

*M a a t a l o u d e n  
t u t k i m u s k e s k u k s e n  
j u l k a i s u j a*

S A R J A B

18

*Riitta Lemola  
Eila Turtola*

**Kasvipeitteisyys, eroosio ja  
ravinnekuormitus**

**Kirjallisuuskatsaus**

*Riitta Lemola*  
*Eila Turtola*

---

# **Kasvipeitteisyys, eroosio ja ravinnekuormitus**

**Kirjallisuuskatsaus**

---

**Maatalouden tutkimuskeskus**

ISBN 951-729-531-6

ISSN 1238-9943

*Copyright*

Maatalouden tutkimuskeskus

Riitta Lemola

Eila Turtola

*Julkaisija*

Maatalouden tutkimuskeskus, 31600 Jokioinen

*Jakelu ja myynti*

Maatalouden tutkimuskeskus, tietopalveluyksikkö, 31600 Jokioinen

Puhelin (03) 4188 7502, telekopio (03) 418 8339

*Painatus*

Yliopistopaino, 1998

Sisäsivujen painopaperille on myönnetty pohjoismainen joutsenmerkki.

Kansimateriaali on 75-prosenttisesti uusiokuitua.

## Tiivistelmä

*Avainsanat: aluskasvi, liukoinen fosfori, nurmi, partikkelifosfori, suojakaista, syysänkimuokkaus, syysvilja, sänki, typpi, viherkesanto*

Tutkimuksessa tarkasteltiin maatalouden ympäristötuessa määriteltujen kasvipeitevaihtoehtojen vaikutusta vesistökuormitukseen. Kasvipeitteellä voidaan vähentää eroosiota ja typen huuhtoutumista. Elävä tai maahan kiinnittynyt kasvipeite (nurmi, sänki) rajoittaa kuormitusta enemmän kuin irrallaan olevat kuolleet kasvinjätteet (olki, naatit). Kasvipeitteistä tehokkaimmat eroosion ja typpikuormituksen vähentäjät ovat suojaviljaan perustettu monivuotinen viherkesanto ja monivuotinen viljelynurmi. Typen huuhtoutumista voidaan rajoittaa myös keväällä kylvettävillä aluskasveilla, erityisesti raiheinällä. Syysviljat vähentävät typen huuhtoutumista, mutta eroosion suhteen tulokset vaihtelevat. Pellon jättäminen syksyllä muokkaamatta vähentää eroosiota ja voi vähentää typen huuhtoutumista, jos kevätmuokkaus on peltolohkolla viljelyteknisesti mahdollista. Kynnön korvaaminen matalalla syysänkimuokkauk-

sella voi vähentää eroosiota kaltevilla mailloilla, joilla pintavalunta on runsasta. Jos salaojavalunta on vallitsevampi, sänkimuokkaus ei pysty samalla tavalla rajoittamaan eroosiota. Jyrkälle rinteeseen osalle sijoitettuna suojakaistat ja -vyöhykkeet torjuvat tehokkaimmin kuormitusta toimien monivuotisten nurmien tavoin eli vähentäen eroosiota ja typen huuhtoutumista omalta alueeltaan. Moniin kasvipeitemuotoihin sisältyy riski fosforikuormituksen kasvamisesta. Riski on erityisen suuri monivuotisilla nurmilla, joille levitetään fosforilannoitteita pintaan. Myös muokkausvyöhykkeiden madaltuminen aiheuttaa fosforin rikastumista ohuempaan pintakerrokseen ja lisää liuenneen fosforin huuhtoutumista, jos pintavalunta ei samalla vähenä. Kasvipeitteisyyden sijasta fosforikuormitusta on rajoitettava välttämällä fosforin pinta-annostusta ja alentamalla helppoliukoisien fosforin pitoisuutta mailla, joilla se ylittää viljelykasvien tarpeen.

# Alkusanat

Maatalouden ympäristötuen (v. 1995–99) vaatimusten mukaan A- ja B-tukialueella sijaitsevien maatilojen peltojen pinta-alasta 30 % tulee olla kasvipeitteisiä kasvukauden ulkopuolella (MMM 1998). Tässä kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan kasvipeitteisyyden vaikutusta eroosioon ja ravinnekuormitukseen.

