

Muokkaus- ja kylvömenetelmien vaikutus kevätiljan viljelyn ravinnetaseisiin savimaalla

Ville Rantanen
Maisterintutkielma
Helsingin yliopisto
Maataloustieteiden laitos
Agroteknologia
2014

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty		Laitos — Institution — Department	
Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Maataloustieteiden laitos	
Tekijä — Författare — Author			
Ville Rantanen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title			
Muokkaus- ja kylvömenetelmien vaikutus kevätiljan viljelyn ravinnetaseisiin savimaalla			
Oppiaine — Läroämne — Subject			
Agroteknologia			
Työn laji — Arbetets art — Level	Aika — Datum — Month and year	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages	
Maisterintutkielma	Kevät 2014	59	
Tiivistelmä — Referat — Abstract			
<p>Muokkaus- ja kylvömenetelmien vaikutus ravinnetaseisiin kiinnostaa tutkijoita ja käytännön viljelijöitä. Tämän työn tarkoituksena on selvittää savimaan pitkäaikaisessa kenttäkokeessa, miten kylvö- ja muokkausmenetelmä vaikuttaa ohran peltotaseeseen.</p> <p>Kenttäkoe tehtiin aitosavimaalla Jokioisissa vuosina 2000 – 2010. Kentällä viljeltiin kaksitahoista ohraa lukuun ottamatta vuotta 2003, jolloin kasvi oli kaura. Kenttäkoe oli osaruutukoe, jossa pääruudun koetekijä oli muokkaustapa. Ruudut muokattiin kyntämällä (25 cm), sänkimuokattiin kultivaattorilla (10 cm) sekä osa ruuduista jätettiin muokkaamatta. Osaruudun koetekijä oli kylvömenetelmä: jyrskylvö (äestys, jyrskylvö), sekä kylvö yksi- ja kaksikiekkovannaskylvökoneilla. Kentällä määritettiin sadonmäärä sekä N ja P pitoisuudet. Mitatuista arvoista laskettiin N ja P taseet, jossa otettiin huomioon siemen, lannoitteen ja luontaisen laskeuman mukana tullut N ja P, sekä jyväsadossa saatu N ja P.</p> <p>Ravinnetaseet vaihtelivat paljon eri koevuosina. Koejakson tyypitaseen keskiarvo eri muokkausmenetelmillä olivat: kyntö (P) 41,3 kg/ha, sänkimuokkaus (S) 40,1 kg/ha ja muokkaamaton maa (N) 44,0 kg/ha. Fosforitaseen vastaavat lukemat olivat P -0,5, S -0,3 ja N 0,1 kg/ha. Koejakson tyypitaseen keskiarvo eri kylvömenetelmillä olivat: jyrskylvö (JK) 36,7 kg/ha, yksikiekkovannaskylvökone (R) 43,7 kg/ha ja kaksikiekkovannaskylvökone (SK) 44,9 kg/ha. Fosforitaseen vastaavat lukemat olivat: JK -1,1, R 0,2 ja SK 0,3 kg/ha.</p> <p>Sääolosuhteiden ja etenkin kasvukauden sademäärän vaikutus ravinnetaseisiin on merkittävä kun tarkastellaan muokkausmenetelmiä. Kuivissa olosuhteissa muokkaamattomalla maalla saavutetaan keskimäärin paremmat ravinnetaseet kuin muilla muokkausmenetelmillä. Vastaavasti kosteissa olosuhteissa kyntämällä saavutetaan paremmat ravinnetaseet kuin muilla muokkausmenetelmillä. Sääolosuhteilla ei ollut vaikutusta ravinnetaseisiin kun tarkastellaan kylvömenetelmiä. Jyrskylvöllä saavutettiin lähes poikkeuksetta paremmat ravinnetaseet riippumatta kasvukauden sademäärästä.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords			
perusmuokkaus, sänkimuokkaus, ravinnetase, ravinnepitoisuus, ohra, suorakylvö, jyrskylvö			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited			
Maataloustieteiden laitos			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information,			
Työtä ohjasi Professori Laura Alakukku			

Tekijä — Författare — Author Ville Rantanen		
Työn nimi — Arbetets titel — Title Tillage- and sowing methods impact on the spring grain crop nutrient balances in clay soil		
Oppiaine — Läroämne — Subject Agricultural engineering		
Työn laji — Arbetets art — Level Master's thesis	Aika — Datum — Month and year Spring 2014	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 59
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Tillage and sowing methods impact on the nutrient balances which is an interest of researchers and farmers. An aim of the research is to compare nutrient balances of tillage and sowing.</p> <p>During the years 2000 – 2010 in Jokioinen, studies have been conducted concerning how different tillage and sowing methods affect spring cereal nitrogen and phosphorus balances in heavy clay soil. The compared tillage systems were autumn mouldboard (25 cm) plough, stubble cultivation (10 cm) and no-till. The sowing systems under comparison were combined rotovator and shoe coulter seeder and single and double coulters disk seeders. The measurement thinks were yield (seed and straw), nitrogen and phosphorus content. From the measured values were calculated N and P balances which included seed, nutrient and natural deposition.</p> <p>The range of nutrient balances was large during the experiment period. Average nitrogen balance of different tillage methods were: plough 41,3 kg/ha stubble cultivation (S) 40,1 kg/ha and no-till (N) 44,0 kg/ha. Average phosphorus balance were P -0,5, S -0,3 and N 0,1 kg/ha. Average nitrogen balance of different sowing methods were combined rotovator, single disk coulter (R) 43,7 kg/ha and double disk coulter (SK) 44,9 kg/ha. Average phosphorus balance were JK -1,1, R 0,2 and SK 0,3 kg/ha.</p> <p>The weather conditions, especially precipitation, effects strongly on nutrient balances of tillage methods. In dry conditions no-till reached better nutrient balances than the other tillage methods. In other hand, in wet conditions mouldboard plough were better than an average. The weather conditions did not affect nutrient balances of the sowing methods. Furthermore combined rotovator and shoe coulter seeder achieved almost without exception better nutrient balances than others sowing methods regardless of the growing season precipitation.</p>		
Avainsanat — Nyckelord — Keywords mouldboard ploughing, stubble cultivation, nutrient balance, nutrient uptake, barley, direct drill, rotovator seeder		
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Department of Agricultural Sciences		
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Laura Alakukku		

Sisällys

1. Johdanto	1
-------------------	---

2. Muokkaustavat ja niiden vaikutus maan rakenteeseen sekä ravinteisiin	2
2.1 Perus- ja kylvömuokkaus.....	2
2.2 Suorakylvö.....	4
2.3 Muokkausmenetelmien vaikutus maan rakenteeseen ja olosuhteisiin	5
2.4 Muokkausmenetelmien vaikutus ravinteiden kerrostumiseen maassa	7
2.5 Muokkausmenetelmien vaikutus kasvin ravinteidenottokykyyn.....	7
2.6 Muokkaustapojen vaikutus jyväsatoon eri sääolosuhteissa	9
3. Tutkielman tavoitteet	10
4. Aineisto ja menetelmät	11
4.1 Kenttäkoe ja tutkimuksen suunnittelu	11
4.2 Viljelytoimenpiteet sekä siemen- ja lannoitemäärät.....	13
4.3 Sääolot	15
4.4 Mittaukset	17
4.5 Taselaskenta.....	18
5 Tulokset	20
5.1 Jyvä- ja olkisato.....	20
5.2 Siemen- ja olkisadon typpi- ja fosforipitoisuudet.....	22
5.3 Jyvä- ja olkisadosta lasketut typpi- ja fosforisato eri kylvö- ja muokkausmenetelmillä	26
5.3 Eri muokkaus- ja kylvömenetelmien typpi- ja fosforitase.....	30
5.4 Kylvö- ja muokkausmenetelmien yhteisvaikutus typpi- ja fosforitaseisiin	34
5.5 Ravinteiden hyväksikäyttö	36
5.6 Kasvukauden alun sademäärän vaikutus siemensatoon ja ravinnetaseisiin	40
6 Tulosten tarkastelu.....	43
6.1 Muokkausmenetelmien vaikutus jyväsätotasaan	43
6.3 Kylvö- ja muokkausmenetelmien vaikutus ravinnesatoihin	44
6.4 Muokkaus- ja kylvömenetelmien vaikutus ravinnetaseisiin	44
6.6 Ravinteiden hyväksikäyttö eri kylvö- ja muokkausmenetelmillä	45
6.7 Sademäärän vaikutus ravinnetaseisiin	38
9. Johtopäätökset.....	46
10. Lähteet:.....	47
Liite 1: Koekenttä	53
Liite 2: Viljelytoimenpiteiden suorituspäivät koejakson aikana.	54
Liite 3: Kasvuajan kuukausittaiset sademäärät ja sadesumma (toukokuu - syyskuu).....	55
Liite 4: Ravinnetaseet muokkaus- ja kylvömenetelmillä.	55

1. Johdanto

Tilakokojen rakennekehitys on johtanut siihen, että tilat ovat entistä suurempia niin pinta-aloiltaan kuin karjaluvuiltaan. Suuret tilat tarvitsevat suurempia koneita, joilla tehostetaan viljelytoimenpiteitä ja pienennetään viljelyn kustannuksia. Suuremmat peltotyökoneet nopeuttavat etenkin viljatilojen kiireaikoina, jotka ovat kylvö ja sadonkorjuu. Kevennetty muokkaus mahdollistaa leveämpien koneiden käyttöä. Tämä vaatii vähemmän energiaa, koska muokkaus tapahtuu lähempänä maan pintaa kuin perinteisiin muokkaustapoihin verrattuna.

Suorakylvötekniikassa maata ei muokata, vaan kylvö tapahtuu edellisen kasvuston sänkeen. Tämä poistaa pelloilla tehtäviä viljelytoimenpiteitä, pienentää työvoiman tarvetta ja nopeuttaa kylvötapahtumaa, jolloin voidaan hyödyntää paremmin kylvölle suotuisat sääolosuhteet. Maatalous on eräs suurimmista vesistöjen kuormittajista. Pellolla tehtävien muokkaustoimien vähentäminen vähentää ravinteiden huuhtoutumista vesistöihin.

Ravinteiden hyötykäyttö kiinnostaa niin viljelijöitä kuin tutkijoitakin. Viljelijöiden kannalta väkilannoitteiden hinnat ovat korkeita, joten tuotantopanokset tulisi käyttää siihen tarkoitukseen johon ne on hankittu, tässä tapauksessa maahan niin, että kasvi pystyisi käyttämään ne mahdollisimman hyvin hyödyksi. Peltotaselaskennalla voidaan selvittää ravinteiden kulutuksen ja tuoton suhde, joista voidaan päätellä millä muokkaus- ja kylvömenetelmillä saavutetaan paras ravinteiden käytön hyötysuhde. Tutkittua tietoa muokkauksen keventämisen pitkäaikaisesta vaikutuksesta typen ja fosforin peltotaseeseen on kuitenkin vähän käytettävissä.

Tässä tutkimuksessa vertaillaan muokkaus- ja kylvömenetelmien vaikutusta ohran (2000–2002 ja 2004–2010) ja kauran (2003) ravinteiden käytön tehokkuuteen pitkäaikaisessa savimaan kenttäkokeessa. Ravinteiden käyttöä tutkitaan taselaskennalla, jossa otetaan huomioon lisätyt ravinteet lannoitteissa, siemenessä ja luonnonlaskeumassa. Näitä verrataan pelloilta pois otetuissa ravinteissa joita esiintyy jyvä- ja olkisadossa. Tiedot ovat peräisin Jokioisten MTT:n koekentältä. Työ tehtiin Maa- ja vesitekniikan tuki ry:n rahoittamassa 'Peltujen talviaikainen

kasvipeitteisyys – tautipaineen hillintä maaperän ekosysteemipalveluilla (TALMA)’ – hankkeessa.

2. Muokkaustavat ja niiden vaikutus maan rakenteeseen sekä ravinteisiin

2.1 Perus- ja kylvömuokkaus

Maataloudessa tehtävät muokkaustoimenpiteet jaetaan eri ryhmiin niiden tarkoituksen mukaan (Kuva 1). Muokkaustoimenpiteitä ovat perus- ja kylvömuokkaus. Muokkauksien eroina on niiden ajoitus ja työsyvyys. Perusmuokkaus tehdään perinteisesti kyntöauroilla tai käyttämällä vaihtoehtoisia sänkimuokkuskoneita, jotka ovat yleistyneet 1980–1990- lukujen taitteessa (Pitkänen ja Mikkola 2002). Kasvukaudella 2010 muokkaamatonta maata oli n. 13 %, sänkimuokattuja n. 27 % ja kynnettyä 60 %, joista keväällä kynnettiin n. 13 %. Tilastoissa ei ole mukana monivuotisia kasvilajikkeita (Tike 2010).

		Perusmuokkaus	
		On	Ei
Kylvö- muokkaus	On	Perusmuokkaus, kylvömuokkaus Ja kylvö	Kylvömuokkaus ja kylvö sänkeen ilman edeltävää perusmuokkausta
	Ei	Kylvö ilman kylvömuokkausta vain perusmuokattuun maahan	Suorakylvö

Kuva 1: Muokkaus on jaoteltu perus- ja kylvömuokkaukseen. Erilaiset kylvö- ja muokkausketjut perusmuokkauksittain. Lähde: Pehkonen ym. 1996, Alakukku ym. 2002.

Perusmuokkauksen tarkoituksena on sekoittaa edellisen kasvuston kasvustotähteet peltomaahan ja vähentää samalla viljelykasveille haitallisia rikkakasveja sekä kasvitauteja (Alakukku ym. 2004). Perusmuokkauksen tavoitteena on tehdä maasta huokoista, jolloin kasvin juuret pystyvät tunkeutumaan paremmin maahan sekä maahan syntyy ilma- ja vesivarastoja (Hermanwan ym. 1997, Bengough ym. 2006). Pohjoismaissa perinteinen syysmuokkaustapa on kyntö, joka tehdään kyntöauroilla

kääntämällä edellisen kasvuston sänki ylösalaisin noin 18–30 cm syvyydestä (Riley ym. 1994). Kyntö voidaan suorittaa myös keväisin kevyillä hieta- ja hiekkamailla. Savimailla kyntöä ei suositella tehtäväksi keväällä, sillä liika muokkaaminen kuivuttaa maata nopeasti ja maahan voi muodostua suuria kokkareita, joiden murustaminen vaatii paljon energiaa (Mikkola & Pitkänen 2002).

Sänkimuokkauksessa maa muokataan joko kultivaattorilla, lautasmuokkaimella, matalakyntöauroilla tai äkeellä alle 10–15 cm syvyydestä (Mikkola & Pitkänen 2002). Muokkaus tapahtuu pääsääntöisesti syksyisin, mutta muokkaus voi tapahtua myös keväällä ennen kylvöjä. Savimailla kevätmuokkauksessa on oltava tarkka, sillä kosteissa olosuhteissa muokkaus ja pellolla ajaminen tiivistää maata ja voi aiheuttaa vesitaloudellisia ongelmia, jotka vaikuttavat myös satotasoon alenevasti (Alakukku ym. 1995). Maanmuokkaustavalla on vaikutusta veden ilmentymiseen maan eri kerroksissa. Kyntämällä saavutetaan suurempi tilapäinen veden varastointikyky maassa kuin sänkimuokkauksella (Huang ym. 2012).

Yleinen kylvömuokkauksen koneketju on tasausäestys, äestys s-piikki äkeellä ja kylvö. Vaihtoehtoisena viljelykeinona on kylvää tasausäestettyyn tai kynnettyyn pintaan. Yleisimpiä kylvökoneita ovat laahavannaskylvökone, yksikiikkovannaskylvökone ja suorakylvökone. Samanaikaisesti tehtävään kylvömuokkaukseen ja kylvöön on kehitetty koneita, joiden tarkoituksena on vähentää pellolla tehtävien ajokertojen määrää. Kylvökoneeseen voidaan liittää muokkari, jonka tehtävä on muokata maata ja tehdä sopiva kylvöalusta kasville. Etumuokkari vaihtoehtoja on monia, tavanomaisesti muokkaus tapahtuu lautasilla, piikeillä tai traktorikäyttöisellä pysty- tai vaakatasojyrsimellä.

Kylvömuokkauksella muokauskerrokseen pyritään tekemään suuria ja pieniä maamuruja. Pienten murujen tehtävä on muodostaa maan pinnalle haihtumissuoja, joka turvaa kylvettävän siemen riittävän itämiskosteuden ja hyvän maakontaktin siemenelle (Atkinson ym. 2007). Suurempien murujen tehtävänä on estää maan pinnan liettyminen sekä kuorettuminen, jonka riski on olemassa savi- ja hiesupitoisilla mailla. Maan kuorettuminen estää kasvin orastumista, sillä kasvit eivät pääse työntymään kovan lauttamaisen maan läpi. Kylvömuokkauksella tehdään myös tasainen kylvöpohja, joka edesauttaa viljelykasvien tasaista orastumista.

Eri kylvökoneiden vantaissa on selviä rakenteellisia eroja, joilla on merkitystä kylvösiemenen sijoittumisessa maahan. Kaksikielikkovantaisella kylvökoneella kylvettäessä erittäin kovaan maahan, siemen ei välttämättä mene vaon pohjalle vaan siemenen ja maan väliin jää ilmarako, joka heikentää siemenen itämistä. Kosteissa olosuhteissa kaksikielikkovannas voi jättää vaon auki ja kun se kuivuu, vako ei sulkeudu, tällöin siemenen ja maan välinen kontakti vähenee ja itäminen kärsii. Tavanomaisen kylvömuokkauksen jälkeen, vetovannas varmistaa sen että siemen menee kylvöalustan pohjalle ja sen päälle kasautuu pieniä maapartikkeleita, jotka takaavat hyvän maakontaktin. Yksikielikkovannaskylvökone toimii edellä mainittujen kylvökoneiden yhdistelmänä. Kiekkotekeä maahan uran ja istutusvannas kylvää siemenen vaon pohjalle. Vako ei avaudu niin paljon kuin kaksikielikkovantaisella kylvökoneella, joten ääriolosuhteilla ei ole niin suurta vaikutusta tähän kylvömenetelmään kuin muihin. Yksikielikkovannas muokkaa maata selvästi enemmän kuin kaksikielikkovannas. (Barker ym. 2006)

2.2 Suorakylvö

Suorakylvöllä tarkoitetaan kylvötapaa, jossa tulevan vuoden kasvit kylvetään esikasvin sänkeen (Mikkola ym. 2004). Suorakylvössä 30–100 % pintamaan edellisen kasvustojätteistä pysyy paikoillaan (Barker ym. 2006). Kylvövannas tekee uran maahan, johon kylvösiemenen ja usein myös lannoite kylvetään. Kylvövantaan tehtävä ei ole muokata maata. Suorakylvö poistaa merkittävän osan pellolla suoritettavista työvaiheista, jolloin säästetään kone- ja työkustannuksissa (Sijtsma ym. 1997). Samalla se voi kasvattaa kasvitautipainetta sekä rikkakasvien torjuntatarvetta, joten suorakylvön taloudellista hyötyä ei voida laskea suoraan vähentämällä työvaiheiden polttoaine eroa, vaan laskennassa on otettava huomioon mahdollisesti lisääntyvät kasvinsuojelun kustannukset (Zentner, ym. 2002, Douglas ym.2013).

Suomessa suorakylvökoneissa käytettävä vannastyyppi on joko yksi- tai kaksikielikkovannas. Siemenen ja lannoitteen sijoittaminen samaan riviin vähentää kylvökoneen vantaiden määrää joka vähentää vetovastuksen määrää ja näin vetotehon tarvetta. Suorakylvössä etenkin raskaalla savimaalla vantaiden painotus

kylvökoneissa tulisi olla riittävä, jotta siemen ja lannoite voidaan kylvää haluttuun kylvösyvyyteen. Riittävällä vannaspainotuksella varmistetaan että kylvösyvyys pysyy tasaisena. (Barker ym. 2006)

Vetovannas- ja yksikielkuvantaisella kylvökoneella kylvettäessä siemen ja lannoite sijoitetaan yleensä eri riveihin. Lannoite pyritään sijoittamaan yksi- ja kaksikielkuvantaisella kylvökoneella siemenen alapuolelle, jotta ne olisivat kasvin juurien läheisyydessä (Barker ym. 2006). Lannoitteen sijoittaminen samaan riviin kylvösiemenen kanssa saattaa aiheuttaa itämisessä viivettä, sillä lannoiterakeet imevät niiden ympäriltä kosteutta, jota myös siemen tarvitsee itämisen varmistamiseksi. Lisäksi lannoitteen sijoittaminen samaan riviin kylvösiemen kanssa saattaa aiheuttaa polttovioitusta, joka heikentää siemenen itävyyttä (Deibert 2000). Huhtapalo (1980) tutkimuksissa on selvitetty, että lannoitteen sijoittaminen 3 -6 cm vaakasuunnassa ja 3 – 6 cm pystysuunnassa verrattuna kylvösiemenen ovat antaneet parhaan satotuloksen per lisätty typpikilo hehtaarille.

Tavanomaisesti kylvetyn ja suorakylvökoneella kylvettyjen peltojen satotasoa on vertailtu keskenään monien vuosien ajan (Riley ym. 1994), mutta tehokkainta viljelykeinoa ei pystytä todistamaan, sillä maatalous on monen muuttujan summa. Viljasato voi vaihdella todella paljon peräkkäisinä vuosina samalla loholla, johtuen pelkästään sääolojen muuttumisesta. (Riley ym. 1994, Hakojärvi ym. 2013)

2.3 Muokkausmenetelmien vaikutus maan rakenteeseen ja olosuhteisiin

Maalajilla on vaikutusta maan fysikaalisiin ominaisuuksiin. Maan muokkaamattomuus lujittaa maan mururakennetta ja estää näin maa-aineksen kulkeutumista vesistöihin. Suorakylvötekniikalla, joka muokkaa maata vähiten, voidaan saavuttaa myönteisiä vaikutuksia pintamaan rakenteeseen hyvin eroosioherkillä alueilla (Alakukku ym. 2004).

Kahlon ym. tutkimuksessa (2013) pitkäaikaisessa muokkauskokeessa hiesusavella saatiin positiivisia tuloksia maan vedenjohtavuuteen ja eloperäisen aineksen pitoisuuteen suorakylvömenetelmällä verrattuna kynnettyyn maahan. Pintamaa oli

stabiilimpaa ja ei tiivistynyt suhteessa niin paljon kuin kynnetty maa raskaiden koneiden painosta. Samankaltaisia tuloksia on saatu myös muissa kokeissa, joiden mukaan suorakylvetyn maan pintakerros on tiiviimpää kuin perusmuokatun maan varsinkin savimailla. Kyntö tekee muokkauskerroksesta tilapäisesti huokoisempaa. Jos kyntö suoritetaan aina samalta syvyydeltä se muodostaa muokkauskerroksen alapuolelle kovan jankon jonka vedenläpäisykyky on huono (Rasmussen ym. 1994, López-Fando & Pardo 2011).

