatus, ojitustiedot sekä tiedot kasvinsuojelulla saadusta sadonlisästä. Lisäksi kirjattiin lohkoittain ylös maan eroosioalttius ja kaltevuus sekä tiedot vesistön läheisyydestä, mahdollisesta suoja-vyöhykkeen määrästä ja lohkon talviaikaisesta kasvipeitteisyydestä. Suurin osa taustatiedoista kerättiin tilan viljelymuistiinpanoista ja analyysitiedoista. Tiedot maan rakenteesta ja kuivatuksesta, kasvinsuojelulla saadusta sadonlisästä sekä peltolohkon eroosioalttiudesta ja kaltevuudesta perustuvat viljelijöiden omiin arvioihin. Tilalta kerättävät tiedot luokiteltiin laskelmia varten liitteen 4 mukaan.

Peltoviljelyn ravinnetaselaskelma ja ravinteiden käytön hyötysuhde laskettiin tila- ja lohkokohtaisesti. Taseet laskettiin kiloina hehtaaria kohti. Lohkokohtaisista ravinnetaseista laskettiin keskiarvot viljelykasveittain, ja perunaa verrattiin muihin viljelykasveihin. Viljelykasvien ravinnetarve on erilainen ja kullakin viljelykasvilla on sille tyypillinen ravinteiden hyötysuhde. Viljelykasvien ravinteiden käyttöä tarkasteltiin kasviryhmittäin. Viljoista tarkasteluun otettiin vain kevätviljat (ohra ja kaura), koska syysrukiin osuus viljelyalasta oli varsin pieni ja sitä viljeltiin suurimmaksi osaksi luomutiloilla, joilla ravinnetaseet muodostuivat poikkeuksellisiksi. Heinänurmiin luokiteltiin kaikki säilörehu-, kuivaheinä ja laidunnurmet. Ulkopuolelle jätettiin luomutilojen apilapitoiset nurmet, jotka poikkeavat typpitaloudeltaan heinänurmista. Lohkokohtaisia perunanviljelyn ravinnetaseita ja ravinteiden käytön hyötysuhteita

vertailtiin satotason mukaan, lannoitustason mukaan, maalajeiltaan ja multavuudeltaan erilaisilla mailla, pH:ltaan erilaisilla mailla, viljavuudeltaan erilaisilla mailla sekä kasvukunnoltaan erilaisilla mailla. Ravinnetaseita selittävät tutkittavat muuttujat on luokiteltu liitteeseen 4. Ravinteiden hyödyntämiseen vaikuttavien taustatekijöiden vaikutusta tutkittaessa keskityttiin enimmäkseen ravinnetaseiden vertaamiseen, koska hyötysuhde ei aina anna oikeaa tietoa ravinteiden todellisesta hyödyntämisestä. Esimerkiksi reilusti suuremmalla lannoituksella voidaan saavuttaa sama hyötysuhde kuin pienemmällä lannoituksella, jos sadon määrä kasvaa samassa suhteessa. Ravinnetase on kuitenkin suuremmalla lannoituksella reilusti suurempi ja siten ympäristön kannalta haitallisempi.

Tutkittavat perunalohkot jaoteltiin aineistossa laskelmaa tehtäessä tärkkelysperunaan, ruoka- ja ruokateollisuusperunaan sekä siemenperunaan. Aineistoa tarkasteltaessa todettiin parhaimmaksi yhdistää ruoka- ja siemenperunalohkot samaksi ryhmäksi. Kuisman (2008) mukaan ruoka- ja siemenperuna ovat ravinteiden käytöltään ja viljelyvaatimuksiltaan niin samanlaisia, että niitä voidaan tutkimuksessa käsitellä yhtenä ryhmänä. Näin saatiin suurempi ja siten luotettavampi vertailuaineisto tutkimusta varten.

Lannoituksen vaikutusta ravinnetaseisiin tutkittiin laskemalla korrelaatiokertoimet lannoitusmäärille ja ravinnetaseille. Merkitsevyystasoksi valittiin $p = 0,05$. Lannoituksen ja taseiden yhteyttä tarkasteltiin myös sirontakuvaajan avulla. Satotason vaikutusta ravinteiden hyväksikäyttöön tutkittiin jakamalla perunalohkot käyttötarkoituksen mukaan satotasoittain seuraaviin luokkiin: satotaso alle 20 t, satotaso 20-30 t, satotaso 30-40 t ja satotaso yli 40 t. Eri satotasoluokkien ravinnetaseita verrattiin keskenään. Satomäärille ja ravinnetaseille laskettiin myös korrelaatiokertoimet. Merkitsevyystasona käytettiin tässäkin $p = 0,05$.

Maalajin ja multavuuden osalta perunalohkot jaettiin pelkästään multavuuden mukaan, sillä maalajin mukaan lohkot oli jaettu aineistossa karkeasti kivennäismaihin, eloperäisiin maihin ja turvemaihin. Turvemailla ei tutkimustiloilla viljelty perunaa. Multavuudeltaan multamaiksi luokitellut peltolohkot edustavat täten aineistossa maalajiryhmää eloperäiset maat ja loput pellot olivat kivennäismaita, joiden multavuus vaihteli välillä vähämultainen-erittäin runsasmultainen. Multavuuden vaikutuksen tutkimista varten lähtöaineiston multavuusluokat yhdistettiin Kuisman (2008) ohjeen mukaan kolmeen multavuusryhmään (taulukko 7), joiden ravinnetaseita verrattiin keskenään erikseen tärkkelysperunalla ja ruoka- ja siemenperunalla. Tavoitteena oli erityisesti selvittää multavuuden vaikutus typen hyödyntämiseen perunan viljelyssä.

Maan viljavuuden osalta perunalohkot jaettiin viljavuusluokan mukaan kolmeen ryhmään, joissa tärkkelysperunaa ja ruoka- ja siemenperunaa tarkasteltiin erikseen. Viljavuusryhmät muodostettiin yhdistelemällä viljavuusluokkia Kuisman (2008) mukaan taulukossa 7 esitetyllä tavalla. Eri viljavuusryhmiä verrattiin keskenään ja pyrittiin selvittämään, parantaako maan viljavuus fosforin hyväksikäyttöä.

Taulukko 7. Ravinteiden hyväksikäyttöön vaikuttavien tekijöiden luokittelu aineistossa ja tutkimuksessa.

Aineistossa	Tutkimuksessa
pH (1) huono (2) huononlainen (3) välttävä (4) tyydyttävä (5) hyvä (6) korkea (7) arv. korkea	**pH** (1) huono - välttävä (2) tyydyttävä - hyvä (3) korkea - arv. korkea
Fosforiluokka (1) huono (2) huononlainen (3) välttävä (4) tyydyttävä (5) hyvä (6) korkea (7) arv. korkea	**Fosforiluokka** (1) huono - välttävä (2) tyydyttävä - hyvä (3) korkea - arv. korkea
Kaliumluokka (1) huono (2) huononlainen (3) välttävä (4) tyydyttävä (5) hyvä (6) korkea (7) arv. korkea	**Kaliumluokka** (1) huono - välttävä (2) tyydyttävä - hyvä (3) korkea - arv. korkea
Multavuus (1) vähämultainen (vm) (2) multava (m) (3) runsasmultainen (rm) (4) eritt. runsasmult. (erm) (5) multamaa ((6) turvemaa)	**Multavuus** (1) vähämultainen (2) multava - runsasmult. (m-rm) (3) eritt. runsasmult. - multamaa (erm-mm) ((4) turvemaa)
Maan rakenne (1) huono (2) välttävä (3) tyydyttävä (4) hyvä (5) erittäin hyvä	**Maan kasvukunto** (1) huono (maan rakenne ja kuivatus huonoja) (2) välttävä - tyydyttävä (maan rakenne ja kuivatus välttäviä tai tyydyttäviä) (3) hyvä - eritt. hyvä (maan rakenne ja kuivatus hyviä tai erittäin hyviä)
Kuivatuskunto (1) huono (2) välttävä (3) tyydyttävä (4) hyvä (5) erittäin hyvä	

Maan rakenteen ja kuivatuksen eli kasvukunnon vaikutusta ravinteiden hyväksikäyttöön tutkittiin yhtenä muuttujana, sillä kuivatusolojen katsottiin olevan riippuvaisia pellon rakenteesta (Kuisma 2008). Maan kasvukunnon mukaan perunalohkot ryhmiteltiin kolmeen ryhmään siten, että tärkkelysperunaa ja ruoka- ja siemenperunaa tarkasteltiin erikseen. Maan kasvukuntoluokat muodostettiin Kuisman (2008) ohjeen mukaan

yhdistämällä Sirkula-ohjelman maan rakenne- ja kuivatuskohtien viisi luokkaa kolmeksi luokaksi (taulukko 7). Ensimmäisessä luokassa olivat lohkot, joilla sekä rakenne että kuivatus olivat huonoja. Toisessa luokassa olivat ne lohkot, jotka olivat sekä rakenteeltaan että kuivatukseltaan välttäviä tai tyydyttäviä. Kolmanteen luokkaan sijoittuivat ne perunalohkot, joilla sekä rakenne että kuivatus olivat hyviä tai erittäin hyviä. Näihin kuulumattomat lohkot jätettiin huomiotta.

Viljelyn monipuolisuuden vaikutusta tutkittiin ainoastaan typen hyväksikäytön osalta. Viljelyn monipuolisuus voi myös parantaa fosforin hyväksikäyttöä mm. lisäämällä maan ravinteiden pidätyskykyä. Esikasviarvolla ja viljelykierrolla on kuitenkin ensisijaisesti vaikutusta viljelyn typpitalouteen ja tästä syystä tarkastelu rajattiin ainoastaan typpeen. Viljelyn monipuolisuuden vaikutuksen tutkimista varten perunalohkot jaettiin käyttötarkoituksittain (tärkkelysperuna ja siemen- ja ruokaperuna) viljelyn monipuolisuusluokkiin. Monipuolisuusmuuttujina tutkimuksessa käytettiin tilan viljelykierron monipuolisuutta ja esikasvia. Viljelykierron monipuolisuus saatiin Sirkula-ohjelmasta (1999), jossa tiloittain tallennettiin viljelykierron tunnus sen mukaan, paljonko tilalla oli nurmea kierrossa ja montako kasvia kierrossa oli mukana. Esikasviluokituksena käytettiin Kuisman ohjeen mukaan luokitusta: A = peruna perunan esikasvina, B = jokin muu esikasvi. Edellä mainitut muuttujat yhdistämällä saatiin seuraavat viljelyn monipuolisuusluokat, jotka paremmuusjärjestyksessä huonoimmasta parhaimpaan olivat:

A1 = esikasvi: peruna, viljelykierto: 0-20 % nurmea + peruna
B1 = esikasvi: jokin muu, viljelykierto: 0-20 % nurmea + peruna
A2 = esikasvi: peruna, viljelykierto: 0-20 % nurmea + peruna + vilja
B2 = esikasvi: jokin muu, viljelykierto: 0-20 % nurmea + peruna + vilja
A3 = esikasvi: peruna, viljelykierto: 20-40 % nurmea + peruna + vilja
B3 = esikasvi: jokin muu, viljelykierto: 20-40 % nurmea + peruna + vilja
A4 = esikasvi: peruna, viljelykierto: 40-60 % nurmea + peruna +vilja
B4 = esikasvi: jokin muu, viljelykierto: 40-60 % nurmea + peruna + vilja

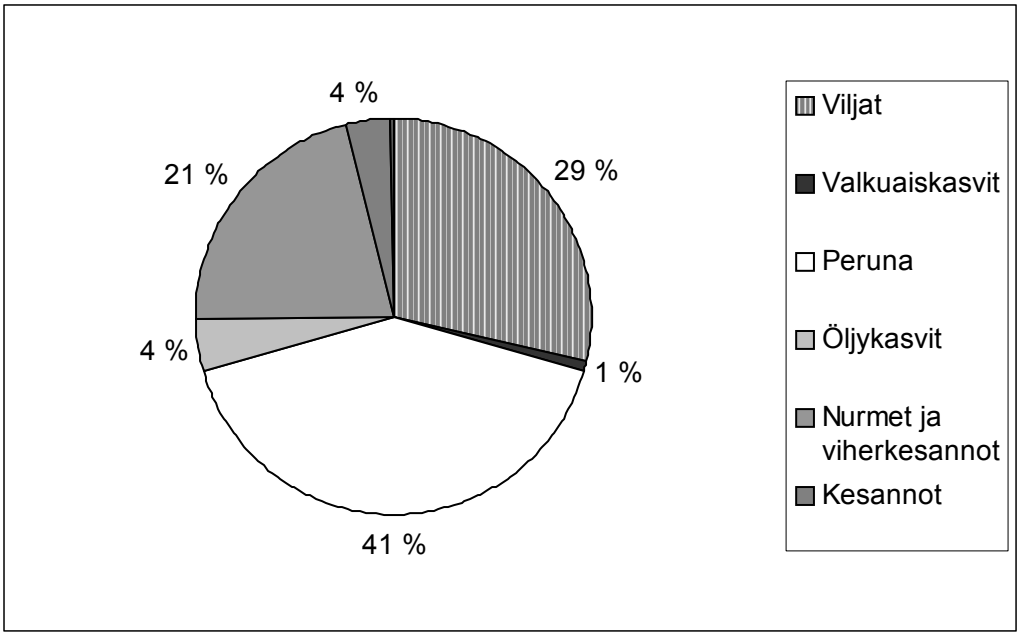
Aineiston tilastollisessa käsittelyssä käytettiin varianssianalyysia (Anova) aina, kun vertailtavien luokkien aineistot olivat normaalisti jakautuneita ja varianssit likimain yhtä suuria. Mikäli näin ei ollut, käytettiin parametritonta testiä (Kruskal-Wallisin H-testi). Merkitsevyystasona käytettiin $p = 0,05$. Kun Anova testillä saatiin merkitsevä tulos, tehtiin monivertailut t-testillä, ja kun parametrittomalla testillä saatiin tilastollisesti merkitsevä tulos, tehtiin monivertailut eli tutkittiin luokkien väliset erot parametrittomalla Mann-Whitneyn U-testillä. Tällöin Bonferroni-korjattu merkitsevyystaso laskettiin jakamalla merkitsevyystaso $p = 0,05$ luokkien välisten testien määrällä. Esimerkiksi viljelyn monipuolisuuden vaikutusta testattaessa vertailtavia luokkia on 8 kpl, jolloin luokkien välisten testien määrä on $^{n(n-1)}/_2 = {}^{8*7}/_2 = 28$. Bonferroni-korjatuksi merkitsevyystasoksi saadaan tällöin $p = 0,0017$.

5 TULOKSET

5.1 Tilakohtaiset peltoviljelyn ravinnetaseet

5.1.1 Tilojen viljelytiedot

Ravinnetaselaskelma tehtiin perunanviljelytilojen kaikille peltolohkolle, joita oli 711 kpl kokonaisalan ollessa noin 1044 ha. Yleisin viljelykasvi tiloilla oli peruna, jota viljeltiin 287 lohkolla, 432,40 ha:n alalla. Muut viljelykasvit tiloilla olivat viljat (29 % kokonaisalasta), joista kevätviljoja oli 27 % kokonaisalasta, nurmet (21 % kokonaisalasta), joista eniten säilörehunurmia (13 % kokonaisalasta) ja rypsi (4 % kokonaisalasta) (kuva 2, taulukko 8).



Kuva 2. Viljelykasvien osuudet peltoalasta perunatiloilla Lappajärven valuma-alueella v. 2000.

Tutkimuksessa mukana olleiden perunatilojen keskikoko oli 34,81 ha, pienimmän tilan ollessa 6,68 ha ja suurimman 78,56 ha. Perunanviljelyn pinta-alat vaihtelivat tiloilla 3,48 ha:sta 53,42 ha:in. Keskimäärin tiloilla oli perunaa viljelyksessä 14,40 ha. Kotieläintiloilla oli viljelyksessä keskimäärin vähemmän perunaa kuin kasvinviljelytiloilla. Kotieläintiloilla perunaa viljeltiin noin kolmanneksella (35 %) peltoalasta, kun kasvitiloilla perunalla oli 58 % pelloista. Kotieläintiloilla, joista suurin osa oli nautatiloja, oli nurmella keskimäärin 36 % pelloista. Kasvitiloilla nurmea viljeltiin keskimäärin 8 %:lla pelloista. Viljan osuus kierrossa oli lähes sama niin kasvi- (24 %) kuin kotieläintiloillakin (28 %).

Taulukko 8. Perunatiloilla viljeltävät kasvit, pinta-alat ja viljelyosuudet Lappajärven valuma-alueella v. 2000.

Viljelykasvi	Lohkoja (kpl)	Osuus lohkojen määrästä	Pinta-ala (ha)	Osuus pinta-alasta
Peruna	**287**	**40,4**	**432,4**	**41,4**
tärkkelysperuna	202	28,4	297,24	28,5
ruokaperuna	41	5,8	87,3	8,4
siemenperuna	44	6,2	47,86	4,6
Viljat	**200**	**28,1**	**300,26**	**28,8**
ohra	111	15,6	159,14	15,2
kaura	76	10,7	124,47	11,9
ruis	11	1,5	15,7	1,5
vihantavilja	2	0,3	0,95	0,1
Nurmet	**172**	**24,2**	**224,2**	**21,4**
säilörehunurmi	90	12,7	138,24	13,2
kuivaheinänurmi	16	2,3	15,61	1,5
laidun	14	2,0	13,54	1,3
kesanto	52	7,3	56,81	5,4
Öljykasvit	**19**	**2,7**	**42,72**	**4,1**
rypsi	19	2,7	42,72	4,1
Valkuaiskasvit	**5**	**0,7**	**7,57**	**0,7**
virna	5	0,7	7,57	0,7
Muut	**28**	**3,9**	**37,1**	**3,6**
sänkikesanto	12	1,7	20,63	2,0
avuokesanto	12	1,7	13,55	1,3
tilap. viljelemätön	4	0,6	2,92	0,3
YHTEENSÄ	**711**	**100**	**1044,25**	**100**

Kasvukauden sääolot

Kasvukausi 2000 oli tutkimusalueella kertyneen tehoisan lämpötilan summaltaan jonkin verran vuosien 1961-1990 keskiarvoa korkeampi. Kasvukaudella 2000 kertynyt sademäärä oli tutkimusalueella puolestaan vuosien 1961-1990 keskiarvoa vastaavalla tasolla (MMM:n Tike 2001). Ilmatieteen laitokselta (2001) saatujen säätietojen mukaan heinäkuu 2000 oli tutkimusalueella sateisin kuukausi kesä- ja elokuun olleessa keskimääräistä kuivempia.

Tilojen perunasadot

Keskimääräinen perunasato tiloilla oli 28 736 kg ha^{-1}. Tärkkelysperunalla saavutettiin korkein keskimääräinen sato, 30 233 kg ha^{-1}, ruokaperunasadon ollessa keskimäärin 26 798 kg ha^{-1} ja siemenperunasadon 21 580 kg ha^{-1}. Kotieläintiloilla saavutettiin

hieman suuremmat perunasadot kuin kasvitiloilla. Kotieläintilojen keskimääräinen perunasato oli 30 140 kg ha^{-1}, kun se kasvitiloilla oli 27 776 kg ha^{-1}.

Peltojen maalajit ja multavuus

Tilojen peltojen maalajit jaoteltiin kivennäismaihin ja eloperäisiin maihin. Suurin osa tilojen pelloista oli kivennäismaita loppujen ollessa eloperäisiä maita (liite 4). Maalajeja ei jaoteltu tarkemmin aineistoon, mutta tutkimuksen tekijän arvion mukaan suurin osa kivennäismaista oli kevyitä kivennäismaita, lähinnä hietamaita. Multavuudeltaan suurin osa lohkoista oli multavia tai runsasmultaisia (liite 4). Vähintäänkin multavia oli yli 90 % peltolohkoista. Turvemaita oli perunatiloilla yhteensä kaksi lohkoa.

Peltojen pH-luokat ja viljavuus

Kaikista tilojen peltolohkoista yli puolet oli happamuudeltaan pH-luokassa huono-välttävä (liite 4). pH-luokassa korkea-arveluttavan korkea oli 2 % kaikista kasvulohkoista, loppujen ollessa happamuudeltaan tyydyttäviä-hyviä. Viljavuudeltaan tilojen kasvulohkot olivat fosforirikkaita ja kaliumköyhiä (liite 4). 85 % kaikista tilojen pelloista oli fosforiluokaltaan vähintäänkin tyydyttäviä. Kaliumluokaltaan huonoja-välttäviä oli 65 % kaikista kasvulohkoista.

Peltojen kasvukunto

Viljelijöiden arvioiden mukaan suurin osa tilojen pelloista oli rakenteeltaan hyviä tai erittäin hyviä. Rakenteeltaan vähintäänkin tyydyttäviä oli 98 % kaikista tilojen kasvulohkoista. Kuivatukseltaan hyviä tai erittäin hyviä viljelijät arvioivat pelloistaan olevan lähes 60 %. 97 % kaikista peltolohkoista oli kuivatukseltaan vähintäänkin tyydyttäviä. Lähes puolet kaikista tilojen peltolohkoista oli sekä rakenteeltaan että kuivatukseltaan hyviä tai erittäin hyviä. Rakenteeltaan ja kuivatukseltaan vähintäänkin välttäviä oli noin 70 % peltolohkoista. Peltoja, jotka olivat sekä rakenteeltaan että kuivatukseltaan huonoja oli 1 % kaikista peltolohkoista. Peltojen osuudet rakenne-, kuivatus- ja kasvukuntoluokittain on esitetty liitteessä 4.

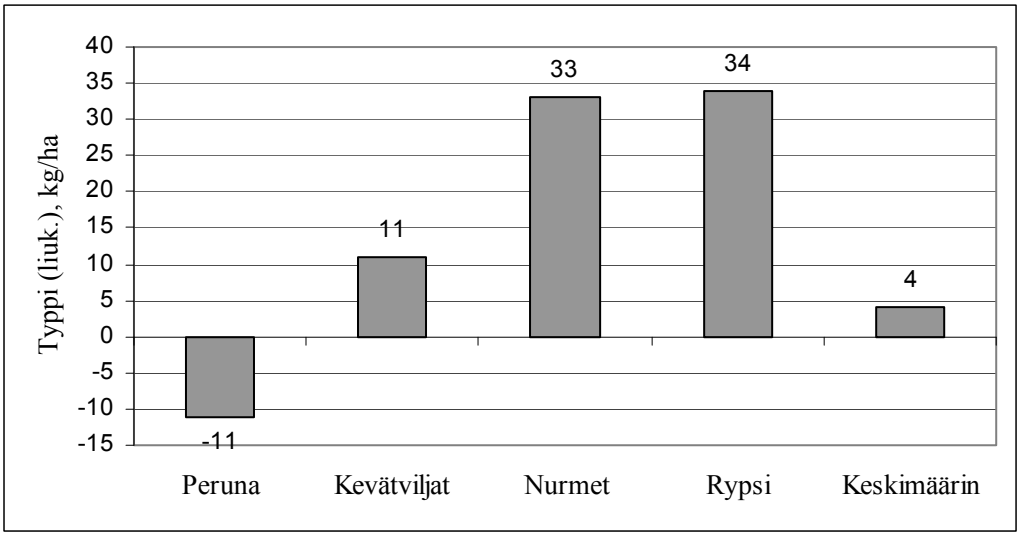
5.1.2 Tilakohtaiset peltoviljelyn typpi-, fosfori- ja kaliumtaseet

Perunatiloilla peltoviljelyn keskimääräinen typpitase oli 4 kg ha^{-1} ylijäämäinen ja typen hyötysuhde peltoviljelyssä oli 95 %. Typpitase vaihteli välillä –138-144 kg ha^{-1}. Peltoviljelyn fosforitase oli perunatiloilla keskimäärin 12 kg ha^{-1} ylijäämäinen vaihteluvälin ollessa –28-129 kg ha^{-1}. Kaliumtase vaihteli välillä –339-227 kg ha^{-1} ollen keskimäärin –2 kg ha^{-1} alijäämäinen. Fosforin hyötysuhde peltoviljelyssä oli keskimäärin 47 % ja kaliumin 103 %. Ravinnetaseiden vaihtelun suuruus riippui ravinteesta. Typellä ja kaliumilla lannoitteessa annetut ja sadossa poistuneet määrät olivat suurempia kuin fosforilla ja näin ollen taseenkin vaihtelu oli suurempaa.

5.1.3 Eri viljelykasvien ravinnetaseet perunatiloilla

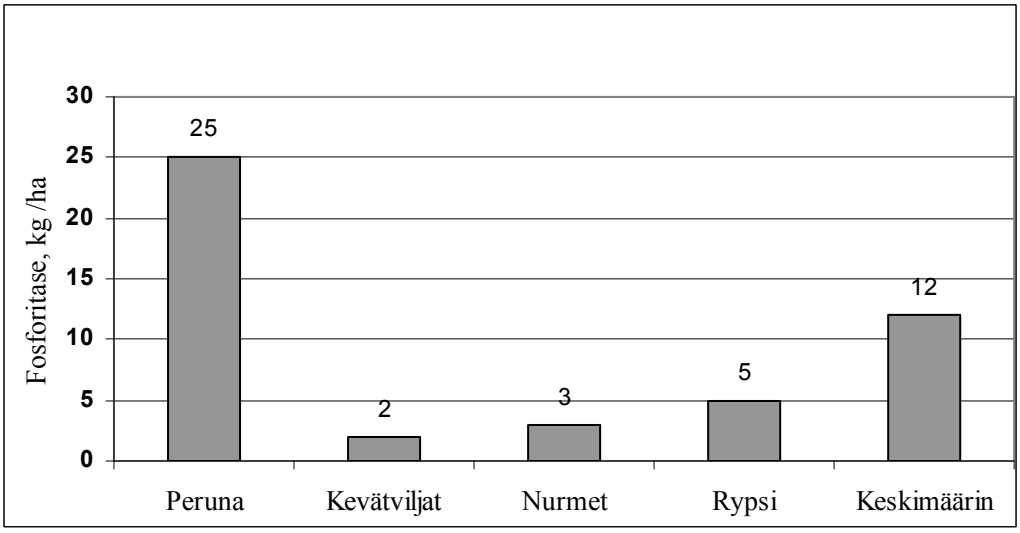
Perunatiloilla saatujen tulosten mukaan peruna hyödynsi muita viljelykasveja tehokkaammin typpeä, typpitaseen ollessa –11 kg ha^{-1} alijäämäinen (kuva 3). Perunasatoon pystyttiin hyödyntämään keskimäärin 95 % annetusta typpilannoituksesta.

Eniten typpeä jäi tulosten mukaan hyödyntämättä rypsiltä, jonka keskimääräinen typpitase oli 34 kg ha^{-1} ja typen käytön hyötysuhde 48 %. Myös nurmilla typpitase jäi varsin korkeaksi, 33 kg ha^{-1}. Kevätviljoilla typpitase oli keskimäärin 11 kg ha^{-1} ja hyötysuhde 85 %.



Kuva 3. Tutkimustiloilla viljeltyjen kasvien keskimääräiset typpitaseet v. 2000.

Perunatiloilla viljeltävistä kasveista kevätviljat ja nurmet hyödynsivät fosforia varsin tasaisesti ja tehokkaasti (kuva 4). Kevätviljojen fosforitase oli tiloilla keskimäärin 2 kg ha^{-1} ja nurmilla 3 kg ha^{-1}. Fosforinkäytön hyötysuhde nousi molemmilla kasviryhmillä yli 80 %:in. Rypsin fosforitase oli keskimäärin 5 kg ha^{-1} ja hyötysuhde hieman alle 60 %. Peruna poikkesi muista kasveista selvästi fosforin käytöltään. Fosforitase oli perunalla keskimäärin 25 kg ha^{-1} hyötysuhteen jäädessä 37 %:in.



Kuva 4. Tutkimustiloilla viljeltyjen kasvien keskimääräiset fosforitaseet v. 2000.

5.2 Perunanviljelyn lohkokohtaiset ravinnetaseet

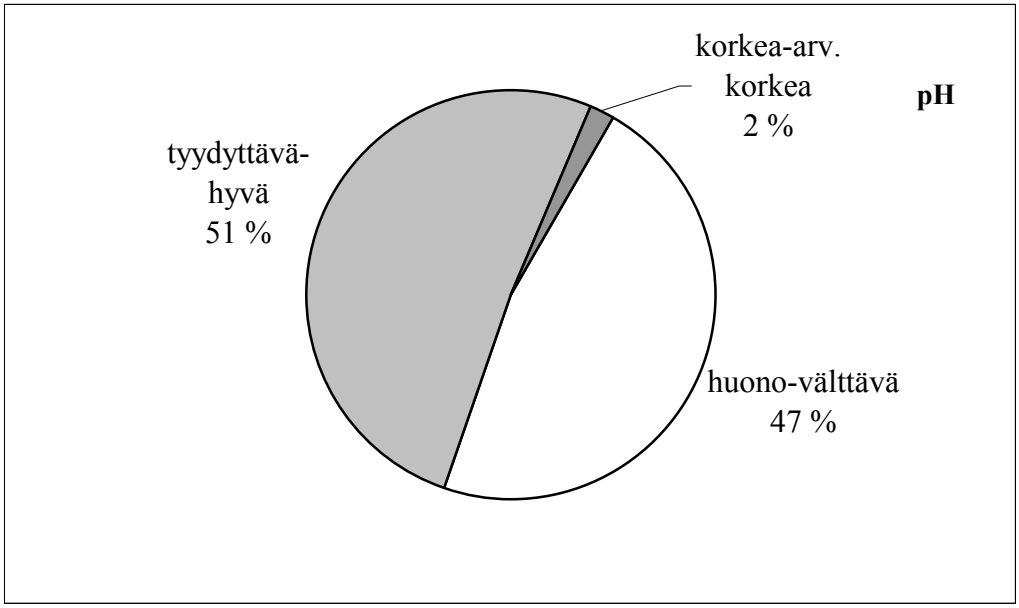
5.2.1 Perunalohkojen viljelytiedot

Ravinnetaselaskelma tehtiin yhteensä 287 perunalohkolle, joista 202 lohkolla viljeltiin tärkkelysperunaa, 41 lohkolla ruokaperunaa ja 44 lohkolla siemenperunaa. Perunan kokonaisala tutkimuksessa oli noin 432 ha, josta tärkkelysperunaa oli eniten, 297,24 ha, ruoka- ja ruokateollisuusperunaa 87,30 ha ja siemenperunaa 47,86 ha.