Ympäristötuen kasvipeitteeksi katsotaan nurmi, ruis, syysvehnä (kylvetty ennen 10.9.), ruisvehnä, sänki, suorakylvö sänkeen ja kerääjäkasvit (kylvetty viimeistään 31.8.). Lisäksi viherkesanto, suojakaistat, suojavyöhykkeet ja monivuotiset puutarhakasvit katsotaan kasvipeitteeksi. Sokerijuurikkaan, perunan ja avomaanvihannesten naatit pitää jättää sadonkorjuun jälkeen pellolle hajalleen, jos kasvipeitteisyyden halutaan lohkon osalta täyttyvän. Kemiaallisesti tuhottu naatisto ei kuitenkaan täytä kasvipeitteisyysvaatimusta. Kevennetyn muokkauksen avulla voidaan myös täyttää kasvipeitteisyysvaatimus. Tällöin huomattavan osan sängestä tai kasvinjäännöksistä tulee jäädä maan pinnalle. Sänkimuokkaus voidaan tehdä kultivaattorilla, lautas-, lapi-

orulla- tai joustopiikkiäkeellä. Kasvipeitteisyyden tulee säilyä lohkolla kylvömuokkaukseen tai vastaavaan viljelytoimenpiteeseen saakka, mikä useimmiten tarkoittaa seuraavaa kevättä.

Koska kasvipeitteisyysvaatimus voidaan täyttää hyvin eri tavoin, on odotettavaa, että vaikutus eroosioon sekä fosforin ja typen huuhtoutumiseen vaihtelee huomattavasti. Nyt käsillä olevaan kirjallisuustutkimukseen on sisällytetty pääasiassa kotimaisia ja pohjoismaisia tuloksia tutkimuksista, joissa on mitattu eroosiota ja/tai fosforin kulkeutumista ja typen huuhtoutumista eri tavoin kasvipeitteisiltä peltoalueilta. Pohjoismaihin rajoittumisen perusteena on samantapaiset sääolosuhteet ja viljelymenetelmät, mikä helpottaa tutkimustulosten soveltamista Suomen oloihin.

Kirjallisuuskatsaus on väliraportti tutkimushankkeesta "Ympäristötuen kasvipeitteisyysvaatimuksen ympäristövaikutukset". Kirjoittajat haluavat kiittää tutkimuksen rahoituksesta maa- ja metsätalousministeriötä.

Jokioisilla marraskuussa 1998

*Riitta Lemola*  
*Tutkija*

*Eila Turtola*  
*Vanhempi tutkija*

# Sisällys

Tiivistelmä .....	3
Alkusanat .....	4
1 Monivuotinen nurmi .....	6
1.1 Eroosio ja fosfori .....	6
1.2 Typpi .....	7
2 Kerääjäkasvit .....	8
2.1 Eroosio ja fosfori .....	9
2.2 Typpi .....	9
3 Viherkesanto .....	12
3.1 Eroosio ja fosfori .....	12
3.2 Typpi .....	12
4 Suojakaistat ja -vyöhykkeet .....	13
4.1 Eroosio ja fosfori .....	13
4.2 Typpi .....	15
5 Syysviljat .....	15
5.1 Eroosio ja fosfori .....	15
5.2 Typpi .....	16
6 Kevennetty muokkaus .....	16
6.1 Eroosio ja fosfori .....	17
6.1.1 Suorakylvö .....	17
6.1.2 Sängelle jättäminen (muokkaus keväällä) .....	18
6.1.3 Syyssänkimuokkaus .....	20
6.2 Typpi .....	21
6.2.1 Suorakylvö .....	21
6.2.2 Sängelle jättäminen (muokkaus keväällä) .....	22
6.2.3 Syyssänkimuokkaus .....	22
7 Yhteenvedo ja johtopäätökset .....	23
Kirjallisuus .....	25
Liitteet 1–4 .....	

# 1 Monivuotinen nurmi

Monivuotinen nurmi vähentää eroosiota, koska se suojaa maata sadepisaroiden suorilta iskuilta, jotka aiheuttavat eroosioprosessin ensimmäisen vaiheen (Hudson 1971). Nurmi kuten muukin tiheä kasvillisuus voi myös hidastaa maan pinnalla virtaavan veden nopeutta ja samalla vähentää sen kykyä kuljettaa eroosioainesta (Linsley et al. 1949). Vähentämällä eroosiota nurmi vähentää samalla maa-ainekseen kiinnittyneen partikkelifosforin kulkeutumista. Sitä vastoin nurmi saattaa lisätä liukoisen fosforin ja leville välittömästi käyttökelpoisen partikkelifosforin osuutta pellolta tapahtuvista fosforipäästöistä (Sharpley et al. 1992).