Maan kylvö- ja muokkauskerroksen eloperäisen aineksen määrällä on vaikutusta veden evaporaatioon, maan lämpenemiseen, maan mururakenteeseen ja maan ravinnepitoisuuteen (Riley 1996). Tutkimuksissa on todistettu eloperäisen aineksen määrän kasvavan muutaman koevuoden jälkeen maan pinta osissa (0 – 5 cm) kun siirrytään kyntömuokkauksesta kevytmuokkaukseen (Rydberg. 1987, Borresen & Njos 1993). Rasmussen (1988) tutkimuksessa maan eloperäisen aineksen pitoisuus lisääntyy merkittävästi maan pinta osissa (0 – 2 cm) kuuden koevuoden jälkeen siirryttäessä perusmuokkauksesta suorakylvöön. Orgaanisen hiilen määrä ei kuitenkaan lisääntynyt merkittävästi kun tarkastellaan 2-20 cm maakerrosta.

Maan lämpötila vaikuttaa viljeltävän kasvin kasvuun. Etenkin kylvövaiheessa maan optimaalinen maanlämpötila on saavutettava, jotta siemen itää. Keväällä tumma maanpinta tehostaa maan lämpenemistä ja kuivumista, jolloin viljelytoimet voidaan aloittaa aikaisemmin kuin kasvipeitteisellä pellolla (Sarkas & Singh 2006, Lötjönen ym. 1999).

Moroizumi (1998) tutkimuksessa selvitettiin kuinka muokatun maan pintakerros lämpenee huomattavasti nopeammin kuin muokkaamattoman maan. Tämä johtuu suurimmaksi osaksi maan pinnan väristä, joka tehostaa maan lämpenemistä ja kuivumista, jolloin viljelytoimenpiteet voidaan aloittaa aikaisemmin kuin kasvipeitteisellä maalla. Lötjönen ym. (1999) saivat samankaltaisia tutkimustuloksia. Maan lämpötilamuutos tasoittuu kuitenkin jo 9 cm syvyydessä, jolloin lämpötilaero on hyvin pieni, mutta suotuisampi muokatulle maalle. Maa varastoi lämpöä itseensä, joten maan lämpötila reagoi hitaammin lämpötilan muutoksiin verrattuna ilman lämpötila vaihteluihin (Ashcroft & Gollan 2013). Muokkaamattoman maan lämpenemistä hidastaa sen tiiveys. Maan kosteus vaikuttaa maan lämpenemiseen,

sillä määrällä maalla on suurempi lämpökapasiteetti (Ochsner ym. 2001). Suurempi lämpökapasiteetti vaatii suuremman energiamäärän lämpötilan nostamiseen.

2.4 Muokkausmenetelmien vaikutus ravinteiden kerrostumiseen maassa

Muokkausmenetelmillä on vaikutusta ravinteiden kerrostumiseen maassa. Fosforilla on ominaisuus kerrostua maahan, varsinkin silloin kun maata ei muokata (Holanda ym. 1998). Etenkin suorakylvössä maan muokkaamattomuus aiheuttaa fosforin kerrostumisen maan pintaan. Peltoviljelyn kannalta tärkeimmät ovat liukoisessa muodossa oleva sekä maahan sitoutunut partikkelimuodossa oleva fosfori. Suorakylvössä ja kevennetyssä muokkauksessa liukoisen fosforin pitoisuus maan pintakerroksessa (0–5 cm) on usein suurempi kuin kynnetyssä maassa (Muukkonen ym. 2006, Alakukku ym. 2009). Syysmuokkaus lisää partikkelifosforin huuhtoutumisriskiä vesistöön sateisena ja leutona talvena. Huuhtoutuminen voi olla tällöin kaksi kertaa niin suurta kuin kuivana ja kylmänä talvena (Puustinen ym. 2007). Toisaalta liukoisen fosforin kertyminen maan pintakerrokseen lisää sen huuhtoutumisriskiä pintavalunnassa (Alakukku ym. 2009).

Typpi (N) on yksi tärkeimmistä kasviravinteista. Noin 90 % pintamaan typestä on sitoutunut orgaaniseen ainekseen. Epäorgaanista typpeä maassa on noin 3 %. López-Fando & Pardo tutkimuksissa (2011) huomattiin kokonaistyyppipitoisuuden olevan suorakylvetyllä maalla 42 % suurempi kuin sänkimuokatulla ja 53 % suurempi kuin kynnetyllä maalla maan pinta osassa (0–5 cm). Tulos näkyi vasta useamman vuoden suorakylvökokeen aloittamisen jälkeen.

2.5 Muokkausmenetelmien vaikutus kasvin ravinteidenottokykyyn

Kasvin kasvu muodostuu monesta kasvutekijästä. Se tekijä jota on käytettävissä vähiten määrää kasvin sadonmuodostuksen (Seppänen ym. 2008). Lannoituksen oikea määrä ja sen sijoittaminen maahan oikeaan tasoon verrattuna kylvösiemeneen, edesauttavat kasvin ravinteidenottokykyä (Niehues ym. 2004). Lannoitteet tulisi sijoittaa maahan kylvösiementä syvemmälle, jolloin ne olisivat kasvin juurten saavutettavissa (Deibert 2000).

Maan tiiveys vaikeuttaa kasvin juurien tunkeutumista maahan, joka vaikeuttaa ravinteiden sekä veden saantia. Juurten kasvu ja maan vesipitoisuus ovat riippuvaisia toisistaan, sillä kasvi kasvattaa juuria sen mukaan miten vettä on saatavissa. Muokkaamaton maa on tiiviimpää maan pinta osasta kuin muokattu maa (Filipovic ym 2005).

Tutkimuksissa on selvitetty kevävehnän ravinteidenottokykyä tavanomaisella kylvötavalla ja suorakylvömenetelmällä. Melaj ym. tuloksista (2003) kävi ilmi, ettei muokkaustavalla ollut merkittävää eroa ravinteidenottokykyyn, vaan suuri merkittävä ero saatiin, kun tarkennettiin lannoituksen ajankohtaa. Kylvön yhteydessä annettiin vain osa suunnitellusta lannoitusmäärästä sijoituslannoitusmenetelmällä. Loput lannoitteet kylvettiin orastumisvaiheessa pintalevityksenä, joka tuotti suuremman sadon kuin kylvön yhteydessä annettu kokonaislannoitus. Starttilannoitus kylvön yhteydessä tietyissä sääolosuhteissa paransivat ravinteidenottokykyä, etenkin kosteissa olosuhteissa, jossa lannoiterakeet sulavat ja ne ovat nopeammin kasvin käytettävissä. Samankaltaisia tuloksia on saanut myös Malhi ym. (2006) ja Hansen & Djyrhuus (1997) tutkimuksissa. Malhi ym. mukaan ohran jyvien sisältämä typpisato oli korkeampi suorakylvetyltä kuin kynnettyltä lohkolta. Samassa tutkimuksessa, mutta eri vuonna vehnän jyvien typpisato oli suurempi kynnettyltä maalta kuin suorakylvetyltä maalta. Olkisadon sisältämän typpisadon määrä oli samansuuntainen kuin jyvien sisältämän typpisadon. Francis ja Knight (1993) tutkimuksessa kävi ilmi, että 10–20 kg/ha lisätyppellä suorakylvössä saavutetaan lähes yhtä suuri jyväsato kuin syyskynnöllä ilman typen lisäämistä kun viljeltävä kasvi oli ohra. Samankaltaisia tuloksia sai myös Hansen & Djyrhuus (1997).

Ravennesatoja käsittelevissä tutkimuksissa on lähes poikkeuksetta saatu samankaltaisia tuloksia, joiden mukaan muokkausmenetelmällä ei ole vaikutusta ravinnepitoisuuksiin jyvissä tai oljissa. Ravinnesatoihin vaikuttaa jyvä- ja olkisadon määrä, joiden tulokset ovat olleet poikkeuksetta samankaltaiset, eli suorakylvöllä saavutetaan hieman kynnettyä maata heikommat sadot. Tämä näkyy samankaltaisena tuloksena ravinnesadoissa.

2.6 Muokkaustapojen vaikutus jyväsatoon eri sääolosuhteissa

Sääolosuhteilla, lämpötilalla ja sademäärällä on vaikutus kasvien ravinteidenottokykyyn (Melaj ym. 2003). Liiallinen kosteus hankaloittaa kasvin yhteyttämistä ja aiheuttaa juuriston hapen puutteen. Seurauksena on pakkotuleentuminen, joka voi rajoittaa sadonmuodostumista (Seppänen ym. 2008). Suuret sateet kylvön jälkeen voivat heikentää kasvin ravinteiden saantia kasvukauden loppupuolella, sillä ravinteiden huuhtoutumisriski on suurin juuri kylvön jälkeen.

Sateiden ajoittuminen kasvukauden alkupäähän kylvöjen jälkeen tuotti monessa eri tutkimuksessa Carter (1991), Pitkänen (1994), Børresen (1999), Känkänen (2008), Känkänen (2011), paremman sadon kynnetyllä maalla kuin suorakylvetyllä maalla. Vastaavasti sateettomina vuosina suorakylvötekniikalla saavutettiin paremmat sadot kuin kynnetyllä maalla. Suorakylvöllä saavutettu satotason ero kuivina vuosina kynnettyyn maahan ei ollut kuitenkaan niin suuri kuin sateisena vuonna saavutettujen satojen ero. Maan veden läpäisykyky oli suurin yksittäinen syy satotasojen vaihteluille eri koevuosina (Hansen ym. 2000, Alakukku ym. 2007).

Maan huokoskokoa on mitattu muutamissa peltokokeissa. Pitkän ajan kokeissa, maassa olevia huokosia on syntynyt enemmän suorakylvetyllä kuin aktiivisesti muokatulla maalla. Maan suuret huokokset edesauttavat veden kulkeutumista salaojiin ja ne edesauttavat kapillaariveden nousua kasville (Ekeberg & Riley 1997). Varsinkin kuivana vuonna vesipitoisuus on korkeampi maan pinta osassa ennen kylvöä muokkaamattomalla maalla (Alvarez & Steinbach 2008). Tämän johdosta suorakylvöllä on saatu myös parempi jyväsato verrattuna tavanomaiseen viljelytapaan vähäsateisina vuosina (Lampurlanés ym. 2000). Aura (1999) totesi tutkimuksessaan, kun kasvukauden alku on kuiva, sänkimuokkauksella saavutetaan parempi jyväsato kuin kynnetyllä maalta. Maan veden pidättäytymiskykyä on tutkittu tutkimuksessa, jonka mukaan suorakylvetty maa on stabiilimpaa ja pidättää vettä paremmin kuin muokattu maa (Kahlon ym. 2013).

Melaj ym. tutkimuksessa (2003) viljeltiin ohraa tavanomaisella ja suorakylvötekniikalla kahden vuoden koejaksossa. Kokeen tuloksista voidaan vertailla ääriolosuhteiden vaikutusta satotasoon. Sääolosuhteet olivat poikkeukselliset ensimmäisenä vuonna, jolloin sademäärä oli poikkeuksellisen korkea. Tulokset olivat samankaltaiset kuin O'Sullivanin & Ball kokeissa (1982), joiden perusteella sateisena vuonna ohran sato oli parempi kynnetyllä kuin suorakylvetyllä lohkolla. Tulokset johtuivat maan veden läpäisykyvystä. Muokkaamattoman maan kasvit lopettivat kasvun hapen puutteen vuoksi ja satotaso jäi näin alhaiseksi. Maan kosteus vaikuttaa ravinteidenottokykyyn. Kun kasvualustan maa- ja vesisuhde on optimaalinen, kasvi pystyy käyttämään ravinteita tehokkaammin, sillä vesi kuljettaa ravinteita lähemmäs kasvien juuria (Lipiec & Stepniewski 1995).

3. Tutkielman tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää perusmuokkauksen ja kylvömenetelmän vaikutusta kevätiljan typpi- ja fosforitaseisiin pitkäaikaisessa savimaan kenttäkokeessa. Tutkimuksen tavoitteena on tutkia kasvukauden sademäärän vaikutusta ravinnetaseisiin, selvittää miten sadon määrä ja ravinnepitoisuus vaikuttavat ravinnesatoon ja sitä kautta ravinnetaseisiin, sekä vertailla kylvömenetelmien vaikutusta kevätiljan satoon erilaisissa perusmuokkauksissa.

Tutkimuksia muokkausmenetelmien vaikutuksesta satoon ja sen laatuun on tutkittu useissa eri tutkimuksissa boreaalisisissa olosuhteissa (Rasmussen, 1994, Riley ym. 1994, Soane & Ball 1998, Arvidsson 2010, Schjønning ym. 2010, Känkänen ym. 2011). Tämän tutkimuksen tuloksia verrataan aiempiin tutkimuksiin, joiden perusteella muokkausmenetelmillä on vaikutusta ravinnetaseisiin.

Tutkimushypoteesina olivat:

- Muokkaamattomien maiden satotasot ja sitä kautta ravinnetaseet ovat heikompia kuin perusmuokattujen maiden.

- Sateisina vuosina kynnetyn maan satotaso ja sitä kautta ravinnetaseet ovat parempia kuin suorakylvettyjen maiden. Vastaavasti kuivina vuosina tulokset ovat päinvastaiset.

4. Aineisto ja menetelmät

4.1 Kenttäkoe ja tutkimuksen suunnittelu

Tutkimuksen kenttäkoe tehtiin vuosina 2000–2010. Nämä vuodet valikoituivat tutkimuksen kohteeksi, sillä näinä vuosina muokkaustavat olivat samanlaiset ja viljelykasvi oli sama, paitsi vuonna 2003. Koelohkoilla tehtyjen toimenpiteiden ajankohdat on kirjattu ylös. Koejakson aikana määritettiin sadon määrä ja sen typpi- ja fosforipitoisuus, joiden perusteella laskettiin siemensadossa korjattu typpi- ja fosforisato.

Kenttäkoe perustettiin MTT:n (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus) Ojaisten tutkimusalueelle (60°49'N, 23°28'E) syksyllä 2000, jolloin muokkauskäsittelyt aloitettiin. Kenttä perustettiin aitosavimaalle. Saveksi luokitellaan maa jonka murukoko on alle 0,002 mm, josta koekenttä suurimmaksi osaksi muodostuu (Taulukko 1). FAOn (1988) luokittelun mukaan kentän maannos oli Vertic Cambisol. (Alakukku ym. 2009)

Taulukko 1: Maan orgaanisen hiilen pitoisuus, helppoliukoisen fosforin pitoisuus, pH ja partikkelijakauma. Tulokset ovat keskiarvoja neljästä mittauksesta. (Alakukku ym. 2009)

Syvyys (cm)	Maan orgaaninen hiili (g g ⁻¹)	pH _{vettä(1:2.5)}	P _{AAC} ¹⁾ (mg l ⁻¹ soil)	Maan partikkelikokojakauma (g g ⁻¹)			
				Savi < 0,002	Hiesu 0,002-0,02	Hieta ja Hiekka >0,02	mm
0–20	0,027	6,19	18	0,617	0,19	0,193	
20–40	0,01			0,808	0,113	0,079	

Kenttäkokeen malli oli osaruutukoe (Liite 1), jossa pääruudun käsittely oli perusmuokkaus ja osaruudun kylvömenetelmä. Kerranneita oli neljä. Osaruudun koko oli 240 m², pituus 40 m ja leveys 6 m. Pääruudut käsiteltiin jokaisena

koevuotena samalla muokkausmenetelmällä. Syksyisin suoritettiin perusmuokkaus kyntöauralla (Kyntö) ja kultivaattorilla (Kultivointi). Kolmasosa pääruuduista jätettiin muokkaamatta (Sänki). Osaruuduille, jotka syksyllä muokattiin, tasausäestettiin kertaalleen, minkä jälkeen ruudut kylvettiin jokaisena koevuotena samalla kylvökoneella. Kylvökoneina oli kaksikielkkovantainen Vieskan Metallin valmistama SK 300 SK suorakylvökone (SK, työleveys 300 cm), Väderstad Rapid 300 yksikielkkovannaskylvökone (R, työleveys 300 cm) sekä jyrskylvöyhdistelmä (JK, työleveys 250 cm), jossa oli Maschio tasojyrsin ja Tume kylvölannoitin laahavantailla. Sängelle jätettyjä osaruutuja ei muokattu.

Syysmuokkaukset tehtiin 24.9–8.11 välisenä ajankohtana (Liite 2). Maa kynnettiin syksyisin kyntöauroilla (paluuaura, työleveys 105 cm) 20–25 cm syvyyteen. Sänkimuokkauksineina oli Kongskilde kultivaattori (työleveys 225 cm, yhdeksän piikkiä) ja Hankmo lapiorullaäes (työleveys 220 cm). Kultivaattorilla muokattiin 10–15 cm syvyydestä jokaisena koevuotena, paitsi vuonna 2004, jolloin kultivaattori jouduttiin korvaamaan lapiorullaäkeellä poikkeuksellisen märkien sääolosuhteiden vuoksi. Lapiorullaäkeen muokkaus syvyys oli noin 5–7 cm.

Kokeessa käytettiin kolmea erilaista kylvölannoitinta. Jyrskylvö suoritettiin laahavannaskylvökoneella (Kuva 2). Jyrskylvössä maa jyrskittiin traktorikäyttöisellä tasojyrsimellä, joka muokkaa maata 5–10 cm syvyydeltä. Laahavannaskylvökone pudottaa siemenen maahan ja kasaa sen päälle suojaavan maakerroksen joka takaa siemenelle ja maalle hyvän maakosketuksen. Yksikielkkovannaskylvökoneella kylvettäessä kiekko tekee maahan uran (Kuva 2). Kiekon vieressä oleva istutusvannas pudottaa siemenen uraan. Jyrskylvökoneella ja yksikielkkovantaisella kylvökoneella kylvettäessä siemen ja lannoite sijoitettiin maahan eri riveihin. Riviväli näillä menetelmillä oli 125 mm. Väkilannoite sijoitettiin joka toisen siemenrivin väliin, jolloin riviväli oli 250 mm. Kaksikielkkovantaisella kylvökoneella kiekot levittävät maata, jolloin siemen saadaan sijoitettua tiiviisti maahan, ja näin takaamaan hyvän maakosketuksen (Kuva 2). Kaksikielkkovantaisessa kylvökoneessa siemen ja väkilannoite sijoitetaan samaan kylvöriiviin. Tietyissä olosuhteissa itäminen ja orastuminen voi viivästyä tässä kylvömuodossa, jos kosteutta on käytössä hyvin vähän. Lannoiterae imee

ympärillään olevan kosteuden ja aiheuttaa siemenelle vedenpuutoksen. Kaksikielkkovantaisen kylvökoneen riviväli on 140 mm.



Kuva 2: Kenttäkokeessa käytetyt kylvövantaat: vasemmalla laahavannas, keskellä yksikielkkovannas ja oikealla kaksikielkkovannas. Laahavannas- ja yksikielkkovantaisen kylvökoneen siemenen riviväli on 125 mm ja lannoiterae sijoitettiin joka toisen kylvöriivin väliin, jolloin riviväli on 250 mm. Kaksikielkkovantaisessa kylvökoneessa siemen ja lannoite sijoitetaan samaan riviin, riviväli on 140 mm.

4.2 Viljelytoimenpiteet sekä siemen- ja lannoitemäärät

Kylvöajankohta koejaksolla vaihteli 9.5–29.5 välillä (Liite 2). Jokainen koetekijä pyrrittiin kylvämään samana päivänä. Sänkimaa kuivui muokattua maata hitaammin. Syksyllä muokattujen maiden liiallinen kuivuminen estettiin keväällä tasausäestämällä maat 2–10 päivää ennen kylvöjen aloittamista. Suorakylvö tehtiin vuonna 2004 vasta 17.5, jotta maa oli ehtinyt kuivua poikkeuksellisen runsaiden kevätsateiden jäljiltä. Kyseisenä vuonna perusmuokatut ruodut ehdittiin kylvää juuri ennen sateiden tuloa. Vuonna 2003 kenttä kylvettiin erityisen myöhään, johtuen toukokuun runsaista sateista. Vastaavasti 2002 kylvö suoritettiin poikkeuksellisen aikaisin, sillä sääolosuhteet olivat kylvölle ja kevätmuokkauksille suotuisat. Vuoden 2001 suorakylvöruodut kylvettiin liian syvään, mikä vaikutti myöhemmin esitettäviin satotuloksiin tilastoissa.

Koeruutujen kasvinsuojelutoimenpiteitä suoritettiin niiden tarpeiden mukaan. Siemenitoiset rikkakasvit torjuttiin koko koelohkolta alkukesästä. Juolavehnää torjuttiin paikallisesti tarpeiden mukaan. Tautitorjuntaa ei tehty.

Koeruodut leikkuupuitiin sadon tuleennuttua. Leikkuupuinti tehtiin yhtä poikkeus vuotta lukuun ottamatta samana päivänä eri koetekijöiden kesken. Poikkeus vuosi oli 2004, jolloin suorakylvetty maa kylvettiin 14 vuorokautta muita

muokkausmenetelmiä myöhemmin. Tällöin myös sato korjattiin myöhemmin, jolloin kasvuaika muokkausmenetelmien välillä säilyi lähes samana.

Kylvösiemen ja lannoite kylvettiin samanaikaisesti kylvölannoittimella. Typpilannoitusmäärät vaihtelivat koejakson aikana 90–124 kg/ha välillä (Taulukko 2). Fosforilannoituksen vastaavat lukemat olivat 0–22 kg/ha. Nyt voimassa olevien Suomen ympäristötukiehtojen mukainen maksimi typpilannoitusmäärä on 100 kg/ha, kun tavoitellaan 4000 kg/ha satoa. Vastaava fosforilannoitusmäärä riippuu maan viljavuusluokasta ja viljelykasvista. Ohralle fosforilannoituksen vaihteluväli on 10–32 kg/ha (Nummela & Tuononen 2007). Viljavuusluokka fosforin osalta oli hyvä. Fosforilannoitusta vähennettiin koejakson aikana ympäristötuen ehtoja seuraten. Kahtena viimeisenä vuonna fosforilannoitusta ei enää tehty, koska uusimman tiedon mukaan kentän fosforitila on niin hyvä, että sitä voidaan viljellä useita vuosia ilman fosforilannoitusta. Vuosina 2000–2001 käytetyn NPK- lannoitteen suhdeluvut olivat 20-4-7. Vuosina 2002–2006 suhdeluvut olivat 20-3-8. Vuosina 2007–2008 luvut olivat 26-2-3 ja vuosina 2009 ja 2010 vastaavat luvut olivat 27-0-1.