Tuloksia tarkasteltaessa perunalohkot jaettiin kahteen ryhmään. Tärkkelysperunaa tarkasteltiin omana ryhmänään, koska sen viljely poikkeaa selvästi ruoka- ja siemenperunan viljelystä. Ruoka- ja siemenperunaa tarkasteltiin omana ryhmänään, koska niiden katsottiin olevan ravinnetarpeeltaan ja muilta viljelyvaatimuksiltaan hyvin samanlaisia keskenään (Kuisma 2008). Näin saatiin myös suurempi vertailuryhmä tärkkelysperunan rinnalle, mikä lisää tulosten edustavuutta ja luotettavuutta.

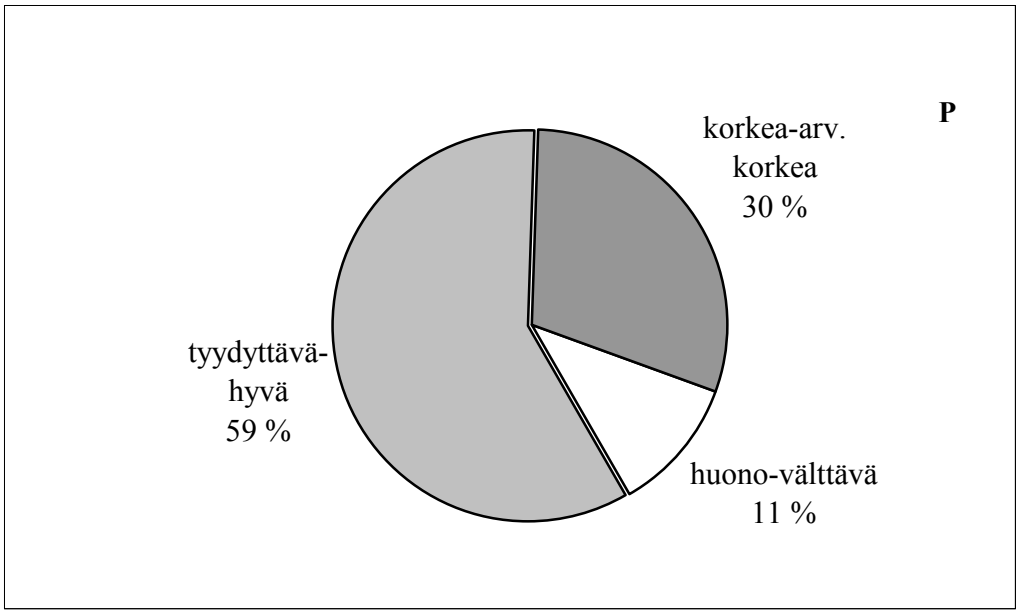
Perunapeltojen maalaji ja multavuus
Suurin osa peruna-alasta oli multavaa tai runsasmultaista kivennäismaata (liite 4). Erittäin runsasmultaista tai multamaata oli vajaa 20 % peruna-alasta. Turvemailla ei viljelty tutkimustiloilla perunaa.

Perunapeltojen viljavuus
Hieman alle puolet peruna-alasta oli happamuudeltaan (pH) huonoa-välttävää (kuva 5, liite 4). Lähes kaikki loput peruna-alasta oli happamuudeltaan tyydyttävää-hyvää, kun pH-luokkaan korkea-arveluttavan korkea kuului pari prosenttia peruna-alasta. Peruna-ala jakaantui edellä mainittuihin pH-luokkiin suurin piirtein samalla tavoin niin tärkkelys- kuin ruoka- ja siemenperunankin viljelyssä.



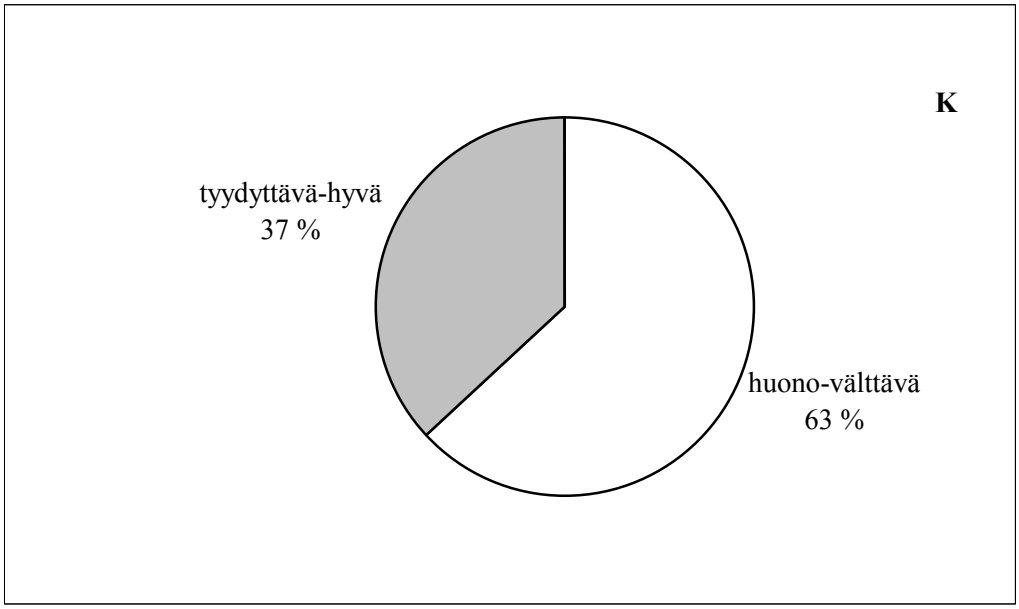
Kuva 5. Peruna-alan happamuusjakauma tutkimustiloilla Lappajärven valuma-alueella v. 2000.

Viljavuudeltaan suurin osa peruna-alasta oli fosforiluokassa tyydyttävä-hyvä (kuva 6, liite 4). Fosforiluokissa korkea-arveluttavan korkea oli noin kolmannes peruna-alasta. Fosforipitoisuudeltaan huonoa-välttävää oli hieman yli $^{1}/_{10}$ peruna-alasta. Tärkkelysperunalohkoilla oli keskimäärin korkeammat fosforiluokat kuin ruoka- ja siemenperunalohkoilla. 20 % ruoka- ja siemenperuna-alasta ja 8 % tärkkelysperuna-alasta oli fosforiluokaltaan huonoa-välttävää. Korkeassa fosforiluokassa oli 26 % ruoka- ja siemenperuna-alasta ja 31 % tärkkelysperuna-alasta.



Kuva 6. Peruna-alan jakautuminen fosforiluokkiin tutkimustiloilla Lappajärven valuma-alueella v. 2000.

Maan kaliumvarat olivat suurimmalla osalla peruna-alasta huonot-välttävät (kuva 7, liite 4). Viljavuusluokassa tyydyttävä-hyvä oli reilu kolmannes peruna-alasta ja luokassa korkea-arveluttavan korkea kaksi lohkoa. Tärkkelysperuna ja ruoka- ja siemenperunalohkot jakautuivat kaliumluokkiin suurin piirtein samalla tavalla.



Kuva 7. Perunalohkojen jakautuminen kaliumluokkiin tutkimustiloilla Lappajärven valuma-alueella v. 2000.

Perunapeltojen rakenne ja kuivatus

Viljelijät arvioivat viljelylohkojensa maan rakennetta ja kuivatuskykyä asteikolla: huono, välttävä, tyydyttävä, hyvä ja erittäin hyvä. Peruna-alasta suurin osa oli sekä rakenteeltaan että kuivatukseltaan hyvää tai erittäin hyvää (liite 4). Maan rakenteelta välttävää-tyydyttävää oli reilu kolmannes koko peruna-alasta. Ainoastaan yksi (ruoka)perunalohko luokiteltiin rakenteeltaan huonoksi. Kuivatukseltaan välttäväksi-tyydyttäväksi luokiteltiin reilu neljännes koko peruna-alasta ja huonoksi vain 2 lohkoa.

Yhdistettäessä maan rakenne ja kuivatus omaksi ”maan kasvukunto” -luokakseen, jakaantuivat tilojen perunalohkot siten, että yli puolet peruna-alasta oli kasvukunnoltaan hyvää tai erittäin hyvää (liite 4). Yksikään perunalohko ei ollut sekä rakenteeltaan että kuivatukseltaan huono.

Viljelyn monipuolisuus

Lähes kaikilla tiloilla viljeltiin perunan lisäksi vähintään yhtä muuta kasvia. Ainoastaan yhdellä tilalla viljeltiin pelkästään perunaa. Yleisimmin tiloilla viljeltiin viljaa (25 tilalla) tai nurmia (23 tilalla). Kolmea tai useampaa kasvia viljeltiin 23 tilalla. Yleisin esikasvi perunalla oli peruna (85 %:lla perunalohkoista). Viljaa tai rypsiä viljeltiin perunan esikasvina 12 %:lla kasvulohkoista ja nurmea 3 %:lla kasvulohkoista.

Tyypillisin viljelykierto perunatiloilla oli kierto, jossa tilalla viljeltiin perunan lisäksi vähintään yhtä muuta viljelykasvia ja nurmen osuus kierrossa on alle 20 %. Tällainen viljelykierto toteutui 18 tilalla. Kuudella tilalla oli perunan lisäksi kierrossa vähintään kaksi muuta kasvia ja nurmen osuus kierrossa oli 20-40 %. Neljällä tilalla viljeltiin perunan lisäksi vähintään kahta muuta kasvia ja nurmen osuus kierrossa oli yli 40 %. Kahdella tilalla viljeltiin pelkästään perunaa tai viljaa ja perunaa.

Kotieläintilojen viljelykierroissa nurmen, viljan ja perunan osuudet olivat lähes samansuuruiset. Kotieläintiloilla nurmea oli viljelyssä keskimäärin 36 %, kun kasvitiloilla sitä oli 8 %. Perunan osuus kierrossa oli kotieläintiloilla 35 % ja kasvitiloilla 58 %. Viljaa viljeltiin suunnilleen saman verran sekä kotieläintiloilla, joilla viljan osuus kierrossa oli keskimäärin 28 %, että kasvitiloilla, joilla viljaa viljeltiin keskimäärin 24 % tilan peltolohkoista.

Perunalohkot luokiteltiin Viljelyn monipuolisuus -luokkiin esikasvin ja viljelykierron monipuolisuuden mukaan. Viljelykierron monipuolisuus koostui nurmen osuudesta kierrossa sekä viljeltävien kasvien lukumäärästä. Monipuolisinta viljely oli silloin, kun nurmen osuus kierrossa oli mahdollisimman suuri, perunan lisäksi viljeltiin jotain muuta kasvia ja perunan esikasvina oli vuonna 1999 viljelty jotain muuta kasvia kuin perunaa. Perunalohkot jakautuivat monipuolisuusluokkiin taulukon 9 mukaisesti.

Taulukko 9. Perunanviljelykierron monipuolisuus tutkimustiloilla Lappajärven valumaalueella v. 2000.

	----------**>monipuolisuusaste kasvaa**---------->							
	A1	B1	A2	B2	A3	B3	A4	B4
Tärkkelysperuna								
lohkoja	28	5	88	5	49	6	17	4
ha	38	6	137	9	73	8	23	3
% alasta	13	2	46	3	25	3	8	1
Ruoka- ja siemenperuna								
lohkoja	4	4	38	12	10	7	9	1
ha	4	4	64	27	15	11	10	1
% alasta	3	3	47	20	11	8	7	1
Yhteensä								
lohkoja	32	9	126	17	59	13	26	5
ha	42	10	201	36	88	19	33	4
% alasta	10	2	47	8	20	4	8	1

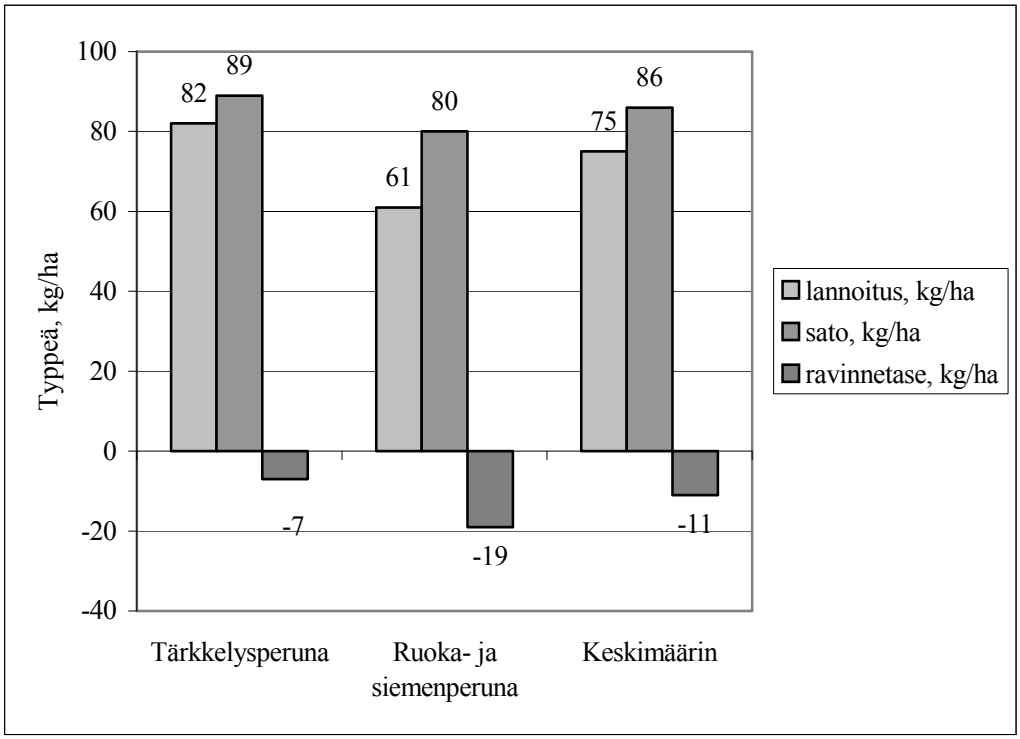
Suurin osa perunalohkoista sijoittui monipuolisuusluokkaan, jossa perunan esikasvina oli viljelty perunaa ja viljelykierrossa oli 0-20 % nurmea ja perunan lisäksi viljeltiin vähintään yhtä muuta kasvia, yleensä viljaa. Toiseksi eniten perunalohkoja oli luokassa, jossa perunan esikasvina oli peruna ja tilalla viljeltiin perunan lisäksi nurmea (20-40 % kierrosta) ja jotakin kolmatta viljelykasvia, yleensä viljaa. Kolmanneksi eniten perunalohkoja oli yksipuolisimmassa luokassa, jossa perunan esikasvina oli peruna ja viljelykierto koostui perunasta ja nurmesta, jota oli 0-20 %. Yhdelläkään tilalla ei ollut viljelykierrossa nurmea 60 % enempää. Kaikilla tiloilla, joilla nurmen osuus kierrossa ylitti 40 % :n oli perunan lisäksi myös viljaa tai jotakin muuta kasvia viljelyssä.

5.2.2 Perunanviljelyn typpitaseet

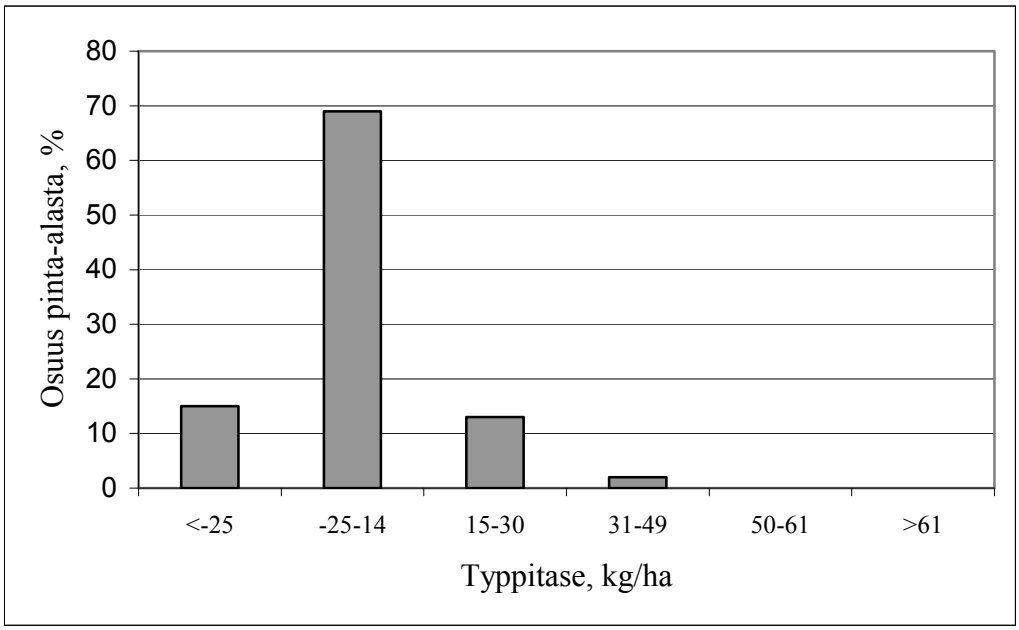
Typpitaseet olivat alijäämäisiä niin tärkkelysperunan kuin ruoka- ja siemenperunankin viljelyksessä (taulukko 10, kuva 8). Ruoka- ja siemenperunanviljelyn typpitaseet olivat 8 kg ha^{-1} alhaisemmat kuin tärkkelysperunanviljelyn. Perunanviljelyn typpitase vaihteli välillä –98-100 kg ha^{-1}, keskimääräinen typpitaseen ollessa –11 kg ha^{-1} ja typen hyötysuhteen 114 %. Tämä tarkoittaa, että lannoitteessa annetun typen lisäksi hyödynnettiin maan typpivaroja keskimäärin 11 kg ha^{-1}. Rajalan ym. (2001) typpitaseen tulkinta-avaimen mukaan typpi hyödynnettiin tutkimustiloilla keskimäärin hyvin (Liite 2: taulukko 1). Suurin osa sekä ruoka- ja siemenperuna- että tärkkelysperunalohkoista oli typpitaseeltaan Rajalan ym. (2001) luokituksen mukaan hyviä (Kuvat 9 ja 10; liite 5: taulukot 1 ja 2).

Taulukko 10. Perunanviljelyn keskimääräiset ravinnetaselaskelmat tutkimustiloilla Lappajärven valuma-alueella v. 2000.

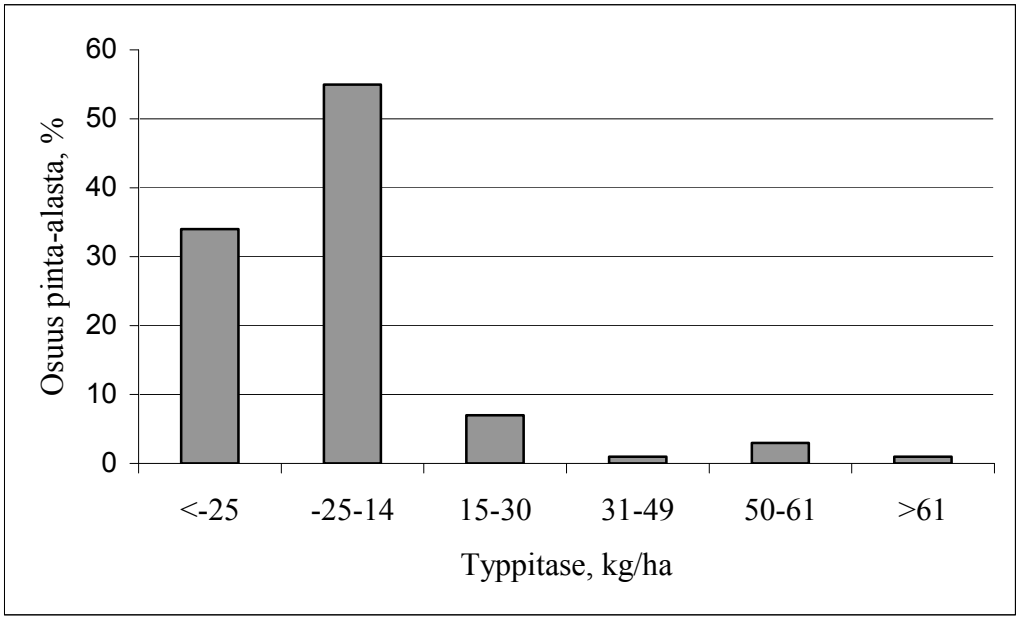
	Tärkkelysperuna	Ruoka- ja siemenperuna	Yhteensä/keskimäärin
Lohkoja	**202**	**85**	**287**
Hehtaareja	**297**	**135**	**432**
TYPPI, liuk.			
Lannoitus, kg/ha	82	61	75
Sato, kg/ha	89	80	86
Tase, kg/ha	*-7*	*-19*	*-11*
Hyötysuhde, %	*109*	*131*	*114*
FOSFORI, käyttök.			
Lannoitus, kg/ha	40	37	39
Sato, kg/ha	15	13	14
Tase, kg/ha	*25*	*23*	*25*
Hyötysuhde, %	*37*	*37*	*37*
KALIUM			
Lannoitus, kg/ha	128	136	131
Sato, kg/ha	148	134	144
Tase, kg/ha	*-20*	*2*	*-13*
Hyötysuhde, %	*116*	*99*	*110*



Kuva 8. Typen käyttö perunanviljelyssä tutkimustiloilla v. 2000.

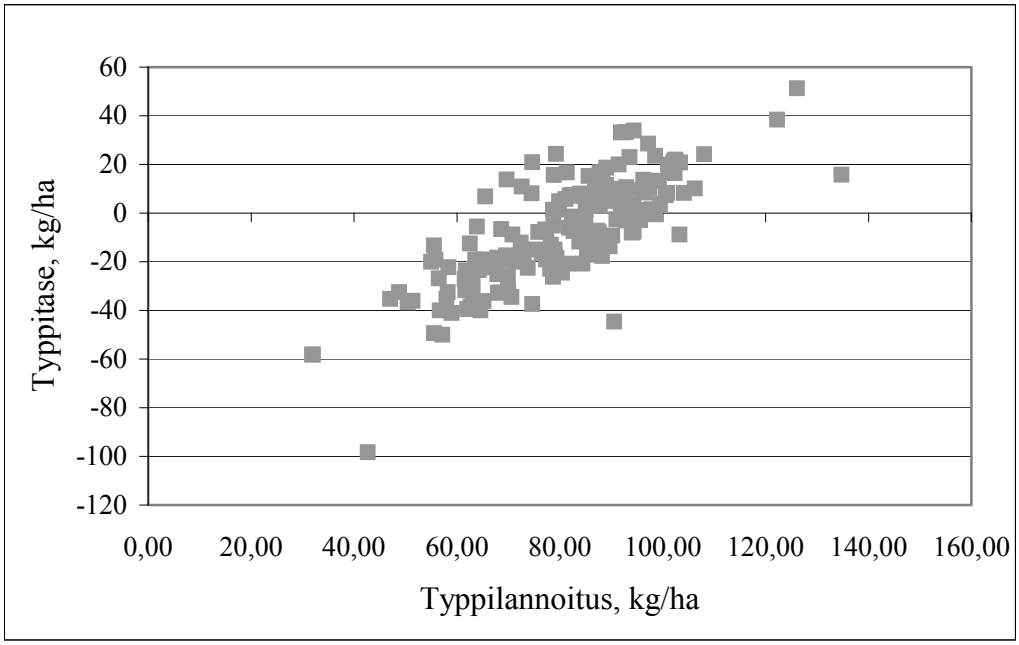


Kuva 9. Typpitaseen (liuk.) jakauma tärkkelysperunanviljelyssä tutkimustiloilla v. 2000.

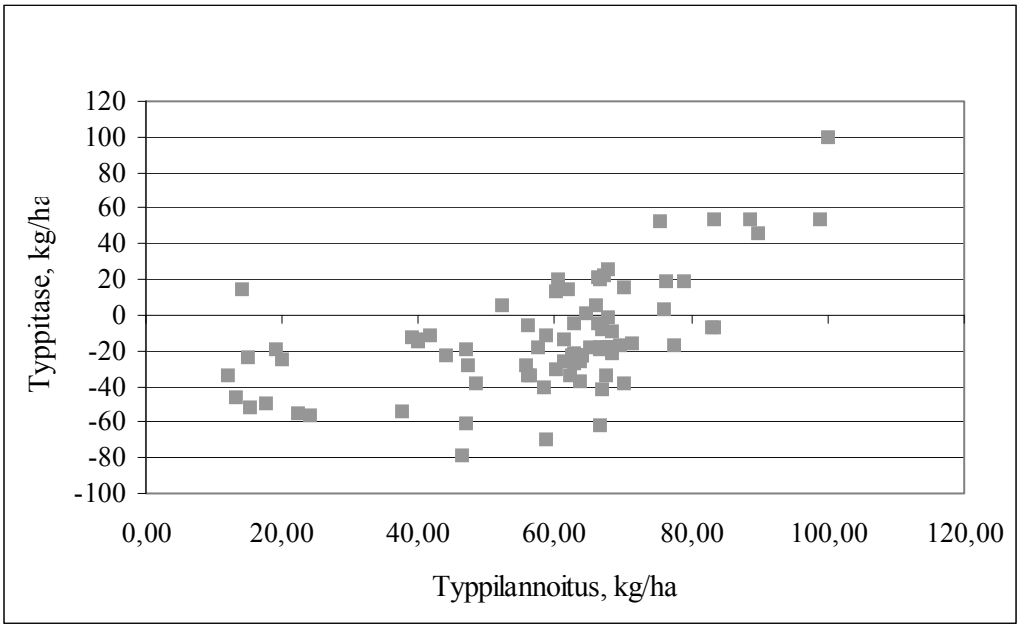


Kuva 10. Typpitaseen (liuk.) jakauma ruoka- ja siemenperunalohkoilla tutkimustiloilla v. 2000.

Typpilannoituksen lisääminen kasvatti niin tärkkelysperunan kuin ruoka- ja siemenperunan typpitasetta (Kuvat 11 ja 12). Spearmanin korrelaatiokerroin tärkkelysperunan typpilannoitukselle ja typpitaseelle oli 0,805 ja tulos oli tilastollisesti merkitsevä $p < 0,001$). Ruoka- ja siemenperunalla typpilannoituksen ja typpitaseen korrelaatiokerroin (Spearman) oli 0,554 ja tulos oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,001$). Tärkkelysperunan typpilannoitusmäärät vaihtelivat 24-135 kg ha^{-1} välillä, keskimääräisen typpilannoituksen ollessa 82 kg ha^{-1}. Ruoka- ja siemenperunan typpilannoitusmäärät vaihtelivat 12-100 kg ha^{-1} välillä, ollen keskimäärin 61 kg ha^{-1}. Typpilannoitus oli lähes 20 kg ha^{-1} pienempi ruoka- ja siemenperunanviljelyssä kuin tärkkelysperunanviljelyssä, joskin tärkkelysperunan sadon mukana poistuneen typen määrä oli lähes 10 kg ha^{-1} suurempi.



Kuva 11. Typpilannoituksen ja typpitaseeseen suhde tärkkelysperunan viljelyssä tutkimustiloilla v. 2000.

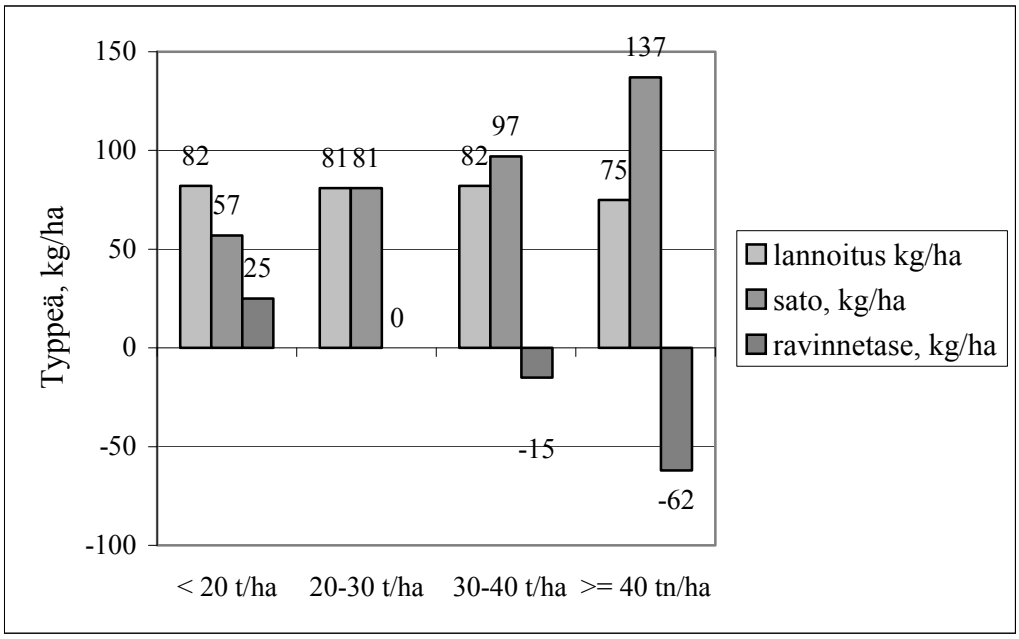


Kuva 12. Typpilannoituksen ja typpitaseen suhde ruoka- ja siemenperunan viljelyssä tutkimustiloilla v. 2000.