Typen huuhtoutumista monivuotinen nurmi vähentää viljanviljelyyn verrattuna, koska nurmi ottaa typpeä maasta aikaisemmin keväällä ja myöhempään syksyllä pienentäen maan mineraalitypen määrää huuhtoutumiselle kriittisinä ajankohtina. Nurmen maahankynnön jälkeen typen huuhtoutuminen voi lisääntyä nurmimassan hajotessa ja typen vapautuessa mineraalimuotoon.

## 1.1 Eroosio ja fosfori

Kaakkois-Norjassa suoritettussa kokeessa monivuotinen nurmi vähensi viiden koevuoden aikana eroosiota keskimäärin 98 % (Bjørnebekk) ja 92 % (Øsaker) kevätiljojen viljelyyn verrattuna. Keskimääräinen vuotuinen eroosio nurmilta oli vain 330 (Bjørnebekk) ja 180 kg/ha (Øsaker). Hellerudin kentällä nurmi vähensi eroosiota 96 % viljan sänkeen verrattuna. Kenttien kaltevuus on 12 % (Bjørnebekk ja Øsaker) ja 10 % (Hellerud) ja maalajeiltaan ne ovat hiesusavea (Bjørnebekk ja Hellerud) ja jäykkää savea (Øsaker) (Skøien 1988). Kaikki kentät on tasoitettu keinotekoisesti viljelyn helpottamiseksi. Kokonaisfosforin kulkeutumista pintavalunnassa nurmi vähensi norjalaisissa tutkimuksissa 66–86 % (Lundekvam 1998, Skøien 1988).

Nurmi vähentää eroosiota ja partikkelifosforin kulkeutumista, kun sitä vastoin liukoisen fosforin huuhtoutuminen voi lisääntyä (Uusi-Kämpä & Ylärinta 1993, Turtola & Jaakkola 1995). Liukoista fosforia voi vapautua maan pinnalla olevista kasvinjätteistä talvella jäätyneen ja sulamisen seurauksena (Timmons et al. 1970, Ulén 1984, Uhlen 1988, Turtola 1992, Uusi-Kämpä & Ylärinta 1993, Elton 1995). Kasviaineksesta vapautuvan liukoisen fosforin suhteellinen merkitys on suurempi mailla, jotka sisältävät niukasti helppoliukoista fosforia.

Jos nurmelle annetaan toistuvasti fosforia pintalannoituksena, fosforikuormitus voi kasvaa voimakkaasti. Jokioisten savimaalla kokonaisfosforin vuotuinen huuhtoutuma oli ohran viljelyssä 1,2 kg/ha ja nurmella 1,6 kg/ha (Turtola & Jaakkola 1995). Liukoista fosforia huuhtoutui nurmelta enemmän (1,0 kg/ha) kuin ohran viljelystä (0,37 kg/ha). Nurmella 83 % liukoisen fosforin tappioista tapahtui pintavalunnan kautta, ohralla 70 %. Nurmella liukoisen fosforin huuhtoutuminen painottui paljolti kesään. Tappiot olivat ohraa suuremmat erityisesti sateisena kesänä ja heti pintalannoitusta seuranneiden sateiden jälkeen.

Toholammin hietamaan huuhtoutumiskentällä suoritettussa kokeessa nurmen pintalannoitus kohotti helppoliukoisen fosforin pitoisuutta 0–5 cm pintakerroksessa, minkä seurauksena liukoisen fosforin pitoisuus pintavalunnassa kohosi tasolta alle 0,2 mg/l tasolle 0,6 mg/l (Turtola & Yli-Halla, julkaisematon). Lisäksi pintalannoituksen jälkeen esiintyi jopa 5–10 mg/l pitoisuuksia, jotka olivat seurausta lannoitefosforin suorasta liukenemisestä pintavaluntaveteen (Turtola & Kempainen, julkaisematon).