Taulukko 2: Vuosittaiset N- ja P-lannoitus- sekä siemenmäärät kylvömenetelmän mukaan

Vuosi	N lannoite kg/ha			P lannoite kg/ha			Siemenmäärä kg/ha		
	SK	R	JK	SK	R	JK	SK	R	JK
2000	101	97	93	20	19	19	276	265	254
2001	113	108	104	23	22	21	271	260	250
2002	101	97	93	15	15	14	316	303	292
2003	124	119	114	19	18	17	205	197	189
2004	101	97	93	15	15	14	297	285	274
2005	90	90	90	13,5	13,5	13,5	223	223	223
2006	90	90	90	13,5	13,5	13,5	192	192	192
2007	100	100	100	7,7	7,7	7,7	269	269	269
2008	110	110	110	8,5	8,5	8,5	240	240	240
2009	100	100	100	0	0	0	210	210	210
2010	100	100	100	0	0	0	210	210	210

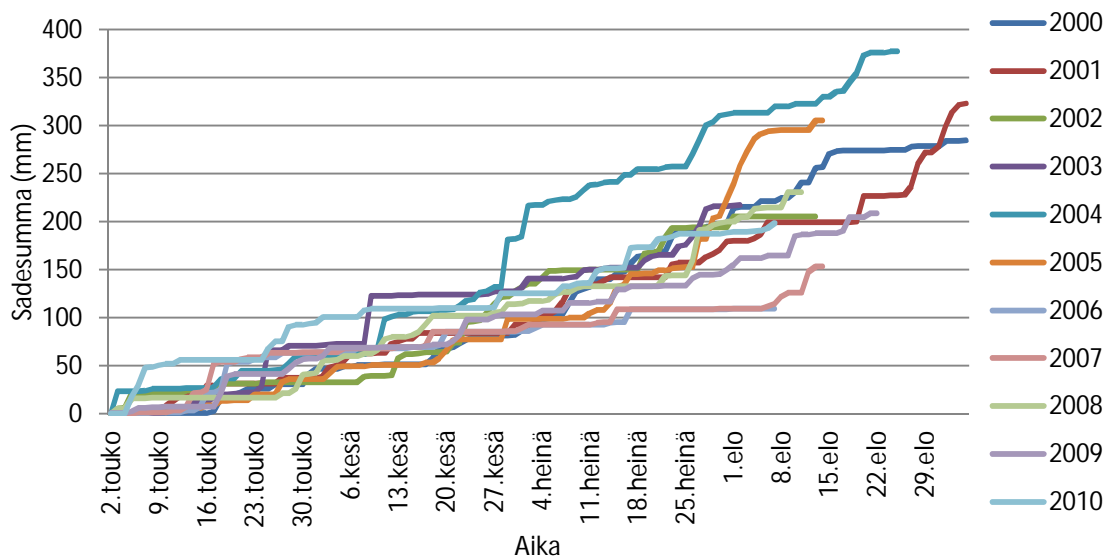
Suorakylvökoneen valmistajan ilmoittama kiertokokeen kierrosmäärä oli virheellinen. Virhe huomattiin vuonna 2004, jolloin kiertokokeen oikea kierrosmäärä määritettiin uudelleen. Vuosien 2000–2004 kylvösiemen- ja lannoitemäärät on laskettu uudelleen käyttämällä korjauskertoimia, jotka määritettiin suorakylvökoneen virheen mukaan.

Kylvösiemenmäärään vaikuttaa jyvän paino, itämisprosentti ja haluttu kylvötiheys. Ohran ja kauran kylvössä kylvötiheydeksi haluttiin 500 kpl/m². Edellä mainittujen kylvösiemenmäärään vaikuttavien tekijöiden summana siemenmäärät vaihteli 192–316 kg/ha välillä. Kauraa viljeltiin vuonna 2003, jolloin siemenmäärä vaihteli 189–205 kg/ha välillä. Kauran siemenen paino on alhaisempi kuin ohran, tämän vuoksi siemenmäärä kg/ha on ohran siemenmäärää keskimääräistä alhaisempi. Taselaskennassa otetaan huomioon myös siemenen mukana peltoon viedyt ravinteet. Eri viljalajien sisältämien fosfori- ja typpipitoisuuksista on tehty mallitaulukko (Anon. 2006), jota käytettiin myös tämän tutkimuksen kylvösiemenen sisältämien ravinteiden osalta. Ohran siemen sisältää typpeä 2,02 % ja fosforia 0,41 %. Kauran vastaavat lukemat ovat 2,08 % ja 0,4 % (Anon. 2006).

4.3 Sääolot

Sääolosuhteet sademäärät ja lämpötilat on rekisteröity Ilmatieteen laitoksen Jokioisten observatoriolla, jonne on noin kahden kilometrin matka koekentältä. Sademäärä on rekisteröity vuorokauden mittaustarkkuudella yksiköllä millimetri. Lämpötilat on rekisteröity vuorokautisten keskilämpötilojen mukaan °C:na.

Kasvukauden sademäärä (toukokuu - syyskuu) vaihteli tutkimuksen eri vuosina paljon (Kuva 3). Suurimmat sateet tulivat pääsääntöisesti elokuussa. Poikkeuksena vuosi 2004, jolloin suurimmat sateet tulivat heinäkuussa. Tutkimuksen vähäsateisin vuosi oli 2006, jolloin sadekertymä kasvuaikana oli 109 mm. Vastaavasti sateisin vuosi oli 2004 jolloin sadekertymä kasvukautena oli 377 mm. Verrattuna 30 vuoden (1980-2010) keskiarvoon 318 mm sademäärä jäi tämän alle vuosina 2000, 2002, 2006, 2007, 2008, 2009 ja 2010. Vuosi 2001 oli poikkeuksellinen syyskuun sademäärän osalta, jolloin satoi lähes 1/3 osaa koko kasvukauden sademäärästä. Useimpana vuonna sato on kuitenkin korjattu jo elokuussa, jolloin syyskuun sateet eivät vaikuta enää sadon muodostumiseen kyseisenä kasvukautena.

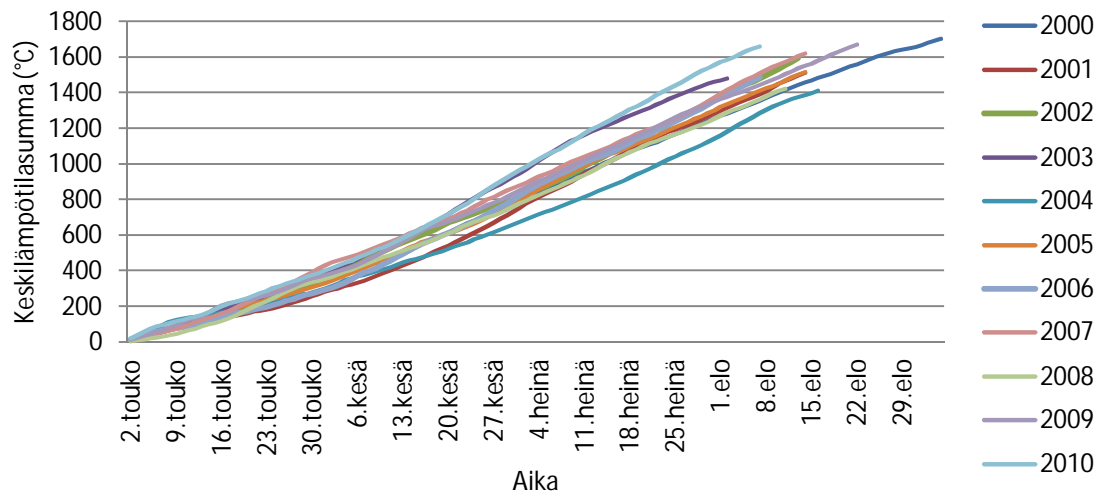


Kuva 3: Vuosittainen sadekertymä kylvöpäivästä sadonkorjuuseen.

Koelohkojen tavanomaisena kylvökuukautena toukokuussa sademäärä vaihteli 20–82 mm välillä. Vuosien 2008 ja 2009 toukokuut olivat kuivia ja vuoden 2003 toukokuu oli selvästi sateisempi verrattuna muihin vuosiin. Tämän vuoksi toukokuussa koeruudut kylvettiin vuonna 2003 vasta toukokuun loppupuolella. Pitkän ajan keskimääräinen (30 vuotta) toukokuun sademäärä oli 36 mm (Liite 3).

Suurimmat sateet ajoittuvat heinä-elokuulle. Kasvukauden yhteenlaskettu sademäärä jakautuu melko tasaisesti joka kasvukauden kuukaudelle. Suurimmat sateet ajoittuivat heinä- ja elokuulle. Vuoden 2004 toukokuussa sademäärä oli erityisen runsas, mikä myöhästytti suorakylvöä 14 vuorokautta muokattuihin koetekijöihin verrattuna (Liite 2).

Koejakson vuosien 2000–2010 kasvukauden lämpötilat vaihtelivat tavanomaisen pitkän ajan keskiarvon 13,1 °C:n kummallakin puolella (Kuva 4). Kasvukauden keskilämpötilat vaihtelivat 12,8–15,1 °C:n välillä. Vuosi 2006 oli poikkeuksellisen lämmin. Tällöin kasvuajan keskiarvo nousi huomattavasti pitkän ajan keskiarvon yläpuolelle ollen 15,1 °C. Tavanomaisena kylvökuukautena toukokuussa, lämpötilat olivat keskimäärin kymmenessä asteessa. Poikkeuksena voidaan huomioida vuosi 2001, jolloin keskimääräinen lämpötila oli vain 8,6 °C. Vuosi 2006 oli keskimääräistä lämpimämpi, joten kasvu-aika on muita vuosia lyhyempi. Vuosi 2010 yltää lähes vuoden 2006 tasolle niin lämpötiloissa kuin kasvuajassakin. Kasvukauden pitkän ajan keskiarvon 13,1 °C:n alle jäädään vain kolmena vuonna.



Kuva 4: Kasvin kasvuajan päivittäinen keskilämpötilojen summa. Lähde MTT:n säärekisteri.

4.4 Mittaukset

Kenttäkokeen jokaisesta osaruudusta mitattiin siemensato 60 m^2 alalta. Jokaisesta osaruudusta punnittiin puintikosteudessa oleva siemensato. Siemensadosta määritettiin puintikosteus kuivaamalla 40 g:n näyte 105 asteessa 24 tuntia. Näin saatiin sadon kuiva-ainepitoisuus, jonka avulla laskettiin kuiva-ainesato jokaiselle osaruudulle. Lopullinen sato ilmoitettiin 0% kosteudessa. Siemensadon typpi- ja fosforipitoisuudet määritettiin sadosta otetusta näytteestä kokeellisesti. Kuiva-aineen typpipitoisuuden määrittämiseen käytettiin Kjeltec Auto 1030 mittaria (AOAC methods 1980). Fosforipitoisuus määritettiin tuhkaamalla satunnainen jyvääriä 450 °C:ssa ja sekoittamalla tuhkaan 100 ml $0,2$ molaarista suolahappoliuosta (HCl) (Gericke ja Kurmies, 1952). Typpi- ja fosforipitoisuuksien avulla lasketaan hehtaarikohtainen typpi- ja fosforisato. Vuoden 2010 siemensadosta ei ole määritetty fosforipitoisuutta. Kyseisenä vuonna laskennassa käytetään vuosien 2000–2009 fosforipitoisuuksien keskiarvoja, jotka laskettiin jokaiselle koetekijälle erikseen.

Osasta kenttäkokeen osaruuduista kerättiin olkisato ja määritettiin olkisadon typpi- ja fosforipitoisuudet vuosilta 2004–2007. Säkkiin kerättiin leikkuupuinnin yhteydessä olki ja ruumenet. Säkki punnittiin heti puinnin jälkeen ja sadosta otettiin osanäyte kuiva-aineen ja ravinnepitoisuuksien määrittämistä varten. Näytteiden avulla

muodostettiin estimaatti osaruutujen olkisadon määrittämistä varten. Olkisadosta puuttuu sängin osuus. Vuosina, jolloin oljet analysoitiin, ne kerättiin muokkaamattoman maan koeruuduista jokaisesta kylvömenetelmästä sekä sänkimuokatun ja kynnetyn maan jyrskilytyistä koeruuduista. Muokkaamattomalta maalta oljista lasketaan vuosittain neljän koeruudun keskiarvot. Kynnetyn maan laskelmissa käytetään kyntö + jyrskilyty yhdistelmän keskiarvoa ja sänkimuokatulta kyntö + jyrskilyty yhdistelmän keskiarvoja.

4.5 Taselaskenta

Taselaskennassa lasketaan pelloille kohdistettujen ravinteiden ja sieltä sadossa korjattujen ravinteiden erotus. Peltotaseissa otetaan huomioon pelloille vietyt ravinteet ja sieltä pois kerätyt ravinteet. Ravinteita lisätään lannoituksessa ja myös kylvösiemenessä on ravinteita mukana. Luontaisesti ravinteita laskeutuu ilmasta maahan jonkin verran vuoden aikana. Kun tarkkoja mittaustuloksia ei ole tiedossa, laskennassa on käytetty erilaisia taulukkoarvoja. Näin on menetelty mm. määrittäessä kylvösiemenessä lisättyjä ravinteita, kun kylvösiemenen ravinnepitoisuutta ei mitattu.

Taseisiin vaikuttaa kerätäänkö oljet pois pelloilta vai jätetäänkö ne peltoon. Oljet kerättiin osasta koeruutuja pois vuosina 2004–2007, jolloin niistä määritettiin kuiva-ainesato sekä typpi- ja fosforipitoisuudet. Olkien vaikutusta taseisiin tutkitaan omassa osiossa, muissa osioissa olkia ei ole laskettu mukaan taseisiin, jotta tulokset eivät vääristy niiden koevuosien osalta joilta olkia ei ole kerätty.

Kaavassa 1 on laskettu peltotase tyypelle ja kaavassa 2 on laskettu peltotase fosforille OECD:n (OECD 2007) ohjeen mukaan. Tämän tutkimuksen taselaskennassa otetaan huomioon lannoitteissa, kylvösiemenessä ja luonnonlaskeuman kautta peltoon tulevat ravinteet, joista vähennetään siemen- ja olkisadon mukana poistetut ravinteet. Taselaskennan ulkopuolelle jätettiin biologinen typensidonta sekä torjunta-aineiden sisältämät ravinteet.

Kaava 1:

$$N - \text{tase} = N_{(\text{lannoite})} + N_{(\text{kylvösiemen})} + N_{(\text{laskeuma})} - N_{(\text{siemensato})} - N_{(\text{olkisato})}$$

Kaava 2:

$$P - \text{tase} = P_{(\text{lannoite})} + P_{(\text{kylvösiemen})} + P_{(\text{laskeuma})} - P_{(\text{siemensato})} - P_{(\text{olkisato})}$$

Tutkimusmateriaalista lasketaan myös ravinteiden hyväksikäytön suhde typelle (Kaava 3) ja fosforille (Kaava 4). Tällä voidaan arvioida kuinka suuriosa peltoon kohdistetuista ravinteista jää käyttämättä. Hyötysuhde ei kuvaa suoraan peltoon kyseisenä kasvukautena kohdistettujen ravinteiden käyttöä, koska maassa jo olevista ravinnevaroista vapautuu kasvin käyttöön ravinteita. Luku kuvaa kuitenkin kasvin ravinteiden käytön tehokkuutta ja ravinteiden kertymistä maahan.

Kaava 3:

$$\text{Typen hyväksikäyttö (\%)} = (N_{(\text{siemensato})} / N_{(\text{lannoite} + \text{siemen} + \text{laskeuma})}) * 100$$

Kaava 4:

$$\text{Fosforin hyväksikäyttö (\%)} = (P_{(\text{siemensato})} / P_{(\text{lannoite} + \text{siemen} + \text{laskeuma})}) * 100$$

Taselaskennassa lasketaan ja tarkastellaan tuloksia ensin yleisesti perusmuokkausmenetelmien ja sänkimaan kesken, minkä jälkeen syvennetään tarkastelua ja otetaan huomioon myös kylvötapa eri muokkausmenetelmillä. Taselaskennan ensimmäisessä osassa jätetään olkisadon ravinteet huomioimatta ja lopussa tarkastellaan taseita joissa on otettu huomioon myös olkisadon ravinnepitoisuudet. Typpi ja fosforitaseita on tarkasteltu laskemalla tuloksista niiden keskihajonnat. Keskihajonnat kertovat kuinka paljon taseet muuttuvat koejakson aikana keskenään. Mitä pienempi hajontaluku on sitä tasaisempia taseita menetelmillä on saatu.

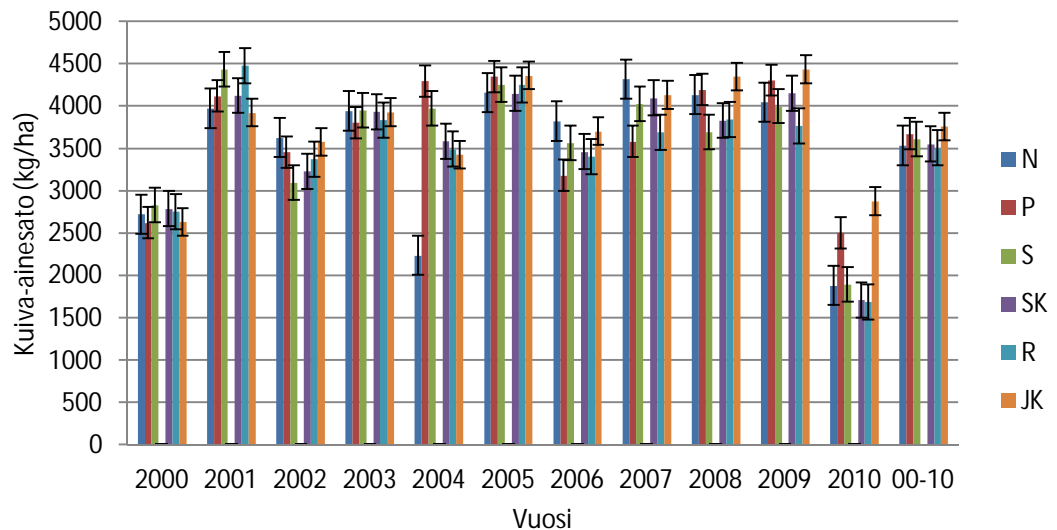
5 Tulokset

5.1 Jyvä- ja olkisato

Kenttäkokeessa vuosien väliset satovaihtelut olivat merkittäviä. Alhaisin satotaso saatiin vuonna 2010, jolloin muokkausmenetelmien keskimääräinen kuiva-ainesato oli 2090 kg/ha (Kuva 5). Toiseksi alhaisin sato saavutettiin vuonna 2000, jolloin keskisato oli 2720 kg/ha. Paras satotaso saavutettiin vuonna 2005, jolloin keskiarvo oli 4250 kg/ha. Toiseksi paras sato saavutettiin vuonna 2001, jolloin tulos oli 4130 kg/ha. Vuonna 2009 saavutettiin myös yli 4000 kg/ha keskisato jolloin tulos oli 4120 kg/ha. Muiden koevuosien keskisadot vaihtelivat edellisten välissä. Vuosien väliseen vaihteluun vaikutti mm. kasvukauden sateisuus ja sateen ajoittuminen kylvön jälkeen. Vuonna 2000 kevät ja alkukesä olivat vähäsateiset (Kuva 3), mikä haittasi siementen itämistä ja kasvuston orastumista. Vuonna 2010 tilanne oli päinvastainen: kylvön jälkeisen viikon aikana satoi 51 mm ja maan märkyys haittasi kasvuston alkukehitystä.

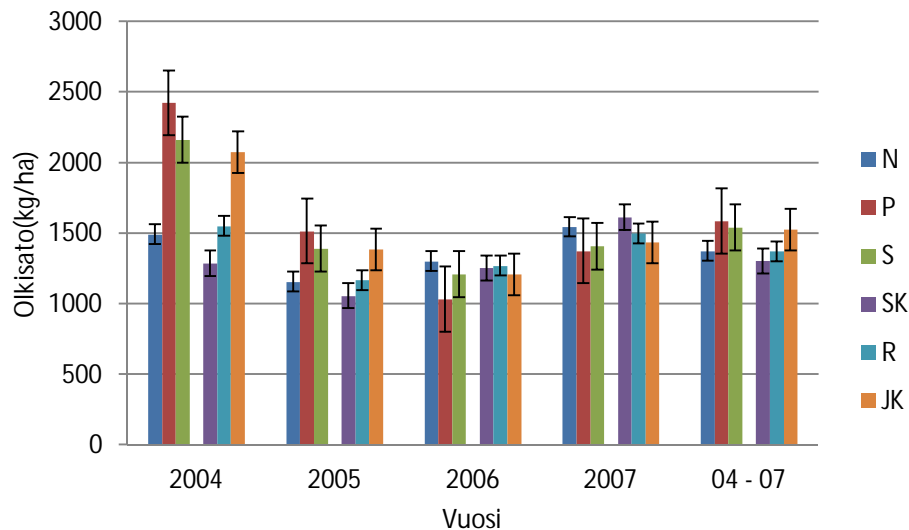
Kynnetyn (P) koetekijän sato oli keskimäärin 3670 kg/ha, sänkimuokatun (S) 3610 kg/ha ja muokkaamattoman maan (N) 3530 kg/ha koejakson aikana. Sateisina vuosina (2004 ja 2010) erot muokkausmenetelmien välillä olivat suuria. Vuonna 2004 eri muokkausmenetelmillä saavutettiin sadot: P 4300 kg/ha, S 3970 kg/ha ja N 2240 kg/ha. Vuonna 2010 sadot olivat P 2500 kg/ha, S 1890 kg/ha, ja N 1880 kg/ha. Muokkauksella oli merkittävä vaikutus sateisen vuoden satomääriin. Kuivina vuosina 2006 ja 2007 suorakylvömenetelmällä saavutettiin keskimäärin paremmat sadot kuin muilla muokkausmenetelmillä.

Kylvöyhdistelmien välisessä tarkastelussa koejakson keskimääräiset satotasot olivat: jyrskikylvöyhdistelmä (JK) 3760 kg/ha, yksiekkovannaskylvökone (R) 3510 kg/ha ja kaksiekkovannaskylvökone (SK) 3550 kg/ha. Sateisena vuonna 2004 sadon määrä oli JK 3430 kg/ha, R 3490 kg/ha ja SK 3590 kg/ha. Vuonna 2010 satoi erityisen paljon, tällöin sadon määrä oli JK 2880 kg/ha, R 1690 kg/ha ja SK 1710 kg/ha. Vuonna 2004 satotulokseen vaikutti myös se, että sänkiruudut kylvettiin kaksi viikkoa syysmuokattuja myöhemmin sateiden hidastaessa sängen kuivumista.