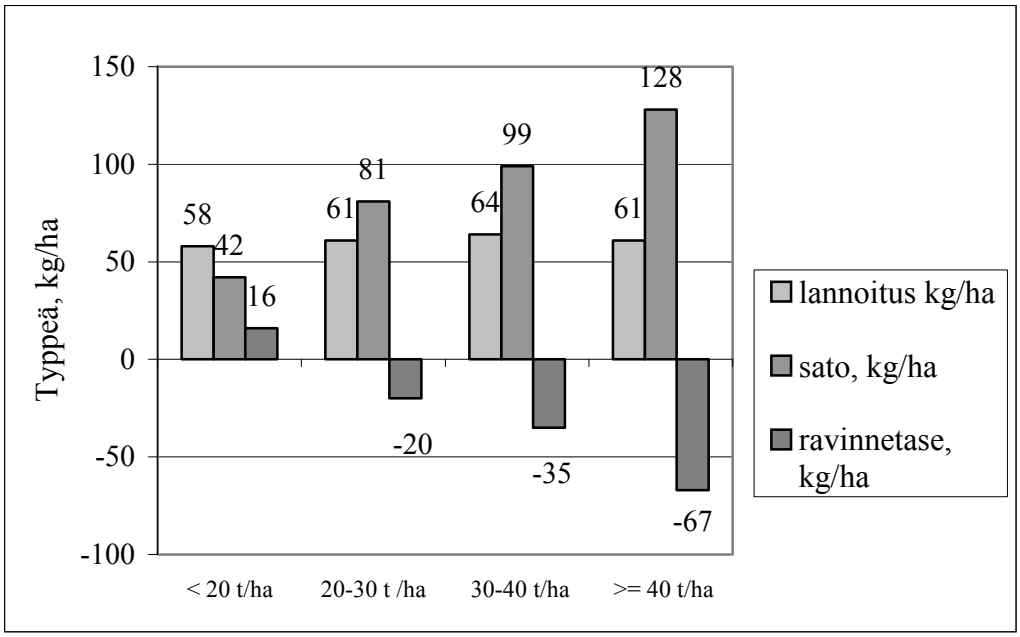
Tärkkelysperunalla saavutettiin tutkimustiloilla keskimäärin paremmat sadot kuin ruoka- ja siemenperunalla v. 2000. Suurimmalla osalla (52 %) tärkkelysperuna-alasta ja ruoka- ja siemenperuna-alasta (72 %) korjattu perunasato vaihteli 20-30 t ha^{-1}:n välillä. 30-40 t:n hehtaarisatoon yllettiin huomattavalla osalla tärkkelysperuna-alasta (44 %), kun ruoka- ja siemenperunalla vastaaviin satoihin päästiin 26 %:lla alasta.

Korkeimmassa satoluokassa (yli 40 t ha^{-1}) oli 2 tärkkelysperunalohkoa ja 3 ruoka- ja siemenperunalohkoa.

Perunasadon kasvaminen pienensi selvästi typpitasetta niin tärkkelys- kuin ruoka- ja siemenperunalla (kuvat 13 ja 14). Sadon ja typpitaseen korrelaatio oli sekä tärkkelysperunalla (Spearman 0,623, $p < 0,001$) että ruoka- ja siemenperunalla (Spearman 0,771, $p < 0,001$) tilastollisesti merkitsevää. Tärkkelysperunalla saavutettiin keskimäärin paremmat sadot kuin ruoka- ja siemenperunalla. Tärkkelysperunan lannoituksessa eri satoluokkien välillä ei ollut juurikaan eroja, mutta keskimääräinen typpilannoitus oli pienin korkeimmassa satoluokassa (>= 40 t ha^{-1}). Sadossa poistuneen typen määrä oli korkeimmassa satoluokassa (>= 40 t ha^{-1}) yli kaksinkertainen verrattuna alhaisimpaan satoluokkaan (< 20 t ha^{-1}). Ruoka- ja siemenperunalla sadossa poistuneen typen määrä kolminkertaistui huonoimman (< 20 t ha^{-1}) ja parhaimman (>= 40 t ha^{-1}) satoluokan välillä, annetun typpilannoituksen määrän pysyessä keskimäärin lähes samana jokaisessa satoluokassa. Sadon ollessa yli 40 t ha^{-1} keskimääräinen typpitase oli useita kymmeniä kiloja alijäämäinen sekä tärkkelys- että ruoka- ja siemenperunalla.



Kuva 13. Tärkkelysperunan typen käyttö eri satotasoilla tutkimustiloilla v. 2000.



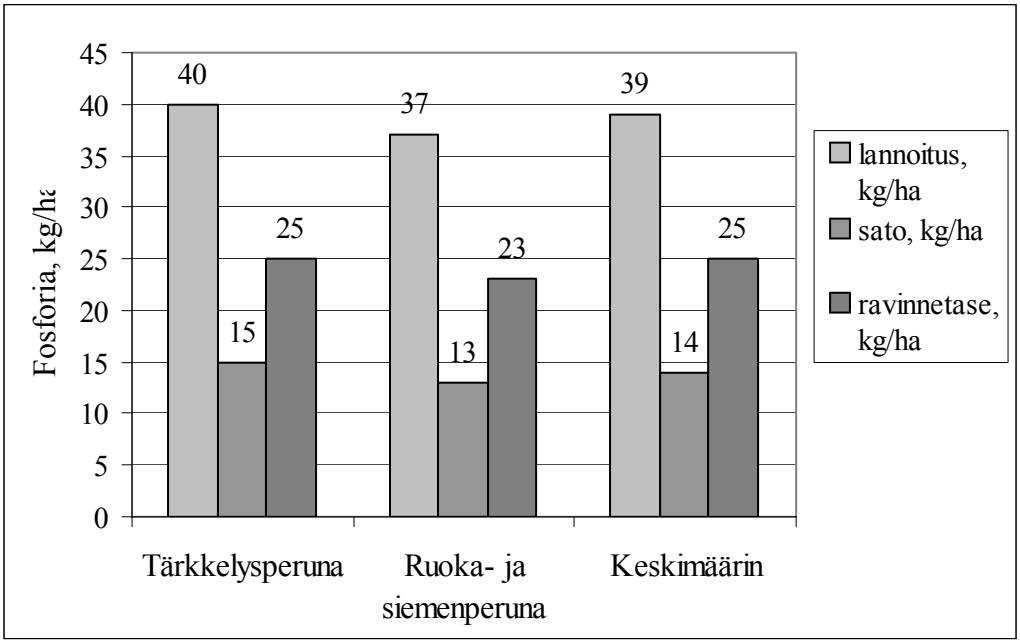
Kuva 14. Ruoka- ja siemenperunan typen käyttö eri satotasoilla tutkimustiloilla v. 2000.

5.2.3 Perunanviljelyn fosforitaseet

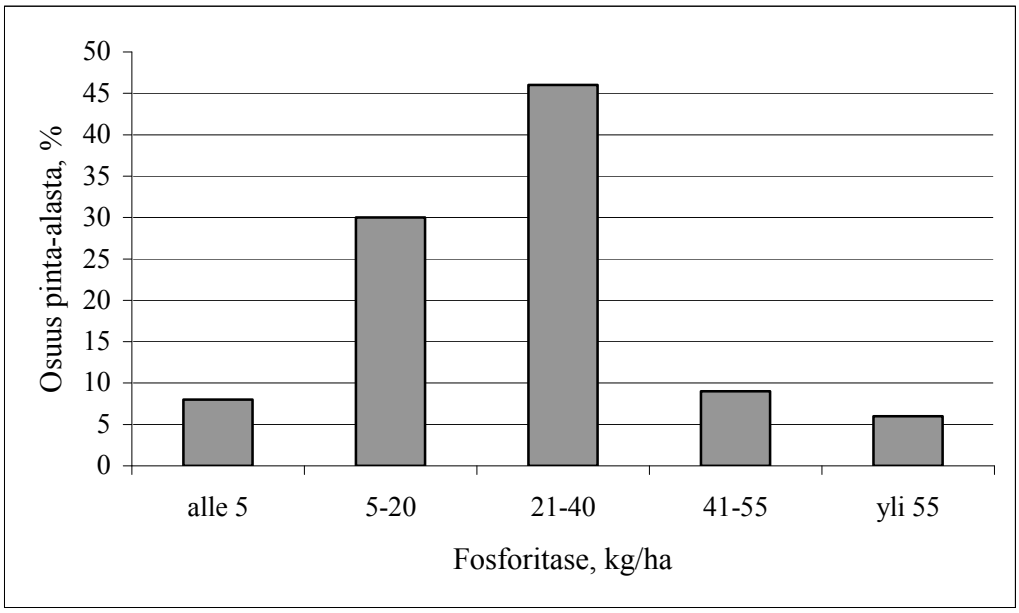
Perunanviljelyn fosforitase oli tutkimustiloilla selvästi ylijäämäinen (kuva 15, taulukko 10). Tutkimustilojen perunalohkoilla jäi fosforia hyödyntämättä keskimäärin 25 kg ha^{-1} vaihteluvälin ollessa –5-72 kg ha^{-1}. Fosforin hyötysuhde jäi perunanviljelyssä keskimäärin 37 %:in (taulukko 10). Fosforitaseet olivat lähes samansuuruiset tärkkelysperunalla ja ruoka- ja siemenperunalla. Rajalan ym. (2001) fosforitaseen tulkinta-avaimen mukaan, perunanviljelyn fosforitase olisi keskimäärin huononlainen (liite 2, taulukko 2). Koska peruna poikkeaa fosforinkäytöltään selvästi muista yleisimmistä viljelykasveista, laadittiin perunan fosforitaseen tulkintaa varten oma tulkinta-avain Rajalan ym. (2001) ohjeiden mukaan (liite 6: taulukot 1 ja 2). Tulkinta-avaimen luokkakohtaiset fosforitaseen raja-arvot perustuvat perunan viljavuusluokkien mukaisiin fosforilannoitusmääriin satotasolla 30 000 kg ha^{-1}. Sen mukaan tutkimustiloilla hyödynnettiin fosfori perunanviljelyssä tyydyttävästi. Luokittelun mukaan suurin osa sekä tärkkelys- että ruoka- ja siemenperunalohkoista oli fosforitaseeltaan tyydyttäviä (kuvat 16 ja 17).

Fosforitase kasvoi selvästi fosforilannoituksen lisääntyessä niin tärkkelys- kuin ruoka- ja siemenperunalla (kuvat 18 ja 19). Fosforilannoituksen ja fosforitaseen korrelaatiokerroin oli tärkkelysperunalla 0,990 (Pearson) ja tulos oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,001$). Ruoka- ja siemenperunalla Pearsonin korrelaatiokerroin oli 0,971 ja tulos oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0,001$). Vaihtelu lannoituksen ja taseen välisessä suhteessa oli pienempää fosforilla kuin typellä. Erityisesti tärkkelysperunalla fosforilannoituksen ja -taseen suhde oli lähes lineaarinen (kuva 18). Fosforilannoitusmäärissä ei ollut suuria eroja perunalajien väillä. Annetun fosforin määrä vaihteli tärkkelysperunalla 8-87 kg ha^{-1} välillä ollen keskimäärin 40 kg ha^{-1}.

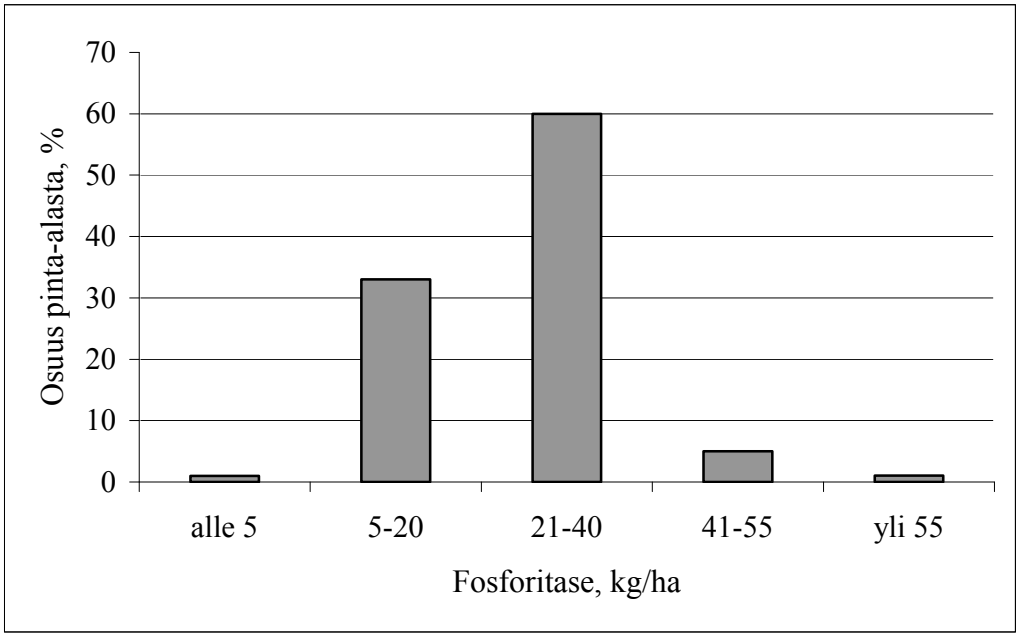
Ruoka- ja siemenperunalle fosforia annettiin tutkimustiloilla 11-71 kg ha^{-1} lannoituksen ollessa keskimäärin 37 kg ha^{-1}.



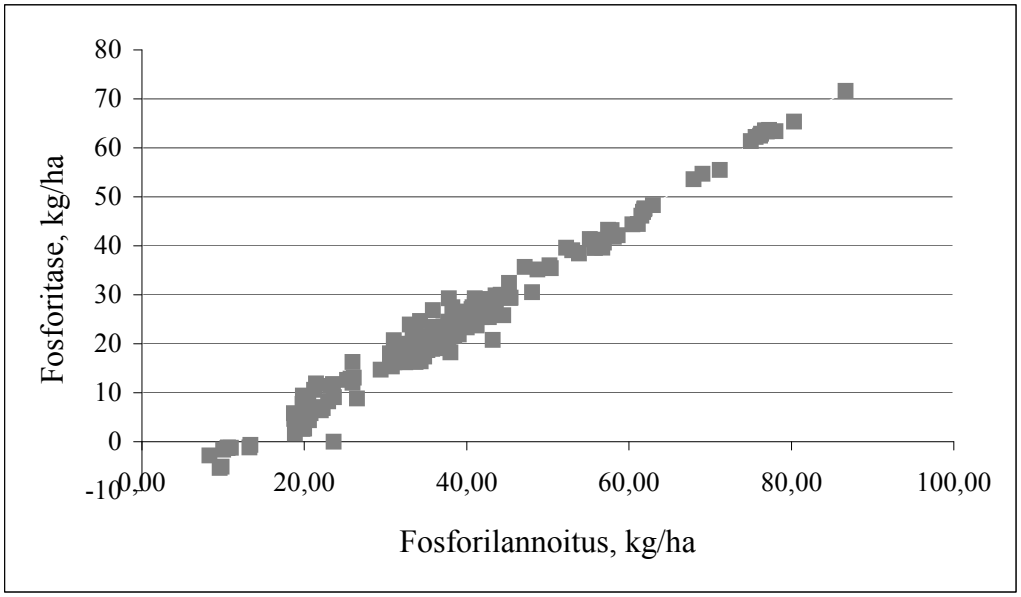
Kuva 15. Fosforin käyttö perunanviljelyssä tutkimustiloilla v. 2000.



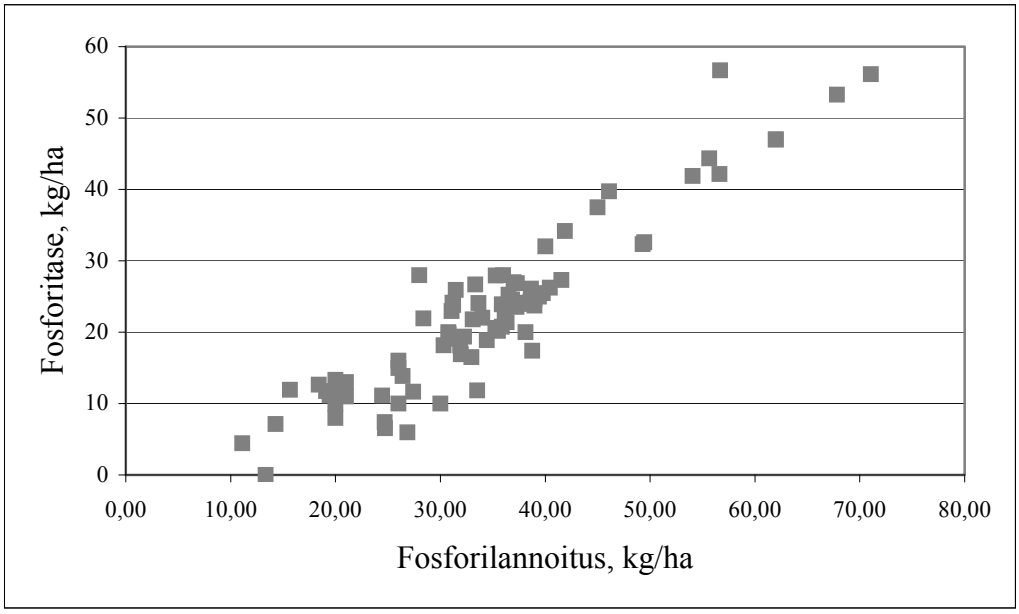
Kuva 16. Fosforitaseen jakauma tärkkelysperunan viljelyssä tutkimustiloilla v. 2000.



Kuva 17. Fosforitaseen jakauma ruoka- ja siemenperunan viljelyssä tutkimustiloilla v. 2000.

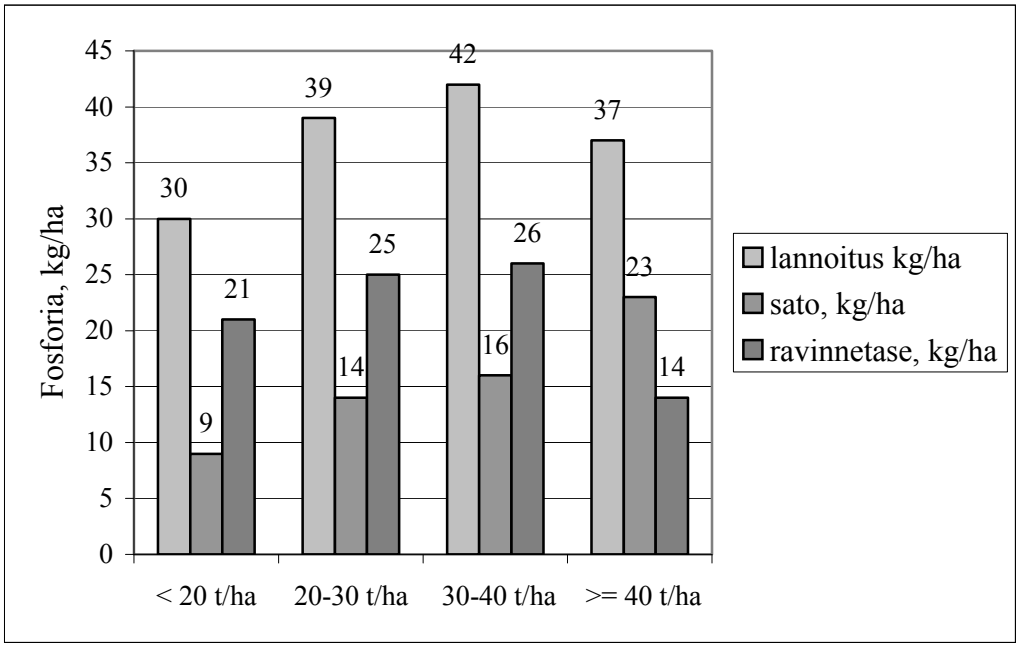


Kuva 18. Fosforilannoituksen ja fosforitaseen suhde tärkkelysperunan viljelyssä tutkimustiloilla v. 2000.



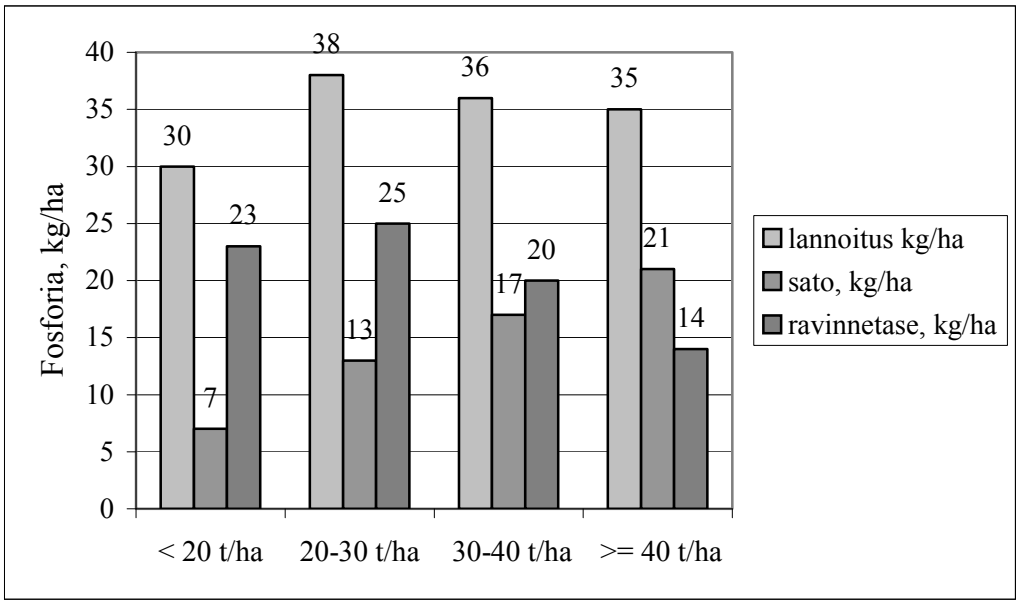
Kuva 19. Fosforilannoituksen ja fosforitaseen suhde ruoka- ja siemenperunan viljelyssä tutkimustiloilla v. 2000.

Perunasadon kasvaminen lisäsi tärkkelysperunan fosforitasetta korkeimpaan satoluokkaan (>= 40 t ha^{-1}) asti, jossa fosforitase lähes puolittui verrattuna edelliseen satoluokkaan ja oli selvästi parempi kuin alhaisimmassa satoluokassa (kuva 20). Tärkkelysperunan fosforitaseen ja sadon määrän korrelaatiokerroin (Pearson) oli 0,020 eikä niiden välillä havaittu korrelaatiota (p = 0,775). Toisin kuin typellä, fosforilla tärkkelysperunan lannoitusmäärät ja taseet kasvoivat selvästi satomäärien kasvaessa aina korkeimpaan satoluokkaan asti, jossa annetun fosforilannoituksen määrä putosi muutaman kilon ollen kuitenkin selvästi korkeampi kuin alhaisimmassa satoluokassa.



Kuva 20. Tärkkelysperunan fosforinkäyttö eri satotasoilla tutkimustiloilla v. 2000.

Ruoka- ja siemenperunalla fosforitase nousi kahden ensimmäisen satoluokan välillä, mutta laski sitten korkeammilla satomäärillä ollen korkeimmassa satoluokassa lähes 10 kg ha^{-1} pienempi kuin satoluokassa 20-30 t ha^{-1}, jossa fosforitase oli korkein (kuva 21). Myöskään ruoka- ja siemenperunalla sadon määrä ei korreloinut (p = 0,254) fosforitaseen kanssa Pearsonin korrelaatiokertoimen ollessa –0,125. Ruoka- ja siemenperunalla fosforilannoitusmäärät olivat pari kiloa pienempiä kuin tärkkelysperunalla. Fosforilannoitus oli suurin ruoka- ja siemenperunalla satoluokassa 20-30 t ha^{-1} laskien sitten tasaisesti muutamalla kilolla korkeammissa satoluokissa ollen kuitenkin korkeimmassa satoluokassa vielä viisi kiloa suurempi kuin alhaisimmassa satoluokassa.



Kuva 21. Ruoka- ja siemenperunan fosforinkäyttö eri satotasoilla tutkimustiloilla Lappajärven valuma-alueella v. 2000.

5.2.4 Perunanviljelyn kaliumtaseet

Lappajärven valuma-alueella peruna hyödynsi kaliumia tehokkaasti. Perunanviljelyn keskimääräinen kaliumtase oli tutkimustiloilla –13 kg ha^{-1} ja hyötysuhde 110 % (taulukko 9; liite 7: kuva 1), mikä tarkoittaa, että lannoitteessa annetun kaliumin lisäksi hyödynnettiin pellolta korjattuun satoon lisäksi maan kaliumvaroja keskimäärin 13 kg ha^{-1}. Ruoka- ja siemenperunalla satoon hyödynnettiin lähes kaikki (99 %) lannoitteessa annettu kalium, ja tärkkelysperunalla kaliumtase oli jo alijäämäinen (–20 kg ha^{-1}) (liite 7: kuva 1).

Perunasadon kasvaminen pienensi kaliumtasetta sekä tärkkelys- että ruoka- ja siemenperunalla siten, että alhaisemmissa satoluokissa ylijäämäinen kaliumtase laski korkeammissa satoluokissa alijäämäiseksi (liite 7: kuvat 2 ja 3). Kaliumlannoituksen lisääminen kasvatti kaliumtasetta molemmilla perunalajeilla, joskin tulosten vaihtelu oli suurempaa kuin fosforilla (liite 7: kuvat 4 ja 5).

5.3 Ravinteiden hyväksikäyttöön vaikuttavat tekijät perunalla

5.3.1 Maan liukoisen fosforin määrän vaikutus perunanviljelyn fosforitaseeseen

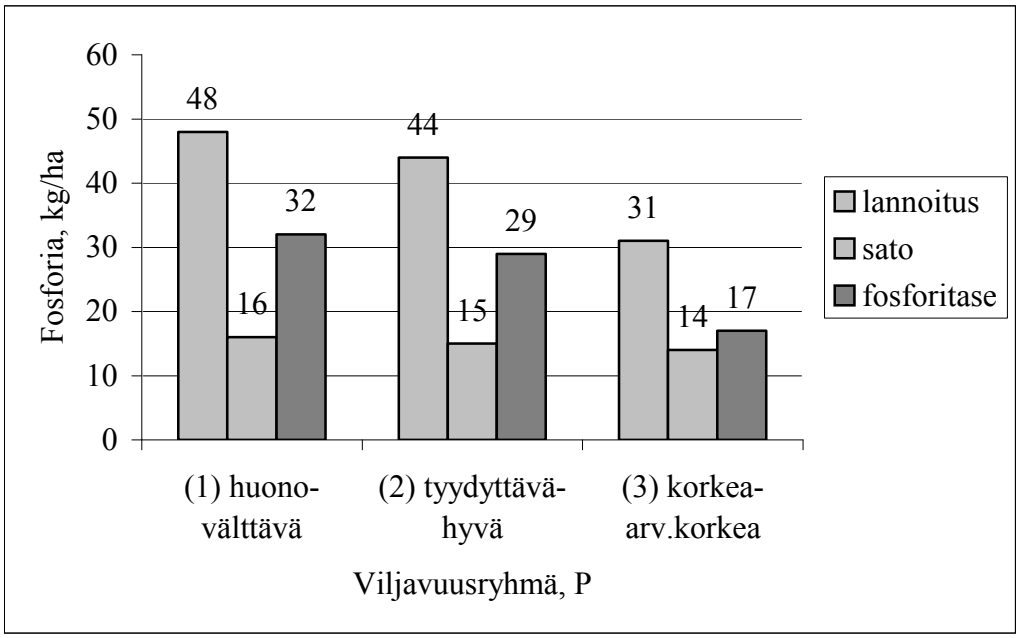
Pellon fosforiluokan vaikutusta ravinteiden hyväksikäyttöön perunanviljelyssä tutkittiin vertaamalla perunalohkojen fosforitaseita fosforiluokaltaan erilaisilla mailla. Koska fosforitase ei ollut normaalisti jakaantunut fosforiluokissa, fosforitaseen riippuvuutta fosforiluokasta tutkittiin parametrittomalla testillä (Kruskal-Wallisin H-testi). Tärkkelysperunan fosforitase pieneni ja fosforin hyötysuhde parani tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0{,}001$) maan viljavuuden kasvaessa (taulukko 11, kuva 22). Luokkien välisiä eroja tutkittiin edelleen Mann-Whitneyn U-testillä. Testin mukaan fosforitase pieneni erityisesti vijavuusluokkien tyydyttävä-hyvä ja korkea-arveluttavan korkea välillä lannoituksesta satoon hyödynnetyn fosforin osuuden noustessa 12 %-yksikköä (kuva 22) ja tulos oli tilastollisesti merkitsevä ($p = 0{,}001$), Bonferroni-korjatun merkitsevyystason ollessa α Bon= 0,017. Hyötysuhde parani huonoimman ja parhaimman viljavuusluokan välillä 14 kg ha^{-1} ja tulos oli tilastollisesti merkitsevä ($p < 0{,}001$). Kahden ensimmäisen viljavuusluokan välinen ero fosforitaseessa ei ollut Mannin-Whitneyn U-testin mukaan tilastollisesti merkitsevä ($p = 0{,}059$).