Viljelty nurmi lisää usein pintavalunnan osuutta kokonaisvalunnasta kynnetyyn maahan verrattuna. Yhtenä syynä voi olla maan pintakerroksen tiivistyminen ja kuoretuminen, kun pintamaata ei vuosittain kuohkeuteta muokkauksella. Pintavalunnan osuus kokonaisvalunnasta oli Jokioisten savimaalla (kaltevuus 2 %) hieman suurempi nurmelta (65 %) kuin ohralta (56 %)

(Turtola & Jaakkola 1995). Toholammin hietamaalla (kalvevuus 1 %) nurmi lisäsi pintavalunnan osuuden 83–100 %:iin kokonaisvalunnasta, kun osuus oli kynnetyltä maalta 48–60 % (Turtola & Kemppainen, julkaisematon). Lounais-Ruotsissa hiususavimaalla (kalvevuus 10 %) pintavalunta oli pinnaltaan tasaisilta kasvillisuuden tai sänggen peittämiltä alueilta talvisaikana suurempaa kuin kynnökseltä (Ulén 1997). Tanskalaisessa tutkimuksessa kahdella koepaikalla, Foulumissa ja Ødumissa pintavalunta oli toisella koepaikalla nurmelta hiukan suurempaa kuin kynnökseltä, mutta toisella koepaikalla pintavalunta oli nurmelta kynnöstä vähäisempää (Olsen et al. 1995).

Salaojaston toimivuudella on keskeinen vaikutus pintavalunnan muodostumiseen. Jokioisten kentän uusintasalaojituksella saatiin pintavalunnan osuus nurmella pudotettua 50–60 %:iin, kun se ennen toimenpidettä oli 70–90 % kokonaisvalunnasta (Turtola & Paajanen 1994, Turtola 1996b). Pintavalunnan suuruus riippuu myös mm. maalajista ja se on savimailla ja hiesumailla muita maalajeja suurempaa.

Sekä eroosio että fosforin kulkeutuminen ovat kiinteästi yhteydessä pintavalunnan määrään (Turtola & Jaakkola 1985, Eltun 1995), koska eroosioaines- ja fosforipitoisuudet ovat pintavalunnassa yleensä salaojavaluntaa suurempia. Savimaalla voi kuitenkin myös salaojien kautta kulkeutua varsin runsaasti eroosioainesta ja partikkelifosforia (Turtola & Paajanen 1995, Øygar-den et al. 1997).

## 1.2 Typpi

Jokioisten savimaalla huuhtoutui ohraa viljeltäessä nitraattityyppiä pinta- ja salaojavesissä keskimäärin 11,1 kg/ha ja nurmesta 5,4 kg/ha vuodessa (Turtola & Jaakkola 1985). Kesäkauden ulkopuolella (1.9.–30.4) nurmesta huuhtoutui nitraattityyppiä yhteensä 2,8 kg/ha vuodessa, kun vastaavana aikana kynnetyistä, ohraa kasvaneesta maasta huuhtoutui 7,1 kg/ha. Ohran typpi-

lannoitus oli 50 ja 100 kg/ha (sijoituslannoitus), kun kaksi kertaa kasvukaudella korjattava nurmi sai ohraan verrattuna kaksinkertaisen typpilannoituksen, 100 ja 200 kg/ha (pintalannoitus). Nurmen ja ohran typpilannoitusten ollessa yhtäsuuria (100 kg/ha) ero kasvien välillä oli vielä suurempi, sillä ohramaasta huuhtoutui salaojavesissä nitraattityyppiä nurmeen verrattuna yli nelinkertaisesti (Jaakkola 1984). Nurmelta typpiä huuhtoutui pintavalunnassa enemmän (3,1 kg/ha) kuin salaojavalunnassa (2,3 kg/ha), kun taas ohramaassa tilanne oli päinvastainen (pintavalunnassa 4,8 kg/ha, salaojavalunnassa 6,3 kg/ha) (Turtola & Jaakkola 1985).

Edellä kuvatun kokeen jälkeen typen huuhtoutuminen lisääntyi nurmen maahan kynnön seurauksena niin, että kahden vuoden aikana huuhtoutui yhteensä 7,5 kg/ha enemmän typpiä ruuduilta, joilla nurmi oli kynnetyt maahan verrattuna jatkuvasti ohraa kasvaneisiin ruutuihin (Turtola & Jaakkola 1987). Tämän jälkeen huuhtoutumisen lisääntyminen väheni. Nurmen viljelyllä oli kuitenkin typen huuhtoutumista vähentävä vaikutus, koska nurmi kasvaessaan vähensi typen huuhtoutumista kolmen vuoden aikana ohraan verrattuna yhteensä 12 kg/ha. Nurmen maahan kynnön aiheuttama typen huuhtoutumisen lisäys todettiin myös turvemaan huuhtoutumiskentällä (Turtola 1992).