Kuva 5 : Jyvien kuiva-ainesato eri kylvö- ja muokkausmenetelmillä. Sanki (N), sänkimuokkaus (S) ja kynntö (P). Kaksikiekkovannaskylvökone (SK), yksikiekkovannaskylvökone (R), jyrsinkylvö (JK). Kuvassa esitetyt keskiarvot \pm SD n=4. Vuonna 2003 viljeltiin kauraa ja muina vuosina kaskitahoista ohraa.

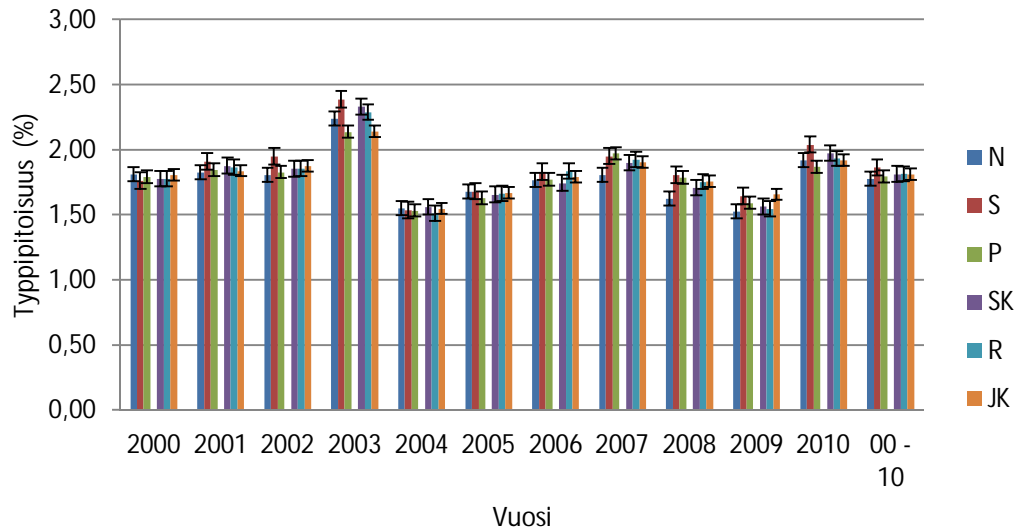
Kentältä määritettiin leikkuupuinnin yhteydessä leikattu olkisato vuosina 2004–2007 (Kuva 6). Koetekijöiden väliset satoerot olivat odotetusti hyvin samansuuntaiset kuin siemensadossakin. Olkisadon suhde jyväsatoon vaihteli koejakson aikana suuresti. Olkisatoa eri kylvömenetelmillä oli: JK 40 % R 39 % ja SK 36 % verrattuna jyväsatoon. Muokkaamattomien maiden olkisato oli keskimäärin 45,3 %, sänkimuokatun 40,5 % ja kynnetyn maan 46,3 % jyväsatoon verrattuna. Suurin olkisato suhteessa jyväsatoon saatiin vuonna 2004 kylvö- sekä muokkausmenetelmiä tarkasteltaessa. Vuonna 2004 keskimääräinen olkisadon suhde jyväsatoon kylvömenetelmillä oli 59 % ja muokkausmenetelmillä 46 %. Pienin olkisato suhteessa jyväsatoon saatiin vuonna 2005, jolloin keskimääräinen kylvömenetelmien suhde oli 28 % ja muokkausmenetelmien suhde 31 %.



Kuva 6: Kylvö- ja muokkausmenetelmillä saavutetut olkisadot. Sänki (N), sänkimuokkaus (S) ja kyntö (P). Kaksikiekkovannaskylvökone (SK), yksikiekkovannaskylvökone (R), jyrskylvö (JK). Kuvassa esitetyt keskiarvot \pm SD n=4.

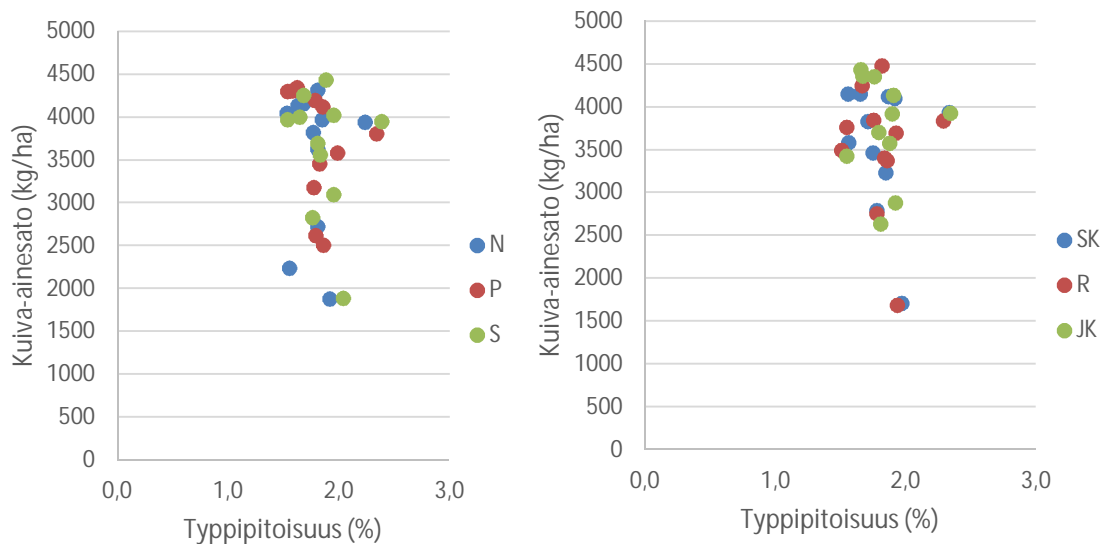
5.2 Siemen- ja olkisadon typpi- ja fosforipitoisuudet

Siementen typpipitoisuus koejakson aikana esitetään kuvassa 7. Typpipitoisuus vaihteli koejakson aikana 1,53–2,39 %:n välillä. Suurin typpipitoisuus 2,4 % määritettiin vuonna 2003 sänkimuokatulla maalla, tällöin viljelykasvina oli kaura. Ohran viljelyssä suurin typpipitoisuus määritettiin vuonna 2010 sänkimuokatulla maalla, jolloin tulos oli 2,0 %. Pienin typpipitoisuus 1,5 % määriteltiin vuoden 2009 sadosta, jolloin muokkausmenetelmänä oli muokkaamaton maa. Typpipitoisuus oli vuonna 2007 suurin kynnetyllä maalla ollen 2,0 %. Sänkimuokatulla maalla typpipitoisuus oli suurin vuosina 2001, 2002, 2003, 2006, 2008, 2009 ja 2010. Kylvömenetelmien välillä jyvien typpipitoisuus vaihteli 1,5–2,3 %:n välillä. Suurin typpipitoisuus 2,3 % määritettiin vuonna 2003 jyrskylvömenetelmällä. Pienin typpipitoisuus 1,5 % määritettiin vuonna 2004 yksikiekkovannaskylvökoneella.



Kuva 7: Jyväsadon typpipitoisuus eri kylvö- ja muokkausmenetelmillä. Sänki (N), sänkimuokkaus (S) ja kyntö (P). Kaksikiekkovannaskylvökone (SK), yksikiekkovannaskylvökone (R), jyrskinkylvö (JK). Kuvassa esitetyt keskiarvot \pm SD n=4.

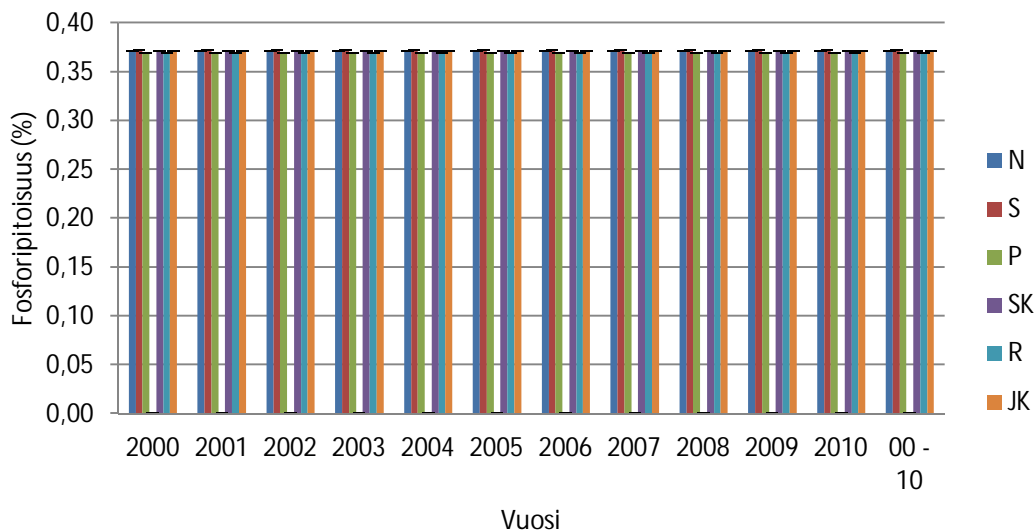
Kuiva-ainesadon ja typpipitoisuuden välillä ei syntynyt selvää riippuvuutta toisiinsa. Vaikka satotaso jäi alhaiseksi, se ei nostanut jyvissä olevaa typpipitoisuutta millään muokkaus- tai kylvömenetelmillä (Kuva 8).



Jyväsadon fosforipitoisuudet olivat keskimäärin 0,37 % riippumatta kylvö- tai

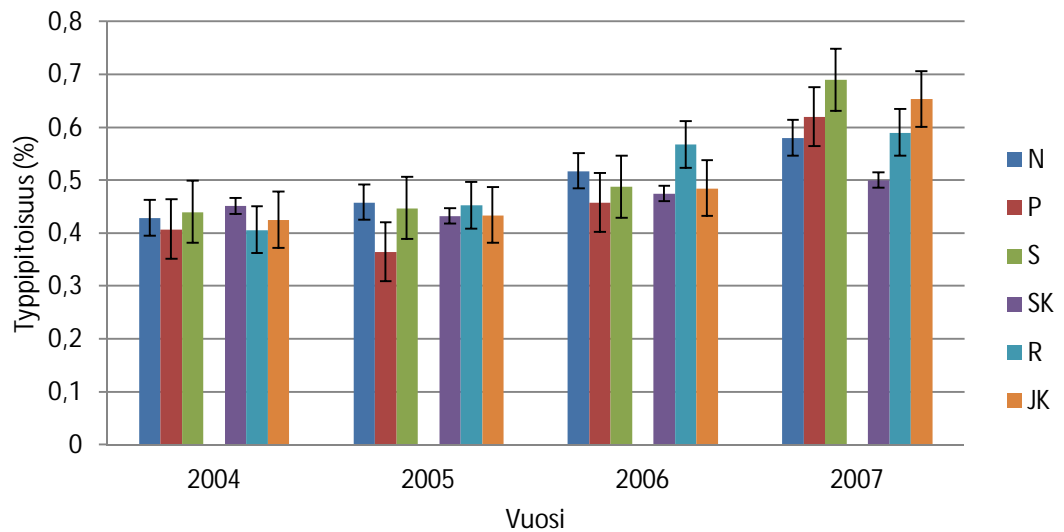
Kuva 8 Kuiva-ainesadon ja typpipitoisuuden välinen riippuvuus eri muokkaus- ja kylvömenetelmillä. Muokkaamaton maa (N), kyntö (P), sänkimuokattu (S), kaksikiekkovannaskylvökone (SK), yksikiekkovannaskylvökone (R), jyrskinkylvöyhdistelmä (JK).

muokkausmenetelmästä (Kuva 9). Pitoisuuksien vaihtelulla ei ole käytännössä merkitystä laskettaessa fosforitasetta. Jyväsadon fosforipitoisuudet ovat hyvin lähellä toisiaan, joten riippuvuutta fosforipitoisuuden ja jyväsadon välillä ei ole mielekästä esittää.



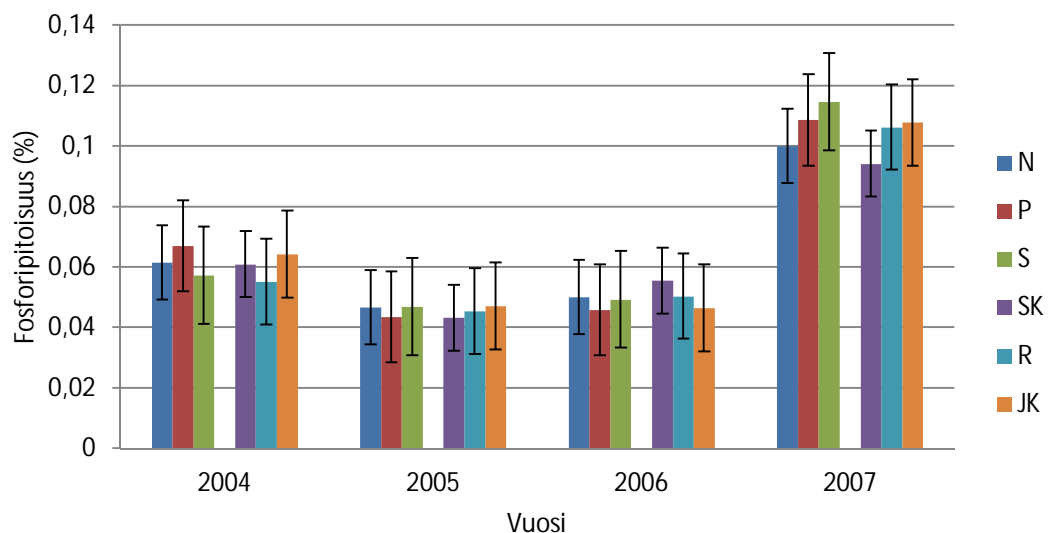
Kuva 9: Jyväsadon fosforipitoisuus eri kylvö- ja muokkausmenetelmillä. Sänki (N), sänkimuokkaus (S) ja kyntö (P). Suorakylvö (SK), yksiekkovannaskylvökone (R), jyrsinkylvö (JK). Kuvassa esitetyt keskiarvot \pm SE n=4.

Olkien sisältämät typpi- ja fosforipitoisuudet on määritetty koevuosilta 2004–2007, jolloin lohkoilta määritettiin olkisato (Kuva 10). Pitoisuudet on laskettu erikseen muokkaus- ja kylvömenetelmien välillä. Koevuosien välillä typpipitoisuudet vaihtelivat 0,37–0,72 %:n välillä. Vuonna 2007 pitoisuudet olivat noin 20 % suuremmat verrattuna muihin koevuosiin, etenkin sänkimuokatun maan osalta ero oli huomattava 25 % koko koejaksoon verrattuna. Samana vuonna jyrsinkylvöyhdistelmällä saavutettiin korkein typpipitoisuus 0,65 %. Olkien sisältämä typpipitoisuus vaihteli jyväsadon typpipitoisuuksien kaltaisesti. Kun jyväsadon typpipitoisuus oli korkea, oli myös olkisadon typpipitoisuus korkea. Typpipitoisuus ei ollut kuitenkaan riippuvainen olkisadon määrästä.



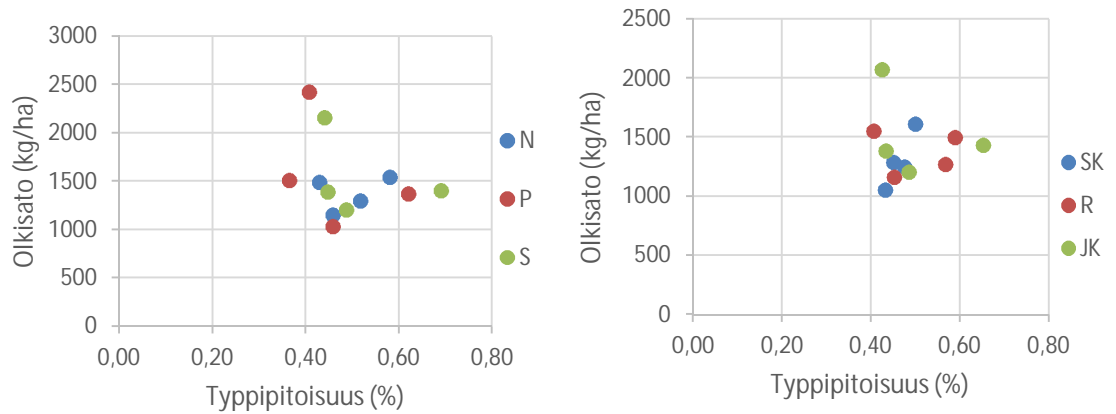
Kuva 10: Olkisadon sisältämä typpiipitoisuus. Sänki (N), sänkimuokkaus (S) ja kyntö (P). Suorakylvö (SK), yksikiekkovannaskylvökone (R), jyrskylvö (JK). SK:n ja R:n pitoisuus määritetty vain sänkimuokatusta maasta. JK:n pitoisuudet jokaisen muokausmenetelmän välinen keskiarvo. Kuvassa esitetyt keskiarvot \pm SD n=4.

Olkien sisältämä fosforipitoisuus on määritetty koevuosien 2004–2007 välillä (Kuva 11). Fosforipitoisuudet vaihtelivat hyvin vähän muokausmenetelmien välillä. Suurimmat fosforipitoisuudet rekisteröitiin vuonna 2007 samoin kuin korkeimmat typpiipitoisuudetkin. Koejakson aikana pitoisuudet vaihtelivat 0,04–0,11 %:n välillä.



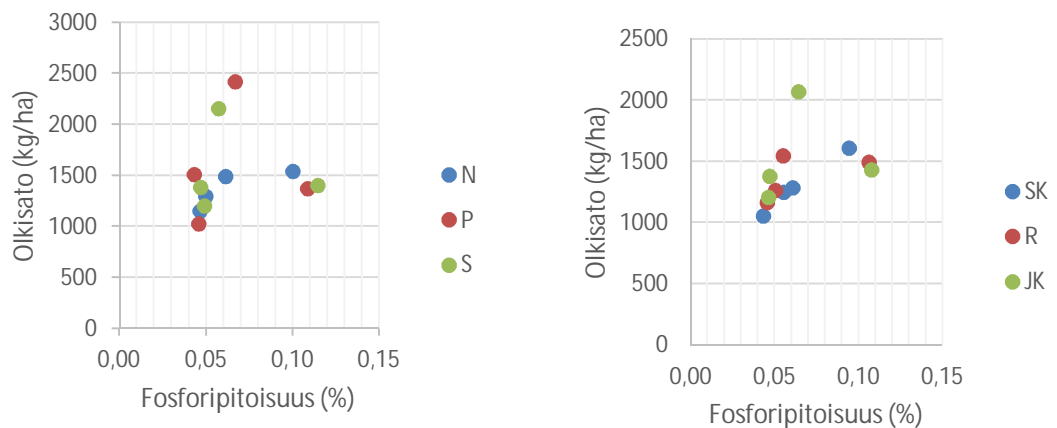
Kuva 11: Olkisadon sisältämä fosforipitoisuus. Sänki (N), sänkimuokkaus (S) ja kyntö (P). Kaksikiekkovannaskylvökone (SK), yksikiekkovannaskylvökone (R), jyrskylvö (JK) SK:n ja R:n pitoisuus määritetty vain sänkimuokatusta maasta. JK:n pitoisuudet jokaisen muokausmenetelmän välinen keskiarvo. Kuvassa esitetyt keskiarvot \pm SD n=4.

Olkisadon ja olkien sisältämän typpipitoisuuden välinen riippuvuus on esitetty kuvassa 12. Olkien typpipitoisuuden ja olkisadon välille ei löytynyt selvää riippuvuutta. Muokkausmenetelmiä tarkasteltaessa hajonta on suurempaa kuin kylvömenetelmiä tarkasteltaessa.



Kuva 12 Olkisadon ja olkien sisältämän tyypin riippuvuus. Muokkaamaton maa (N), kyntö (P), sänkimuokkaus (S). Kaksikiekkovannaskylvökone (SK), yksikiekkovannaskylvökone (R), jyrinkylvöyhdistelmä (JK).

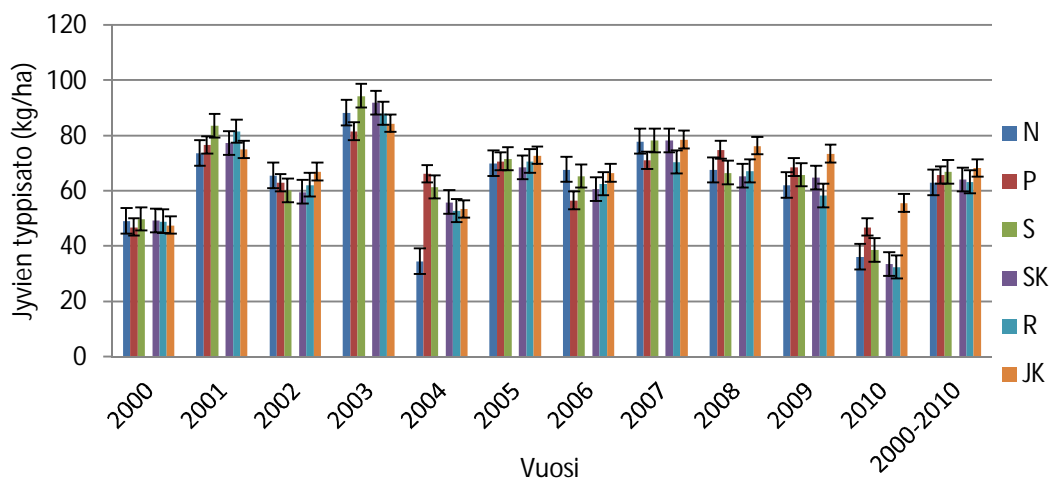
Olkisadon ja olkien sisältämä fosforipitoisuus on esitetty kuvassa 13. Olkisadon ja fosforipitoisuuden välillä ei löytynyt selvää riippuvuutta toisistaan.



Kuva 13: Olkisadon ja olkien sisältämän fosforin riippuvuus. Muokkaamaton maa (N), kyntö (P), sänkimuokkaus (S). Kaksikiekkovannaskylvökone (SK), yksikiekkovannaskylvökone (R), jyrinkylvöyhdistelmä (JK).