Taulukko 11. Maan fosforiluokan vaikutus perunanviljelyn fosforitaseeseen Lappajärven valuma-alueella v. 2000

	Viljavuusryhmä, P		
	(1) huono-välttävä	**(2) tyydyttävä-hyvä**	**(3) korkea-arv.korkea**
Tärkkelysperuna			
Lohkoja, kpl	14	120	68
Pinta-ala, ha	23	181	93
Osuus peruna-alasta, %	8	61	31
Lannoitus, kg ha^{-1}	48	44	31
Sato, kg ha^{-1}	16	15	14
Fosforitase, kg ha^{-1}	*32*	*29*	*17*
Fosforin hyötysuhde, %	*33*	*34*	*45*
Ruoka- ja siemenperuna			
Lohkoja, kpl	12	51	22
Pinta-ala	27	73	36
Osuus peruna-alasta, %	20	54	27
Lannoitus, kg ha^{-1}	37	37	36
Sato, kg ha^{-1}	15	13	13
Fosforitase, kg ha^{-1}	*22*	*24*	*23*
Fosforin hyötysuhde, %	*41*	*35*	*36*

Maan korkeampi viljavuus eli fosforiluokka oli huomioitu tiloilla tärkkelysperunan lannoituksessa ja keskimääräiset fosforilannoitusmäärät vähenivät selkeästi viljavuuden kasvaessa. Annetut fosforimäärät olivat tärkkelysperunalla keskimäärin neljä kiloa pienemmät fosforiluokissa tyydyttävä-hyvä kuin luokissa huono-välttävä (taulukko 11, kuva 22). Viljavuusluokassa korkea-arveluttavan korkea fosforia annettiin tutkimustiloilla tärkkelysperunalle selvästi vähemmän (-13 kg ha^{-1}) kuin luokissa tyydyttävä-hyvä. Tutkimustiloilla annetut fosforilannoitusmäärät eivät vastanneet kuitenkaan täysin annettuja suosituksia. Luokissa huono, huononlainen ja välttävä saa fosforia käyttää ympäristötuen ehtojen mukaan perunalle 75 kg ha^{-1}. Tärkkelysperunatiloilla fosforia oli annettu viljavuusluokassa huono-välttävä selvästi vähemmän, keskimäärin 48 kg ha^{-1}. Viljavuusluokissa tyydyttävä ja hyvä vaihtelee fosforitarve suositusten mukaan 35-55 kg ha^{-1}. Tutkimustiloilla annetun fosforin määrä vastasi tyydyttävä-hyvä viljavuusluokissa hyvin tarvetta, ollen tärkkelysperunalla keskimäärin 44 kg ha^{-1}. Viljavuusluokassa korkea-arveluttavan korkea fosforia saa antaa luokassa korkea 20 kg ha^{-1} ja luokassa arveluttavan korkea fosforilannoitteita ei saa käyttää lainkaan. Tutkimustiloilla viljavuusluokissa korkea-arveluttavan korkea annettiin fosforia suosituksia suurempi määrä, keskimäärin 31 kg ha^{-1}.

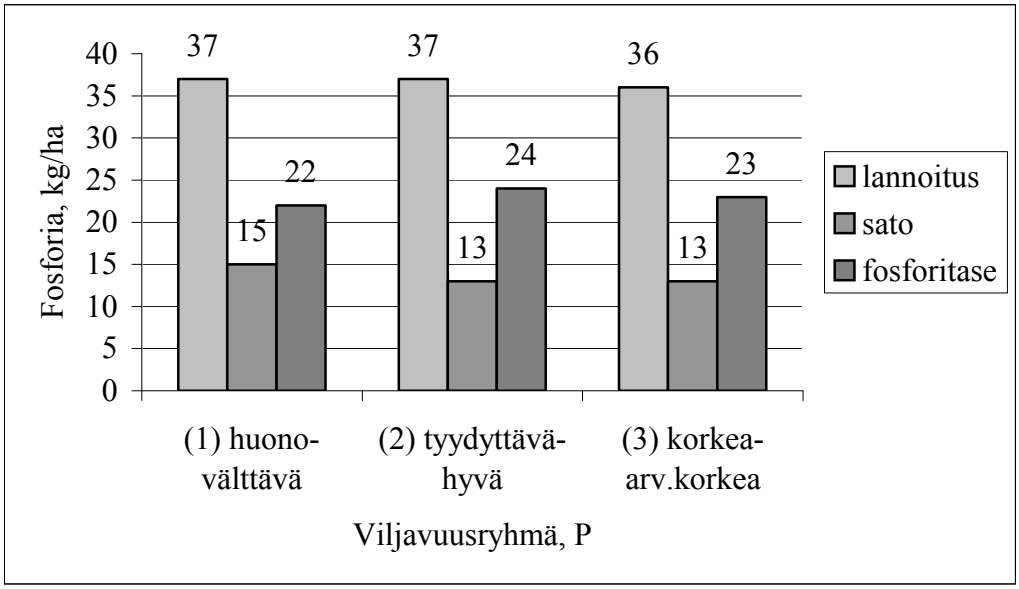
Vaikka satomäärät pienenivät hiukan maan viljavuuden kasvaessa, johti selvästi pienemmät fosforilannoitusmäärät siihen, että fosforitase pieneni ja fosforin hyötysuhde kasvoi maan viljavuuden kasvaessa.



Kuva 22. Tärkkelysperunan fosforilannoitus, sadossa poistunut fosfori ja fosforitase tutkimustiloilla v. 2000.

Ruoka- ja siemenperunalla fosforitase oli tasainen kaikissa viljavuusryhmissä (taulukko 11). Fosforitase nousi kahdella kilolla kahden ensimmäisen viljavuusryhmän välillä ja laski sitten korkeimpaan viljavuusryhmään siirryttäessä yhden kilon. Koska fosforitase

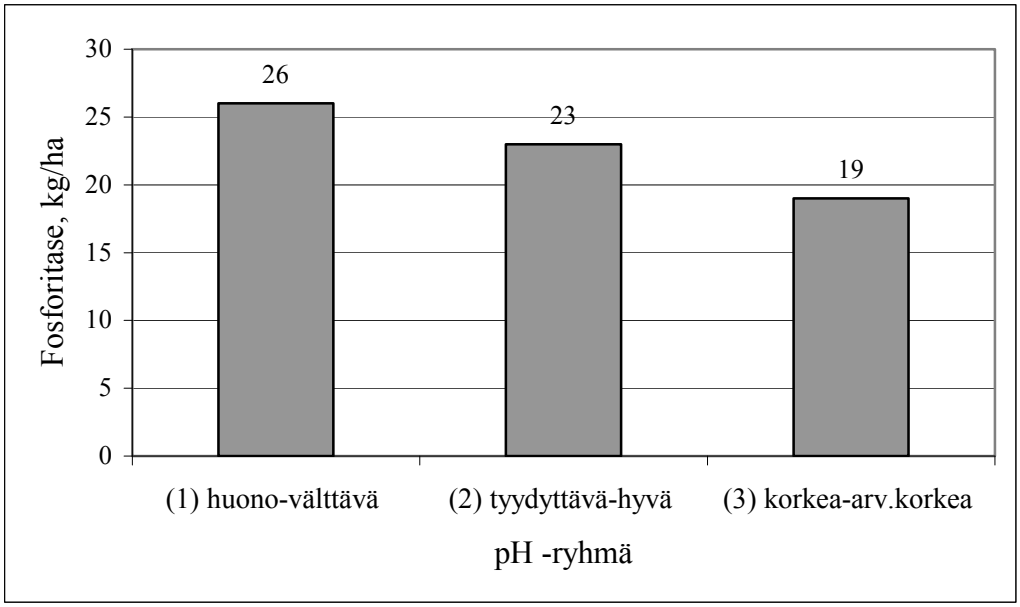
ei ollut normaalisti jakautunut fosforiluokissa, käytettiin fosforitaseen ja fosforiluokan riippuvuuden testaamiseen parametritonta Kruskal-Wallisin H-testiä. Fosforiluokka ei selitä fosforitaseen vaihtelua ruoka- ja siemenperunalla (p = 0,643). Ruoka- ja siemenperunan fosforilannoitus ja sadon mukana poistuneen fosforin määrä olivat lähes samat kaikissa viljavuusluokissa (taulukko 11, kuva 23). Fosforiköyhässä maassa saavutettiin jopa hieman paremmat sadot kuin viljavammilla mailla. Maan luontaista viljavuutta ei ollut juurikaan huomioitu lannoituksessa. Fosforiköyhillä mailla annettu keskimääräinen fosforilannoitus, 37 kg ha^{-1}, alitti fosforilannoitussuositukset (75 kg ha^{-1}), joskin satotasokin oli lannoitussuositusten oletussatotasoa (30 t ha^{-1}) pienempi. Viljavuusluokissa tyydyttävä-hyvä annettu fosforilannoitus, 37 kg ha^{-1}, vastasi kasvin tarvetta (35-55 kg ha^{-1}). Sen sijaan korkeissa viljavuusluokissa annetun fosforin määrä, 36 kg ha^{-1}, oli vain kilon pienempi kuin viljavuusluokassa tyydyttävä-hyvä ja määrä ylitti kasvin tarpeen (0-20 kg ha^{-1}).



Kuva 23. Ruoka- ja siemenperunan fosforilannoitus, sadossa poistunut fosfori ja fosforitase tutkimustiloilla Lappajärven valuma-alueella v. 2000.

5.3.2 Maan happamuuden (pH) vaikutus perunanviljelyn typpi- ja fosforitaseisiin

Maan happamuuden vaikutusta ravinteiden, erityisesti fosforin hyödyntämiseen tutkittiin vertaamalla ravinnetaseita ja hyötysuhteita pH-luokiltaan erilaisilla mailla. Tärkkelysperunan fosforitaseen ja hyötysuhteen havaittiin paranevan maan pH:n noustessa (taulukko 12, kuva 24). Hyödyntämättä jääneen fosforin määrä väheni kolme kiloa hehtaaria kohden ja hyötysuhde parani 4 %-yksikköä kahden ensimmäisen pH-ryhmän välillä. Pieni parannus (-2 kg ha^{-1}) fosforitaseessa tapahtui vielä siirryttäessä kolmanteen pH-ryhmään, jossa keskimääräinen fosforitase tärkkelysperunalla oli 22 kg ha^{-1} hyötysuhteen pysyessä samana. Huomioitavaa on, että kolmannessa pH-ryhmässä oli vain 4 lohkoa tarkastelussa. Fosforitaseen riippuvuus pH-luokasta ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevää (p = 0,218). Testaamiseen käytettiin Kruskal-Wallisin parametritonta testiä, koska fosforitase ei ollut normaalisti jakautunut pH-luokissa.



Kuva 24. Maan pH-luokan vaikutus fosforitaseeseen tärkkelysperunalla tutkimustiloilla v. 2000.

Taulukko 12. Maan pH:n vaikutus fosforitaseeseen tutkimustiloilla v. 2000.

	pH -ryhmä		
	(1) huono-välttävä	**(2) tyydyttävä-hyvä**	**(3) korkea-arv.korkea**
Tärkkelysperuna			
Lohkoja, kpl	110	88	4
Pinta-ala, ha	137	156	5
Osuus peruna-alasta, %	46	53	2
Fosforitase, kg ha^{-1}	*27*	*24*	*22*
Fosforin hyötysuhde, %	*35*	*39*	*39*
Ruoka- ja siemenperuna			
Lohkoja, kpl	46	37	2
Pinta-ala, ha	67	64	5
Osuus peruna-alasta, %	50	47	4
Fosforitase, kg ha^{-1}	*22*	*25*	*18*
Fosforin hyötysuhde, %	*38*	*34*	*46*

Ruoka- ja siemenperunan fosforitase oli 3 kg suurempi ja fosforin käytön hyötysuhde 4 %-yksikköä heikompi pH-luokissa tyydyttävä-hyvä kuin happamassa maassa (taulukko 12). Kuitenkin pH:n noustessa korkeaksi-arveluttavan korkeaksi, parani fosforinkäyttö ruoka- ja siemenperunalla, fosforitaseen jäädessä keskimäärin 18 kg ha^{-1}:on ja

hyötysuhteen noustessa 46 %:in. Huomioitavaa on kuitenkin, että pH-luokissa korkea-arveluttavan korkea oli mukana vain kaksi ruoka- ja siemenperunalohkoa. Maan happamuus ei vaikuttanut ruoka- ja siemenperunanviljelyn fosforitaseeseen tilastollisesti merkitsevästi (p = 0,321, Kruskal-Wallisin H-testi). Testaukseen käytettiin parametritonta testiä, koska fosforitase ei ollut normaalisti jakautunut pH-luokissa.

Maan happamuuden vaikutusta typen hyödyntämiseen perunanviljelyssä tarkasteltiin vertaamalla typpitaseita sekä hyötysuhteita happamuudeltaan erilaisilla perunalohkoilla. Sekä tärkkelysperunan että ruoka- ja siemenperunan typen käytön havaittiin paranevan maan pH-luokan noustessa (taulukko 13). Ruoka- ja siemenperunan typen käyttö parani selvemmin kuin tärkkelysperunan typpitaseen pienentyessä yli 10 kg ja hyötysuhteen parantuessa lähes 20 %-yksikköä ensimmäisen ja kolmannen pH-ryhmän välillä. Typpitase ei kuitenkaan vähentynyt tilastollisesti merkitsevästi pH-luokan noustessa (p = 0,103, Kruskal-Wallisin H-testi). Testaamiseen käytettiin parametritonta testiä, koska ruoka- ja siemenperunan typpitaseet eivät olleet normaalisti jakautuneita pH-luokissa.

Tärkkelysperunalle annetun typpilannoituksen määrä oli noin 20 kg ha^{-1} suurempi kuin ruoka- ja siemenperunalla, ja siitä syystä typpitaseet olivat suurempia. Tärkkelysperunan typpitase pieneni neljä kiloa ja hyötysuhde nousi 4 %-yksikköä ensimmäisen ja toisen pH-luokan välillä. pH-luokassa korkea-arveluttavan korkea typpitase sen sijaan nousi 1 kg ha^{-1} ja hyötysuhde heikkeni 1 %-yksikön, joskin otoskoko oli kyseisessä pH-luokassa pieni (4 lohkoa). Typpitaseen väheneminen ei ollut pH-luokan muuttuessa tilastollisesti merkitsevää (p = 0,540, Anova).

Taulukko 13. Maan pH:n vaikutus typpitaseeseen tutkimustiloilla v. 2000.

	Maan pH -luokka		
	(1) huono-välttävä	**(2) tyydyttävä-hyvä**	**(3) korkea-arv.korkea**
Tärkkelysperuna			
Lohkoja, kpl	110	88	4
Pinta-ala, ha	137	156	5
Osuus peruna-alasta, %	46	53	2
Typpitase, kg ha^{-1}	*-5*	*-9*	*-8*
Typen hyötysuhde, %	*107*	*111*	*110*
Ruoka- ja siemenperuna			
Lohkoja, kpl	46	37	2
Pinta-ala, ha	67	64	5
Osuus peruna-alasta, %	50	47	4
Typpitase, kg ha^{-1}	*-15*	*-22*	*-26*
Typen hyötysuhde, %	*123*	*140*	*140*

5.3.3 Multavuuden vaikutus perunanviljelyn typpi- ja fosforitaseisiin

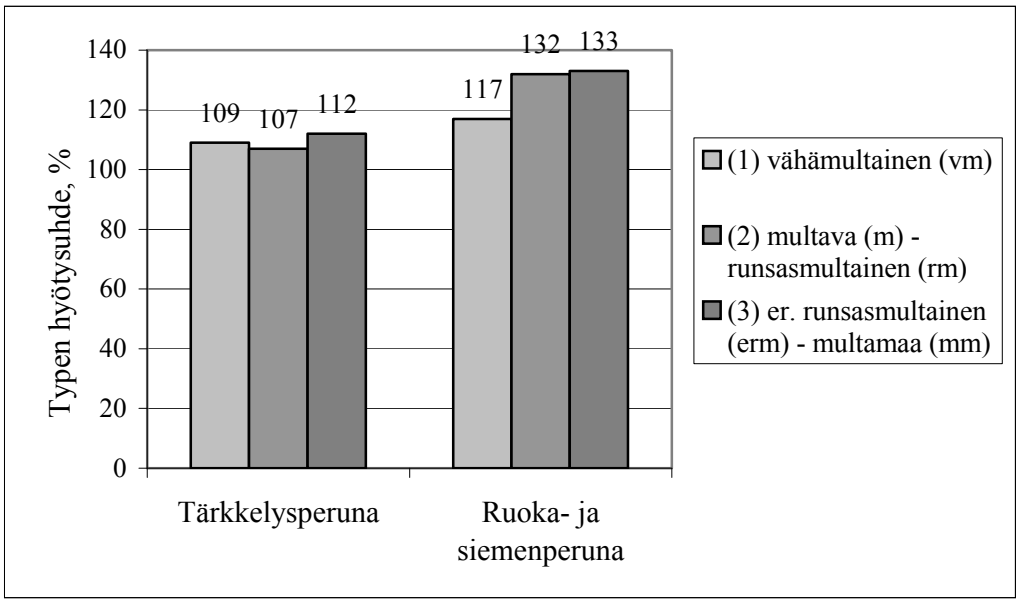
Peltomaan multavuuden vaikutusta perunanviljelyn ravinnetaseisiin, erityisesti typpitaseeseen, tutkittiin vertaamalla ravinnetaseita ja hyötysuhteita multavuudeltaan erilaisilla lohkoilla. Tärkkelysperunalla havaittiin typen hyväksikäytön olevan paras erittäin runsasmultaisilla mailla ja multamailla (taulukko 14, kuva 25). Eroa typen hyväksikäytössä kahden ensimmäisen multavuusryhmän välillä ei havaittu. Tärkkelysperunalla typpitase jopa kasvoi 1 kg ha^{-1} ja hyötysuhde heikkeni 2 %-yksikköä multavuuden lisääntyessä vähämultaisesta multavaan-runsasmultaiseen. Multavuuden edelleen kasvaessa typen hyväksikäyttö kuitenkin parani. Ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä ($p = 0,796$, Anova). Multavuutta ei ollut huomioitu tärkkelysperunan typpilannoituksessa, vaan lannoitus oli keskimäärin sama kaikissa multavuusryhmissä (kuva 26). Sato oli kuitenkin parempi erittäin runsasmultaisilla mailla ja multamailla kuin vähemmän multavilla mailla.

Taulukko 14. Maan multavuuden vaikutus perunanviljelyn typpitaseeseen tutkimustiloilla v. 2000.

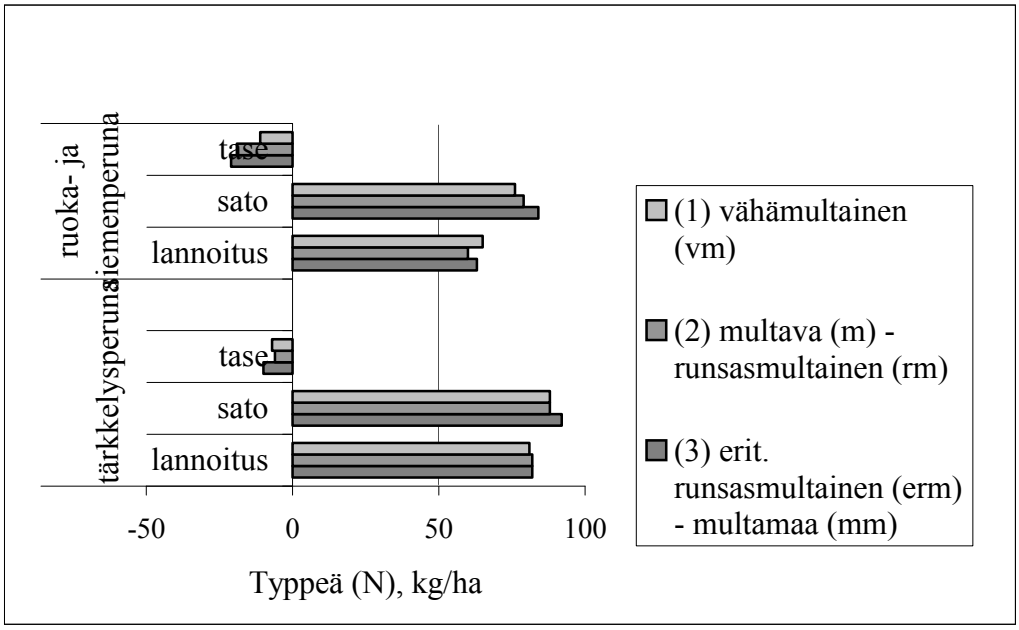
	Multavuusryhmä		
	(1) vähämultainen (vm)	**(2) multava (m) - runsasmultainen (rm)**	**(3) erittäin runsasmultainen (erm) - multamaa (mm)**
Tärkkelysperuna			
Lohkoja, kpl	19	149	33
Pinta-ala, ha	24	221	51
Osuus peruna-alasta, %	8	75	17
Lannoitus, kg ha^{-1}	81	82	82
Sato, kg ha^{-1}	88	88	92
Typpitase, kg ha^{-1}	*-7*	*-6*	*-10*
Typen hyötysuhde, %	*109*	*107*	*112*
Ruoka- ja siemenperuna			
Lohkoja, kpl	8	57	20
Pinta-ala, ha	9	88	38
Osuus peruna-alasta, %	7	65	28
Lannoitus, kg ha^{-1}	65	60	63
Sato, kg ha^{-1}	76	79	84
Typpitase, kg ha^{-1}	*-11*	*-19*	*-21*
Typen hyötysuhde, %	*117*	*132*	*133*

Ruoka- ja siemenperunalla multavuuden havaittiin parantavan typen hyväksikäyttöä (taulukko 14, kuva 25). Typpitase pieneni ja hyötysuhde kasvoi multavuuden

lisääntyessä. Suurin ero typpitaseessa havaittiin kahden ensimmäisen multavuusryhmän välillä. Ero ei ollut kuitenkaan tilastollisesti merkitsevä (p = 0,350, Kruskal-Wallisin H-testi). Testaamiseen käytettiin parametritonta testiä, koska typpitase ei ollut normaalisti jakautunut multavuusluokissa. Multavuutta ei ollut juurikaan huomioitu ruoka- ja siemenperunan typpilannoituksessa, vaan ero taseessa syntyi lähinnä siitä, että multavilla mailla oli saatu paremmat sadot (kuva 26).



Kuva 25. Maan multavuuden vaikutus typen hyväksikäyttöön perunanviljelyssä.



Kuva 26. Maan multavuuden vaikutus typen käyttöön perunanviljelyssä tutkimustiloilla v. 2000.

Peltomaan multavuus ei tämän tutkimuksen mukaan vaikuta tärkkelysperunan fosforin hyväksikäyttöön (taulukko 15). Tärkkelysperunan fosforinkäyttö heikkeni selvästi multavuuden lisääntyessä kahden ensimmäisen multavuusryhmän välillä. Kolmannessa multavuusryhmässä fosforitase ja hyötysuhde olivat kuitenkin taas samaa luokkaa kuin ensimmäisessä luokassa. Ruoka- ja siemenperunalla fosforin hyväksikäyttö parani multavuuden lisääntyessä. Tulos ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä ($p = 0,696$, Kruskal-Wallisin H-testi). Testaukseen käytettiin parametritonta testiä molemmilla perunalajeilla, koska fosforitase ei ollut normaalisti jakautunut multavuusluokissa. Tärkkelysperunalla fosforitaseiden varianssit olivat lisäksi erisuuria multavuusluokkien välillä.

Taulukko 15. Maan multavuuden vaikutus perunanviljelyn fosforitaseisiin tutkimustiloilla v. 2000.

	Multavuusryhmä		
	(1) vähämultainen (vm)	(2) multava (m) - runsasmultainen (rm)	(3) erit. runsasmultainen (erm) - multamaa (mm)
Tärkkelysperuna			
Lohkoja, kpl	19	149	33
Pinta-ala, ha	24	221	51
Osuus peruna-alasta, %	8	75	17
Fosforitase, kg ha^{-1}	*22*	*27*	*22*
Fosforin hyötysuhde, %	*40*	*36*	*41*
Ruoka- ja siemenperuna			
Lohkoja, kpl	8	57	20
Pinta-ala, ha	9	88	38
Osuus peruna-alasta, %	7	65	28
Fosforitase, kg ha^{-1}	*25*	*23*	*24*
Fosforin hyötysuhde, %	*34*	*37*	*37*

5.3.4 Maan kasvukunnon vaikutus perunanviljelyn typpi- ja fosforitaseisiin

Maan kasvukunnon eli rakenteen ja kuivatuksen vaikutusta ravinteiden hyväksikäyttöön perunanviljelyssä tutkittiin vertaamalla perunanviljelyn ravinnetaseita ja ravinteiden hyötysuhteita kasvukunnoltaan erilaisilla peltolohkoilla. Kasvukunnoltaan huonoksi arvioituja perunalohkoja ei ollut tutkimustiloilla.

Tärkkelysperunalla typpilannoitus oli kolme kiloa pienempi kasvukunnoltaan heikommilla (välttävä-tyydyttävä) lohkoilla kuin hyvillä (hyvä-erittäin hyvä) lohkoilla (taulukko 16). Saatu sato oli kuitenkin yhtä suuri riippumatta maan kasvukunnosta. Näin ollen typpitase ja typen hyötysuhde olivat hiukan heikompia kasvukunnoltaan hyvillä mailla kuin välttävillä-tyydyttävillä mailla. Typpitaseessa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa maan kasvukunto -luokkien välillä (p = 0,390, Anova).

Taulukko 16. Maan kasvukunnon vaikutus ravinteiden hyödyntämiseen perunan-viljelyssä tutkimustiloilla v. 2000.

	Maan rakenne ja kuivatus eli kasvukunto		
	huono	välttävä - tyydyttävä	hyvä - erittäin hyvä
Tärkkelysperuna			
Lohkoja, kpl	-	42	115
Pinta-ala, ha	-	65	162
Osuus peruna-alasta, %	-	22	55
Typpi			
Lannoitus, kg ha^{-1}		78	81
Sato, kg ha^{-1}		89	89
Typpitase, kg ha^{-1}		*-11*	*-8*
Typen hyötysuhde, %		*114*	*110*
Fosfori			
Lannoitus, kg ha^{-1}		42	40
Sato, kg ha^{-1}		15	15
Fosforitase, kg ha^{-1}		*27*	*25*
Fosforin hyötysuhde, %		*36*	*38*
Ruoka- ja siemenperuna			
Lohkoja, kpl		11	46
Pinta-ala, ha		9	73
Osuus peruna-alasta, %		7	54
Typpi			
Lannoitus, kg ha^{-1}		58	63
Sato, kg ha^{-1}		70	84
Typpitase, kg ha^{-1}		*-12*	*-21*
Typen hyötysuhde, %		*121*	*133*
Fosfori			
Lannoitus, kg ha^{-1}		28	38
Sato, kg ha^{-1}		11	14
Fosforitase, kg ha^{-1}		*17*	*24*
Fosforin hyötysuhde, %		*39*	*37*

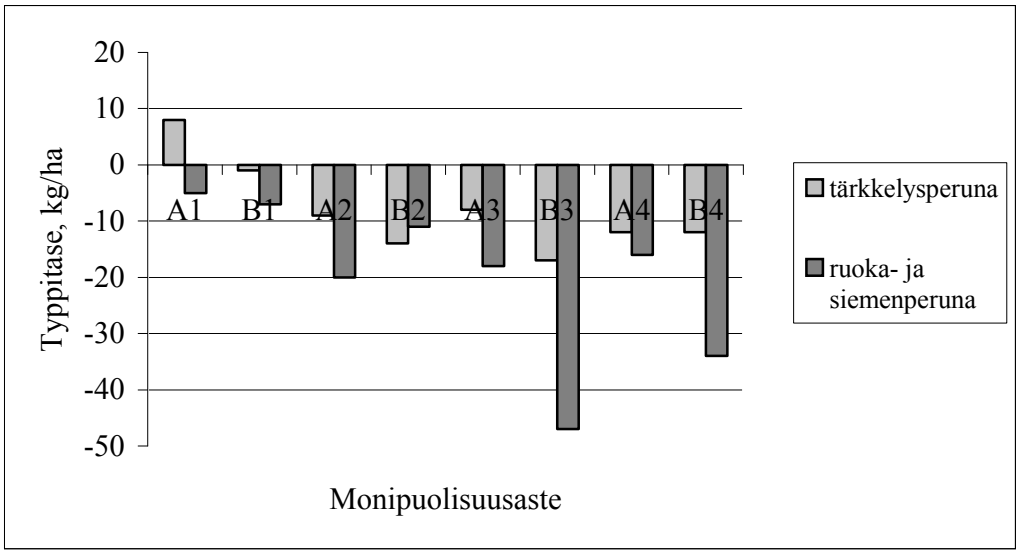
Tärkkelysperunan fosforitase oli kasvukunnoltaan heikommilla lohkoilla kaksi kiloa korkeampi kuin hyvillä lohkoilla (taulukko 16). Ero tulee suoraan fosforilannoituksesta, jota annettiin kasvukunnoltaan heikommilla mailla kaksi kiloa enemmän kuin hyvillä mailla. Koska saatu sato oli samansuuruinen molemmissa kasvukuntoluokissa, fosforin hyötysuhde oli parempi kasvukunnoltaan hyvillä mailla. Fosforitaseen pieneneminen maan kasvukunnon parantuessa ei ollut tilastollisesti merkitsevää ($p = 0,460$). Tilastolliseen testaukseen käytettiin parametritonta Kruskal-Wallisin testiä, koska fosforitaseet eivät olleet normaalisti jakautuneet maan kasvukunto -luokissa ja varianssit olivat erisuuria.

Kasvukunnoltaan heikompia ruoka- ja siemenperunalohkoja lannoitettiin vähemmän kuin hyviä lohkoja. Saatu sato oli myös huonompi kasvukunnoltaan heikommilla lohkoilla kuin hyvillä lohkoilla. Ruoka- ja siemenperunalla typpitaseet olivat pienemmät ja ravinteiden hyötysuhteet korkeammat kasvukunnoltaan paremmilla mailla (taulukko 16). Typpitaseen pieneneminen ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevää ($p = 0,642$). Testaukseen käytettiin parametritonta Kruskal-Wallisin H-testiä, koska typpitaseet eivät olleet normaalisti jakautuneita maan kasvukunto -luokissa. Maan kasvukunnon paraneminen ei vaikuttanut ruoka- ja siemenperunalohkojen fosforitaseeseen toivotulla tavalla, vaan fosforitase oli hieman heikompi kasvukunnoltaan paremmilla mailla. Tulosten tarkastelussa tulee huomioida se, että kasvukunnoltaan välttäviä-tyydyttäviä ruoka- ja siemenperunalohkoja oli mukana tutkimuksessa vain 11 kpl.

5.3.5 Viljelyn monipuolisuuden vaikutus perunanviljelyn typpitaseeseen

Viljelyn monipuolisuuden vaikutusta perunanviljelyn typpitalouden tehokkuuteen tutkittiin vertaamalla monipuolisessa viljelykierrossa olevia lohkoja yksipuolisesti toteutetussa viljelykierrossa viljeltäviin perunalohkoihin. Monipuolisuusmuuttujina toimivat tässä tutkimuksessa esikasvi ja viljelykierron monipuolisuus. Viljelykierrot nimettiin sen mukaan, kuinka suuri osuus kierrosta oli nurmea ja kuinka monta kasvia kierrossa oli mukana.

Tärkkelysperunalla typpitaseet pienenivät viljelyn monipuolisuuden lisääntyessä tilastollisesti merkitsevästi ($p = 0,001$) (kuva 27). Testaus tehtiin parametrittomalla Kruskal-Wallisin H-testillä, koska typpitaseiden varianssit olivat erisuuria monipuolisuusluokkien välillä. Lisäksi testattiin luokkien väliset erot Mann-Whitneyn U-testillä, jossa Bonferroni-korjattu merkitsevyystaso oli $\alpha_{Bon} = 0,0017$. Typpitase pieneni tilastollisesti merkitsevästi luokkien A1 ja B2, A1 ja A3 ja A1 ja A4 välillä ($p < 0,0017$). Myös ruoka- ja siemenperunalla viljelyn monipuolisuus paransi typen hyödyntämistä. Typpitase laski viljelyn monipuolisuuden lisääntyessä tilastollisesti merkitsevästi ($p = 0,004$, Kruskal-Wallis). Testaus tehtiin parametrittomalla testillä, koska typpitaseet eivät olleet normaalisti jakautuneita monipuolisuusluokissa. Luokkien väliset erot testattiin Mann-Whitneyn U-testillä, jossa Bonferroni-korjattu merkitsevyystaso oli $\alpha_{Bon} = 0,0017$. Typpitase pieneni ruoka- ja siemenperunalla tilastollisesti merkitsevästi monipuolisuusluokkien A2 ja B3 sekä A3 ja B3 välillä. Muut erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä joko havaintojen pienen määrän tai hajonnan suuruuden vuoksi.



Kuva 27. Viljelyn monipuolisuuden vaikutus perunanviljelyn typpitaseeseen tutkimustiloilla v. 2000.

6 TULOSTEN TARKASTELU

6.1 Perunanviljelyn ravinnetaseet

6.1.1 Perunan ravinteiden käyttö

Perunanviljelyn ravinnetaseita ei ole laskettu useissa tutkimuksissa, joten saatujen tulosten vertailuun käytettiin myös muita viljelykasveja. Lappajärven valuma-alueella saatujen tulosten mukaan peruna hyödyntää typpeä hyvin (Rajala ym. 2001). Keskimääräiset peltoviljelyn typpitaseet olivat tutkimustiloilla alhaisia verrattuna muualla laskettuihin typpitaseisiin. Korkeimmat keskimääräiset typpitaseet olivat Kaakkois-Suomessa, jossa Marttila (2005) laski ravinnetaseita vuosina 1998-1999 28 maitotilalle. Tuusulanjärvellä 17 maatilalle vuosina 2001-2002 laadittujen ravinnetaselaskelmien sekä Kestävä maatalous Vantaajoella -projektissa vuosina 1997-1999 laskettujen viljatilojen keskimääräinen peltoviljelyn typpitase oli suunnilleen sama. Kuortaneenjärvi-hankkeessa vuonna 2001 20 tilalle laskettujen ravinnetaselaskelmien keskimääräinen peltoviljelyn typpitase oli lähimpänä tässä tutkimuksessa saatuja tuloksia. Tutkimusten kasvikohtaiset ja peltoviljelyn keskimääräiset typpi- ja fosforitaseet on esitetty taulukossa 17. Taulukosta puuttuvan Vantaanjoen viljatilojen keskimääräinen typpitase vaihteli välillä 28-55 kg ha^{-1} (Ahtela 2000).

Kaakkois-Suomen maitotiloilla viljeltiin pääasiassa viljoja ja nurmia, samoin kuin Tuusulanjärvellä ja Vantaanjoella. Kuortanella kevätviljojen ja nurmien lisäksi viljeltiin perunaa noin 10 % osuudella kokonaisalasta. Tässä tutkimuksessa saatu alhainen typpitase johtuu ainakin osittain siitä, että tutkimustiloilla Lappajärven valuma-alueella lähes puolet (41 %) peltoalasta oli perunaa, jonka typpitase poikkeaa saatujen tulosten mukaan muista viljelykasveista ollen selvästi alijäämäinen (taulukko 17). Perunan suuri

osuus tutkimustilojen peltoviljelyssä alentaa siten myös tilojen keskimääräistä peltoviljelyn typpitasetta. Kuortaneella, jossa viljeltiin myös jonkin verran perunaa, peltoviljelyn keskimääräinen typpitase oli alhaisempi kuin Tuusulanjärven ja Vantaanjoen viljatiloilla sekä Kaakkois-Suomen maitotiloilla. Perunalohkojen typpitase oli Kuortaneella keskimäärin –14 kg ha^{-1} (Seppälä 2002), mikä vastaa tämän tutkimuksen tuloksia perunan typpitaseesta. Verrattaessa viljojen ja nurmien keskimääräisiä typpitaseita eri tutkimusten välillä, tulokset ovat samansuuntaisia (taulukko 17). Vantaanjoella kolmen vuoden tarkastelujakso tuo hyvin esiin sääolojen aiheuttaman suuren vuosittaisen vaihtelun tuloksissa. Ahtelan (2000) mukaan erityisesti kasvukausien sademäärien vaihtelu vaikutti satotasoihin. Tuusulanjärvellä ja Kaakkois-Suomessa laadittujen ravinnetaselaskelmien korkeampaa typpitasetta selittää se, että laskelmat on tehty kokonaisravinteina, kun taas tässä tutkimuksessa kuten Kuortaneellakin, on huomioitu typestä ja fosforista vain liukoinen osuus. Tällä on merkitystä erityisesti karjatiloilla, joiden lannoitus perustuu suurelta osin orgaaniseen lannoitukseen. Lisäksi Tuusulanjärvellä ja Kaakkois-Suomessa tehdyissä tutkimuksissa on typpipanoksena huomioitu lannoituksen ja kylvösiemenen lisäksi biologinen typensidonta ja Kaakkois-Suomessa lisäksi typpilaskeuma (Marttila 2003, 2005). Toisaalta Kaakkois-Suomen maitotiloille laadituissa laskelmissa huomioitiin typen haihtuminen karjanlannasta, mitä taas ei huomioitu typpilannoitusta vähentävänä tekijänä muissa tutkimuksissa.

Taulukko 17. Peltoviljelyn typpi- ja fosforitaseet Lappajärven valuma-alueen perunatiloilla v. 2000, Kaakkois-Suomen maitotiloilla v. 1998-1999 (Marttila 2005), Tuusulanjärven viljatiloilla v. 2001-2002 (Marttila 2003) ja Kuortaneen maatiloilla v. 2001 (Seppälä 2002). Vantaanjoen valuma-alueen viljatiloilta ei ollut saatavissa keskimääräisiä tasetietoja kasviryhmittäin, minkä vuoksi se ei ole mukana taulukossa.

	Lappajärvi, perunatilat	**Kaakkois-Suomi, maitotilat** (Marttila 2005)	**Tuusulanjärvi, viljatilat** (Marttila 2003)	**Kuortane, maatilat** (Seppälä 2002)
Typpitase, kg/ha				
Viljat	11	60	31-34	18
Nurmet	33	75	17-28	29
Peruna	-11			-14
Keskimäärin	*4*	*69*	*33*	*13*
Fosforitase, kg/ha				
Viljat	2	13	1-4	5
Nurmet	3	8	4-6	0
Peruna	25			5
Keskimäärin	*12*	*11*	*2*	*2*

Kaakkois-Suomen maitotiloille ja Tuusulanjärven viljatiloille ravinnetaselaskelmat on laadittu kokonaisravinteina, Lappajärven valuma-alueella ja Kuortaneella laskelmissa on käytetty liukoisia ravinteita.

Fosforin osalta tulokset ovat suuruusluokaltaan samanlaisia kuin muualla tehdyissä ravinnetasetutkimuksissa (taulukko 17). Taulukosta 17 puuttuvan Vantaanjoen viljatilojen fosforitaseet vaihtelivat vuosina 1997-1999 viljoilla 3-25 kg ha^{-1} välillä ollen enimmäkseen alle 10 kg ha^{-1} (Ahtela 2000). Huonosti fosforia hyödyntävän perunan suuri osuus Lappajärven valuma-alueen tilojen peltoviljelyssä selittää suurempaa fosforitasetta verrattuna Tuusulanjärven, Kuortaneen ja Vantaanjoen tuloksiin. Kaakkois-Suomen maitotilojen peltoviljelyn keskimääräiset fosforitaseet ovat jonkin verran suurempia verrattuna muihin tutkimuksiin. Ero johtuu ainakin osittain siitä, että Marttilan (2005) tutkimuksessa käytettiin laskelmissa kokonaisfosforia, kun taas Lappajärvellä ja Kuortaneella laskelmat perustuivat liukoisiin ravinteisiin. Merkitys korostuu, kun Marttilan (2005) tutkimuksen kaikki tilat ovat karjanlantaa käyttäviä maitotiloja.

Lappajärven valuma-alueella saatujen tulosten mukaan peruna on varsin tehokas typen ja kaliumin hyödyntäjä, mutta heikko fosforin hyödyntäjä, mikä on todettu useissa aikaisemmissa perunan ravinnetaloutta käsittelevissä tutkimuksissa ja lannoituskokeissa (esim. Hakkola & Luoma 1989, Saarela 2001). Sekä tärkkelysperunan että ruoka- ja siemenperunan viljelyssä typpitaseet olivat alijäämäisiä, mikä tarkoittaa että perunasatoon hyödynnettiin lannoitteessa annetun typen lisäksi maan typpivaroja, tulosten mukaan keskimäärin 11 kg ha^{-1}. Suurin osa perunapelloista oli vähintäänkin multavia, joten taseen osoittaman typpimäärän saamista maasta voidaan pitää todennäköisenä. Perunanviljelyn ravinnetaseita on tämän tutkimuksen lisäksi laskettu tiettävästi ainoastaan Lemolan ym. (2000) siemen-, tärkkelys- ja lastuperunantuottajille tehdyssä kyselytutkimuksessa, jossa laskettiin myös perunanviljelyn ravinnetaseita, sekä Kuortaneenjärvi-hankkeessa, jossa laskelmissa mukana olevilla 20 tilalla muutama viljeli myös perunaa. Huomioitavaa on, että Kuortaneella ravinnetaseita laskettiin vain noin 56 ha:n alalle.

Myös Lemolan ym. (2000) ja Seppälän (2002) tutkimuksissa perunanviljelyssä saavutettiin korkeat typen hyötysuhteet ja alhaiset typpitaseet. Typpeä hyödynnettiin tämän tutkimuksen tilojen perunapelloilla 3 kg vähemmän kuin Kuortaneella perunaa viljelevillä tiloilla (Seppälä 2002), mutta yli 10 kg ha^{-1} enemmän kuin Lemolan ym. (2000) tutkimuksessa. Tärkkelysperunan typpitase oli Lemolan ym. (2000) tutkimuksessa keskimäärin 5 kg ha^{-1}, Kuortaneen tiloilla keskimääräin –8 kg ha^{-1} (Seppälä 2002) ja Lappajärven valuma-alueen tutkimustiloilla –7 kg ha^{-1}. Lastuperunan typpitase taas oli –6 kg ha^{-1} (Lemola ym. 2000), Kuortaneen ruokaperunalohkojen keskimääräinen typpitase oli –30 kg ha^{-1} ja Lappajärven valuma-alueen ruoka- ja siemenperunanviljelyn typpitase oli –19 kg ha^{-1}. Eri tutkimusten typpitaseet vastaavat suuruusluokaltaan toisiaan. Yhteistä tuloksille on myös se, että kaikissa tutkimuksissa ruokaperunalla typpitase on selvästi pienempi kuin tärkkelysperunalla.

Ruoka- ja siemenperunaa lannoitettiin tutkimustiloilla noin 20 kg ha^{-1} niukemmin kuin tärkkelysperunaa. Myös Lemolan ym. (2000) ja Seppälän (2002) tutkimuksissa tärkkelysperunan typpilannoitus oli suurempi kuin ruokaperunan. Lemolan ym. (2000) tutkimustiloilla tärkkelysperunan typpilannoitus oli suurin (keskimäärin 95 kg ha^{-1}) ja Lappajärven valuma-alueella pienin (keskimäärin 82 kg ha^{-1}). Sadossa poistuvan typen määrä oli tässä tutkimuksessa samaa luokkaa kuin Lemolan ym. tutkimuksessa. Kuortaneella saavutettiin jonkin verran muita paremmat tärkkelysperunasadot, minkä vuoksi typpitase on siellä alhaisin ja typen hyötysuhde korkein. Ruokaperunaa lannoitettiin tutkimustiloilla niukemmin (keskimäärin 61 kg ha^{-1}) kuin Seppälän (2002)

(71 kg ha^{-1}) ja Lemolan ym. (2000) (63-90 kg ha^{-1}) tutkimustiloilla. Kuortaneella saavutettiin muita korkeampi ruokaperunasato, minkä vuoksi myös ruokaperunan typpitase oli siellä alhaisin ja typen hyötysuhde korkein. Niukempi typpilannoitus selittää ainakin osittain tutkimustilojen alhaisempia typpitaseita ja korkeampia typen hyötysuhteita verrattuna Lemolan ym. (2000) tutkimukseen.

Fosforia jäi perunanviljelyssä hyödyntämättä keskimäärin 25 kg ha^{-1}. Tulos vastaa hyvin Lemolan ym. (2000) saamia tuloksia tärkkelysperunalla. Tärkkelysperunan fosforitase oli Lemolan ym. tutkimuksessa lähes sama (27 kg ha^{-1}) kuin Lappajärven valuma-alueella saadut tulokset. Lastuperunalla fosforitase oli Lemolan ym. (2000) mukaan kuitenkin selvästi heikompi (35 kg ha^{-1}) kuin Lappajärven valuma-alueella ruoka- ja siemenperunalla (23 kg ha^{-1}). Kuortaneella perunanviljelyn fosforitaseet olivat selvästi pienemmät. Tärkkelysperunan fosforitase oli vain 2 kg ha^{-1} ja ruokaperunan 11 kg ha^{-1} keskimääräisen perunanviljelyn fosforitaseen ollessa 5 kg ha^{-1}.

Keskimääräinen fosforilannoitus oli Lemolan ym. (2000) tutkimuksessa, kuten Lappajärvelläkin, selvästi suurempi kuin sadon mukana poistuvan fosforin määrä. Myös lannoitusmäärät vastasivat tärkkelysperunalla toisiaan. Tärkkelysperunaa lannoitettiin Lemolan ym. (2000) laskelmien mukaan keskimäärin 38 kg:lla ha^{-1} fosforia kun Lappajärvellä annettu fosforimäärä oli 40 kg ha^{-1}. Lastuperunaa lannoitettiin keskimäärin 48-71 kg:lla ha^{-1} fosforia, kun taas Lappajärvellä ruoka- ja siemenperunalle annetut fosforimäärät olivat selvästi pienempiä, keskimäärin 37 kg ha^{-1}. Lemolan ym. (2000) mukaan perunasadon mukana poistui fosforia keskimäärin 11 kg ha^{-1}. Lappajärven valuma-alueella pellolta sadon mukana poistuneet fosforimäärät olivat jonkin verran suurempia, keskimäärin 14 kg ha^{-1}. Kuortaneella perunanviljelyn fosforilannoitusmäärät olivat poikkeuksellisen pieniä. Tärkkelysperunalle fosforia annettiin keskimäärin 16 kg ha^{-1} ja ruokaperunalle 17 kg ha^{-1} (Seppälä 2002), mikä selittää poikkeavan fosforitaseen ja korkean fosforin käytön hyötysuhteen.

Eri tutkimusten välisten peltotaseitten eroja olisi mielenkiintoista selvittää tarkemminkin. Tulosten vertailu on kuitenkin vaikeaa, koska ravinnetasetutkimuksia on tehty vielä varsin vähän. Sen lisäksi tutkimukset sijoittuvat eri satovuosille ja viljelyvyöhykkeille. Myös laskelmien teossa on eroja tekijän ja ohjelman mukaan mm. siinä, mitä ravinne-eriä otetaan huomioon. Selvää on, että osa tutkimusten välisistä eroista johtuu tutkimusten sijoittumisesta eri viljelyvyöhykkeille ja eri satovuosille, jolloin ainakin sääolojen vaihtelu ja niiden vaikutus tuloksiin on merkittävää. Ravinnetaselaskelmien koostuminen pidemmältä tarkastelujaksolta (n. 4-5 vuotta) samoilta tiloilta poistaisi yhden vuoden tarkastelujakson aiheuttamia eroja tuloksissa ja helpottaisi tulosten vertailua. Ravinnetaselaskelmien luotettava vertailu edellyttää laskentamenetelmien ja tulosten tulkinnan yhtenäistämistä.

6.1.2 Ravinteiden hyväksikäyttöön vaikuttavat tekijät perunalla

Tuloksiin vaikuttaa läpi aineiston se, että varsin suurella osalla perunalohkoista oli kirjattuna lohkokohtaisen satomäärän sijasta tilan keskisato. Monesti samalla tilalla käytetään vielä samaa lannoitusmäärää kaikilla saman kasvilajin lohkoilla, varsinkin jos noudatetaan perustasoa, joten ravinnetaseet saattavat olla samanlaiset kaikilla tilan perunalohkoilla. Lohkokohtaiset erot ravinteiden hyväksikäyttöön vaikuttavien tekijöiden osalta tulevat näiltä osin esiin huonosti tai ei lainkaan, ja koko aineiston tulokset voivat vääristyä tältä osin merkittävästi. Tämä on todennäköinen syy siihen,

miksi aineistosta ei kovin hyvin saatu esiin eri kasvutekijöiden vaikutuksia ravinteiden hyväksikäyttöön. Tutkimus tehtiin kuitenkin koko aineistoa käyttäen, koska em. lohkojen poistaminen olisi pienentänyt aineistoa merkittävästi, jolloin luokkakoot testattavien muuttujien osalta olisivat olleet liian pieniä luotettavien johtopäätösten tekemiseksi. Tiedettiin myös, että tilojen kokonaissadot olivat kilolleen oikein, koska myytävä perunamäärä punnitaan. Viljelijä myöskin yleensä tietää lohkot, joilla sato on ollut keskimääräistä parempi tai keskimääräistä huonompi, jolloin ne on tullut kirjattua ylös. On myös mahdollista, että näillä tiloilla satomäärät eivät ole juurikaan vaihdelleet viljelyslohkojen välillä.

Tässä tutkimuksessa ravinnetaselaskelmista jätettiin huomioimatta sellaisia ravinne-eriä, joita ei selvästi ole kirjattuna viljelijöiden muistiinpanoissa ja joiden määrän luotettava arviointi on vaikeaa. Tällaisia ravinne-eriä ovat mm. biologinen typensidonta, esikasvivaikutus ja typpilaskeuma, joiden huomioiminen laskelmassa parantaisi laskelman totuudenmukaisuutta. Nämä ravinne-erät jätettiin kuitenkin huomioimatta, koska niiden laskeminen luotettavasti on vaikeaa. Perunasadon ravinnepitoisuuksista ei ollut viljelijöillä olemassa analyysejä, joten kaikissa laskelmissa käytettiin samoja sadon ravinnepitoisuuksia. Sadon ravinnepitoisuuksissa voi kuitenkin olla eroja, joilla olisi merkitystä laskelman kannalta. Eri tutkimusten välisten tulosten vertailussa olisi tärkeää, että taseiden laskentamenetelmät olisivat yhtenäiset.

Lannoitus- ja satotason vaikutus perunanviljelyn typpi- ja fosforitaseisiin

Tulosten mukaan ravinnetaseet kasvavat selvästi lannoitusmäärien noustessa ja tulos oli tilastollisesti merkitsevä. Fosforilla lannoituksen ja taseen välisessä suhteessa oli vähemmän vaihtelua kuin typellä. Myös Marttilan (2005) tutkimuksessa lannoitus selitti nurmen ja viljan typpi- ja fosforitaseita. Sadon määrä laski tilastollisesti merkitsevästi perunanviljelyn typpitaseita, mutta ei fosforitaseita. Perunan keskisato tutkimustiloilla oli parempi kuin Etelä-Pohjanmaalla ja koko maassa keskimäärin vuonna 2000. Tärkkelysperunan keskisato vastasi vuoden 2000 koko maan keskisatoa. Tulosten mukaan perunasadon kasvaessa maan typpivarojen hyödyntäminen kasvaa ja typpilannoitusta tarvitaan suhteessa vähemmän. Maassa täytyy kuitenkin olla saatavilla typpeä, mikä edellyttää mm. riittävää orgaanisen aineksen pitoisuutta. Eri satoluokkien keskimääräisessä multavuudessa ei kuitenkaan havaittu eroja. Satoluokkien eroja esikasvien ja viljelykierron suhteen ei lähdetty selvittämään. Fosforilannoitusta tarvittiin tulosten mukaan enemmän satomäärän noustessa ja näin fosforitase ei juurikaan vähentynyt perunasadon kasvaessa. Fosforilannoitus väheni tärkkelysperunalla vasta viimeisessä, korkeimmassa, satoluokassa ja ruoka- ja siemenperunalla kahdessa viimeisessä satoluokassa, jolloin fosforitaseet laskivat. Todennäköistä on, että korkean satopotentiaalin omaavalla lohkolla fosforilannoitusta on nostettu ympäristötuen lannoitusohjeiden mukaisesti 3 kg ha^{-1}, minkä takia fosforilannoitus kasvaa korkeimmissa satoluokissa. Perunalle tärkeän fosforin saanti on haluttu turvata erityisesti satoisilla kasvulohkoilla. Toinen syy saattaa olla se, että tutkimusvuonna (2000) käytettiin vielä yleisesti lannoituksessa perustasoa, jossa viljelykasveille annetaan vakio kasvikohtainen typpi- ja fosforilannoitusmäärä huomioimatta maan viljavuutta, multavuutta tai muita lannoitusta tarkentavia tekijöitä. Tulosten mukaan tutkimustiloilla ei ole fosforilannoituksessa riittävästi huomioitu maan fosforiluokkaa, vaan lannoituksessa on mitä todennäköisimmin useilla tiloilla noudatettu perustasoa, mikä on tuolloin ollut täysin tukiehtojen mukaista. Perustasoa käytettäessä perunalle saa antaa 40 kg ha^{-1} fosforia viljavuusluokasta riippumatta. Alhaiseen taseeseen päästään yleensä viljavissa maissa, joissa lannoitustarve on pieni, mutta luontaisen viljavuuden

turvin pystytään kasvattamaan hyvä sato. Jos maan viljavuutta ei huomioida lannoituksessa, ei tase myöskään pienene odotetulla tavalla, vaikka sato kasvaisikin. Sekä tärkkelysperunalla että ruoka- ja siemenperunalla maan fosforiluokka oli keskimäärin korkea muissa satoluokissa paitsi alhaisimmassa (< 20 t ha^{-1}), jossa fosforiluokka oli ruoka- ja siemenperunalla keskimäärin tyydyttävä ja tärkkelysperunalla keskimäärin hyvä. Maan pH:ssa ei ollut juurikaan eroja satoluokkien välillä, vaan pH oli kaikissa satoluokissa välillä välttävä-tyydyttävä. Todennäköisesti pienemmällä fosforilannoituksella oltaisiin saavutettu korkeimmissa satoluokissa sama sato maan fosforivaroja hyödyntämällä, ja fosforitase olisi pienempi. Huomattavaa on myös se, että ympäristötuen tarkennettua lannoitustasoa noudatettaessakin perunan fosforitase on normisadolla laskettuna ylijäämäinen kaikissa muissa viljavuusluokissa paitsi luokassa arveluttavan korkea.

Maan fosforiluokan vaikutus perunanviljelyn fosforitaseeseen

Perunamaiden viljavuus vastaa tutkimustiloilla hyvin muissa tutkimuksissa saatuja tuloksia peltomaiden viljavuudesta pitkäaikaisen perunanviljelyn seurauksena (esim. Kuisma & Hakkola 1996, Lemola ym. 1998, 2000). Perunamailla on fosforia runsaasti. Tutkimustiloilla noin 90 % pelloista oli fosforiluokaltaan vähintään tyydyttäviä ja lähes kolmannes perunalohkoista kuului fosforiluokkaan korkea-arveluttavan korkea. Kaliumin köyhtyminen maasta perunanviljelyn seurauksena näkyi myös Lappajärven valuma-alueella, jossa yli 60 % perunalohkoista oli kaliumluokaltaan huonoja-välttäviä.

Tulosten mukaan maan viljavuus paransi tärkkelysperunalla fosforin hyödyntämistä. Tärkkelysperunan fosforitase laski tilastollisesti merkitsevästi maan liukoisen fosforipitoisuuden lisääntyessä. Tärkkelysperunalla pellon fosforiluokka oli huomioitu lannoituksessa ja annetun fosforin määrä väheni maan fosforipitoisuuden kasvaessa. Annetun fosforin määrä oli kuitenkin fosforiluokassa korkea-arveluttavan korkea selvästi suurempi kuin perunan lannoitussuositusten mukainen tarve. Alemmissa viljavuusluokissa annetut fosforisuositukset taas alitettiin. Ruoka- ja siemenperunalla maan luontaisen fosforipitoisuuden lisääntyminen ei parantanut fosforin hyödyntämistä, koska viljavuutta ei ollut huomioitu lannoituksessa. Ruoka- ja siemenperunalla fosforilannoitus oli lähes sama kaikissa fosforiluokissa. Syynä tähän on todennäköisesti lannoituksen perustason käyttö. Myös lyhyt tarkastelujakso saattaa aiheuttaa sellaisia eroja tuloksiin, jotka tasaantuisivat, jos laskelma tehtäisiin pidemmälle aikavälille (4-5 vuodelle). Esimerkiksi fosforilannoituksessa käytettävät toimenpiteet, ns. varastolannoitus ja fosforin tasaus, saattavat nostaa tai laskea yksittäisen vuoden fosforitasetta. Fosforin tasausta käytetään erityisesti karjanlantaa käytettäessä ja nurmenviljelyssä. Johtopäätöksiä tehtäessä on huomioitava myös se, että ensimmäisessä viljavuusluokassa oli sekä tärkkelys- että ruoka- ja siemenperunalla erittäin pieni otoskoko.

Maan pH:n vaikutus perunanviljelyn typpi- ja fosforitaseisiin

Tutkimustiloilla noin puolet perunapelloista oli happamuudeltaan huonoja-välttäviä. Suomen maaperä on luontaisesti hapan ja perunapelloilla happamuus on yleensä lisääntynyt, koska peltoja ei ole juurikaan perunaruven välttämiseksi kalkittu (Kuisma 1994, 1998). Lemolan ym. (2000) saamien tulosten mukaan lastuperuna- ja siemenperunalohkojen happamuus on lisääntynyt 1990-luvun jälkeen. Tätä selittää osittain se, että mukaan on tullut uusia raivattuja peltoja, joiden happamuus on ollut keskimääräistä alhaisempi (Lemola ym. 2000). Tärkkelysperunalla maan pH on Lemolan ym. (2000)

tulosten mukaan korkeampi, joskin kehitys kulki myös tärkkelysperunalohkoilla 1990-luvulla hienoisesti kohti alhaisempaa pH:ta. Maan happamuus vaikuttaa erityisesti fosforin hyödyntämiseen, sillä happamassa maassa fosfori sitoutuu kasveille käyttökelvottomaan muotoon (Kuisma 1994, Saarela 2001, Ylivainio ym. 2002).

Lappajärven valuma-alueella saatujen tulosten mukaan peltomaan pH-arvon kasvu paransi fosforin hyödyntämistä tärkkelysperunalla. Tärkkelysperunalla fosforitase laski pH-luokan noustessa eli happamuuden vähentyessä. Ruoka- ja siemenperunallakin korkeimman pH-luokan keskimääräinen fosforitase on alhaisempi kuin happamammissa maissa. Tulos ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä. Myös typpitaseet laskivat erityisesti ruoka- ja siemenperunalla pH-luokan noustessa. Tulos ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä. Johtopäätöksiä tehtäessä on huomioitava, että korkeimmassa pH-luokassa oli erittäin pieni otoskoko.