5.3 Jyvä- ja olkisadosta lasketut typpi- ja fosforisadot eri kylvö- ja muokkausmenetelmillä

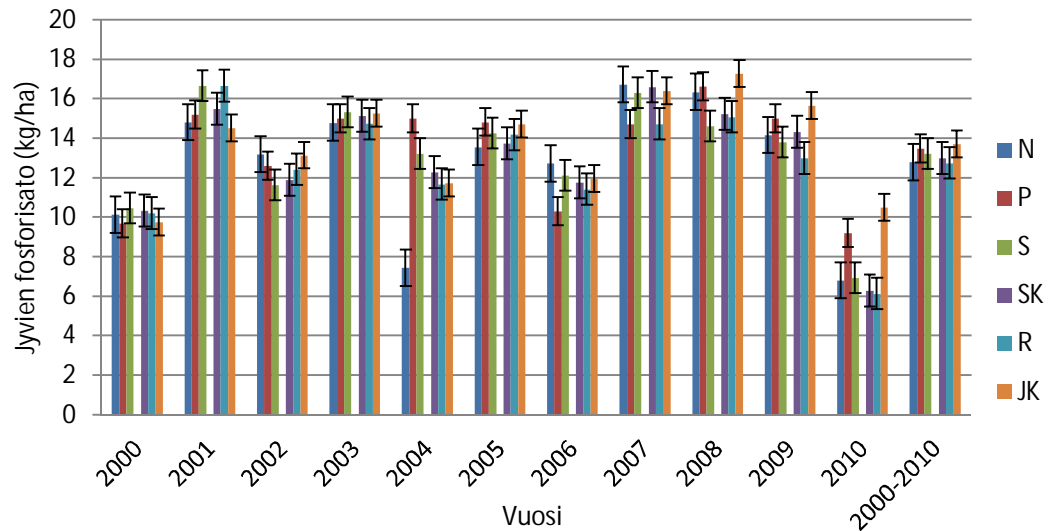
Muokkausmenetelmien välisessä tarkastelussa suurin jyvien sisältämä typpisato saavutettiin vuonna 2003, kun kentällä viljeltiin kauraa (Kuva 12). Hehtaarisadoksi saatiin 94 kg/ha sänkimuokatusta maasta. Kylvömenetelmien välisessä tarkastelussa saatiin myös suurin typpisato vuonna 2003 suorakylvökoneella, jolloin tulos oli 92 kg/ha. Samana vuonna eri koetekijöiden suhteen mitattiin myös korkeimmat typpipitoisuudet jyväsadossa koko koejakson aikana (kuva 8). Vuonna 2003 viljelykasvina oli kaura. Ohran osalta suurin typpisato saavutettiin vuonna 2001 sänkimuokkausmenetelmällä. Tällöin jyvissä korjattu typpisato oli 84 kg/ha. Vuonna 2004 muokkaamattomassa maassa typpisato jäi alhaiseksi 35 kg/ha. Alin kylvömenetelmillä saavutettu typpisato saatiin vuonna 2010 jolloin tulos oli 33 kg/ha. Tulos saatiin yksiekkovantaisella kylvökoneella. Muokkausmenetelmien välinen keskihajonta koevuosina oli 14 kg/ha. Vastaava lukema kylvömenetelmien välillä oli 13 kg/ha.



Kuva 12: Jyvien typpisato. Sänki (N), sänkimuokkaus (S) ja kyntö (P). Kaksiekkovannaskylvökone (SK), yksiekkovannaskylvökone (R), jyrskylvö (JK). Kuvassa esitetyt keskiarvot \pm SD n=4.

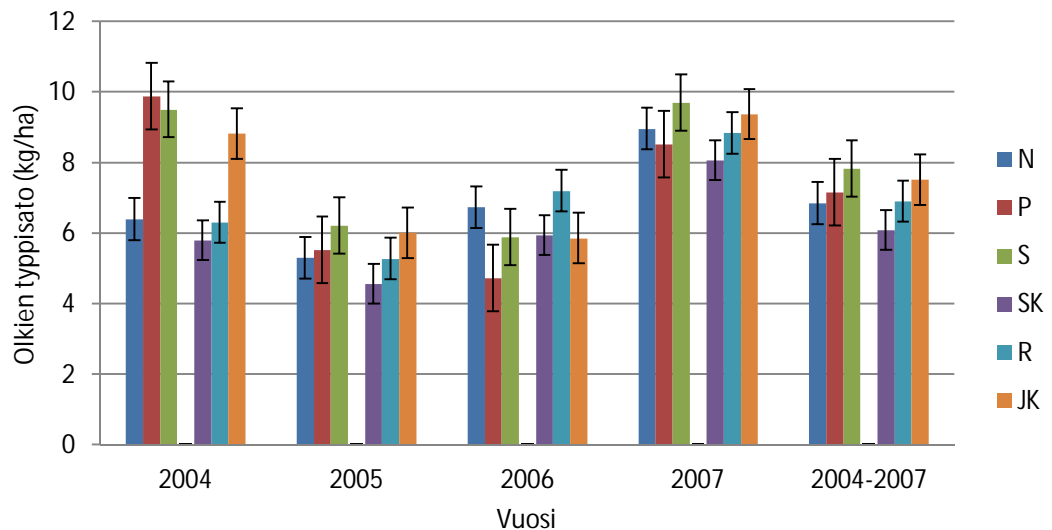
Suurin jyvien fosforisato saavutettiin muokkaamattomalta maalta vuonna 2007, tällöin tulos oli 16,7 kg/ha (Kuva 13). Kylvömenetelmiä tarkastettaessa paras fosforisato saavutettiin vuonna 2008 jyrskylvömenetelmällä, tulos oli 17,3 kg/ha.

Alhaisimmat fosforisadot saatiin vuonna 2010 tarkasteltaessa sekä muokkaus- että kylvömenetelmää. Kyseisenä vuonna jäätin noin 45 % koejakson keskimääräisestä fosforisadosta kaikilla muokkaus- ja kylvömenetelmillä. Muokkausmenetelmien välinen keskihajonta koevuosina oli 2,7 kg/ha. Vastaava lukema kylvömenetelmien välillä oli 2,6 kg/ha.



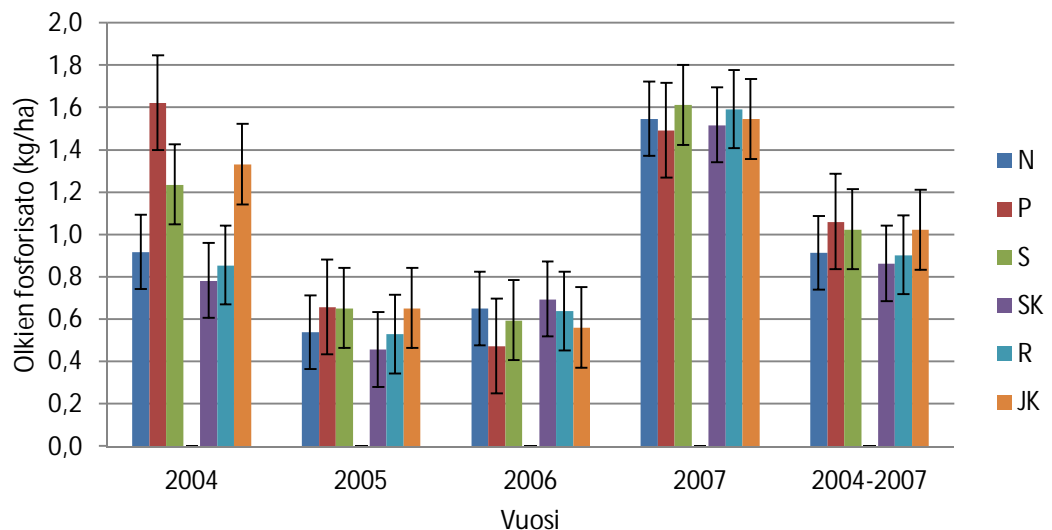
Kuva 13: Jyvien fosforisato. Sänki (N), sänkimuokkaus (S) ja kyntö (P). Suorakylvö (SK), yksikiekkovannaskylvökone (R), jyrskylvö (JK). Kuvassa esitetyt keskiarvot \pm SD n=4.

Olkisadosta määritettyjen pitoisuuksien perusteella laskettiin oljissa kerätty typpisato (Kuva 14). Suurin typpisato saavutettiin vuonna 2004 kynnetyltä maalta. Muokkausmenetelmien välinen keskihajonta oli 1,6 kg/ha. Jyrskylvöyhdistelmällä saavutettiin keskimäärin korkeimmat typpisadot. Kaksikiekkovantaisen kylvökoneen satotaso oli alhaisin. Kylvömenetelmien välinen keskihajonta oli 1,5 kg/ha.



Kuva 14: Olkien typpisato. Sänki (N), sänkimuokkaus (S) ja kyntö (P). Suorakylvö (SK), yksikiikkovannaskylvökone (R), jyrinkylvö (JK). Kuvassa esitetyt keskiarvot \pm SD n=4.

Olkien fosforisatoa tarkasteltaessa vaihteluväli muokkaus- ja kylvömenetelmien suhteen oli melko vähäinen 0,5–1,6 kg/ha (Kuva 15). Alhaisimmat sadot saatiin muokkaamattomasta maasta vuonna 2005. Samaisena vuonna saatiin myös alhaisin kylvömenetelmillä saavutettu sato kaksikiikkovannaskylvökoneella. Fosforipitoisuuksien keskihajonta muokkausmenetelmien välillä oli 0,44 kg/ha ja kylvömenetelmien välillä 0,42 kg/ha.



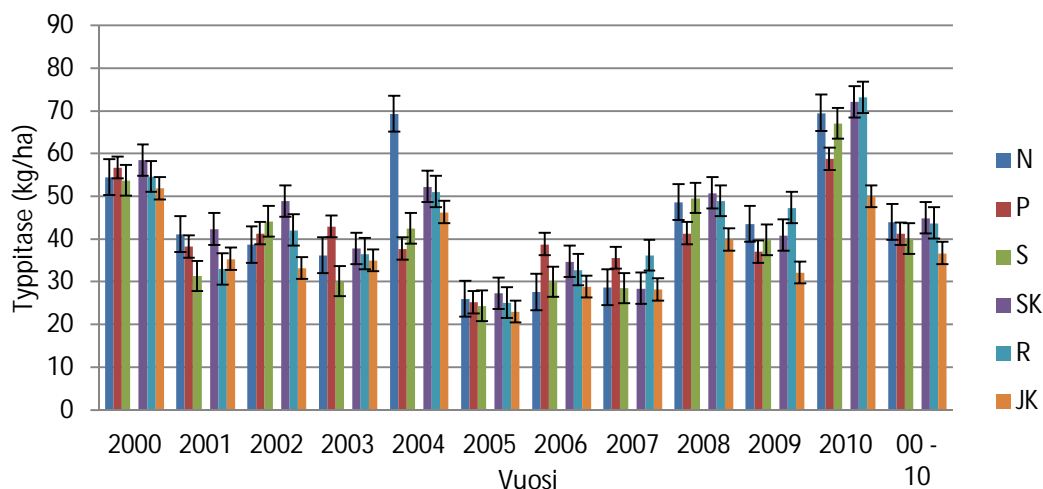
Kuva 15: Olkien fosforisato. Sänki (N), sänkimuokkaus (S) ja kyntö (P). Suorakylvö (SK), yksikiikkovannaskylvökone (R), jyrinkylvö (JK). Kuvassa esitetyt keskiarvot \pm SD n=4.

5.3 Eri muokkaus- ja kylvömenetelmien typpi- ja fosforitase

Koejakson ajalta laskettiin typen ja fosforin peltotase vuosittain eri koetekijöissä. Mitä lähempänä tase on nollaa, sitä parempi viljelyn ravinnetase on. Vuosina 2000–2004 taseisiin vaikutti se, että kylvölannoittimien välillä oli eroja lannoitteen kylvömäärässä (Taulukko 2). Vuonna 2000 kaksikiekkovantaisen kylvökoneen typpimäärä oli 8 kg/ha suurempi kuin jyrskikylvökoneyhdistelmän ja 4 kg/ha suurempi kuin yksikiekkovannaskylvökoneen. Vastaavat lukemat vuonna 2001 olivat 9 kg/ha ja 5 kg/ha, vuonna 2002 8 kg/ha ja 4 kg/ha, vuonna 2003 10 kg/ha ja 5 kg/ha ja vuonna 2004 10 kg/ha ja 4 kg/ha.

Vuoden 2005 typpitase oli koejakson aikana alhaisin sekä muokkaus- että kylvömenetelmiä tarkasteltaessa (Kuva 16). Vuosina 2006 ja 2007 päästiin myös lähelle vuotta 2005. Muokkausmenetelmien väliset taseet vaihtelivat koevuosien välillä +24,4–(+69,6) kg/ha. Muokkausmenetelmien väliset keskihajonnat olivat muokkaamaton maa 14,6 kg/ha, kynnetty 8,9 kg/ha, sänkimuokattu 12,4 kg/ha.

Kynnetyn maan hajonta oli pienin, mikä tarkoittaa, että kynnetty maa tuotti tasaisimmat taseet koevuosien välillä. Kylvömenetelmien väliset taseet vaihtelivat välillä +23,1–(+73,2) kg/ha. Kylvömenetelmiä tarkasteltaessa keskihajontalukemat olivat SK 12,6 kg/ha, R 12,7 kg/ha, JK 8,9 kg/ha. JK:lla saavutettiin koejakson aikana

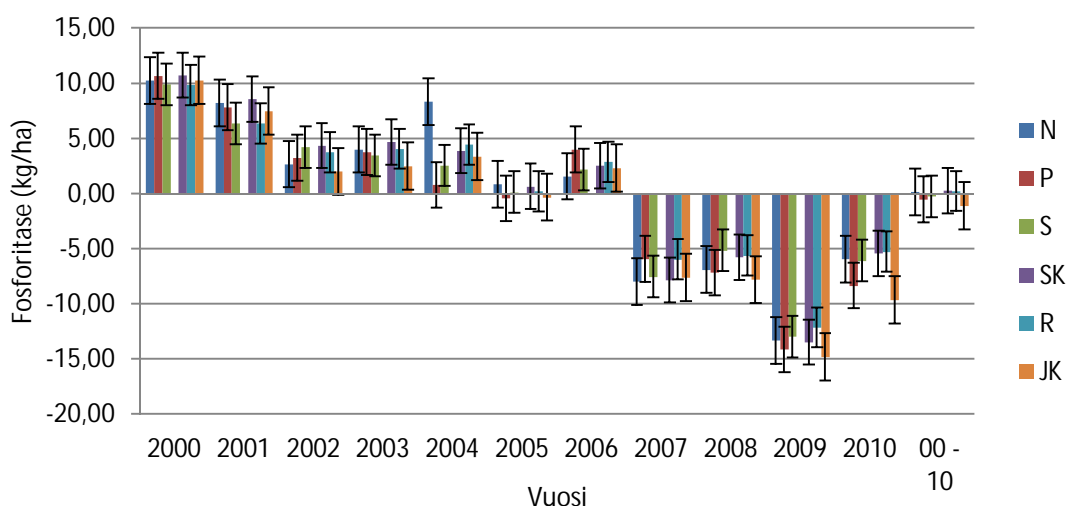


Kuva 16 : Kylvö- ja muokkausmenetelmillä saavutetut typpitaseet. Sänki (N), sänkimuokkaus (S) ja kyntö (P). Kaksikiekkovannaskylvökone (SK), yksikiekkovannaskylvökone (R), jyrskikylvöyhdistelmä (JK). Kuvassa esitetyt keskiarvot \pm SD n=4.

tasaisimmat taseet.

Muokkausmenetelmien väliset fosforitaseet vaihtelivat koevuosina -14,2–(+10,7) kg/ha välillä (Kuva 17). Samoin kuin typpilannoituksessa, fosforilannoitusmäärä vaihteli 2000–2004 johtuen kylvölannoitin valmistajan ilmoittamista tuloksista seuraavasti. Fosforilannoitus oli kaksiekkevannaskylvökoneella 1 kg suurempi kuin jyrskylvöyhdistelmällä ja yksiekkevannaskylvökoneella vuonna 2000. Vastaava lukema vuonna 2001 oli 2 kg/ha, vuonna 2002 1 kg/ha, vuonna 2003 2 kg/ha ja vuonna 2004 1 kg/ha. Koelohkot lannoitettiin ympäristötuen ehtojen mukaisesti, jolloin maan fosforimäärityksessä saatiin tulos hyvä 2009 ja 2010 vuosina, jolloin maata ei lannoitettu fosforilannoitteella. Tämä näkyy taseissa suurina negatiivisina taseina.

Muokkausmenetelmien keskihajonnat olivat N 7,33 kg/ha, P 7,20 kg/ha ja S 6,52. Vuonna 2004 muokkaamattoman maan (N) fosforitase on korkea sänkimuokattuun ja kynnettyyn maahan nähden +8 kg/ha. Tällöin suorakylvetyyn maan tase oli +7 kg/ha ja kynnetyn maan tase -1 kg/ha. Eri kylvömenetelmillä saavutetut fosforitaseet vaihtelivat -14,8–(+10,7) kg/ha välillä. Kylvömenetelmien väliset keskihajonnat koevuosina olivat SK 7,1 kg/ha, R 6,3 kg/ha ja JK 7,42 kg/ha. Vuosina 2009 ja 2010 fosforilannoitusmäärä oli 0 kg/ha.

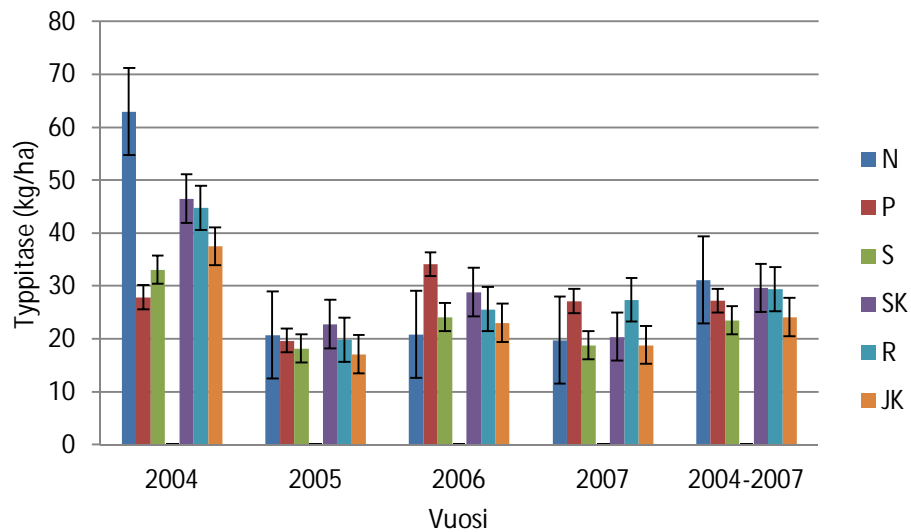


Kuva 17: Kylvö- ja muokkausmenetelmillä saavutetut fosforitaseet. Sänki (N), sänkimuokkaus (S) ja kyntö (P). Kaksiekkevannaskylvökone (SK), yksiekkevannaskylvökone (R), jyrskylvöyhdistelmä (JK). Kuvassa esitetyt keskiarvot \pm SD n=4.

Vuosina 2004–2007 määritettiin myös olkisadot. Näiltä vuosilta laskettiin typpi- ja fosforitaseet mittausosiossa esitettyjen kaavojen mukaan. Verrattuna taseisiin, joissa on mukana pelkästään jyväsato, kaikki tulokset antavat paremman taseen, koska olkiin kertyneet ravinteet ovat mukana taseessa. Taseet ovat olkien ravinnesatojen verran pienemmät kuin siemensadosta lasketut taseet (Kuva 14 ja 15)

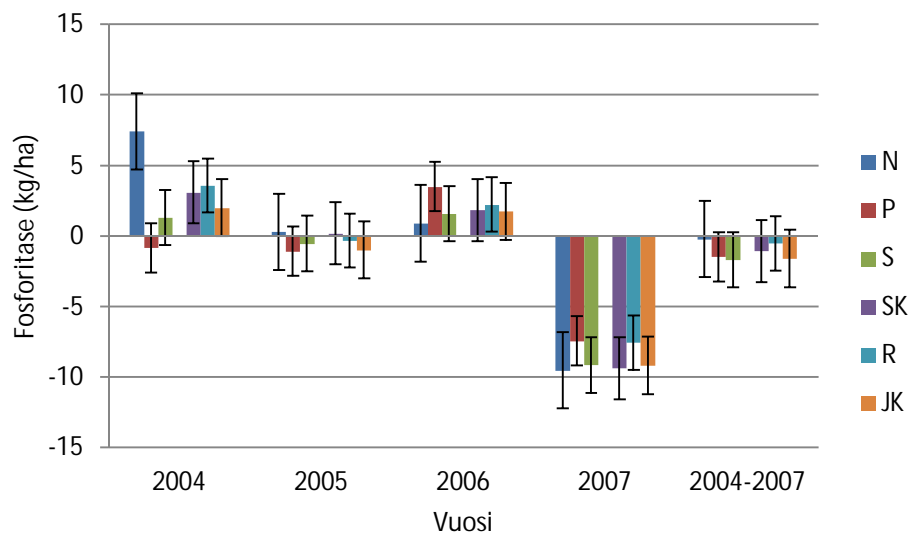
Typpitaseen osalta paras tase saavutettiin vuonna 2005. Kyseisenä vuonna sänkimuokkauksella saavutettu tase oli +18 kg/ha (Kuva 18). Muokkausmenetelmien taseet vaihtelivat 18–63 kg/ha välillä. Muokkausmenetelmillä saavutettujen typpitaseiden keskihajonnat olivat muokkaamaton maa 18,4 kg/ha, kynnetty 5,1 kg/ha ja sänkimuokattu 6,0 kg/ha. Olkien lisääminen taselaskentaan tasoittaa P:n ja S:n suhdetta toisiinsa verrattuna. Tulosta ei voida verrata suoraan koko koejaksoon, sillä olkien ravinnepitoisuuksia määritettiin vain osalta koevuosia.

Kylvömenetelmien typpitaseet vaihtelivat 17,1–46,5 kg/ha välillä (Kuva 18). Kylvömenetelmien keskihajonnat olivat kaksikiekkovannaskylvökone 10,2 kg/ha, yksikiekkovannaskylvökone 9,3 kg/ha ja jyrsinkylvöyhdistelmä 8,0 kg/ha. Verrattuna taseisiin joissa on kerätty pelkästään jyvät, tulos muuttuu jyrsinkylvöyhdistelmän ja yksikiekkovantaisen kylvökoneen osalta niin että jyrsinkylvöyhdistelmän hajonta on pienempi kuin yksikiekkovannaskylvökoneen.



Kuva 18: Kylvö- ja muokkausmenetelmillä saavutetut typpitaseet, kun laskelmissa sekä siemen- että olkisadossa korjattu typpisato. Sänki (N), sänkimuokkaus (S) ja kyntö (P). Kaksikiekkovannaskylvökone (SK), yksikiekkovannaskylvökone (R), jyrskylvöyhdistelmä (JK). Kuvassa esitetyt keskiarvot \pm SD n=4.