Perunanviljelylle suositellaan maan happamuusluokkaa tyydyttävä ja perunan on todettu kasvavan hyvin myös happamassa (pH 3,5) maassa (Kuisma 1994). Lappajärven valuma-alueella fosforin hyödyntäminen parani kuitenkin vielä korkeassakin pH-luokassa, joskin tulos ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Useissa tutkimuksissa on myös todettu, että perunapellolle voidaan antaa kalkkia ainakin ylläpitokalkituksen mukainen määrä rupisuusriskin kasvamatta (Kuisma 1998). Perunapeltojen kalkitukseen on alettu kiinnittää huomiota erityisesti ruokaperunateollisuudessa, jossa kalsiumin riittävä saanti on tärkeää mm. ruokaperunan laadun takia.

Multavuuden vaikutus perunanviljelyn typpi- ja fosforitaseisiin

Valtaosa (n. 90 %) tutkimustilojen perunapelloista oli multavuudeltaan vähintään multavia. Erittäin runsasmultaisia peltoja ja multamaita oli noin 20 % perunalohkoista. Multavuus parantaa maan ravinnetaloutta, erityisesti typpitaloutta sekä rakennetta ja vedenpidätyskykyä (esim. Hofman & Salomez 2000). Kuisman (2002) mukaan peruna pystyy hyödyntämään varsin tehokkaasti maan typpivaroja. Perunanviljelystä jää maahan niukasti orgaanista ainesta, mutta tutkimustiloilla perunamaiden suhteellisen korkea multavuus on pystytty säilyttämään todennäköisesti viljelykierron ja karjanlannan turvin, tai lohkojen orgaanisen aineksen varastot ovat olleet runsaat ennen perunanviljelyn aloittamista. Monesti perunaa viljellään kuitenkin samoilla lohkoilla useina vuosina peräkkäin. Tutkimustiloilla runsasmultaisten lohkojen ja multamaiden suhteellinen osuus oli noin 10 %-yksikköä suurempi kaikista viljelyslohkoista kuin perunalohkoista. Muiden kuin perunalohkojen multavuusjakaumaa ei kuitenkaan selvitetty erikseen. Myöskään kotieläintilojen ja kasvitilojen peltolohkojen kesimääräistä multavuutta ei selvitetty erikseen, joskin niitä olisi ollut mielenkiintoista verrata, sillä kotieläintiloilla peltomaan multavuutta lisäävän nurmenviljelyn ja karjanlannan käytön osuus on selvästi suurempi kuin kasvinviljelytiloilla. Multavuuden yhteyttä tilojen peltomaan rakenteeseen ja kuivatuskuntoon ei myöskään tutkittu.

Multavuuden lisääntyminen paransi ruoka- ja siemenperunan typen hyväksikäyttöä. Typpitase laski ja typen hyötysuhde nousi ruoka- ja siemenperunalla multavuuden lisääntyessä. Tulos ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä. Tärkkelysperunallakin alhaisin typpitase saavutettiin korkeimmassa multavuusluokassa (erm-mm). Kahden ensimmäisen multavuusluokan välillä ei kuitenkaan havaittu eroa. Multavuutta ei oltu huomioitu typpilannoituksessa, mikä johtuu siitä, että tutkimusvuonna ei ympäristötuen mukaisissa lannoitussuosituksissa vielä esitetty typpilannoituksen vähentämistä perunalla maan multavuuden lisääntyessä. Osa tiloista saattoi myös noudattaa

lannoituksen perustasoa, jossa annettava typpilannoitus on samansuuruinen maalajista riippumatta. Multavuuden huomioiminen typpilannoitusta vähentävänä tekijänä olisi todennäköisesti laskenut typpitaseita ja parantanut typen hyötysuhdetta multavuuden lisääntyessä. Multavuus paransi myös ruoka- ja siemenperunan fosforin hyväksikäyttöä, mutta ei tilastollisesti merkitsevästi. Tärkkelysperunalla tulos oli päinvastainen.

Maan kasvukunnon vaikutus perunanviljelyn typpi- ja fosforitaseisiin

Tutkimustilojen perunapelloista yli puolet oli viljelijöiden arvioiden mukaan kasvukunnoltaan eli rakenteeltaan ja kuivatuskunnoltaan hyviä tai erittäin hyviä. Yksikään perunalohko ei ollut viljelijöiden mielestä kasvukunnoltaan huono. Tulos vaikuttaa totuudenmukaiselta, koska perunaa viljellään yleensä vain rakenteeltaan hyvillä mailla. Lappajärven valuma-alueen perunanviljelijöiden perunapellot olivat enimmäkseen multavia kevyitä kivennäismaita, jotka ovat helposti muokattavia ja vedenläpäisykyvyltään hyviä. Veden- ja ravinteidenpidätyskykyä sekä maan rakennetta parantaa perunalohkojen suhteellisen korkea multavuus. Suurin osa tilojen perunalohkoista oli salaojitettuja.

Maan kasvukunnon paraneminen laski tulosten mukaan jonkin verran tärkkelysperunan fosforitasetta ja selvästi ruokaperunan typpitasetta. Tulokset eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä. Ruoka- ja siemenperunalla näkyi kuitenkin se, että kasvukunnoltaan paremmilla mailla saavutettiin paremmat sadot. Kasvukunnoltaan huonoilla mailla lannoitteita, erityisesti fosforia, käytettiin kuitenkin niukemmin kuin hyvillä mailla ja fosforitaseen osalta ei saatu toivottua tulosta. Tärkkelysperunalla sadot olivat täsmälleen samat molemmissa maan kasvukunto -luokissa, eikä lannoituksessakaan ollut suuria eroja.

Arviot maan rakenteesta ja kuivatuksesta perustuvat yksinomaan viljelijöiden arvioihin peltolohkoistaan. Viljelijät tuntevat hyvin peltonsa, joten tilan sisällä peltojen luokittelu kasvukunnon mukaan lienee luotettavaa. Lähtötietojen luotettavuutta saattaa heikentää kuitenkin se, että tilojen välillä mitta-asteikko pellon kasvukuntoluokituksessa ei ole välttämättä sama. Kasvukunnoltaan tyydyttävä lohko toisen viljelijän tilalla saattaa olla hyvä lohko jonkun toisen viljelijän näkökulmasta.

Viljelyn monipuolisuuden vaikutus perunanviljelyn typpitaseeseen

Lähes puolet koko tutkimustilojen peruna-alasta sijoittui viljelykiertoon, jossa perunan esikasvina oli peruna, nurmen osuus kierrossa oli 0-20 % ja perunan ja nurmen lisäksi tilalla viljeltiin viljaa. Seuraavaksi eniten (20 % kokonaisperuna-alasta) perunaa viljeltiin kierrossa, jossa esikasvina oli edelleenkin peruna, nurmen osuus oli 20-40 % ja perunan ja nurmen lisäksi viljeltiin viljaa. Kotieläintiloilla (36 %) nurmea oli luonnollisesti enemmän viljelyssä kuin kasvinviljelytiloilla (8 %). Perunan osuus kierrossa oli kasvitiloilla suurempi (58 %) kuin kotieläintiloilla (35 %).

Perunapeltojen keskimääräiset typpitaseet laskivat viljelyn monipuolisuuden lisääntyessä sekä tärkkelysperunalla että ruoka- ja siemenperunalla tilastollisesti merkitsevästi. Sekä nurmen osuudella kierrossa että esikasvilla näyttäisi olevan vaikutus typpitaseeseen siten, että typen hyödyntäminen paranee nurmen osuuden kierrossa lisääntyessä ja esikasvin ollessa jokin muu kuin peruna. Perunalohkojen määrä eri monipuolisuusluokissa vaihteli kuitenkin suuresti, mikä vaikeuttaa johtopäätösten

tekemistä. Kahden lohkomäärältään suurimman luokan (A2 ja A3) välillä ei myöskään havaittu tilastollista eroa typpitaseissa kummallakaan perunalajilla. Luokkien keskiarvoja vertaillessa tulos oli jopa päinvastainen.

Viljelykierron monipuolisuudella tiedetään olevan positiivinen vaikutus mm. maan rakenteeseen ja ravinnetalouteen (Stark & Porter 2005) sekä perunalla kasvinsuojelullisiin tekijöihin (Maaseutukeskusten liitto 1992). Peruna on herkkä sekä maan rakenteen ongelmille että kasvitaudeille, tuholaisille ja rikkakasveille. Viljelyn monipuolisuuden yhteyttä tilojen peltomaiden rakenteeseen, viljavuuteen ja multavuuteen ei kuitenkaan selvitetty tässä tutkimuksessa. Todennäköistä on, että monipuolisimmin viljellyt perunalohkot ovat enimmäkseen kotieläintilojen perunalohkoja, joilla perunan osuus kierrossa oli pienempi ja nurmen suurempi kuin kasvinviljelytiloilla. Viljelyn monipuolisuuden taustalla olevia tekijöitä sekä vaikutuksia mm. pellon multavuuteen, viljavuuteen ja rakenteeseen perunanviljelyssä olisi kuitenkin mielenkiintoista ja tarpeellista selvittää tarkemmin.

6.2 Ravinnetaselaskelma perunanviljelyn ravinnekuormituksen mittarina

Tutkimustilojen keskimääräinen perunalohkojen typpitase oli –11 kg ha^{-1} alijäämäinen. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että perunalohkoilta ei huuhtoutuisi lainkaan typpeä. Laskelmissa ei ollut lainkaan huomioitu maaperään varastoitunutta typpeä eikä typpilaskeumaa. Esimerkiksi karjanlannassa perunapeltoon tulee orgaanista typpeä, jota ei huomioitu laskelmassa. Orgaaninen typpi kuitenkin vapautuu maasta vähitellen kasvin käyttöön tai huuhtoutuu. Mustosen (1995) arvion mukaan maaperästä vapautuva mineraalitypen määrä vuosittain olisi keskimäärin 30-50 kg ha^{-1}. Tämä huomioiden todellinen typpitase olisi vähintään +19 kg ha^{-1} ylijäämäinen. Peltoviljelyn typen ominaiskuormituskertoimeen, 17 kg ha^{-1}, verrattuna maaperäkorjatun typpitaseen suuruusluokka vaikuttaisi olevan lähempänä oikeaa.

Perunanviljelyn keskimääräinen fosforitase oli Lappajärven valuma-alueella 25 kg ha^{-1} ylijäämäinen. Tutkimustilojen korkeaan fosforitaseeseen verrattuna perunanviljelylle laskettu fosforin ominaiskuormituskerroin 1,99 kg ha^{-1} vaikuttaa pieneltä. Fosforin, toisin kuin typen, tiedetään kuitenkin varastoituvan herkästi maahan, mihin vaikuttaa mm. maan pH ja liukoisen fosforin pitoisuus. On siis todennäköistä, että suurin osa käyttämättömästä fosforista varastoituu maahan, kun taas mineraalitypestä valtaosa huuhtoutuu.

Ravinnetase ei suoraan kerro huuhtouman määrää, mutta toimii potentiaalisen huuhtouman mittarina (Postma ym. 2000). Ravinnetaseita esitellään useissa tutkimuksissa ympäristökuormituksen mittareina. Viime vuosina ravinnetasetta on tutkittu myös ravinnehuuhtoumien arvioinnin työkaluna. Salo ym. (2006) vertailivat typpitaseita ja huuhtoumia erilaisissa viljelykierroissa osana yhdeksästä hankkeesta koostuvaa maaperätutkimusohjelmaa vuosina 2002-2005. Tuloksista kävi selvästi ilmi se, ettei ravinnetase ole luotettava työkalu vuosittaisen kuormitusriskin arviointiin (Salo ym. 2006). Typpitase selitti vuosittaista huuhtoumaa Salon ym. (2006) mukaan parhaimmillaankin vain noin 50 %. Suomalaisessa ilmastossa vuosittainen valunnan

jakautuminen vaikuttaa huomattavasti typen huuhtoutumiseen (Salo ym. 2006). Useamman vuoden keskiarvoista laskettava typpitase on kuitenkin melko hyvä pohja typen potentiaalisen huuhtoutumisen arviointiin (Salo ym. 2006). Samassa maaperätutkimusohjelmassa kehitettiin matemaattinen malli fosforihuuhtouman ennustamiseen fosforitaseen avulla. Fosforitasemalli perustuu peltomaan helppoliukoisen fosforin pitoisuuden eli maan fosforiluokan muutokseen fosforitaseen muutoksen seurauksena ja sen perusteella laskettuun liuenneen reaktiivisen fosforin huuhtoumaan. Malli toimii Ekholmin ym. (2006) mukaan leville käyttökelpoisen fosforin kulkeuman arviointiin savi- ja hietamailla ja toimii kymmenen vuoden aika-akselilla.

Lappajärven valuma-alueella perunanviljelyn typpitaseet ovat pienempiä kuin muiden tiloilla viljeltävien yleisimpien viljelykasvien typpitaseet. Perunapellolla on siis sadonkorjuun jälkeen vähemmän huuhtoutumiselle altista mineraalityppeä kuin esimerkiksi viljapellolla tai nurmella. Huomattavaa on kuitenkin, että huuhtoutumiseen vaikuttavat lisäksi monet muut tekijät, kuten kasvipeitteisyys, maalaji ja pellon kaltevuus. Perunanviljelyssä yleiset hietamaat ovat Ylärannan ym. (1993, ref. Ylivainio ym. 2002) mukaan herkempiä huuhtoutumiselle. Ilman kasvipeitettä talvehtiva perunapelto on myös alttiimpi huuhtoumalle kuin esimerkiksi nurmi. Pellon kaltevuus ja vesistön läheisyys lisäävät huuhtoumariskiä.

Perunanviljelyn fosforitaseet olivat tutkimustiloilla selkeästi korkeammat kuin muilla kasveilla. Muihin viljelykasveihin verrattuna kaksinkertainen perunanviljelyn fosforin ominaiskuormituskerroin tukee saatuja tuloksia. Lemolan ym. (2000) mukaan pellolta tulevaan fosforikuormitukseen vaikuttaa eniten pellon kaltevuus ja fosforiluokka. Ylijäämäinen fosforitase kasvattaa maan liukoisen fosforin pitoisuutta (Turtola & Lemola 2008). Maan fosforin kyllästysasteen kasvaessa fosforin liukoisuus kasvaa ja riski huuhtoutumiseen lisääntyy. Lappajärven valuma-alueen perunanviljelytiloilla perunalohkoista kolmanneksella oli liukoisen fosforin pitoisuus korkea tai arveluttavan korkea. Ainakin näillä lohkoilla riski fosforin huuhtoutumiselle on suuri, varsinkin jos lohko on kalteva. Perunalla käytettävä sijoituslannoitus vähentää huuhtoumariskiä (Lemola ym. 2000).

Perunanviljelyn fosforikuormitusta voidaan vähentää fosforin hyväksikäyttöä parantamalla ja eroosiontorjunnalla. Säännöllinen kalkitus parantaa fosforin hyväksikäyttöä. Riittävällä kasvinvuorottelulla voidaan tasapainottaa viljelykierron fosforitaloutta ja siten vähentää hyödyntämättä jääneen fosforin määrää ja vesistökuormituksen riskiä. Kasvipeitteisyyden ravinteita ja eroosiota pidättävää vaikutusta tulisi hyödyntää perunanviljelyssä. Peite- ja kerääjäkasvien käyttöä myös muilla kuin varhaisperunalla voisi ehkä pitkien ja lämpimien syksyjen jatkuessa lisätä. Perunapeltoja voisi olla hyvä myös kesannoida välillä. Perunan kannalta orgaanisen fosforin hyötysuhteen parantamiseen keskittyvää tutkimusta olisi tarpeen lisätä. Fosforikuormituksen vähentämisessä on syytä keskittyä eroosiontorjuntaan. Toimenpiteet tulee keskittää erityisesti korkean fosforiluokan omaaville lohkoille sekä niille lohkoille, joissa huuhtoutumisriski on muista syistä suurempi. Eroosiota voidaan vähentää viljelyteknisin toimin, lisäämällä kasvipeitteisyyttä sekä perustamalla vesistöjen varsille suojakaistat tai -vyöhykkeet. Lupaavia tutkimustuloksia on myös saatu eroosiontorjunnasta stabilointiaineita (Aura ym. 2006) käyttämällä. Eroosiontorjuntamenetelmien kehittämiseen ja fosforihuuhtoumien vähentämiseen tarvitaan kuitenkin vielä lisää tutkimuksia.

Ravinnetaseiden yhteydestä ravinnehuuhtoumiin tarvitaan lisää tutkimustietoa. Ravinnetaseen tulkintaan tarvittaisiin raja-arvot, jotka kertoisivat, milloin ravinneylijäämä on ympäristön kannalta liian suurta tai riittävän pientä. Jo pelkästään ravinnetaselaskelmien kerääminen laajemmin ja pidemmältä aikajaksolta toisi lisää vertailuaineistoa ravinneylijäämien luotettavampaan arviointiin. Koska tapauksia on monenlaisia, ei ole mahdollista tehdä yleispätevää kaavaa, jolla ravinnehuuhtoumat voitaisiin laskea suoraan ravinnetaseesta peltolohkokohtaisesti. Todennäköistä on, että ravinnetaseiden käytön yleistyessä yhteyttä ravinnehuuhtoumiin pystytään yhä luotettavammin arvioimaan. Ilman suoraa yhteyttä ravinnekuormituksen määrään, ravinnetase toimii jo sinällään hyvänä viljelyn ympäristömittarina ja potentiaalisen vesistökuormituksen arvioinnin apuvälineenä.

6.3 Ravinnetaselaskelman käyttö viljelyn ravinnetalouden seurannassa

Tutkimusvuonna ravinnetaselaskelmaa ei juurikaan hyödynnetty tilatasolla viljelyn suunnittelun apuvälineenä. Sen sijaan tiloilla oli jo muutaman vuoden ajan tehty lohkokohtainen viljelysuunnitelma ja viljelymuistiinpanot vuosittain. Myös muun paperityön määrä oli tiloilla lisääntynyt merkittävästi EU:in liittymisen myötä. Vesiensuojeluhankkeessa työskentelevä suunnittelija oli kuitenkin tervetullut tiloille ja laskelmat herättivät kovasti kiinnostusta, eikä 30 vapaaehtoisen perunatilan saaminen tutkimukseen ollut lainkaan vaikeaa. Projektiin osallistuneet viljelijät saivat oman tilan laskelmien lisäksi ohjeita tulosten tulkintaan sekä vertailulaskelman koko aineistosta. Tilalla tulkittiin laskelmaa ja etsittiin syitä ravinteiden vuotokohtiin. Projektin tavoitteena oli antaa tiloille työkalu, jonka avulla viljelijät voivat konkreettisesti parantaa tilan ja peltoviljelyn ravinnetaloutta ja siten vähentää vesistökuormitusta.

Saadun viljelijä- ja seminaaripalautteen mukaan ravinnetaselaskelma toi uudenlaisen ja tarpeellisen näkökulman viljelyn ravinnetalouden tarkasteluun. Laskelman avulla saatiin selville hyödyntämättä jääneiden ravinteiden määrä peltolohkokohtaisesti ja tarvittaessa hukkaan menneiden ravinteiden määrä konkretisoitiin euroiksi. Viljelyn ravinnetalouden tarkentaminen säästää ympäristön lisäksi viljelijän kukkaroa. Myös vastakkaista palautetta saatiin. EU-byrokratiaan ja papereita pursuaviin kansioihin kyllästyneiden viljelijöiden mielestä peltojen viljavuusanalyyseihin perustuvan tarkennetun lannoitustason noudattaminen ja viljelijän kukkaro ovat riittävät lannoitusmääriä säätävät tekijät. Ylimääräisen paperityön lisääntyminen tiloilla ravinnetaseiden laskemisen myötä ei ymmärrettävästikään ole tervetullutta. Laskelman teko koettiin myös työlääksi. Harjaantuneelta tekijältä laskelman tekoon kului keskikokoisella tilalla noin 3 tuntia. Seuraavana vuonna laskelman tekoon tuskin kuluisi enää samaa aikaa, kun peltolohkojen viljavuus ym. tiedot olisivat jo valmiina ohjelmassa. Kokemuksia laskelman hyödyntämisestä ei kerätty projektissa olevilta tiloilta. Aktiivisimmat tilat todennäköisesti hyödynsivät laskelmaa jollakin tavalla, osalla laskelma saattoi unohtua pöytälaatikkoon muiden papereiden joukkoon.

Uudella ympäristötukikaudella toteutui ennuste siitä, että ravinnetaselaskelmat tulevat tavalla tai toisella osaksi ympäristötukea. Ympäristötukisopimuksen tehneen viljelijän oli mahdollista valita vuonna 2007 alkaneella ympäristötukikaudella 1-2 peltoviljelyn lisätoimenpidettä, joista maksetaan vaihtelevan suuruinen hehtaarikohtainen tuki

perustuen lisäksi. Ravinnetaseiden laskenta on yksi ympäristötuen lisätoimenpiteistä. Lisätoimenpiteessä edellytetään myös laskelman hyödyntämistä siten, että taseiden perusteella laaditaan toimintasuunnitelma ravinnetalouden parantamiseksi. Etelä-Pohjanmaalla noin 8 % viljelijöistä (585 tilaa) on valinnut lisätoimenpiteeksi ravinnetaselaskelman tekemisen (Tuominen 2008). Tätä kautta tehtyjen ravinnetaselaskelmien määrä kasvaa ja vertailuaineistoa viljelyn typpi- ja fosforitaseisiin saadaan lisää. Ravinnetaseiden laskentaan laaditun oppaan (Mavi 2008) avulla myös ravinnetaseiden laskentamenetelmät ja tulkinta tulevat todennäköisesti yhtenäistymään.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Lappajärven valuma-alueella 30 perunanviljelytilalle laadittujen ravinnetaselaskelmien avulla saatiin tietoa perunanviljelyn ravinnetaloudesta sekä ravinteiden hyödyntämiseen vaikuttavista tekijöistä. Perunatilojen peltoviljelyssä jäi typpeä hyödyntämättä keskimäärin 4 kg ha^{-1} ja fosforia 12 kg ha^{-1}. Typpeä hyvin ja fosforia heikommin hyödyntävän perunan suuri osuus (41 %) tutkimustilojen peltoviljelyssä näkyy tilojen keskimääräisissä peltotaseissa.

Tulosten mukaan peruna hyödyntää typpeä ja kaliumia tehokkaasti, mutta fosforia heikommin. Perunanviljelyn keskimääräinen typpitase oli tutkimustiloilla –11 kg ha^{-1} alijäämäinen, mikä tarkoittaa, että lannoitteissa annetun typen lisäksi hyödynnettiin maan typpivaroja 11 kg ha^{-1}. Fosforia jäi sen sijaan perunalohkoilla hyödyntämättä runsaasti, keskimäärin 25 kg ha^{-1}. Keskimääräinen perunanviljelyn kaliumtase oli tutkimustiloilla –13 kg ha^{-1} alijäämäinen. Peruna hyödyntää typpeä paremmin ja fosforia huonommin kuin muut yleisimmät viljelykasvit.

Tutkimustiloilla annettu typpilannoitus oli pienempi kuin sadon mukana poistuva typen määrä. Perunalle annettu fosforin määrä oli selvästi suurempi kuin sadon mukana poistuva fosforimäärä, mutta vastasi keskimäärin lannoitussuosituksia. Alemmissa viljavuusluokissa annetut fosforisuositukset jopa alitettiin, kun taas korkeissa fosforiluokissa annettiin fosforia turhaan. Ylijäämäinen fosforitase näkyi myös peltojen viljavuudessa, jossa fosforiluokat olivat lähes kaikilla lohkoilla vähintään tyydyttäviä ja kolmanneksella lohkoista vähintään korkeita. Myös peltojen pH-luvut olivat alhaisia. Annetun kaliumin määrä oli pienempi kuin sadossa poistuvan kaliumin määrä. Tämä näkyi peltojen viljavuustuloksissa, jossa kaliumin määrä oli pelloissa vähentynyt. Kaliumlannoitukseen olisikin tarpeellista kiinnittää jatkossa enemmän huomiota erityisesti ruoka- ja siemenperunalla. Tulosten mukaan ravinnetase on sitä korkeampi, mitä suurempi on lannoitus. Ravinnetase ja lannoitustaso korreloivat tilastollisesti merkitsevästi sekä ruoka- ja siemenperunalla että tärkkelysperunalla.

Satotason nouseminen pienensi hyödyntämättä jääneen typen määrää molemmilla perunalajeilla. Typpitaseen ja satotason korrelaatio oli tilastollisesti merkitsevää. Satotasolla ei havaittu olevan vaikutusta fosforitaseeseen. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että tutkimusvuonna oli vielä yleisesti käytössä ns. lannoituksen perustaso, jossa maan viljavuutta ei huomioida lannoituksessa, vaan käytetään kasvilajikohtaisia kiinteitä lannoitusmääriä myös viljavilla lohkoilla, joilla fosforilannoitustarve on pieni tai fosforia ei tarvita lainkaan. Korkean satopotentiaalin omaavia peltoja saatettiin myös lannoittaa voimakkaammin, että varmistettaisiin hyvä sato.

Maan liukoisen fosforipitoisuuden (P-luokka) lisääntyminen paransi tärkkelysperunalla fosforin hyväksikäyttöä tilastollisesti merkitsevästi. Tulosten mukaan perunan lannoituksessa ei ole kuitenkaan riittävästi huomioitu maan viljavuutta, vaan fosforia on annettu korkeimmissa viljavuusluokissa enemmän kuin kasvi tarvitsee. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että myös viljaville lohkoille oli annettu fosforilannoituksen perustason mukainen määrä fosforia. Maan pH-luvun noustessa fosforin hyväksikäyttö parani erityisesti tärkkelysperunalla. Tulos ei ollut kuitenkaan tilastollisesti merkitsevä.

Lappajärven valuma-alueella saatujen tulosten mukaan maan multavuuden lisääntyminen ja happamuuden väheneminen paransivat erityisesti ruoka- ja siemenperunan typen käyttöä. Erot eivät olleet kuitenkaan tilastollisesti merkitseviä. Maan kasvukunnon paraneminen laski tulosten mukaan jonkin verran tärkkelysperunan fosforitasetta ja selvästi ruokaperunan typpitasetta. Tulokset eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä. Viljelyn monipuolisuus näytti tulosten mukaan parantavan typen hyväksikäyttöä sekä ruoka- ja siemen- että tärkkelysperunalla tilastollisesti merkitsevästi. Luokkien otoskoossa oli kuitenkin suurta vaihtelua, eikä kahden suurimman luokan keskiarvojen välillä havaittu eroa toivottuun suuntaan kummallakaan perunalajilla.

Ravinnetase ei suoraan kerro huuhtoutuvien ravinteiden määrää, vaan ravinnetaseen avulla ja niitä vertailemalla voidaan arvioida vesistökuormituksen riskin suuruutta. Erityisesti typen huuhtoumiin vaikuttavat ravinnetaseen ohella yhtä paljon vuosittainen valunnan jakautuminen. Ei ole myöskään olemassa tutkimustietoon perustuvia selkeitä raja-arvoja, joilla kuormituksen todennäköisyyttä voitaisiin arvioida. Lappajärven valuma-alueella ravinnetaseen perusteella riski typen huuhtoutumiseen perunapellolta on pienempi kuin muilla viljelykasveilla. Perunanviljelyn keskimääräinen typpitase oli reilusti alijäämäinen eli maahan ei jää huuhtoutumiselle altista nitraattityppeä. Laskelmassa ei ole kuitenkaan huomioitu maan typpivaroja. Lisäksi huuhtoumariskiin vaikuttavat monet muut tekijät. Perunanviljelyssä yleiset hietamaat ovat huuhtoutumisherkkiä. Riskiä lisää vesistön läheisyys sekä pellon kaltevuus. Myös perunapellon kasvipeitteettömyys lisää riskiä talven ja kevään aikaisille huuhtoumille.

Riski fosforin huuhtoutumiseen Lappajärven valuma-alueella on todennäköisesti suuri niillä perunalohkoilla, joissa pellon liukoisen fosforin pitoisuus sekä fosforitase ovat korkeat. Huomattava on, että huuhtoutumiseen vaikuttavat myös muut tekijät, kuten pellon eroosioherkkyys. Tutkimustilojen korkeat fosforiluokat tulevat todennäköisesti laskemaan tarkennettuun lannoitukseen siirtymisen myötä, jolloin lannoitteessa annetun ja sadossa poistuneen fosforin määrä ovat paremmin tasapainossa. Peruna poikkeaa fosforitaloudeltaan selvästi muista kasveista ja riittävä fosforin saanti on perunan laadun kannalta keskeinen ravinne, jonka määrästä ei voi tinkiä.

Tutkimuksessa saatujen viljelijäkokemusten mukaan ravinnetaselaskelma on tarpeellinen ja hyvä menetelmä viljelyn ravinnetalouden seurantaan ja tarkentamiseen. Laskelman avulla voidaan vähentää hyödyntämättä jääneiden ravinteiden määrää ja siten pienentää viljelyn ympäristövaikutuksia.

KIITOKSET

Kiitän Länsi-Suomen ympäristökeskusta ravinnetaselaskelmien toteuttamisesta osana Lappajärvi Life -projektia. Kiitokset myös työkavereille, jotka auttoivat mm. tarvittavien lähtötietojen hankinnassa. Ravinnetaselaskelmien tekeminen oli mielenkiintoista puuhaa ja siitä suuri kiitos asiasta kiinnostuneille viljelijöille, jotka antoivat tilojaan koskevat tiedot käyttööni.

Ravinnetaselaskelmien tekemisessä, ohjelman käytössä ja tulosten tulkinnassa sain suurta apua Jukka Rajalalta Helsingin yliopistosta. Perunanviljelyn ravinnetalouden tutkimisessa minua auttoi ja kirjallisuutta lainasi Perunantutkimuslaitoksen johtaja Paavo Kuisma. Tulosten tilastollisessa käsittelyssä sain korvaamatonta apua Anssi Lensulta Jyväskylän yliopistosta. Marttilan Jaanalta sain järkeviä kommentteja graduni tueksi aina kun niitä tarvitsin. Lämpimät kiitokset heille kaikille!

Suurimmat kiitokseni haluan osoittaa perheelleni. Puolisoni Markku on ollut suurin tukeni tämän työn tekemisessä. Ilman hänen kannustustaan tämä työ olisi tuskin koskaan valmistunut. Jälkikasvumme puolestaan huolehti siitä, että tiukan paikan tullen asiat laitettiin tärkeysjärjestykseen! Kiitos myös sukulaisille ja ystäville kannustuksesta.

KIRJALLISUUSLUETTELO

Aaltonen, E-K., Aho, J., Kalliolinna, M. & Vuorela, M. 2002: Ähtävänjoen vesistön veden laatu ja kuormitus 1990 -luvun lopulla. - Käsikirjoitus. - 33 s., Pohjanmaan vesiensuojeluyhdistys ry., Pietarsaari.

Aaltonen, E-K, Aho, J., Klemets, V., Markkola, J-M., Rautio, L-M., Savola, E-M. & Teppo, A. 2003: Lappajärvi - Yhteistyöllä vesistöt kuntoon! - 176 s. Lappajärvi Life -projekti, Länsi-Suomen ympäristökeskus.

Addiscott, T. M. & Powlson, D. S. 1992: Journal of Agricultural Science, Cambridge 118: 101-107. (Ref. Shepherd & Postma 2000).

Ahtela, I. 2000: Kestävä maatalous Vantaanjoella -projekti. - Ravinnetaseseminaari Helsingissä 26.9.2000. Monisteita, Nro 75. - 48 s. Uudenmaan ympäristökeskus, Helsinki.

Alford, A.R., Drummond, F.A., Gallandt, E.R., Groden, E. Lambert, D.A., Liebman, M., Marra, M.C., Mc Burnie, J.C., Porter, G.A. & Salas, B. 1996: The ecology, economics, and management of potato cropping systems: A report of the first four years of the Maine potato ecosystem project. - Maine Agric Exp Stn Bulletin 843. (Ref. Stark & Porter 2005).

Allison, F.E. 1973: Soil organic matter and its role in crop production. - 637 p. Elsevier Sc. (Ref. Hofman & Salomez 2000).

Ampe, G. 1991: Mededeling 324. P.O.V.L.T. - 4 p. Roeselare, Belgium. (Ref. Hofman & Salomez 2000).

Antila, A. 2008: Perunan kasteluun kannattaa varautua. - Tuottava peruna 2/08: 22-23.

Aulakh, M.S., Doran, J.W. & Mosier, A.R. 1992: Advances in Soil Science 18. 57 p. (Ref. Postma ym. 2000).

Aura, E., Räty, M. & Hartikainen, H. 2006: Savimaiden eroosio: prosessit ja torjunta. Teoksessa: Alakukku, L.: Maaperän prosessit - pellon kunnon ja ympäirstön hoidon perusta. - Maa- ja elintarviketalous 82: 37-43.

Barraclough, D., Jarvis, S.C., Davies, G.P. & Williams, J. 1992: The relation between fertilizer nitrogen applications and nitrate leaching from grazed grasslands. - Soil Use and Management 8: 51-56. (Ref. Ylivainio ym. 2002).

Bergström, L. & Johansson, R. 1991: Leaching of nitrate from monolith lysimeters of different types of agricultural soils. - Journal of Environmental Quality 20: 801-807. (Ref. Ylivainio ym. 2002)

Bergström, L.F. & Kirchmann, H. 1999: Leaching of total nitrogen from nitrogen-15-labelled poultry manure and inorganic nitrogen fertilizer. - Journal of Environmental Quality 28: 1283-1290. (Ref. Ylivainio ym. 2002).

Bester, G.G. 1996: Leaching of minerals in sandy soils under irrigation. In: The scientific committee of the 13th triennial conference of the European association for potato research. (Ed.): Abstracts of conference papers, posters and demonstrations of EAPR 1996: 93-94.

Biemond, H. & Vos, J. 1992: Effects of nitrogen on the development and growth of the potato plant. 2. - The partitioning of dry matter, nitrogen and nitrate. - Annals of Botany 70: 37-45. (Ref. Mustonen 1999b).

Bries, J., Vandendriessche, H. & Geypens, M. 1995: Bemesting en beregening van aardappelen in functie van opbrengst en kwaliteit. - 250 p., IWONL, Bryssel, Belgia. (Ref. Hofman & Salomez 2000).

Brown, R. 1799: General view of the Agricultural of the west riding of Yourkshire. - 293 p. + Appendix of 121 p. 8 vo., James Watson, Edinburgh. (Ref. Burton 1966).

Burton, W.G. (Ed.) 1966: The Potato. - 382 p., Wageningen. The Netherlands.

Carlsson, H. 1979: Färskpotatisens kvalitet. Rapport 76. - 29 p., Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet. (Ref. Mustonen 1999b).

Carlsson, H. 1995: Application of ferilizers in different ways to potatoes in Sweden. - Abstracts of papers of the joint meeting of the agronomy and utilisation sections of the EAPR: 28-29.

Cowie, G.A. 1945: Study of the effects of fertilizers and rainfall on yields of crops growth in rotation. - J. agric. Sci. Camb. 35: 197-206. (Ref. Burton 1966).

Dalal, R. C. 1977: Soil organic phosphorus. - Advances in Agronomy 29: 83-117. (Ref. Ylivainio ym. 2002).

Dosch, P. & Gutser, R. 1996: Fertilizer Research 43: 165-171. (Ref. Postma ym. 2000).

Drinkwater, L.E., Janke, R.R. & Rossoni-Longnecker, L. 2000: Effects of tillage intensity on nitrogen dynamics and productivity in legume-based grain systems. - Plant and Soil 227: 99-113. (Ref. Ylivainio ym. 2002).

Eden, T. 1926: The manuring of potatoes: the Rothamsted experiments. - J. Minist. Agric. Fish. 32: 889-892. (Ref. Burton 1966).

Edwards, C.A. & Lofty, J.R. 1982: Nitrogenous fertilizers and earthworm populations in agricultural soils. - Soil Biology and Biochemistry 14: 515-521. (Ref. Ylivainio ym. 2002).

Edwards, D.R. & Daniel, T.C. 1993: Effects of poultry litter application rate and rainfall intensity on quality of runoff from fescuegrass plots. - Journal of Environmental Quality 22: 361-365. (Ref. Ylivainio ym. 2002).

Edwards, W.M. & Shipitalo, M.J. 1998: Concequence of earthworms in agricultural soils: Aggregation and porosity. - Teoksessa: Edwards, C.A. Earthworms ecology: 147-161. (Ref. Ylivainio ym. 2002)

Ekholm, P., Turtola, E., Grönroos, J., Seuri, P. & Ylivainio, K. 2006: Fosforitase huuhtoumien arvioinnissa. Teoksessa: Alakukku, L. (toim.): Maaperän prosessit - pellon kunnon ja ympäristönhoidon perusta: 33-36.

Eltun, R. & Fugleberg, O. 1996: The Apelsvoll cropping system experiment VI. Runoff and nitrogen losses. - Norwegian Journal of Agricultural Sciences 10: 229-248. (Ref. Ylivainio ym. 2002).

Fernando, L.H. 1958: Studies of leaf growth: effect of mineral nutrients and the interdependence of the leaves of a plant. - PhD thesis, Univ. Lond. (Ref. Burton 1966).

Froment, M. A., Chalmers, A. G. & Smith, K. A. 1992: Nitrate leaching from autumn and winter application of animal manures to grassland. Aspects of Applied Biology 30: 153-156. (Ref. Ylivainio ym. 2002).

Gavlak, R.G., Cambell, W.L., Walworth, J.L., Johnson, C.L., Muniz, J.E. & Tindall, T.A. 1993: Nitrogen fertilization of irrigated Russet potatoes in Southcentral Alaska. - American Potato Journal 70: 571-578.

Gladwin, A. & Beckwith, C. P. 1992: The benefit of a catch crop in minimising nitrate leachin from autumn and winter applied slurry and manure. - Aspects of Applied Biology 30: 149-152. (Ref. Ylivainio ym. 2002).

Goffart, J.P., Ninane, V. & Guiot, J. 1992: Ín: Francois E., Pithan, K. & Barthiaux-Thill, N. (Eds): Nitrogen cycling in cool and wet regions of Europe: 132-133. (Ref. Postma ym. 2000).

Goffart, J.P., Rouxhet, F. & Guiot, J. 1997: In: Van Cleemput, O. Haneklaus, S., Hofman, G., Schnug, E. & Vermoesen, A. (Eds): Proceeding 11th International World Fertilizer Congress of CIEC, Volume 1: 669-678. (Ref. Hofman & Salomez 2000).

Guarda, G., Colauzzi, M., Tassoni, F. & Zuffellato, F. 1996: Effect of nitrogen fertilization and water supply on the growth of an early potato cultivar. - In: The scientific committee of the 13th triennial conference of the European association for potato research. (Ed.): Abstracts of conference papers, posters and demonstrations of EAPR 1996: 95-96.

Gutser, R. & Dosch, P. 1996: Cattle slurry-^{15}N turnover in a long-term lysimeter trial. - In: Rodriguez-Barrueco, C. (Ed.): Fertilizers and Environment: 345-350. (Ref. Ylivainio ym. 2002).

Haase, N.U., Goffart, J.P., Mac Kerron D.K.L. & Young, M.W. 2000: Plant nitrogen status. - In: Haverkort, A. J. & Mac Kerron, D. K. L. (Eds): Management of nitrogen and water in potato production: 55-110.

Hakkola, H. & Luoma, S. 1989: Perunan viljelykokeiden tuloksia 1981-1988. Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasema. Tiedote 6/89. - 25 s., Maatalouden tutkimuskeskus. Jokioinen 1989.

Halkosaari, P. 2001: Alajärven perunatilojen lukumäärä v. 2000. Suullinen tiedonanto Henna Latvalalle 4.5.2001.

Harris, P. 1992: Mineral Nutrition. - In: Harris, P.M. (Ed.): The Potato Crop: 162-209.

Hassink, J. 1992: Biology and Fertility of Soils 14: 126-134. (Ref. Shepherd & Postma 2000).

Haverkort, A.J. & Mac Kerron, D.K.L. (Eds) 2000: Management of nitrogen and water in potato production. - 353 p., Wageningen Pers, Alankomaat.

Heckrath, G., Brookes, P.C., Poulton, P.R. & Goulding, K.W.T. 1995: Phosphorus leaching from soils containing different phosphorus concentrations in the Broadbalk experiment. - Journal of Environmental Quality 24: 904-910. (Ref. Ylivainio ym. 2002).

Heinonen, R.(toim.), Hartikainen, H., Aura, E., Jaakkola, A. & Kemppainen, E. 1992: Maa, viljely ja ympäristö. - 334 s., Werner Söderström Osakeyhtiö, Porvoo.

Hippi, S. & Rautio, L-M. 2001: Yhteistyöllä vesistöt kuntoon! Lappajärvi Life. - Esite. 15 s.

Hofman, G. & Salomez, J. 2000: Role and value of organic matter. - In: Haverkort, A.J. & Mac Kerron, D.K.L. (Eds) 2000: Management of nitrogen and water in potato production: 121-135.

Honisch, M., Hellmeier, C. & Weiss, K. 2002: Response of surface and subsurface water quality to land use changes. - Geoderma 105: 277-298. (Ref. Ylivainio ym. 2002).

Hooda, P.S., Moynagh, M., Svoboda, I.F., Edwards, A.C., Anderson, H.A. & Sym, G. 1999: Phosphorus loss in drainflow from intensively managed grassland soils. - Journal of Environmental Quality 29: 1166-1171. (Ref. Ylivainio ym. 2002).

Huitu, H. 2003: Lappajärven ulkoinen kuormitus 1999 – paikkatietopohjainen selvitys. - Teoksessa: Markkola, J-M. & Huitu, H.: Paikkatietojärjestelmä vesiensuojelussa. - Lappajärvi Life -hankkeen paikkatietojärjestelmä ja paikkatietopohjainen selvitys ulkoisesta kuormituksesta: 25-48.

Ilmatieteen laitos 2001: Säätilastot. - Suullinen tiedonanto Henna Latvalalle 22.6.2001.

Jarvis, S.C., Stockdale, E.A., Shepherd, M.A. & Powlson, D.S. 1996: Advances in Agronomy 57: 187-235. (Ref. Shepherd & Postma 2000, Johnson ym. 2000).

Jenkins, P.D. & Nelson, D.G. 1992: Potato-Research 35: 127-132. (Ref. Vos & Mac Kerron 2000).

Joern, B.C. & Vitosh, M.L. 1995a: Influence of applied nitrogen on potato. Part 1: yield, quality and nitrogen uptake. - American Potato Journal 72: 51-63.

Johnson, P.A., Shepherd, M.A. & Lord, E.I. 1996: Loss of nitrogen by leaching after potato crops: experimental and field evidence. - In: The scientific committee of the 13th

triennial conference of the European association for potato research. (Ed.): Abstracts of conference papers, posters and demonstrations of EAPR 1996: 91-92.

Johnson, P.A., Postma, R., Goffart, J.P. & Salomez, J. 2000: Sampling and analysis of soils for soil nitrogen. - In: Haverkort, A. J. & Mac Kerron, D.K.L. (Eds): Management of nitrogen and water in potato production: 155-164.

Joki-Tokola, E., Mattila, P., Elonen, P. & Tanni, R. 1998: Teoksessa Sipilä, I. & Pehkonen, A. (toim.): Karjanlannan ympäristöystävällinen ja kustannustehokas käyttö. MMM:n karjanlantatutkimusohjelman 1995-97 loppuraportti. - Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos. Julkaisuja 87: 34-56. (Ref. Ylivainio ym. 2002).

Kaila, A. 1963: Total content of phosphorus in some Finnish soils. - The Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland 35: 19-26. (Ref. Ylivainio ym. 2002).

Kangas, A., Kuisma, P., Peltonen, J., Rahkonen, A. & Seppänen, H. 1997: Perunalajikkeet 1997. - Tieto Tuottamaan 74. Maaseutukeskusten liiton julkaisuja n:o 913. Maaseutukeskusten Liitto, Kokemäki.

Kemira GrowHow Oyj & Agrimarket. 2007: Kasvuohjelma -opas. 192 s.

Kemppainen, E. 1989: Nutrient content and fertilizer value of livestock manure with special reference to cow manure. - Annales Agriculturae Fenniae 28: 163-284. (Ref. Ylivainio ym. 2002).

Kleinkopf, G., Westermann, D. & Dwelle, R. 1981: Dry matter production and nitrogen utilization by six potato cultivars. - Agronomy Journal 73: 799-802. (Ref. Mustonen ym. 1997).

Kuisma, P. 1990: Fosfori-ongelmako? - Tuottava peruna 17(1): 17-19.

Kuisma, P. 1991: Kalia perunalle sadon käyttömuodon mukaan. - Tuottava peruna 18(1): 22-24. (Ref. Lemola ym. 2001).

Kuisma, P. 1994: Kalkkia perunamaalle. - Tuottava peruna 4: 28-29.

Kuisma, P. 1998: Kalkitus ja perunan kalsiumlannoitus tutkimustulosten valossa. - Tuottava peruna 2: 25-29.

Kuisma, P. 2002: Efficienscy of split nitrogen fertilization with adjusted irrigation on potato. - Agricultural and Food Science in Finland 11: 59-74.

Kuisma, P. 2008: Suullinen tiedonanto Henna Latvalalle 26.2.2008.

Kuisma, P. & Hakkola, H. 1996: Potassium fertilization of potato in a short growing season. - In: The scientific committee of the 13th triennial conference of the European association for potato research. (Ed.): Abstracts of conference papers, posters and demonstrations of EAPR 1996: 654-655.

Larsen, S. 1967: Soil phosphorus. - Advances in Agronomy 19: 151-210. (Ref. Ylivainio ym. 2000).

Larson, W.E., Clapp, C.E., Pierre, W.H. & Morachan, Y.B. 1972: Effects of increasing amounts of organic residues on continuous corn: II. Organic carbon, nitrogen, phosphorus and sulfur. - Agronomy Journal 64: 204-208. (Ref. Ylivainio ym. 2002).

Lemola, R., Yli-Halla, M. & Huhta, H. 1998: Perunamaiden viljavuus ja sen kehittyminen. - Tuottava peruna 3: 30-31.

Lemola, R., Ojanen, H., Hannukkala, A., Siimes, K. & Yli-Halla, M. 2000: Siemen-, tärkkelys- ja lastuperunan viljelyn erityispiirteitä Suomessa. - Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja 88, sarja A. - 42 s., Maatalouden tutkimuskeskus, Jokioinen.

Lewis R. J. & Love S. L. 1994: HortScience 29: 175-179. (Ref. Vos & Mac Kerron 2000).

Maaseutukeskusten liitto 1992: Perunan tuotanto. - Tieto tuottamaan 64. Maaseutukeskusten liiton julkaisuja n:o 850. - 111 s., Maaseutukeskusten liitto.

Maatalouden tutkimuskeskus 2000: Perunakokeiden tuloksia 2000. - 20 s., Maatalouden tutkimuskeskus, Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasema, Ruukki.

Maatilan Kemira 2000. Lannoitustulkki 2000/2001. 27 s.

Mac Kerron, D.K.L. 2000: Basic concepts of the management of supply of nitrogen and water in potato production. - In: Haverkort, A. J. & Mac Kerron, D.K.L. (Eds) 2000. Management of nitrogen and water in potato production: 11-33.

Mandal, S.C. 1975: Phosphorus management of our soils. Need for a more rational approach. 40 th Sess. - Indian Soc. Of Soil Science, Bhubaneswar. (Ref. Mengel & Kirkby 1982).

Marttila, J. 2003: Ravinnetaselaskelmat Tuusulanjärven valuma-alueen maatiloilla 2001-2002. - 18 s., Keski-Uudenmaan vesiensuojelun kuntayhtymä.

Marttila, J. 2005: Ravinnetaseet maatalouden vesistökuormituksen arviointikeinona. - pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto, bio- ja ympäristötieteiden laitos, 69 s.

Mavi 2007: Maatalouden ympäristötuen sitoumusehdot 2007. - Maaseutuviraston julkaisu 18.5.2007, 30 s.

Mavi 2008: Ravinnetaseet. Ympäristötuen lisätoimenpide lannoituksen ja sadon ravinnemäärien seurantaan. - Maaseutuviraston julkaisu, 13 s.

McGill, W.B. & Cole, C.V. 1981: Comparative aspects of cycling of organic C, N, S and P through soil organic matter. - Geoderma 26: 267-286. (Ref. Ylivainio ym. 2002).

Mengel, K. & Kirkby, E.A. 1982: Principles of Plant Nutrition. 3rd Edition. - 655 p., “Der Bund” AG, Bern/Sveitsi.

Millard, P. & Marshall, B. 1986: Journal of Agricultural Science 107: 421-429, Cambridge. (Ref. Vos & Mac Kerron 2000).

MMM 2000: Maatalouden ympäristötuen sitoumusehdot 2000. - Maa- ja metsätalousministeriön julkaisu 8.5.2000, 13 s.

MMM:n peltolohkorekisteri 2001: Lappajärven valuma-alueen perunalohkojen pinta-alat osavaluma-alueittain, vuosi 2001. - Moniste.

MMM:n Tike 2001: Maatilastollinen vuosikirja 2001. - 262 s., Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus, Helsinki.

MMM:n Tike 2007a: Maatilastollinen vuosikirja 2007. - 267 s., Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus, Helsinki.

MMM:n Tike 2007b: Viljelykasvien sato vuonna 2007. - Viljelykasvien pinta-ala ja satotiedot vuodelta 2007 työvoima- ja elinkeinokeskuksittain. - www.matilda.fi

Molfetta, P., Ceccon, P., Guarda, G. & Dalla Costa, L. 1993: Nitrogen use efficiency and uptake patterns of potato as affected by fertilization rate. - In: The scientific committee of the 12th triennial conference of the European association for potato research. (Ed.): EAPR 93, Abstracts: 52-54.

Mustonen, L. 1995: Perunan typpilannoitus ja jäännöstyppi maassa. - Suomen perunaseura, kesäseminaari 1995. Seminaarin esityksiä ja alustuksia. Suomen perunaseuran julkaisu 2: 1-4.

Mustonen, L. 1999a: Perunan typpilannoitus. - Suomen perunaseura, kesäseminaari 1999. Seminaarin esityksiä ja alustuksia. Suomen perunaseuran julkaisu 2: 9-12.

Mustonen, L. 1999b: Varhais- ja syysperunan laatu. - Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja 56, sarja A. - 25 s., Maatalouden tutkimuskeskus, Jokioinen.

Mustonen, L., Kangas, A. & Häkkinen S. 1997: Perunalajikkeiden typpilannoitus. - Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja 20. Sarja A. - 31 s., Maatalouden tutkimuskeskus. Jokioinen.

Mäkelä, P. 2001: Vimpelin perunatilojen lukumäärä v. 2000. - Suullinen tiedonanto Henna Latvalalle 3.5.2001.

Neeteson, J.J. 1989: Netherlands Journal of Agricultural Science 37: 143-155. (Ref. Johnson ym. 2000).

Neeteson, J.J. 1992: In: Adriano D.C. (Ed.): Advances in Environmental Science, Groudwater Series, Spinger, New York. (Ref. Johnson ym. 2000).

Paasonen-Kivekäs, M. & Koivusalo, H. 2006: Losses of sediment and phosphorus through subsurface drains in a clayey field in southern Finland. - In: Nordic Association of Agricultural Scientists (Ed.): NJF Seminar 373, Report 2(5): 95-100.

Paauw, F. van der 1957: Grote kalibehoefte in droge en geringe in regenrijke jaren. - Landbouw, `s-Grav. 14: 520-524. (Ref. Burton 1966).

Paauw, F. van der 1958: Relation between potash requirements of crops and meteorological conditions. - Pl. Soil 9, 254-268. (Ref. Burton 1966).

Palva, R., Rankinen, K., Granlund, K., Grönroos, J., Nikander, A. & Rekolainen, S. 2001: Maatalouden ympäristötuen toimenpiteiden toteutuminen ja vaikutukset vesistökuormitukseen vuosina 1995-1999. MYTVAS-projektin loppuraportti. - Suomen ympäristö 478. Ympäristönsuojelu. - 92 s. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.

Pang, X. P. & Letey, J. 2000: Organic farming: challenge of timing nitrogen availability to crop nitrogen availability to crop nitrogen requirements. - Soil Science Society of America Journal 64: 247-253. (Ref. Ylivainio ym. 2002).

Polso, A. 2001. Perunan solunesteen ravinnepitoisuudet. Kirjallinen tiedonanto Henna Latvalalle 19.6.2001.

Postma, R., Goffart, J.P., Johnson, P.A., Salomez, J., Shepherd, M.A. & Wheatley, R.E. 2000: Losses of mineral nitrogen from the plant-soil system in potato production. - In: Haverkort, A.J. & Mac Kerron, D.K.L. (Eds): Management of nitrogen and water in potato production: 136-154.

Puustinen, M. 1994: Effect of soil tillage on erosion and nutrient transport in plough layer runoff. - Publications of the water and environment research institute 17: 71-90. (Ref. Lemola ym. 2000)

Rahkonen, A. 1995: Elinvoimaa viherkesannosta. - Tuottava peruna 2: 28-29.

Rajala, J., Myyrinmaa, J., Vuori, T., Kitula, J., Vahtera, H., Ahtela, I., Lankoski, J. & Santapukki, A. 2001: Ravinnetaseopas. - 30 s., Uudenmaan ympäristökeskus, Helsinki.

Rekolainen, S., Pitkänen, H., Bleeker, A. & Felix, S. 1995: Nitrogen and phosphorus fluxes from Finnish agricultural areas to the Baltic sea. - Nordic Hydrology 26: 55-72. (Ref. Ylivainio ym. 2002)

Rogalev, I. E. 1957: The influence of phosphorus nutrition of plants on the differentiation of vascular bundles and the xylem vessels. - Dokl. Akad. Nauk. SSSR 115: 1206-1208. (Ref. Burton 1966).

Russell, E. & Garner, H. V. 1941: The Rothamsted experiments on the manuring of potatoes. Part III. The effect of fertilizers on the habit of growth and other characters of potatoes. - General Summary. - Emp. J. exp. Agric. 10: 227-235. (Ref. Burton 1966).

Saarela, I. 2001: Ravinteet maassa ja niiden saatavuus. Perunantutkimuksen talvipäivät 2001. - Monisteita.

Saarela, I., Järvi, A., Hakkola, H. & Rinne, K. 1995: Fosforilannoituksen porraskokeet 1977-1994. Vuosittain annetun fosforimäärän vaikutus maan viljavuuteen ja peltokasvien satoon monivuotisissa kenttäkokeissa. Tiedote 16/95. - Maatalouden tutkimuskeskus, Jokioinen.

Salo, T., Turtola, E. & Grönroos, J. 2006: Typpitaseen käyttö huuhtoutumisen arvioinnissa. - Teoksessa: Alakukku, L. (toim.): Maaperän prosessit - pellon kunnon ja ympäristönhoidon perusta: 69-72.

Savola, V. 2001: Lappajärven perunatilojen lukumäärä v. 2000. - Suullinen tiedonanto Henna Latvalalle 3.5.2001.

Seppälä, H. 2002: Ravinnetaselaskelmat Kuortaneenjärvi -hankkeessa. Monisteita. - 20 s., Länsi-Suomen ympäristökeskus.

Shepherd, M.A. 1992: Proceedings of the Fertilizer Society 331: 32 p. (Ref. Postma ym. 2000)

Shepherd, M.A. & Lord, E.I. 1996: Journal of Agricultural Science 127: 215-229. (Ref. Postma ym. 2000).

Shepherd, M.A. & Postma, R. 2000: Forms of soil nitrogen. - In: Haverkort, A. J. & Mac Kerron, D.K.L. (Eds): Management of nitrogen and water in potato production: 111-120.

Sippola, J. & Yläranta, T. 1985: Mineral nitrogen reserves in soil and nitrogen fertilization of barley. - Annales Agriculturae Fenniae 24: 117-124. (Ref. Ylivainio ym. 2002).

Sirkula 2.0. 1999: Ravinnetaseohjelma. - Jukka Rajalan ja Kainuun maaseutukeskuksen kehittämä tietokoneohjelma tilan ravinnevirtojen seurantaan.

Sirkula 3.0. 2002: Ravinnetaseohjelma. - Jukka Rajalan ja Kainuun maaseutukeskuksen kehittämä tietokoneohjelma tilan ravinnevirtojen seurantaan.

SkØien, S. 1993: Long-term effects of crop rotation, manure and straw on soil aggregation. - Norwegian Journal of Agricultural Sciences 7: 117-247. (Ref. Ylivainio ym. 2002).

Solberg, S.O. 1995: Influence of crops and cultivation management on the nitrogen leaching potential on ecological farms in south east Norway. - Biological Agriculture and Horticulture 11: 115-121. (Ref. Ylivainio ym. 2002).

Spiertz, J.H.J. & De Vries, G.J.H. 1996: Environmentally safe and consumer-friendly potato production. - In: The scientific committee of the 13th triennial conference of the European association for potato research (Ed.): Abstracts of conference papers, posters and demonstrations of EAPR 1996: 3-5.

Stark, J.C. & Porter, G.A. 2005: Potato nutrient management in sustainable cropping systems. - Amer J of Potato Res 82: 329-338.

Stark, J.C., Mc Cann, I.R., Westermann D.T., Izadu, B. & Tindall T.A. 1993: American Potato Journal 70: 765-777. (Ref. Vos & Mac Kerron 2000)

Tagawa, T. & Sakai, R. 1953: Physiological and morphological studies on potato plants. XIV. Relation between the varying rates of nitrogen and potassium supplies and the carbohydrate metabolism of potato plants. - Mem. Fac. Agric. Hokkaido Univ. 1: 410-419. (Ref. Burton 1966).

Tall, A. 2007: Perunan typpilannoitus luonnonmukaisessa viljelyssä - lisensiaatin-tutkimus, Helsingin yliopisto, maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, 84 s.

Thomsen, I.K., Kjellerup, V. & Jensen, B. 1997: Crop uptake and leaching of ^{15}N applied in ruminant slurry with selectively labelled faeces and urine fractions. - Plant and Soil 197: 233-239. (Ref. Ylivainio ym. 2002).

Tiainen, I. & Puustinen, M. 1989: Peltoviljelyn vaikutus eroosioon. Vesi- ja ympäristöhallinnon monistesarja 190. - 71 s., Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki.

Torttila, A. 1995: Hyvät perunanviljelymenetelmät. Kestävän kehityksen periaatteet perunantuotannossa. - Perunantutkimuslaitoksen julkaisuja 1/1995, 12 s.

Tuominen, V. 2008: Vuonna 2007 ympäristötukea hakeneiden tilojen lisätoimenpiteet. - Excel-taulukko.

Tuori, M., Kaustell, K., Valaja, J., Aimonen, E., Saarisalo, E. & Huhtanen, P. 1996: Rehutaulukot ja ruokintasuositukset. - Märehtijät-siat-siipikarja-turkiseläimet-hevoset. 2. painos. - 99 s., Helsingin yliopisto, Kasvituotannon tarkastuskeskus & Maatalouden tutkimuskeskus, Helsinki.