Muokkausmenetelmien välinen fosforitase vaihteli -10-(+7) kg/ha välillä (Kuva 19). Keskihajonnat muokkausmenetelmillä olivat muokkaamaton maa 6 kg/ha, kyntö 4 kg/ha ja sänkimuokkaus 4 kg/ha. Kylvömenetelmien keskihajonta oli kaksikiekkovannaskylvökoneella 5 kg/ha, yksikiekkovannaskylvökoneella 4 kg/ha ja jyrskylvöyhdistelmällä 5 kg/ha. Keskihajonta on hyvin samankaltainen kaikkien kylvömenetelmien osalta.



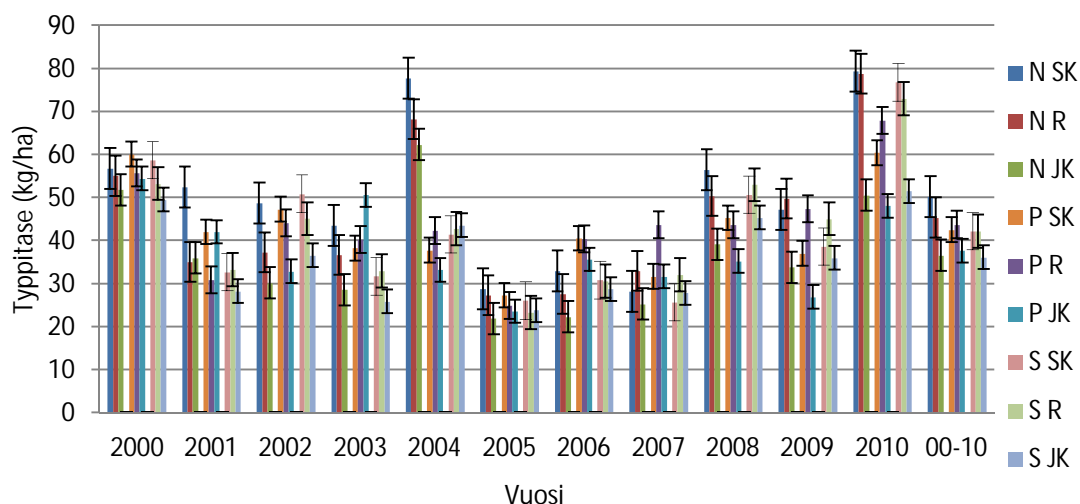
Kuva 19: Kylvö- ja muokkausmenetelmillä saavutetut fosforitaseet, mukana myös olkien typpisato. Sänki (N), sänkimuokkaus (S) ja kyntö (P). Suorakylvö (SK), yksikiekkovannaskylvökone (R), jyrskylvöyhdistelmä (JK). Kuvassa esitetyt keskiarvot \pm SD n=4.

5.4 Kylvö- ja muokkausmenetelmien yhteisvaikutus typpi- ja fosforitaseisiin

Muokkaamattoman maan (N) ja kylvömenetelmien vertailussa olivat kaksikiekkovannaskylvökone (SK), yksikiekkovannaskylvökone (R), ja jysinkylvöyhdistelmä (JK). Koejakson keskihajonnat eri kylvömenetelmillä olivat, SK 16,5 kg/ha, R 16,0 kg/ha ja JK 12,6 kg/ha (Kuva 20). JK:lla saavutettiin tasaisempia tuloksia koko koejakson aikana. JK:lla saavutettiin myös alhaisimmat taseet koejakson aikana sillä minimi oli 21,9 kg/ha (2005) ja maksimi 62,3 kg/ha (2004). Kaksikiekkovannaskylvökoneen (SK) taseet vaihtelivat minimi 28,1 kg/ha ja maksimi 79,4 kg/ha. Tulos on merkittävä sillä SK on muokkaamattoman maan kylvöön kehitetty kylvökone. Yksikiekkovannaskylvökoneen (R) taseet olivat noin 3 % hehtaarilta pienempiä kuin SK.

Kynnetyn maan tulokset ovat selvästi suotuisat JK:lle. JK:n keskihajonta oli 9,4 kg/ha, SK:n keskihajonta oli 9,9 kg/ha ja R:n 10,8 kg/ha (Kuva 20). JK:n ja SK:n keskihajonnassa ei ollut suurta eroa, mutta JK:n minimi ja maksimitase oli kuitenkin pienempi kuin SK:n. R tuotti kynnetyllä maalla korkeimman taseen 67,9 kg/ha (2010), joka oli korkein myös verrattuna muihin koivuosiin ja kylvömenetelmiin kynnetyn maan osalta.

Sänkimuokatulla maalla JK:lla saavutettiin selvästi parhaimmat typpitaseet verrattuna muihin kylvömenetelmiin. JK:n keskihajonta oli 9,5 kg/ha, R:n 13,3 kg/ha ja SK:n 15,1 kg/ha. JK:n minimitase 23,8 kg/ha saavutettiin vuonna (2005). Samana vuonna SK:n tase oli 26,0 kg/ha ja R:n 23,3. Kyseisenä vuonna taseet olivat hyvin lähellä toisiaan. Suurin typpitaseissa saatu ero oli vuonna 2010, jolloin JK:n tulos oli 51,5 kg/ha, SK:n 76,7 kg/ha ja R:n 72,9 kg/ha.



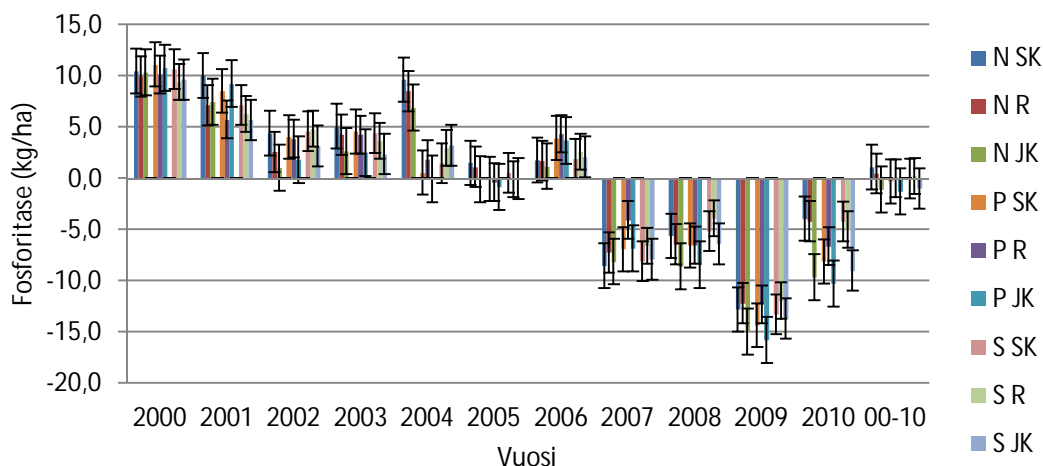
Kuva 20: Eri muokkaus- ja kylvömenetelmillä saavutetut typpitaseet. Sänki + suorakylvökone (N SK), Sänki + yksikiekkovannaskylvökone (N R), sänki + jyrskylvökone (N JK). Kyntö + suorakylvökone (P SK), kyntö + yksikiekkovannaskylvökone (P R), kyntö + jyrskylvöyhdistelmä (P JK). Sänkimuokkaus + suorakylvökone (S SK), sänkimuokkaus + yksikiekkovannaskylvökone (S R), sänkimuokkaus + jyrskylvöyhdistelmä (S JK). Kuvassa esitetyt keskiarvot \pm SD, n=4.

Fosforitaseiden osalta maanmuokkauksen ja kylvömenetelmien välinen ero ei ollut yhtä suuri kuin typpitaseiden osalta (Kuva 21). Muokkaamattomassa maassa (N) kylvömenetelmien keskinäisessä tarkastelussa keskihajonnat olivat vähäisiä. JK:n keskihajonta 7,8 kg/ha, SK:n 7,5 kg/ha ja R:n 6,8 kg/ha. Toisin kuin typpitaseissa, R:n keskihajonta oli matalin. Yksikiekkovannaskylvökoneella saavutettiin kuitenkin koejakson matalin fosforitase muokkaamattomassa maassa vuonna 2009, jolloin tulos oli -15 kg/ha. Vastaava lukema SK:n oli -12,8 kg/ha ja R:n -12,2 kg/ha. Kaksikiekkovannaskylvökoneella saavutettiin suurin tase vuonna 2000, jolloin tulos oli 10,4 kg/ha. Kyseisenä vuonna fosforitaseet olivat kuitenkin hyvin tasaiset ja olivat yhden kilon sisällä toisistaan.

Kynnetyllä maalla JK:n keskihajonta oli 7,9 kg/ha, joka oli kylvömenetelmistä suurin. SK:n keskihajonta oli 7,4 kg/ha ja R:n 6,4 kg/ha. JK:lla saavutettiin kuitenkin koejakson alhaisin fosforitase vuonna 2009, jolloin tulos oli -15,8 kg/ha. Kyseisenä vuonna fosforilannoitusta ei lisätty kylvön yhteydessä.

Sänkimuokatun maan osalta keskihajontojen ero kylvömenetelmien välillä oli pienin. JK:n keskihajonta oli 6,9 kg/ha, SK:n 6,7 kg/ha ja R:n 6,1 kg/ha. Alhaisin tase

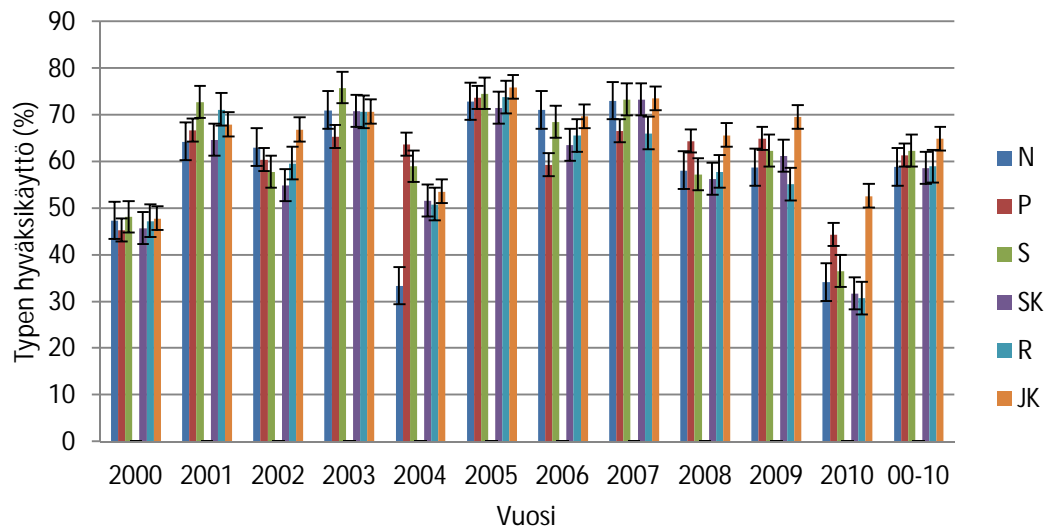
saavutettiin JK:lla vuonna 2009, jolloin tulos oli -13,7 kg/ha. Kyseisenä vuonna SK:n tase oli -13,3 kg/ha ja R:n -11,9 kg/ha.



Kuva 21: Eri muokkaus- ja kylvömenetelmillä saavutetut fosforitaseet. Sänki + suorakylvökone (N SK), Sänki + yksikiikkovannaskylvökone (N R), sänki + jyrskylvöyhdistelmä (N JK). Kyntö + suorakylvökone (P SK), kyntö + yksikiikkovannaskylvökone (P R), kyntö + jyrskylvöyhdistelmä (P JK). Sänkimuokkaus + suorakylvökone (S SK), sänkimuokkaus + yksikiikkovannaskylvökone (S R), sänkimuokkaus + jyrskylvökone (S JK). Kuvassa esitetyt keskiarvot \pm SD, n=4.

5.5 Ravinteiden hyväksikäyttö

Typen ja fosforin käytön hyötysuhdetta tarkasteltiin laskemalla, kuinka suuri osuus pellolle vuosittain lisätyistä ravinteista korjattiin sadossa pois. Ravinteiden hyväksikäyttö laskettiin lannoitteessa lisätyn typen, siementen jyvissä tuodun ja laskeumassa tulleen typen osuus jyvissä korjattuun typpisatoon. Tarkastelussa ei ole otettu olkien sisältämää typpisatoa huomioon. Kuvaajassa on esitetty eri muokkaustavoilla ja kylvömenetelmillä saavutetut typen hyväksikäyttöprosentit (Kuva 22). Tuloksien osalta kasvi käyttää typen pääsääntöisesti yli 50 %:n tehokkuudella. Koko koejaksolla muokkaamattoman maan keskiarvo oli 58 %, kynnetyn maan 61 % ja sänkimuokatun maan 62 %. Alle 50 %:n jäätin vuosina 2000, 2010 kaikilla muokkausmenetelmillä, jolloin sato oli pieni. Vuonna 2004 muokkausmenetelmien välinen ero muokkaamattoman maan ja kynnetyn maan välillä oli 30 prosenttiyksikköä, joka oli suurin yksittäinen poikkeus koejakson aikana. Sato oli selvästi huonompi märkänä vuonna, jolloin sänki vielä kylvettiin muita koetekijöitä myöhemmin.



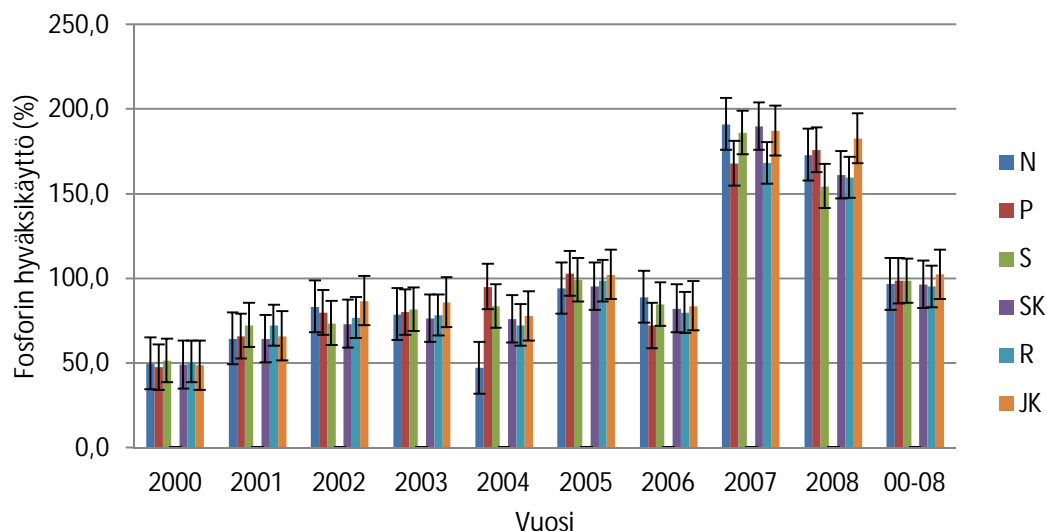
Kuva 22: Eri muokkaus- ja kylvömenetelmillä saavutettu typen hyväksikäytön suhde. Sänki (N), sänkimuokkaus (S) ja kyntö (P). Suorakylvö (SK), yksikiekkovannaskylvökone (R), jyrskinkylvöyhdistelmä (JK). Kuvassa esitetyt keskiarvot \pm SD n=4.

Suurin typpilannoitusmäärä annettiin vuonna 2003, jolloin viljelykasvina oli kaura. Hyväksikäyttöprosentti on kyseisenä vuonna yksi koejakson suurimmista typen osalta. Suurin typpilannoitus ohralle annettiin vuonna 2008, joka oli keskimäärin 110 kg/ha kylvömenetelmien välillä. Jyrskinkylvöyhdistelmä oli noin 6 prosenttiyksikköä muita kylvömenetelmiä parempi.

Fosforinhyötykäyttö on laskettu kaavalla 4. Fosforilannoitusmäärät olivat vuonna 2000 n. 20 kg/ha, 2001 n. 37 kg/ha ja 2003 n. 18 kg/ha. Edellä mainitut kolme vuotta olivat fosforilannoituksen osalta suurimmat koejakson aikana. Muiden koejaksovuosien lannoitusmäärät olivat: 2002 n. 15 kg/ha, 2004 15 kg/ha, 2005 13,5 kg/ha, 2006 13,5 kg/ha, 2007 7,7 kg/ha ja 2008 8,5kg/ha. Vuosina 2009 ja 2010 ei annettu fosforia lannoituksen yhteydessä, näinä vuosina fosforia kertyy maahan vain kylvettävästä siemenestä ja laskeumasta.

Paras hyötykäyttöprosentti fosforin osalta saavutettiin suorakylvetyin ja sänkimuokattujen koeruutujen osalta vuonna 2007 (Kuva 23). Tällöin hyötykäyttö nousi reiluun 180 %:n, joka tarkoittaa sitä että kasvi käytti kaiken lannoitteissa annetun fosforin, sekä käytti maassa jo olevaa fosforia tehokkaasti. Kynnettyjen maiden osalta hyväksikäyttö jäi n. 168 %:n. Kynnetyn maan osalta paras vuosi oli 2008, jolloin tulos oli lähes 180 %:a. Tehottomin vuosi oli 2000. Fosforin hyväksikäyttö on noussut koejakson aikana lähes vuosittain. Poikkeuksena vuoden

2004 muokkaamaton maa, jolloin hyväksikäyttö prosentti jäi tällä menetelmällä 47 %:n.



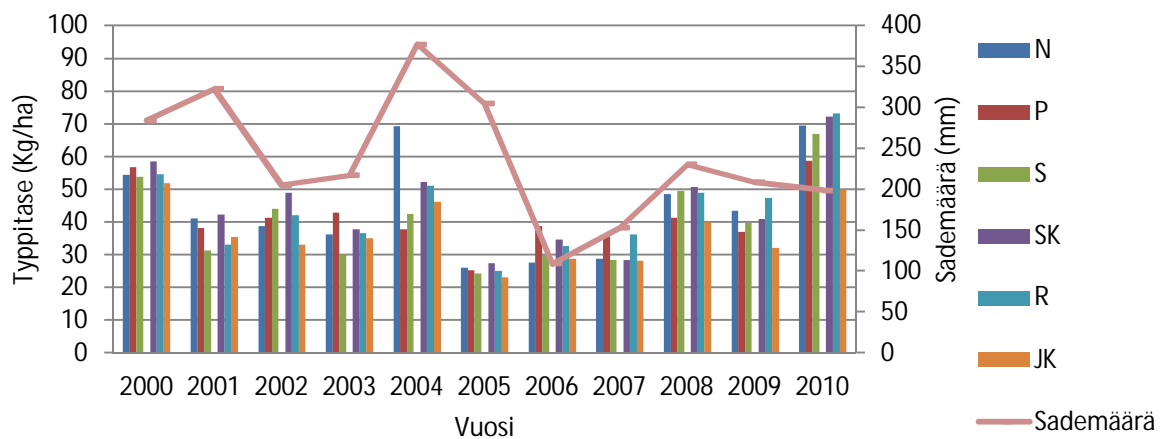
Kuva 23: Eri muokkaus- ja kylvömenetelmillä saavutettu fosforin hyväksikäytön suhde. Sänki (N), sänkimuokkaus (S) ja kyntö (P). Suorakylvö (SK), yksikiekkovannaskylvökone (R), jyrskylvöyhdistelmä (JK). Vuosina 2009 ja 2010 ei lannoitettu. Kuvassa esitetyt keskiarvot \pm SD n=4

Kylvömenetelmiä tarkasteltaessa paras fosforin hyväksikäyttö saatiin jyrskylvöyhdistelmällä (JK). Keskimääräinen hyväksikäyttöprosentti JK:lla oli 102 %. Verrattuna koko koejakson keskiarvoa jyrskylvöyhdistelmän ja suorakylvökoneen välillä, suorakylvökone jää jyrskylvöyhdistelmälle 6 prosenttiyksikköä. Yksikiekkovantaisen kylvökoneen hyväksikäyttöprosentti jäi tutkimusjakson alhaisimmaksi ollen 95 %. Kaksikiekkovantaisella kylvökoneella saavutettiin 1,2 prosenttiyksikköä parempi fosforin hyväksikäyttö kuin yksikiekkovantaisella kylvökoneella.

5.6 Sademäärän vaikutus ravinnetaseisiin

Sademäärällä on suuri merkitys saavutettuihin ravinnetaseisiin, sillä vesi kuljettaa ravinteita kasvien käyttöön (Lipiec ym. 1995). Liian suuri vesimäärä voi puolestaan haitata kasvien ravinteidenottoa. Tutkimuksen keskimääräinen sademäärä kylvöstä sadonkorjuuseen vuosina 2000–2010 oli 240 mm. Vuosina (2001, 2004, 2005), jolloin sademäärä oli keskiarvoa suurempi, saavutettu typpitase oli alhaisin sänkimuokatulla ja kynnetyllä maalla (Kuva 24). Vuosi 2005 oli poikkeuksellinen, sillä

kaikilla muokkausmenetelmillä saavutettiin lähes samansuuruinen tase vaikka sademäärä oli keskiarvoa suurempi. Tulos poikkeaa vuosien 2001 ja 2004 tuloksista. Etenkin vuoden 2004 typpitase suorakylvetyillä lohkoilla oli selvästi suurempi verrattuna muihin muokkausmenetelmiin johtuen maiden märkyydestä (Yagmur ym. 2008). Kuivina vuosina maan vesipitoisuus on korkeampi suorakylvetyllä maalla, tulos näkyy satotasossa ja ravinnetaseissa positiivisesti. Lampurlanés ym. 2000 mukaan veden pidättäytymiskyky on parempi muokkaamattomalla maalla, jolloin kuivina vuosina vesi jakautuu tasaisesti kasvukauden aikana kasvin käyttöön.

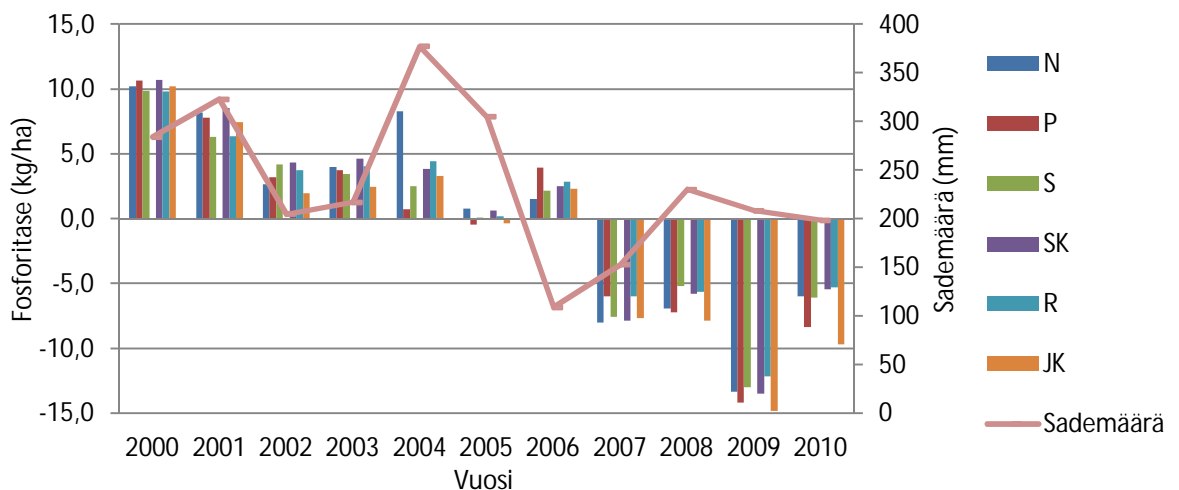


Kuva 24: Muokkaus- ja kylvömenetelmillä saavutetut typpitaseet ja kasvuajan sademäärä kylvöstä sadonkorjuuseen. Sänki (N), sänkimuokkaus (S) ja kyntö (P). Kaksikiekkovannaskylvökone (SK), yksikiekkovannaskylvökone (R), jyrskylvöyhdistelmä (JK).

Näinä vuosina suorakylvetyyn maan typpitase oli alhaisempi kuin muilla muokkausmenetelmillä saavutetut taseet. Poikkeuksena kuitenkin vuosi 2009, jolloin kynnetyn maan tase oli muita alhaisempi. Kuivinakin vuosina vaihtelu eri muokkausmenetelmien välillä oli vähäisempää kuin kosteiden vuosien välinen vaihtelu. Kosteana vuonna ravinteita saattoi huuhtoutua vesistöihin sateiden vuoksi. Sademäärään ja typen huuhtoutumisen välillä ei ole kuitenkaan selvää laskukaavaa selviää Salon ja Turtolan tutkimuksesta 2005, jonka mukaan tase voi olla huono, vaikka huuhtoutuminen olisi vähäistä.

Sademäärän vaikutus eri kylvömenetelmillä saavutettuihin typpitaseisiin ei löytynyt selvää eroa. Jyrskylvökoneella saavutettiin paras typpitase kaikkina muina koevuosina paitsi vuonna 2001, jolloin yksikiekkovannaskylvökoneella saavutettu tase oli 6 % tätä parempi. Kaksikiekkovannaisella kylvökoneella taseet olivat noin 18 % korkeampia useimpana koevuotena riippumatta sateen määrästä.

Sademäärän vaikutus fosforitaseisiin on hyvin samankaltainen kuin sen vaikutus typpitaseisiin. Vähäsateisina vuosina suorakylvetyn maan typpitase on alhaisempi kuin muilla muokkausmenetelmillä saavutetut taseet (Kuva 25). Koejakson loppupuolella lannoitusmäärää alennettiin ja vuosina 2009 ja 2010 lannoitusmäärä oli 0 kg/ha. Sademäärät olivat melko samankaltaiset kyseisenä vuonna, mutta satotaso ja laskettu fosforitase oli selvästi huonompi vuonna 2010. Vuonna 2010 runsaat sateet heti kylvön jälkeen alensivat satotasoa ja heikensivät ravinnetaseita. Kosteina vuosina 2001 ja 2004 fosforitase oli huonompi suorakylvetyllä maalla, kuin muilla muokkausmenetelmillä saavutetut taseet. Verrattuna kuiviin vuosiin 2002, 2006 ja 2007 tase oli parempi suorakylvetyllä maalla verrattuna muihin muokkaustapoihin.

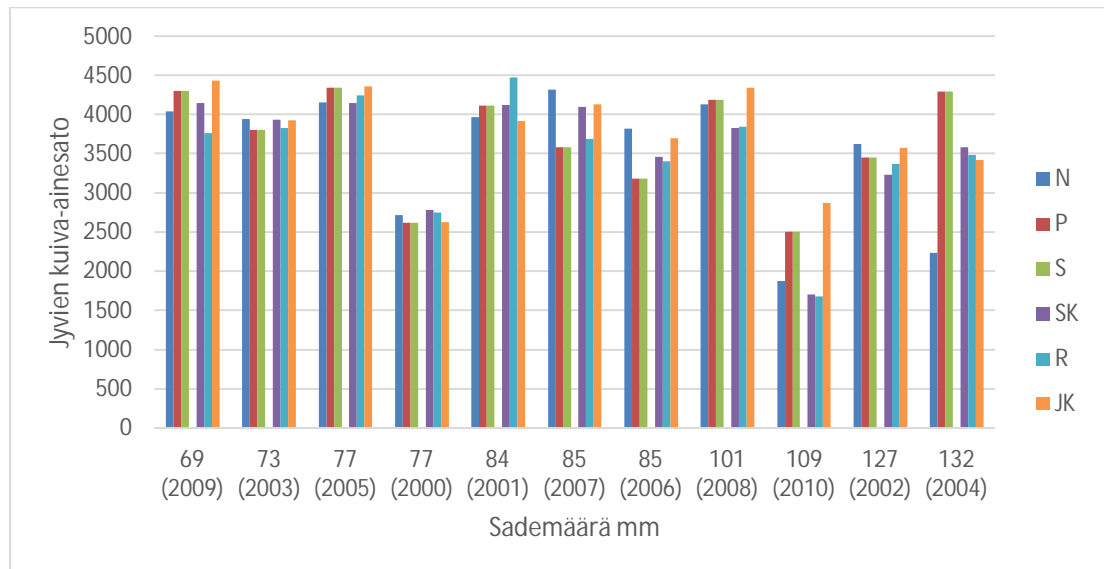


Kuva 25: Muokkaus- ja kylvömenetelmillä saavutetut fosforitaseet ja kasvuajan sademäärä. Sänki (N), sänkimuokkaus (S) ja kyntö (P). Kaksikiekkovannaskylvökone (SK), yksikiekkovannaskylvökone (R), jyrinkylvöyhdistelmä (JK).

5.7 Kasvukauden alun sademäärän vaikutus siemensatoon ja ravinnetaseisiin

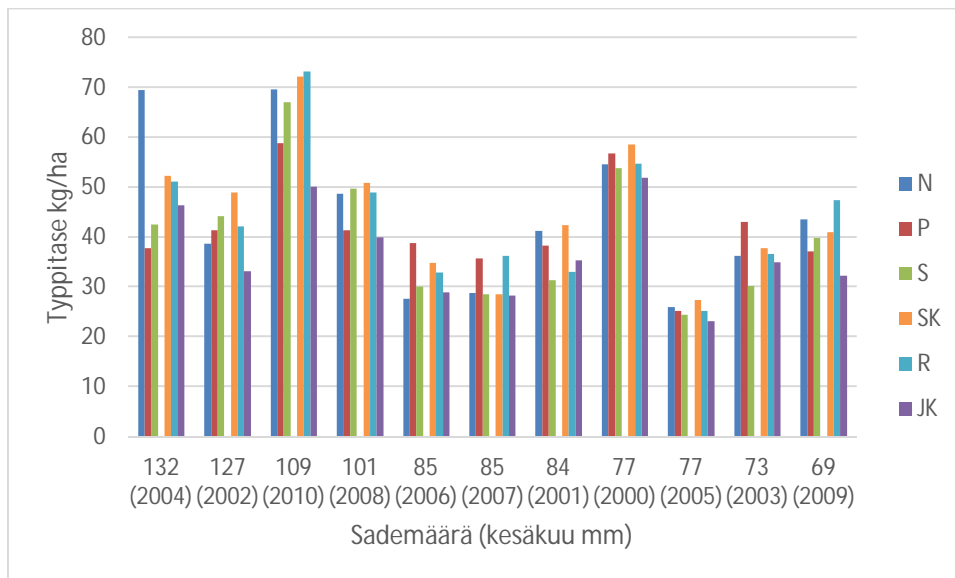
Kesäkuun sademäärä ja jyväsato on esitetty kuvassa 26. Alkukasvukauden sademäärän ollessa pieni sadoissa ei ollut suuria eroja eri muokkaus- ja kylvömenetelmillä. Vuoden 2000 satotaso tekee poikkeuksen kun tarkastellaan kesäkuun sademäärän vaikutusta satotasoon. Kun alkukasvukauden sademäärä on suuri satotasojen erot muokkaamattomassa verrattuna sänkimuokattua tai kynnettyä maata on suuri. Vuoden 2004 satotason muutos johtui suurien sateiden

ajoittumisesta juuri kylvön jälkeen ja muokkaamattomien maiden kylvöjen viivästyessä kaksi viikkoa muista kylvömenetelmistä.



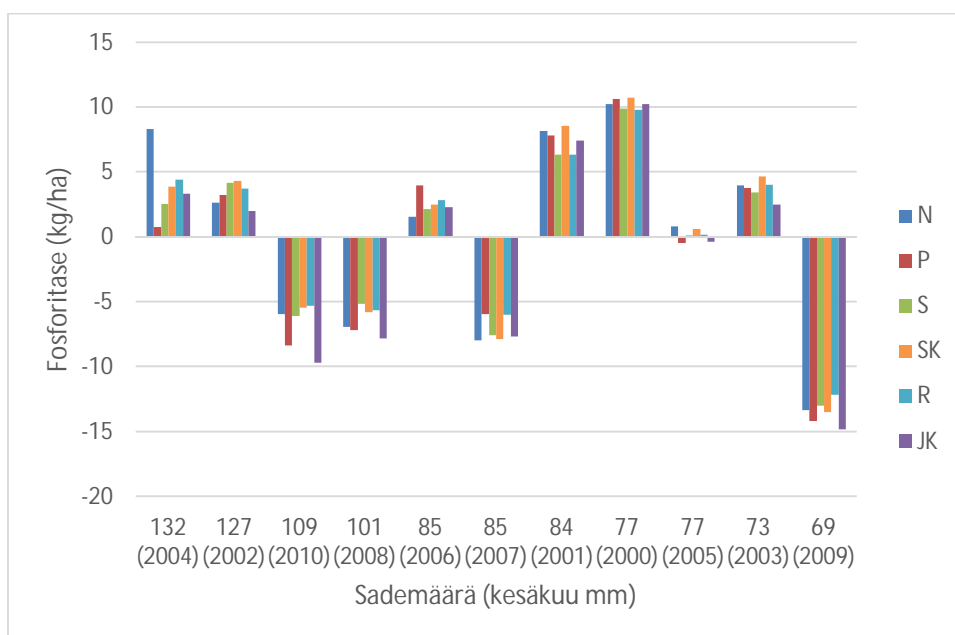
Kuva 26: Alkukasvukauden (kesäkuun) sademäärä verrattuna kasvukaudella tuotettuun jyväsatoon eri muokkaus- ja kylvömenetelmillä. Muokkaamaton maa (N), kynnetty maa (P), sänkimuokattu (S), kaksikiekkovannaskylvökone (SK), yksikiekkovannaskylvökone (R), jyrsinkylvöyhdistelmä (JK). N=4

Typitaseissa alkukasvukauden sademäärän ollessa runsas muokkaamattoman maan tase nousi muita muokkausmenetelmiä suuremmaksi (Kuva 27). Jyrsinkylvöyhdistelmällä saavutettiin parhaimmat taseet riippumatta siitä, oliko sademäärä alkukasvukautena suuri vai pieni.



Kuva 27: Alkukasvukauden (kesäkuun) sademäärän vaikutus typpitaseeseen. Muokkaamaton maa (N), kynnetty (P), sänkimuokattu (S). Kaksikiekkovannaskylvökone (SK), yksikiekkovannaskylvökone (R) ja jyrskylvöyhdistelmä. n=4

Alkukasvukauden sademäärän vaikutus fosforitaseeseen on esitetty kuvassa 28. Suuri sademäärä alkukasvukautena nosti fosforitasetta, verrattuna vuosiin jolloin sademäärä oli pienempi. Poikkeuksen tekevät kuitenkin vuodet 2001 ja 2000 jolloin fosforitase oli korkea, vaikka sademäärä alkukasvukautena jäi alhaiseksi. Näinä vuosina kokonaissademäärä nousi kuitenkin yli keskiarvon 237 mm ollen vuonna 2001 323 mm ja vuonna 2000 284 mm.



Kuva 28: Alkukasvukauden sademäärän (kesäkuun) vaikutus fosforitaseeseen. Muokkaamaton maa (N), Kynnetty maa (P), sänkimuokattu maa (S), kaksikiekkovannaskylvökone (SK), yksikiekkovannaskylvökone (R) jyrskylvöyhdistelmä (JK), n=4

6 Tulosten tarkastelu

6.1 Muokkausmenetelmien vaikutus jyväsatotasoon

Tutkimuksen tulokset ovat samankaltaiset kuin Arvidsson ym. (2013) Ruotsissa tekemissä pitkäaikaisissa muokkauskokeissa. Arvidssonin tulos oli, että muokkaamaton maa tuottaa keskimäärin 10 % vähemmän satoa kuin kynnetty maa. Sänkimuokattu maa tuotti keskimäärin 2 % huonomman sadon kuin kynnetty maa. Omassa tutkimuksessa jyväsato oli keskimäärin 8 % pienempi muokkaamattomalla ja 12 % pienempi sänkimuokatulla maalla verrattuna kynnettyyn maahan, vuosina jolloin satotaso oli kynnettyä maata pienempi. Vuosina jolloin kynnetyn maan jyväsato oli pienempi kuin muokkaamattoman maan ero oli 9 %. Vuosina jolloin sänkimuokatun maan jyväsato oli suurempi kuin kynnetyn maan ero oli noin 9 %. Aiemmissä tutkimuksissa Christian ym. (1994) selvitti tutkimuksessaan, että siirryttäessä kynnetystä maasta muokkaamattoman maan viljelyyn satotaso jää noin 90 %:n kynnetyn maan tuloksista. Kokeet tehtiin Iso-Britanniassa. Tulokset tasoittuisivat vasta muutaman muokkaamattoman maan viljelyvuoden jälkeen. Omassa tutkimuksessa satotaso muokkaamattoman ja muokatun maan välillä ensimmäisen vuoden jälkeen oli päinvastainen. Muokkaamattoman maan ja sänkimuokatun maan koeruudut tuottivat 4 % suuremman jyväsadon kuin kynnetty maa. Toisena koevuotena kynnetty maa tuotti 4 % suuremman jyväsadon kuin muokkaamaton maa. Tuloksissa ei havaita samankaltaista satotason pientymistä muokkausmenetelmien välillä.

Kylvömenetelmien välisien satotasojen eroja ei ole tutkittu niin paljon kuin muokkausmenetelmien vaikutusta satotasoon. Tämän tutkimuksen tulokset antoivat hyvää tietoa jyrinkylvöyhdistelmästä eri sääolosuhteissa. Jyrinkylvöyhdistelmällä saavutettiin poikkeuksellisen hyvä jyväsato verrattuna muihin kylvömenetelmiin koko koejakson aikana riippumatta perusmuokkauksesta. Jyrinkylvöyhdistelmällä saavutettiin keskimäärin 11 % suurempi jyväsato kaksikiekkovantaiseen kylvökoneeseen nähden ja 12 % parempi jyväsato yksikiekkovannaskylvökoneeseen verrattuna.

6.3 Kylvö- ja muokkausmenetelmien vaikutus ravinnesatoihin

Muokkaus- ja kylvömenetelmillä ei ollut suurta vaikutusta jyvien tai olkien sisältämiin fosforipitoisuuksiin. Eri muokkausmenetelmillä saavutettuja ravinnesatoja on tutkittu hyvin vähän. Typpipitoisuus jyvissä oli suurin sänkimuokatulla maalla. Toiseksi korkein pitoisuus oli kynnetyltä maalta ja pienin muokkaamattomalta maalta mitatuissa typpipitoisuuksissa. Tulokset poikkeavat Martin-Rueda ym. 2007 mittaamiin tuloksiin hieta maalla. Hänen tutkimuksessaan muokkaamattoman maalta mitatuissa jyväsadossa pitoisuus oli korkein ja kynnetyn maan matalin. Tuloksiin oli laskettu neljän koevuoden keskiarvo. Moller Hansen ym. (1997) mukaan Tanskassa hiekkamaalla tehdyissä tutkimuksissa saavutettiin samankaltaisia tuloksia kuin omassa tutkimuksessa. Suurin typpipitoisuus saavutettiin kynnetyltä maalta ja toiseksi suurin sänkimuokatulta maalta. Alhaisin typpipitoisuus mitattiin muokkaamattomalta maalta. Moller Hansenin tutkimuksessa typpisato oli korkein viiden vuoden tutkimuksien keskiarvona mitatuissa tuloksissa sänkimuokatulla maalla ja pienin muokkaamattomalla maalla. Tulokset ovat samankaltaiset kuin omassa tutkimuksessa saadut tulokset.

Olkisadon typpipitoisuutta tutkittiin Moller Hansen ym. tutkimuksessa 1997. Hänen tutkimuksessaan suurin typpipitoisuus ja typpisato saatiin sänkimuokatulta maalta. Hänen tutkimuksessaan suorakylvetyn ja kynnetyn maan olkien typpipitoisuudet olivat lähes yhtä suuret ja tuottivat saman typpisadon. Tässä tutkimuksessa sänkimuokattu maa tuotti keskimäärin suurimman typpisadon oljissa ja muokkaamaton maa alhaisimman typpisadon.

6.4 Muokkaus- ja kylvömenetelmien vaikutus ravinnetaseisiin

Koko koejakson yhteenlaskettujen ravinnetaseiden keskiarvoja tutkittaessa kävi ilmi, että ravinnetaseissa ei ole juurikaan eroja. Menetelmien välinen typpitasekeskiarvo koko koejaksolla oli suorakylvetyillä lohkoilla 37,45 kg/ha, sänkimuokatulla lohkoilla 36,85 kg/ha ja kynnetyllä maalla 37,7 kg/ha. Rankinen ym. (2007) tuloksien mukaan, 110 kg/ha typpilannoituksella saavutettiin keskimäärin 32 kg/ha typpitase ohralla. Samantapaisia tuloksia saatiin myös Valkama ym. tekemissä tutkimuksissa vuonna 2013. Vuosien sisäisessä tarkastelussa menetelmien välille syntyi kuitenkin eroja, jotka johtuvat sääoloista ja erityisesti sademäärästä.

Fosforitaseiden keskiarvot koejakson aikana jolloin fosforilannoitusta annettiin olivat muokkaamattomalta maalta n. 2,3 kg/ha, sänkimuokatulla maalla n. 1,8 kg/ha ja kynnetyllä maalla 1,8 kg/ha. Tulokset poikkeavat Muukkonen ym.(2006) tutkituista tuloksista. Tutkimuksessa neljän vuoden keskiarvo savimailla eri muokkausmenetelmien välillä tuotti tuloksen, jossa perusmuokatun maan fosforitaseen keskiarvo oli 5 kg/ha ja muokkaamattoman maan 12 kg/ha.

Jyrsinkylvöyhdistelmällä saavutettiin keskimäärin 8 kg/ha paremmat typpitaseet kuin kaksikiikkovantaisella kylvökoneella ja 7 kg/ha paremmat typpitaseet kuin yksikiikkovantaisella kylvökoneella kun lasketaan keskiarvo yli perusmuokkauksien. Fosforitaseen osalta jyrsinkylvöyhdistelmällä saavutettiin 1 kg/ha paremmat taseet kuin kaksikiikkovantaisella kylvökoneella ja 1 kg/ha parempi fosforitase kuin yksikiikkovantaisella kylvökoneella. Kylvömenetelmien välisiä eroja ravinnetaseisiin ei ole tutkittu kovinkaan paljon aikaisemmin, joten vertailua eri tutkimuksien välillä on vaikea esittää.

6.6 Ravinteiden hyväksikäyttö eri kylvö- ja muokkausmenetelmillä

Muokkausmenetelmien osalta sänkimuokatun maan hyötykäyttöprosentti on suurimpana osana koevuosista suurin ja kynnetty ja muokkaamaton maa tulee tämän jälkeen pääsääntöisesti niin, että kynnetyn maan hyväksikäyttöprosentti on suurempi kuin muokkaamattoman maan. Kylvömenetelmien osalta jyrsinkylvöyhdistelmän tulos on paras lähes poikkeuksetta jokaisena koevuotena. Vain vuosina 2000 ja 2001 yksikiikkovantainen kylvökoneella saavutetaan parempi tulos. Kylvömenetelmien välisistä tutkimuksista ei ole vertailevia tuloksia saatavissa.

6.7 Sademäärän vaikutus ravinnetaseisiin

Kylvö- ja muokkausmenetelmien sekä sademäärän vaikutus ravinnetaseisiin mukailevat De Vita ym. 2007 tutkimusta. Hänen tutkimuksessaan ei tutkittu ravinnetaseita vaan satotaso, mutta se on suoraan verrannollinen myös taseisiin, sillä sadosta määritettyjen typpi- ja fosforipitoisuuksien vaihtelu eri muokkausmenetelmillä on hyvin vähäistä. Selityksinä vaihteluille on maan sisäinen kosteus. Kuivana vuonna sänkimaa pidättää paremmin kosteutta maassa ja näin sitä

on käytettävissä viljakasville tasaisemmin koko kasvukauden ajan. Kynnetty maa vastaavasti kuivuu ja kosteus häviää (Sarkas ym. 2006).

9. Johtopäätökset

Jos jyvä- tai olkisato jää alhaiseksi tase nousee selvästi korkeammaksi kuin suuremmalla sadolla. Taseisiin vaikuttaa myös jyvien ja olkien ravinnepitoisuudet. Ravinnepitoisuuksilla ei ole tutkimuksen mukaan suurta eroa keskenään, joten jyvä- sekä olkisadolla on suuri yksittäinen merkitys taseiden suuruuteen.

Muokkausmenetelmiä tarkasteltaessa, sänkimuokkauksella saavutettiin tasaisempia taseita kuin muokkaamattomalla tai kynnetyllä maalla. Kynnetyn maan tase oli parempi vuosina jolloin sademäärä oli keskimääräistä suurempi. Muokkaamattomalla maalla saavutettiin paremmat taseet kuivina vuosina. Tämä johtuu suurimmaksi osaksi siitä, että maa pystyy varastoimaan vettä eri määrän eri muokkausmenetelmillä.

Kylvömenetelmiä tarkasteltaessa, jyrsinkylvöyhdistelmä tuotti lähes poikkeuksetta parhaat ravinnetaseet. Jyrsinkylvömenetelmä soveltuu moneen eri muokkauspinnaan, joka mahdollistaa sen monipuolisen käytön. Kylvömenetelmällä ja sääolosuhteilla ei ollut selvää riippuvuutta toisistaan, vaan perusmuokkauksella ja sääolosuhteilla oli suuri riippuvuus.