Turtola, E. 1999: Phosphorus in surface runoff and drainage water affected by cultivation practices. - Academic Dissertation. - 108 p., MTT, Jokioinen. (Ref. Ylivainio ym. 2002).

Turtola, E. & Jaakkola, A. 1995: Loss of phosphorus by surface runoff and leaching from a heavy clay soil under barley and grass ley in Finland. - Acta Agriculturaea Scandinavica, Section B.Soil and Plant Science 45: 159-165. (Ref. Ylivainio ym. (2002).

Turtola, E. & Kemppainen, E. 1998: Nitrogen and phosphorus losses in surface and drainage water after application of slurry and mineral fertilizers to perennial grass ley. - Agricultural and Food Science in Finland 7: 569-581. (Ref. Ylivainio ym. 2002, Lemola ym. 2000).

Turtola, E. & Lemola, R. 2004: Maatalouden ympäristötuen seuranta MYTVAS 2. Osahankkeiden 2-7 väliraportit 2000-2003. - Maa- ja elintarviketalous 59. Ympäristö. - 176 s., Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Jokioinen.

Turtola, E. & Lemola, R. (toim.) 2008: Maatalouden ympäristötuen vaikutukset vesistökuormitukseen, satoon ja viljelyn talouteen v. 2000-2006 (MYTVAS 2). - Maa- ja elintarviketalous 120. Ympäristö. - 103 s. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Jokioinen.

Turtola, E. & Paajanen, A. 1995: Influence of improved subsurface drainage on phosphorus losses and nitrogen leaching from a heavy clay soil. - Agricultural Water Management 28: 295-310. (Ref. Aura ym. 2006)

Turtola, E. & Puustinen, M. 1998: Kasvipeitteisyys ravinnehuuhtouminen vähentäjänä. - Vesitalous 1: 6-11.

Uusikämppä, J. & Kilpinen, M. 2000: Suojakaistat ravinnekuormitusten vähentäjänä. - Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja 83, sarja A. - 49 s., Maatalouden tutkimuskeskus, Jokioinen.

Uusitalo, R. & Ekholm, P. 2003: Phosphorus in runoff assessed by anion exchange resin extraction with an asetate buffer. - Agricultural and Food Science in Finland 11: 343-353. (Ref. Aura ym. 2006).

Uusitalo, R., Turtola, E., Kauppila, T. & Lilja, T. 2001: Particulate phosphorus and sediment in surface runoff and drainflow from clayey soils. - Journal of Environmental Quality 30: 589-595. (Ref. Ylivainio ym. 2002, Aura ym. 2006).

Uusitalo, R., Ekholm, P., Turtola, E., Pitkänen, H., Lehtonen, H., Granlund, K., Bäck, S., Puustinen, M., Räike, A., Lehtoranta, J., Rekolainen, S., Walls, M. & Kauppila, P. 2007: Maatalous Itämeren rehevöittäjänä. - Maa- ja elintarviketalous 96. Ympäristö. - 34 s., Maatalouden tutkimuskeskus, Jokioinen.

Valpasvuo-Jaatinen, P., Rekolainen, S. & Latostenmaa, H. 1997: Finnish Agriculture and its sustainability: environmental impacts. - Ambio 26: 448-455. (Ref. Ylivainio ym. 2002).

Varis, E. 1973b. NPK-lannoituksen vaikutus Pito-perunan satotekijöihin. - J. Scient. Agric. Soc. og Finl. 45: 128-151. (Ref. Mustonen ym. 1997).

Vihlman, K., Uola, J., Lampinen, S. & Kangas, A. 2002: Perunan soluneste lannoitteena -esite. - Pro Agria, Etelä-Pohjanmaan TE -keskus, Länsi-Suomen ympäristökeskus & Lappajärvi -Life.

Viitasaari, S. 1989: Osaraportit Ähtävänjoen kuormitusselvityksiä. - Kokkolan vesi- ja ympäristöpiiri. (Ref. Huitu 2003).

Viljavuuspalvelu Oy 2000: Viljavuustutkimuksen tulkinta peltoviljelyssä, 31 s.

Vorne, V. 2001: Kirjallisuusselvitys perunan laadusta. - Elintarvikeviraston julkaisuja 9/2001. - 114 s., Elintarvikevirasto, Helsinki.

Vos, J. 1997: Potato Research 40: 237-248. (Ref. Vos & Mac Kerron 2000).

Vos, J. & Mac Kerron, D.K.L. 2000: Plant nitrogen status. - In: Haverkort, A.J. & Mac Kerron, D. K.L. (Eds): Management of nitrogen and water in potato production: 11-34.

Vos, J. & Van der Putten, P.E.L. 1997: Plant and Soil 195: 299-309. (ref. Postma 2000).

Vuorenmaa, J., Rekolainen, S., Lepistö, A., Kenttämies, K. & Kauppila, P. 2002: Losses of nitrogen and phosphorus from agricultural and forest areas in Finland during the 1980s and 1990s. - Environmental Monitoring and Assessment 76: 213-248. (Ref. Ylivainio ym. 2002)

Ward, G. M. 1959: Potassium in plant metabolism. II Eggects of potassium upon the carbohydrate and mineral composition of potato plants. - Can. J. Pl. Sci. 39: 246-252. (Ref. Brown 1799).

Wheatley, R. E., Griffiths, B. S. & Ritz, K. 1991: Biology and Fertility of Soils 11: 157-162. (Ref. Postma ym. 2000).

Wild, A. 1988: Plant nutrients in soil: nitrogen. - In: Wild, A. (Ed.): Russell`s soil conditions & plant growth, 11th Edition: 652-694. Ref. (Ylivainio ym. 2002).

Williams, E.G. 1959: Influences of parent material and drainage conditions on soil phosphorus relationships. - Agrochimica 3: 279. (Ref. Mengel & Kirkby 1982).

Yli-Halla, M., Hartikainen, H., Ekholm, P., Turtola, E., Puustinen, M. & Kallio, K. 1995: Assessment of soluble phosphorus load in surface runoff by soil analyses. - Agriculture, Ecosystems and Environment 56: 53-62.

Yli-Halla, M., Nykänen, A., Siimes, K. & Tuhkanen, H-R. 2001: Ympäristötuen ehdot ja maan helppoliukoisen fosforin pitoisuus.- MTT:n julkaisuja, sarja A. - 45 s., Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Jokioinen.

Ylivainio, K., Esala, M. & Turtola, E. 2002: Luonnonmukaisen ja tavanomaisen viljelyn typpi- ja fosforihuuhtoumat. - Kirjallisuuskatsaus. Maa- ja elintarviketalous 12. Ympäristö. - 74 s, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Jokioinen.

Yläranta, T., Uusi-Kämppä, J. & Jaakkola, A. 1993: Leaching of nitrogen in barley, grass ley and fallow lysimeters. - Agricultural Science in Finland 2: 281-291. (Ref. Ylivainio ym. 2002).

Äijö, H. & Tattari, S. 2000: Viljelyalueiden valumavesien hallintamalli. - Suomen ympäristö 422. Ympäristönsuojelu. - 68 s., Suomen ympäristökeskus, Helsinki.

LIITE 1

Taulukko 1. Perunan typpilannoituksen enimmäismäärät uudella ympäristötukikaudella v. 2007 alkaen (Mavi 2007).

		Etelä- ja Keski-Suomi			Pohjois-Suomi		
Peruna	levitysaika	savi- ja hiesumaat	savi- ja hiesumaat	eloperäiset maat	savi- ja hiesumaat	savi- ja hiesumaat	eloperäiset maat
tärkkelysperuna, satotaso 35 tn/ha	kevätlevitys	105	105	70	105	105	70
tärkkelysperuna, satotaso 40 tn/ha		120	120	80	120	120	80
varhaisperuna	kevätlevitys	60	60	60	60	60	60
varhaisperuna + kerääjäkasvi	kevätlevitys	80	80	80	80	80	80
muu peruna, satotaso 35 tn/ha	kevätlevitys	85	85	60	85	85	60
muu peruna, satotaso 40 tn/ha		100	100	70	100	100	70

Taulukko 2. Perunan fosforilannoituksen enimmäismäärät viljavuusluokittain uudella ympäristötukikaudella v. 2007 alkaen (Mavi 2007).

	Huono	Huonon-lainen	Välttävä	Tyydyttä-vä	Hyvä	Korkea	Arv. korkea
Peruna	70	70	70	55	35	20	-

LIITE 2

Taulukko 1. Typpitaseen tulkinta-avain viljoille, nurmille, rypsille ja perunalle (Rajala ym. 2001)

Typpitaseen tulkinta	**Tase, kg/ha**	**Hyötysuhde, (%)**
korkea	alle -26	yli 130
hyvä	-25-14	85-130
tyydyttävä	15-30	70-84
välttävä	31-49	55-69
huononlainen	50-61	45-54
huono	yli 62	alle 45

Taulukko 2. Fosoritaseen tulkinta-avain viljoille, nurmille ja rypsille (Rajala ym. 2001).

Fosforitaseen tulkinta	**Tase, kg/ha**	**Hyötysuhde, (%)**
korkea	alle -8	yli 300
hyvä	-8 - 1	121-300
tyydyttävä	2-9	81-120
välttävä	10-17	51-80
huononlainen	18-26	40-50
huono	yli 26	alle 40

LIITE 3

Taulukko 1. Karjanlannan typen ja fosforin jälkivaikutukset Sirkula -ohjelmassa (1999) ja tutkimustiloilla keskimäärin v. 2000.

Lantalaji	N liuk., kg/m3	Pliuk., kg/m3
Naudan kuivikelanta, jälkivaikutus		
Sirkula	0,6	0,2
tilat, minimi	0,1	0,08
tilat, maksimi	0,7	0,2
tilat, keskimäärin	0,4	0,1
Naudan lietelanta, jälkivaikutus		
Sirkula	0,2	0,1
tilat, keskimäärin	0,2	0,1
Sian kuivalanta, jälkivaikutus		
Sirkula	1	0,2
Sian lietelanta, jälkivaikutus		
Sirkula	0,4	0,1
tilat, minimi	0,5	0,1
tilat, maksimi	0,3	0,1
tilat, keskimäärin	0,4	0,1
Kanan kuivalanta, jälkivaikutus		
Sirkula	2,6	1,3
tilat, minimi	0,3	0,8
tilat, maksimi	1,4	1,8
tilat, keskimäärin	0,7	1,3
Ketun kuivalanta, jälkivaikutus		
Sirkula	4,0	2,9
tilat, minimi	0,7	4,8
tilat, maksimi	0,7	4,8
tilat, keskimäärin	0,7	4,8
Minkin kuivalanta, jälkivaikutus		
Sirkula	4	2,4
tilat, keskimäärin	2,1	0,4

Taulukko 2. Lannan sisältämien ravinteiden taulukkoarvot ympäristötuen ehtojen mukaan v. 2007.

	Nliuk., kg/m3	**Pliuk., kg/m3**
Naudan kuivikelanta	1,2	1,2
Naudan lietelanta	1,8	0,5
Naudan virtsa	1,8	0,1
Sian kuivikelanta	1,5	2,5
Sian lietelanta	2,7	0,8
Sian virtsa	1,6	0,2
Kanan kuivikelanta	4,5	4,4
Ketun kuivikelanta	3,8	11,5
Minkin kuivikelanta	2,4	9,5

Lannan ja muiden orgaanisten lannoitteiden ravinteista oteaan huomioon liukoinen typpi kokonaan. Jos orgaanista lannoitetta levitetään syksyllä, sen sisältämästä liukoisesta typestä otetaan lannoituksessa huomioon 75 %. Lannan ja perunan solunesteen kokonaisfosforista otetaan huomioon 85 %, mutta turkiseläinten lannan fosforista 40 %. (Mavi 2007)

LIITE 4

Aineiston luokittelu maalajin, multavuuden, maan viljavuuden ja kasvukunnon mukaan.

Perunatilat, Lappajärven valuma-alue, v. 2000	Viljelys lohkoja, (kpl)	Osuus viljelyslohkoista, (%)	Viljelyala, ha	Osuus viljelyalasta, (%)	Perunalohkoja, (kpl)			Osuus perunalohkoista, (%)			Peruna-ala, (ha)			Osuus peruna-alasta, (%)		
					tärkkelys	ruoka- ja siemen	peruna- lohkoja yht.	tärkkelys	ruoka- ja siemen	perunalohkoja yht.	tärkkelys	ruoka- ja siemen	perunaa yht. ha	tärkkelys	ruoka- ja siemen	perunaa yht.
Maalaji																
(1) kivennäismaat	575	81	803	77	191	71	262	66	25	91	284	103	387	66	24	90
(2) eloperäiset maat	135	19	240	23	11	14	25	4	5	9	13	32	45	3	7	10
Multavuus																
(1) vähämultainen (vm)	47	7	60	6	19	8	27	6	3	9	24	9	33	6	2	8
(2) multava (m) - runsasmultainen (rm)	455	64	629	60	149	57	206	52	20	72	221	88	309	51	20	71
(3) eritt. runsasmultainen (erm) - multamaa (mm)	208	29	347	33	34	20	54	12	7	19	51	38	89	12	9	21
(4) turvemaa	2	0	7	1												
pH																
(1) huono - välttävä	387	54	510	49	110	46	156	38	16	54	136	67	203	31	16	47
(2) tyydyttävä - hyvä	308	43	515	49	88	37	125	31	13	44	156	64	220	36	15	51
(3) korkea - arv. korkea	16	2	20	2	4	2	6	1	1	2	5	5	10	1	1	2

Fosfori, liukoinen																
(1) huono - välttävä	138	19	245	24	14	12	26	5	4	9	23	27	50	5	6	11
(2) tyydyttävä - hyvä	430	61	600	57	120	51	171	42	18	60	181	73	254	42	17	59
(3) korkea - arv. korkea	143	20	200	19	68	22	90	24	7	31	93	36	129	22	8	30
Kalium, liukoinen																
(1) huono - välttävä	458	64	678	65	129	53	182	45	18	63	201	71	272	47	16	63
(2) tyydyttävä - hyvä	246	35	358	34	72	31	103	25	11	36	94	64	158	22	15	37
(3) korkea - arv. korkea	7	1	9	1	1	1	2	0	0	1	1	1	2			
Maan rakenne																
(1) huono	11	2	23	2	0	1	1	0	0	0	0	3	3	0	1	1
(2) välttävä - tyydyttävä	293	41	425	41	67	32	99	23	11	35	106	50	156	25	12	36
(3) hyvä - erittäin hyvä	406	57	597	57	135	52	187	47	18	65	192	82	274	44	19	63
Kuivatuskunto																
(1) huono	20	3	28	3	1	1	2	0	0	1	2	0	2	0	0	0
(2) välttävä - tyydyttävä	276	39	406	39	62	17	79	22	6	27	94	19	113	22	4	26
(3) hyvä - erittäin hyvä	414	58	613	59	139	67	206	48	23	72	202	116	318	47	27	74
Maan rakenne ja kuivatus																
(1) huono	4	1	8	1												
(2) välttävä - tyydyttävä	186	26	257	25	42	11	53	15	4	18	65	9	74	15	2	17
(3) hyvä - erittäin hyvä	317	45	456	44	115	46	161	40	16	56	162	73	235	38	17	54

LIITE 5

Taulukko 1. Ruoka- ja siemenperunalohkojen luokittelu typpitaseen tulkinta-avaimen mukaan (Rajala ym. 2001).

Typpitaseen jakautuminen ruoka- ja siemen-perunalla	Tase, kg/ha	Hyötysuhde, %	Lohkoja, kpl	Osuus lohkoista, (%)	Pinta-ala, (ha)	Osuus pinta-alasta, (%)	Typpitase, kg/ha, keskimäärin	Typen hyötysuhde, (%) keskimäärin
korkea	alle -26	yli 130	26	31	47	34	-41	178
hyvä	-25-14	85-130	45	53	75	55	-15	123
tyydyttävä	15-30	70-84	8	9	9	7	21	70
välttävä	31-49	55-69	1	1	1	1	46	49
huononlainen	50-61	45-54	4	5	4	3	54	38
huono	yli 62	alle 45	1	1	1	1	100	0

Taulukko 2. Tärkkelysperunalohkojen luokittelu typpitaseen tulkinta-avaimen mukaan (Rajala ym. 2001).

Typpitaseen jakautuminen tärkkelys-perunalla	Tase, kg/ha	Hyötysuhde, (%)	Lohkoja, kpl	Osuus lohkoista, (%)	Pinta-ala, (ha)	Osuus pinta-alasta, (%)	Typpitase, kg/ha, keskimäärin	Typen hyötysuhde, (%) keskimäärin
korkea	alle -26	yli 130	31	15	45	15	-42	171
hyvä	-25-14	85-130	140	69	206	69	-6	107
tyydyttävä	15-30	70-84	26	13	38	13	19	81
välttävä	31-49	55-69	4	2	7	2	35	66
huononlainen	50-61	45-54	1	0	1	0	51	59
huono	yli 62	alle 45	0	0	0	0		

LIITE 6

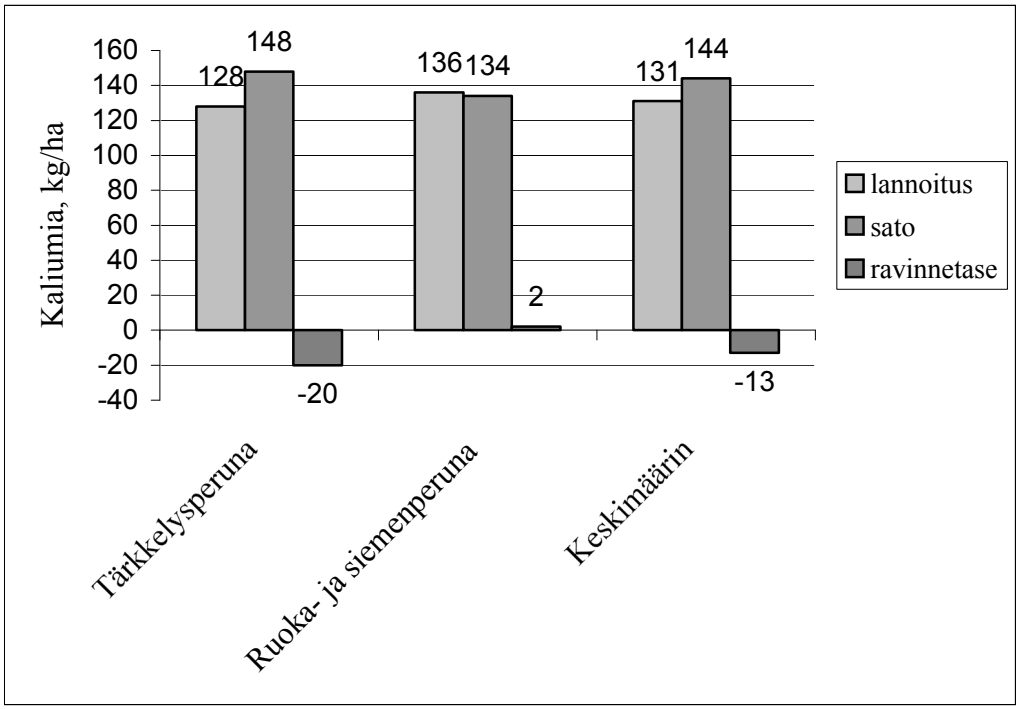
Taulukko 1. Ruoka- ja siemenperunalohkojen luokittelu fosforitaseen mukaan.

Fosforitaseen tulkinta ruoka- ja siemen-perunalla	Tase, kg/ha	Hyötysuhde, %	Lohkoja, kpl	Osuus lohkoista, (%)	Pinta-ala, (ha)	Osuus pinta-alasta, (%)	Fosforitase, kg/ha, keskimäärin	Fosforin hyötysuhde,(%) keskimäärin
korkea	alle 5	yli 75 %	2	2	alle 1	alle 1	3	71
hyvä	5-20	43-75	35	41	44	33	14	50
tyydyttävä	21-40	27-42	40	47	81	60	25	34
välttävä	41-55	20-26	6	7	7	5	48	23
huono	yli 55	alle 20	2	2	1	1	56	17

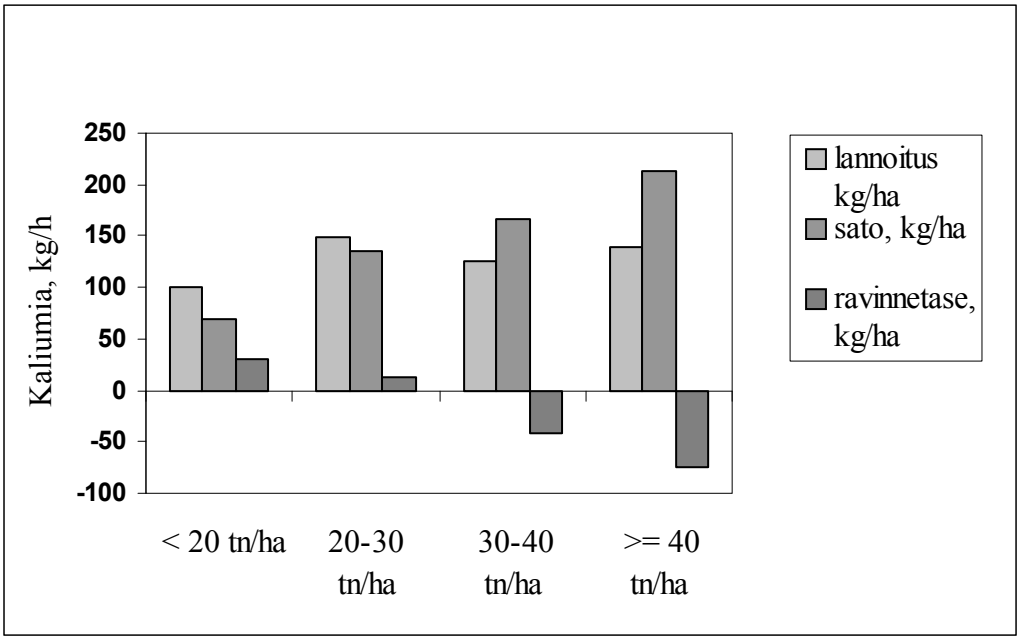
Taulukko 2. Tärkkelysperunalohkojen luokittelu fosforitaseen mukaan.

Fosforitaseen tulkinta tärkkelysperunalla	Tase, kg/ha	Hyötysuhde, %	Lohkoja, kpl	Osuus lohkoista, (%)	Pinta-ala, (ha)	Osuus pinta-alasta, (%)	Fosforitase, kg/ha, keskimäärin	Fosforin hyötysuhde, (%) keskimäärin
korkea	alle 5	yli 75 %	15	7	25	8	0	102
hyvä	5-20	43-75	68	34	90	30	15	50
tyydyttävä	21-40	27-42	88	44	136	46	28	35
välttävä	41-55	20-26	20	10	28	9	46	25
huono	yli 55	alle 20	11	5	18	6	65	18

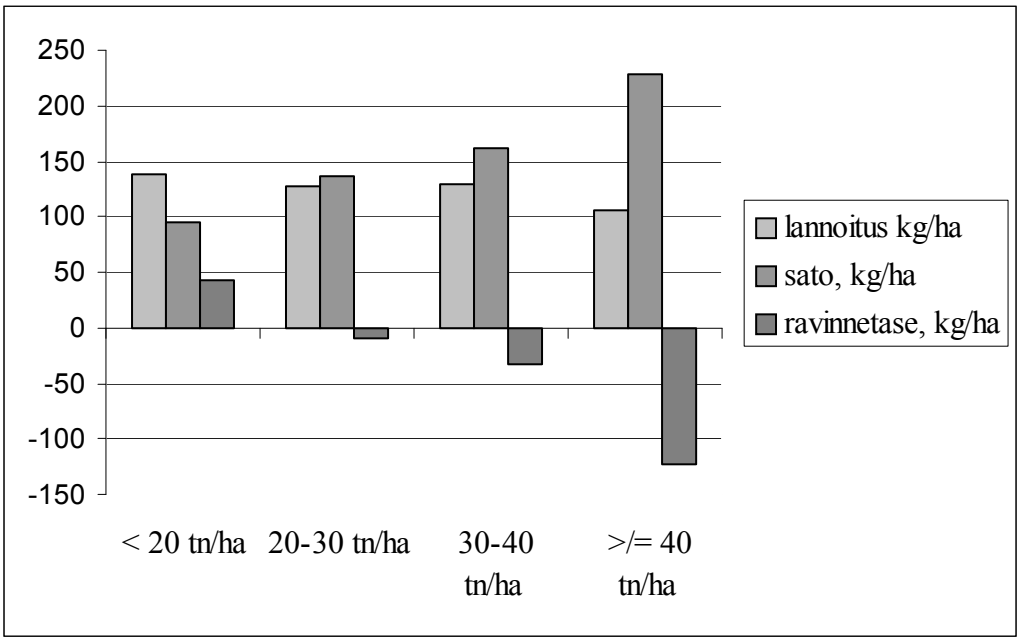
LIITE 7



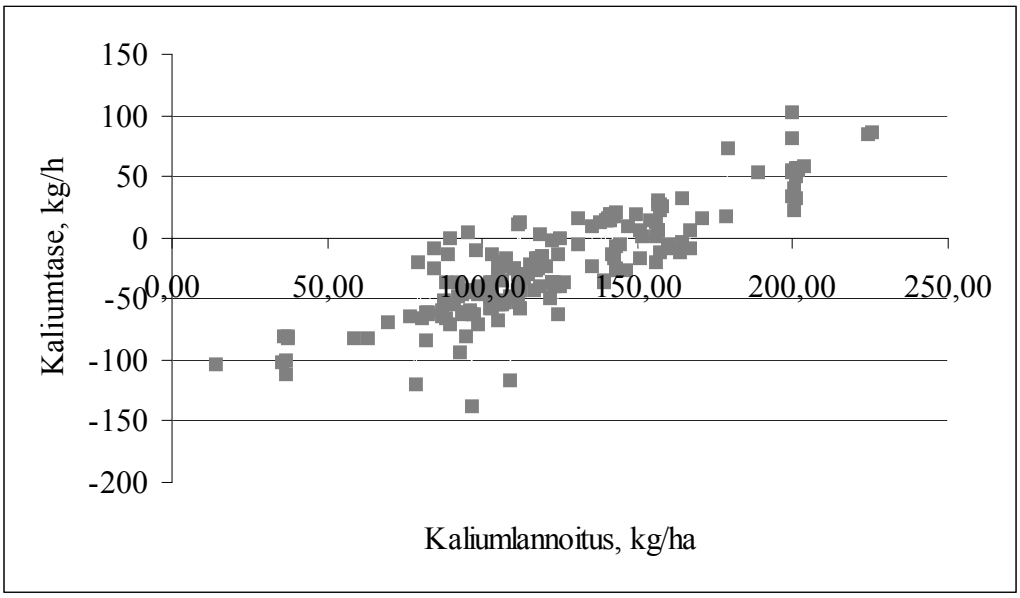
Kuva 1. Kaliumin käyttö perunanviljelyssä tutkimustiloilla v. 2000.



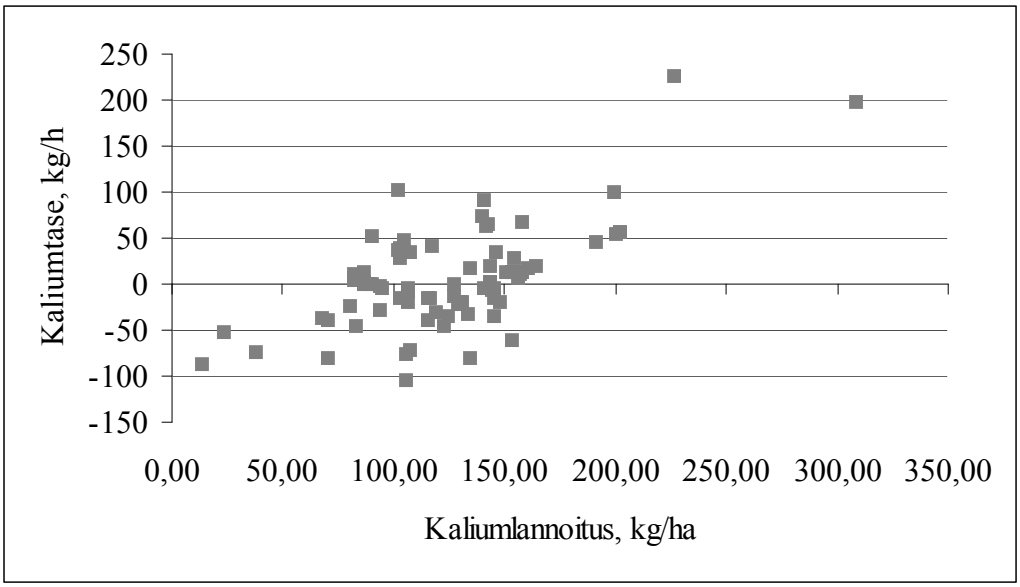
Kuva 2. Ruoka- ja siemenperunan kaliumin käyttö satotasoittain tutkimustiloilla v. 2000.



Kuva 3. Tärkkelysperunan kaliumin käyttö satotasoittain tutkimustiloilla v. 2000.



Kuva 4. Kaliumlannoituksen ja kaliumtaseen suhde tärkkelysperunanviljelyssä tutkimustiloilla Lappajärven valuma-alueella v. 2000.



Kuva 5. Kaliumlannoituksen ja kaliumtaseen suhde ruoka- ja siemenperunanviljelyssä tutkimustiloilla v. 2000.