Sääolosuhteilla ja etenkin sademäärällä on merkitystä ravinnetaseiden lopputuloksissa. Vuosien välinen tarkastelu osoitti, että optimaalisissa sääolosuhteissa kylvö- tai muokkausmenetelmillä ei ole vaikutusta ravinnetaseisiin. Äärisääilmiöt sen sijaan lisäsi ravinnetaseiden eroja jotka näkyivät vuosien sisäisissä tarkasteluissa.

10. Lähteet:

Alakukku, L., Elonen, P. 1995. Long-term effects of a single compaction by heavy field traffic on yield and nitrogen uptake of annual crops. *Soil & Tillage Research* 36: 141–152

Alakukku, L., Mikkola, H., Teräväinen, H. 2004. Suorakylvöopas.

Alakukku, L., Ristolainen, A., Salo, T. 2009. Grain yield and nutrient balance of spring cereals in different tillage systems. *Proceedings of ISTRO 18th Triennial Conference Sustainable Agriculture*, June 15–19, 2009. Izmir, Turkey.

Alvarez, R., Steinbach, H.S. 2008. A review of the effects of tillage system on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the argentine Pampas. *Soil & Tillage Research* 104: 1–15.

Anon. 2006. MTT julkaisu Rehutaulukot ja ruokintasuositukset. MTT:n selvityksiä 106 84 s

- Arvidsson, J., 2010a. Direct drilling possible with a good preceding crop. *Arvensis. J. Swedish Rural Econ. Agric. Soc.* 4, 9–10 (in Swedish).
- Arvidsson, J., Etana, A., Rydberg, T. 2013. Crop yield in Swedish experiments with shallow tillage and no-tillage 1983-2012. *European Journal of Agronomy* 52: 307–315.
- Ashcroft, M., Gollan, J. 2013 Moisture, thermal inertia, and the spatial distributions of near-surface soil and air temperatures: Understanding factors that promote microrefugia. *Agricultural and Forest Meteorology* 176: 77–89.
- Atkinson, B., Sparkes, D., Mooney, S. 2007. Using selected physical properties of seedbeds to predict crop establishment. *Soil and Tillage Research* 97: 218–228.
- Aura, E. 1999. Effect of shallow tillage on physical properties of clay soil and growth of spring cereals in dry and moist summers in southern Finland. *Soil and Tillage Research* 50: 169–176.
- AOAC methods. 1980. Thirteen edition, 7.021, 14.068
- Barker, C.J., Saxton, K.E., Ritchie, W.R., Chamen, W.C.T., Reicosky, D.C., Ribeiro, M.F.S., Justice, S.E., Hobbs, P.R. 2006. *No-Tillage Seeding in Conservation Agriculture. Second Edition.*
- Bengough, A.G., Bransvy, M.F., Hans, J., McKenna, S.J., Roberts, T.J., Valentine, T.A. 2006. Root responses to soil physical conditions: growth dynamics from field to cell. *Journal Of Experimental Botany*. 57 (2), 437–447.
- Børresen, T., 1999. The effect of straw management and reduced tillage on soil properties and crop yields of spring-sown cereals on two loam soils in Norway. *Soil and Tillage Research* 51: 91–102.
- Børresen, T., Njos, A. 1993. Ploughing and rotary cultivation for cereal production in a long-term experiment on clay soil in south.eastern Norway. 1. Soil properties. *Soil and Tillage Research* 28: 97–108.
- Carter, M.R., 1991. Evaluation of shallow tillage for spring cereals on a fine sandy loam. 1. Growth and yield components. N accumulation and tillage economics. *Soil and Tillage Research* 21: 23–35.

- Christian, D.G., Ball, B.C. 1994. Reduced cultivations and direct drilling for cereals in Great Britain. In: Carter, M.R. (Ed.), Conservation Tillage in Temperate Agroecosystems, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida USA, pp. 117–140.
- Deibert, E. J. 2000. Fertilizer Application with small grain seed at planting. North Dakota State University. <http://www.ag.ndsu.edu/pubs/plantsci/soilfert/eb62.pdf>
- De Vita, P., Di Paolo, E., Fecondo, G., Di Fonzo, N., Pisante, M. 2007 No-Tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil and Tillage Research* 92: 69–78.
- Douglas, L., Karlen, A., Kovar, J.L., Cambardella, C.A., Colvin, T.S., 2013 Thirty-year tillage effects on crop yield and soil fertility indicators. *Soil and Tillage Research* 130: 24–41.
- Ekeberg, E., Riley, H.C.F. 1997. Tillage intensity effect on soil properties and crop yields in a long-term trial on morainic loam soil in southeast Norway. *Soil and Tillage Research*: 277–293.
- Filipovic, D., Husnjak, S., Kosutic, S., Cospodaric, Z. 2005 Effects of tillage systems on compaction and crop yield of Albic Luvisol in Croatia. *Journal of Terramechanics* 43: 177–189.
- Francis, G.S., Knight, T.L., 1993. Long-term effects of conventional and no-tillage on selected soil properties and crop yields in Canterbury, New Zealand. *Soil & Tillage Research* 26: 193–210
- Gericke, S., Kurmies, B. 1952. Phosphorsäure-bestimmung mit Ammonium Vanadat-Molibdat und ihre Anwendung in der Pflanzenanalyse. *Zeitschr. Pflanzenernähr. Bodenk.* 59, 235–247.
- Hakojärvi, M., Hautala, M., Ristolainen, A. & Alakukku, L. 2013. Yield variation of spring cereals in relation to selected soil physical properties on three clay soil fields. *European J Agronomy* 49:1-11.
- Hansen, N.C., Gupta, S.C., Moncrief, J.F., 2000. Snowmelt runoff, sediment, and phosphorus losses under three different tillage systems. *Soil And Tillage Research* 57, 93–100.
- Hermanwan, B., Bomke, A.A. 1997. Effect of winter cover crops and successive spring tillage on soil aggregation. *Soil Tillage Research* 44: 109–120.

- Holanda, F.S.R, Mengel, D.B, Paula, M.B, Carvaho, J.G, Bertoni, J.C. 1998 Influence of crop rotations and tillage systems on phosphorus and potassium stratification and root distribution in the soil profile
- Huang, G., Chai, Q., Feng, F., Yu, A. 2012 Effects of Different Tillage Systems on Soil Properties, Root Growth, Grain Yield, and Water Use Efficiency of Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) in Arid Northwest China. *Journal of Intergrative Agriculture* 11(8): 1286–1296.
- Huhtapalo, Å. 1980. Fördelar och nackdelar med kombisådd. *Lantmannen* 101, 5: 8–12.
- Kahlon, M., Lal, R., Ann-Varughese, M. 2013 Twenty two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio. *Soil and Tillage Research* 126: 151–158.
- Känkänen, H., 2008. Effects of direct drilling on spring cereals, turnip rape and pea. In: NJF Seminar 418: New Insights into Sustainable Cultivation Methods in Agriculture, Piikkiö, Finland, 17–19 September 2008. NJF Report 4, vol. 3, pp. 10–11.
- Känkänen, H., Alakukku, L., Salo, Y., Pitkänen, T. 2011. Growth and yield of spring cereals during transition to zero tillage on clay soils. *European Journal of Agronomy*, 34: 35–45.
- Lampurlanés, J., Angás, P., Cantero-Martinez, C. 2000. Root growth, soil water content and yield of barley under different tillage system on two soils in semiarid conditions. *Field Crops Research* 69: 27–40.
- Lipiec, J., Stepniewski, W. 1995. Effects of soil compaction and tillage systems on uptake and losses of nutrients. *Soil and Tillage Research* 35: 37–52.
- López-Fando, C., Pardo, M.T. 2011. Use of a partial-width tillage system maintains benefits of no-tillage in increasing total soil nitrogen. *Soil and Tillage Research* 118: 32–39.
- Lötjönen, T., Pitkänen, J., Vanhala, P., Jalli, M., Mikkola, H. 1999. Kyntämättä viljelyn vaikutus rikkakasveihin ja kasvitauteihin.
- Malhi, S., Lemke, R., Wang, Z.H., Baldev, S., Chhabra, S. 2006. Tillage, nitrogen and crop residue effects on crop yield, nutrient uptake, soil quality, and greenhouse gas emission. *Soil and Tillage Research* 90: 171–183.
- Martin-Rueda, I., Munozguerra, L., Yunta, F., Esteban, E., Tenorio, J., Lucena, J. 2007 Tillage and crop rotation effects on barley yield and soil nutrients on a Calciortidic Haploxeralf. *Soil and Tillage Research* 92: 1–9.

- Melaj, M.A., Lopez, S.C., Barbaro, N.O. 2003. Timing of Nitrogen Fertilization in Wheat under Conventional and No-Tillage System.
- Mikkola, H & Pitkänen, J. 2002. Maan rakenteen hoito.
- Moller Hansen, E., Djurhuus, J. 1997. Yield and N uptake as affected by soil tillage and catch crop. *Soil and Tillage Research* 42: 241–252.
- Moroizumi, T. 1998. The Effect of Tillage on the Temperature and Water in an Unsaturated Soil Zone.
- MTT julkaisu 2006. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset. MTT:n selvityksiä 106 84 s
- Muukkonen P, Hartikainen H, Lahti K, Särkelä A, Puustinen M, Alakukku L. 2006. Influence of no-tillage on the distribution and lability of phosphorus in Finnish clay soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 120: 299–306
- Niehues, B.J., Lamond, R.E., Godsey, C.B., Olsen, C.J. 2004. *Satrtter Nitrogen Fertilizer Management for Continuous No-Till Corn Production*
- O'Sullivan, M.F., Ball, B.C. 1982. Spring barley growth, grain quality and soil physical conditions in a cultivations experiment on a sandy loam in Scotland.
- Ochsner, T.E., Horton, R., Ren, T. 2001. A New Perspective on Soil Thermal Properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 1641–1647.
- OECD & EUROSTAT. 2007. Gross nitrogen balance handbook. www.oecd.org/greengrowth/sustainable-agriculture/40820234.pdf
- Pitkänen, J., 1994. A long-term comparison of ploughing and shallow tillage on the yield of spring cereals in Finland. In: Vol. II: Proceeding 13th Conference International Soil Tillage Research Organization, Aalborg, Denmark, July 24–29, pp. 709–715.
- Puustinen, M., Tattari, S., Koskiahho, J., Linjama, J. 2007 Influence of seasonal and annual hydrological variations on erosion and phosphorus transport from arable areas in Finland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 120: 299–306.
- Rankinen, K., Salo, T., Granlund, K., Rita, H., 2007. Simulated nitrogen leaching, nitrogen mass field balances and their correlation on four farms in southwestern Finland during the period 2000–2005. *Agric. Food Sci.* 16, 387–406.

- Rasmussen, K.J. 1988. Ploughing, direct drilling and reduced cultivation for cereals. *Dan. J. Plant Soil Sci.* 95: 105–118.
- Rasmussen, K.J. 1994. Experiments with no-inversion tillage in Scandinavia-Impacts on crop yield, soil structure and fertilization. *Proceeding of the EC-workshop-I, Giessen, 27-28 June 1994. Wissenschaftlicher Fachverlag*, 38–48.
- Rasmussen, K.J. 1999. Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality. *Soil and Tillage Research* 53: 3–14.
- Riley, H., Borresen, T., Ekeberg, E., Rydberg, T. 1994. Trends in reduced tillage research and practice in Scandinavia. *Cons. Till in Temp. Agroecosystems. Lewis Publishers*, pp. 23–45.
- Riley, H. 1996. Estimation of physical properties of cultivated soils in south-east Norway from readily available soil information. *Norwegian Journal of Agricultural Science. No. 25*, 51 pp.
- Rydberg, T. 1987. Studies in ploughless tillage in Sweden 1975–1986. Division of Soil Management, Uppsala, Sweden, Report No. 76, 35 pp.
- Salo, T., Turtola, E. 2005 Nitrogen balance as an indicator of nitrogen leaching in Finland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113: 98–107.
- Sarkas, S., Singh, S.R. 2006. Interactive effect of tillage depth and mulch on soil temperature, productivity and water use pattern of rainfed barley (*Hordium vulgare* L.)
- Schjønning, P., Høy, J.J., Munkholm, L.J., 2010a. Soil tillage effects on the development of winter wheat yields in Denmark. In: Petersen, J., Haarstrup, M., Knudsen, L., Olesen, J.E. (Eds.), *Causes of Yield Stagnation in Winter Wheat in Denmark. DJF Report Plant Science No 147, Aarhus University, Denmark*, pp. 105–119.
- Seppänen, M., Mäkelä, P., Yli-Halla, M., Helenius, J., Kallela, M., Stoddard, F., Teeri, T. 2008. *Peltokasvien tuotanto*.
- Sijtsma, C.H., Campbell, A.J., McLaughlin, N.B., Carter, M.R. 1997. Comparative tillage costs for crop rotation utilizing minimum tillage on a farm scale. *Soil & tillage Research* 49: 223–231.
- Soane, B.D., Ball B.C., 1998. Review of management and conduct of long-term tillage studies with special reference to a 25-year experiment on barley in Scotland. *Soil & tillage Research* 45: 17–37.

Särkelä, A., Muukkonen, P. ja Valkama, P. 2010 Eroosion torjunta, keskeinen toimenpide maatalouden vesiensuojelussa.

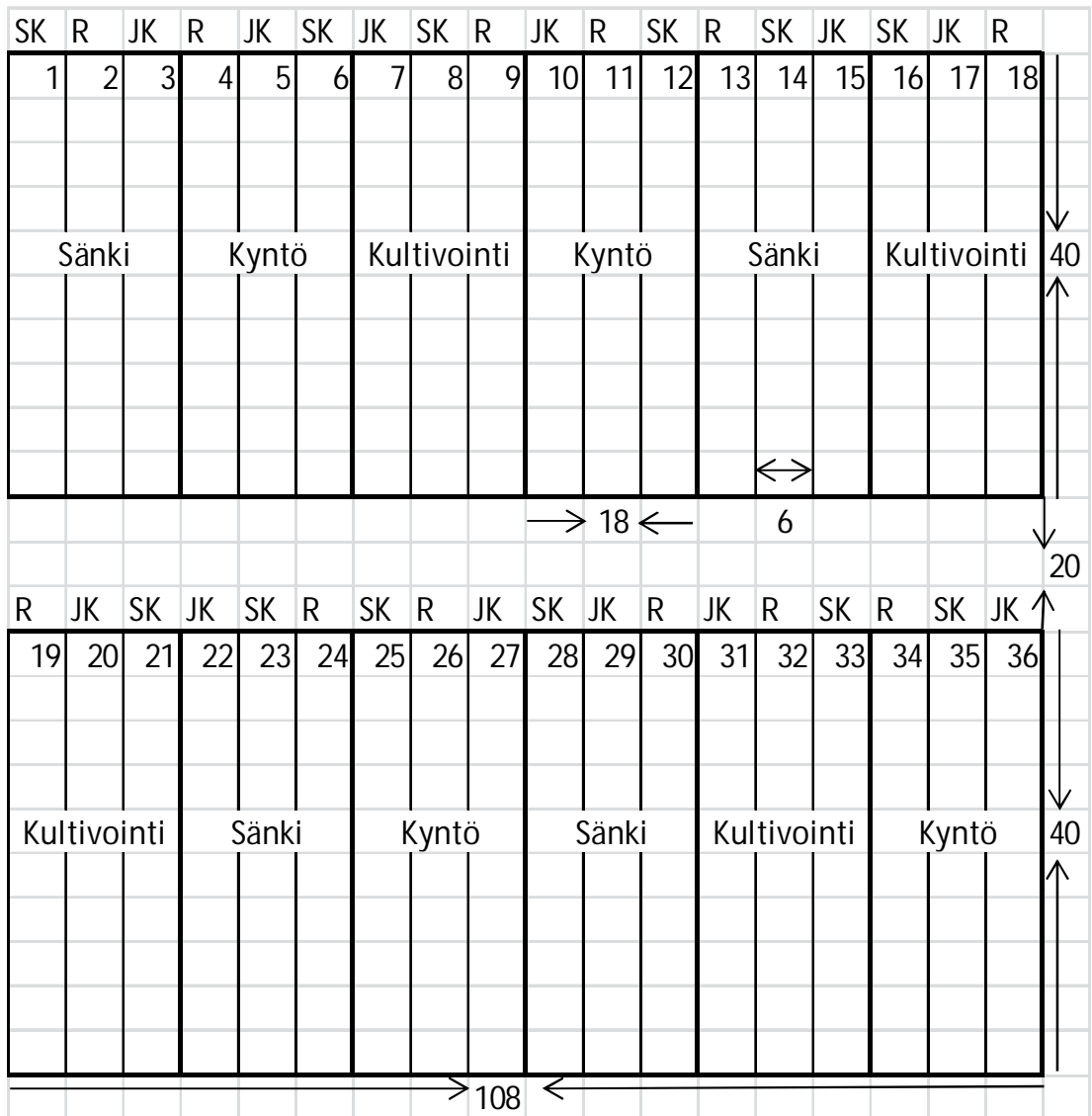
Tike 2010. Viljelysmaan hoito. Verkkojulkaisu 20.10.2011

Valkama, E., Salo, T., Esala, M., Turtola, E. 2012. Nitrogen balancer and yields of spring cereals as affected by nitrogen fertilization in northern conditions: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 164: 1–13.

Yagmur, M., Kaydan, D. 2008. The effect of different sowing depth on grain yield and some grain yield components in wheat (*Triticum aestivum L.*) cultivars under dryland conditions. *African Journal of Biotechnology* Vol. 8: 196–201.

Zentner, R.P., Lafond, G.P., Derksen, D.A., Campbell, C.A. 2002. Tillage method and crop diversification: effect on economic returns and riskiness of cropping systems in a Thin Black Chernozem of the Canadian Prairies. *Soil & Tillage Research* 67: 9–21.

Liite 1: Koekenttä



Liite 2: Viljelytoimenpiteiden suorituspäivät koejakson aikana.

Vuosi	JK kylvö	VM kylvö p	R kylvö pv	JK puinti	VM puinti	R puinti	Kyntö	Kultivointi	Lapiorullaäes	
2000	9.5.	9.5.	9.5.	11.9.	11.9.	11.9.	11.9.	25.9.	25.9.	-
2001	9.5.	9.5.	10.5.	21.8.	21.8.	21.8.	21.8.	24.9.	24.9.	-
2002	2.5.	3.5.	2.5.	13.8.	13.8.	13.8.	13.8.	24.9.	25.9.	-
2003	28.5.	28.5.	29.5.	28.8.	28.8.	28.8.	28.8.	10.10.	4.11.	-
2004	3.5.	17.5.	3.5.	6.9.	6.9.	6.9.	6.9.	4.11.	-	8.11.
2005	10.5.	11.5.	10.5.	22.8.	22.8.	22.8.	22.8.	3.10.	4.10.	-
2006	9.5.	10.5.	10.5.	14.8.	14.8.	14.8.	14.8.	26.9.	28.9.	-
2007	11.5.	14.5.	14.5.	23.8.	23.8.	23.8.	23.8.	25.9.	27.9.	-
2008	14.5.	16.5.	14.5.	23.8.	23.8.	23.8.	23.8.			-
2009	18.5.	19.5.	19.5.	7.9.	7.9.	7.9.	7.9.	13.10.	15.10.	-
2010	19.5.	20.5.	20.5.	24.8.	24.8.	24.8.	24.8.	11.10.	12.10.	-

Liite 3: Kasvuajan kuukausittaiset sademäärät ja sadesumma (toukokuu - syyskuu).

	Sademäärä (mm)					Touko-syyskuu
	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	
2000	27	51	114	84	16	291
2001	37	53	73	71	136	369
2002	32	95	66	13	12	219
2003	82	72	68	80	12	314
2004	60	122	129	86	98	495
2005	27	57	75	184	27	370
2006	34	59	27	48	50	218
2007	59	27	23	48	50	207
2008	20	85	31	112	39	288
2009	20	62	60	59	46	246
2010	73	53	42	54	69	291
1980-2010	36	66	72	85	55	314

Liite 4: Ravinnetaseet muokkaus- ja kylvömenetelmillä.

Muokkaus	Kylvö	Vuosi										
		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Typpitase kg/ha												
Sänki	SK	56,76	52,48	48,74	43,54	77,73	28,83	32,99	28,13	56,48	47,14	79,41
Sänki	R	55,02	35,07	37,25	36,62	68,20	27,26	27,54	32,94	50,36	49,77	78,71
Sänki	JK	51,80	35,98	30,15	28,58	62,27	21,89	22,29	25,20	39,14	33,77	50,55
Kyntö	R	55,74	30,82	44,06	40,16	42,36	24,83	40,36	43,66	43,57	47,32	67,91
Kyntö	JK	54,40	41,98	32,83	50,56	33,16	23,59	35,61	31,64	35,21	26,89	48,06
Kyntö	SK	60,06	41,97	47,25	38,23	37,76	27,25	40,51	31,66	45,31	37,02	60,40
Sänkimuok.	JK	49,49	28,19	36,53	25,85	43,56	23,78	28,73	27,80	45,33	35,92	51,52
Sänkimuok.	SK	58,68	32,65	50,84	31,67	41,40	26,01	30,78	25,66	50,62	38,57	76,75
Sänkimuok.	R	53,22	33,25	45,05	32,92	42,73	23,30	30,55	32,05	52,94	45,04	72,94
Fosforitase kg/ha												
Muokkaus	Kylvö	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Sänki	SK	10,44	10,04	4,39	5,09	9,61	1,49	1,77	-8,53	-5,63	-12,81	-3,95
Sänki	R	9,94	7,12	2,55	4,24	8,50	1,11	1,71	-7,26	-6,47	-12,21	-4,22
Sänki	JK	10,34	7,46	1,03	2,63	6,88	-0,12	1,17	-8,14	-8,61	-14,97	-9,69
Kyntö	R	10,13	5,72	3,85	4,25	1,86	-0,41	4,33	-4,09	-6,54	-12,32	-6,64
Kyntö	JK	10,78	9,23	1,80	2,49	-0,07	-0,85	3,69	-6,85	-8,44	-15,79	-10,29
Kyntö	SK	11,09	8,52	4,02	4,56	0,55	-0,06	3,91	-6,92	-6,56	-14,35	-8,12
Sänkimuok.	JK	9,63	5,69	3,14	2,36	3,21	-0,04	2,07	-7,92	-6,41	-13,70	-9,01
Sänkimuok.	SK	10,66	7,12	4,61	4,37	1,47	0,50	1,88	-8,13	-5,15	-13,30	-4,24
Sänkimuok.	R	9,42	6,25	4,84	3,64	2,93	-0,11	2,56	-6,58	-3,91	-11,95	-5,01