Yläranta et al. (1993) tutkivat neljävuotisessa lysimetrikokeessa typen huuhtoutumista savi-, hiesu-, hieta- ja saraturvemaalla täytetyissä lysimetreissä. Nurmi vähensi typen huuhtoutumista ohraan verrattuna eniten hietamaalla, jossa typpiä huuhtoutui muita maita enemmän. Kivennäismailla ohra sai vuotuisen 100 kg/ha typpilannoituksen ja nurmelle annettiin 200 kg/ha typpiä kahteen osaan jaettuna.

Keski-Ruotsissa tutkittiin nitraatin huuhtoutumista hiesumaalta lysimetreissä ja huuhtoutumiskentällä (Bergström 1987). Kasveina olivat nurminata, sinimailanen ja ohra. Ohra oli kaksi typpilannoitustasoa 0 ja 120 kg/ha. Nurminadan typpilannoitus oli kahdessa osassa 200 kg/ha.



Eniten typpeä huuhtoutui 120 kg/ha typpilannoituksen saaneesta ohrasta (36 kg/ha vuodessa). Vastaavalla ajalla ilman typpilannoitusta kasvaneesta ohrasta huuhtoutui 5 kg/ha typpeä ja nurminadasta ja sinimailasesta huuhtoutuneen typen määrä jäi yleensä alle 5 kg/ha. Typen huuhtoutumisen lisääntyi nurmen kynnön jälkeen. Kahdenkymmenen viikon aikana kynnön jälkeen typpeä huuhtoutui 42 kg/ha. Nitraattitypen konsentraatio salaojavesissä oli ennen kyntöä alle 1 mg/l, mutta muutamassa kuukaudessa kynnön jälkeen se nousi 10–20 mg/l. Tutkija suosittelikin syysviljan kylvöä nurmen maahankynnön jälkeen tai kynnön jättämistä kevääseen huuhtoutumistappioiden minimoimiseksi.

Gustafson (1987) tutki nitraatin huuhtoutumista pinta- ja salaojavalunnassa erilaisilla viljelykasveilla ja kierroilla sekä erilaisissa ilmasto-olosuhteissa Ruotsissa. Monivuotiset heinät ja palkokasvit alensivat nitraatin huuhtoutumista neli-kuusinkertaisesti verrattuna viljoihin vastaavissa valumaolosuhteissa. Nurmen myöhäinen maahankyntö (loka-joulukuu) ei lisännyt nitraatin huuhtoutumista verrattuna kyntämättömään nurmeen. Sitävastoin aikainen kyntö (heinäkuu) ja sitä seuranneet muokkaustoimenpiteet aiheuttivat jopa kolminkertaisen huuhtoutumisen lisääntymisen viljoihin verrattuna. Kylvämällä syysvilja aikaisin kynnetyyn ja muokattuun maahan saatiin nitraatin tappiot hieman pienemmiksi kuin kevätiljojen jälkeen. Suurimmat nitraatin huuhtoutumistappiot havaittiin eteläisimmässä koepaikassa, missä lämpimämpi ilmasto loi paremmat edellytykset kasvinjäännösten mineraloitumiselle. Etelässä myös typpilannoitustasot olivat korkeammat ja valunta suuremman sadannan vuoksi runsaampaa kuin pohjoisessa.

Kaakkois-Norjan keskiosassa tutkittiin erilaisten viljelykiertojen vaikutusta maan mineraalitypen pitoisuuksiin ja typen huuhtoutumiseen (Eltun 1995). Maalaji oli hiesu tai hiesuinen hieta. Typpeä huuhtoutui 25 kg/ha viljaa ja perunaa sisältävästä viljelykierrosta ja 12 kg/ha rehukasveja kuten nurmea sisältävästä viljelykierrosta.

Maan mineraalitypen määrä nurmea kasvaneilla ruuduilla oli syksyllä muita ruutuja pienempi. Nurmen iän lisääntyessä sen kyky alentaa mineraalitypen määrää maassa kuitenkin heikkeni.

## 2 Kerääjäkasvit

Nitraattityppi huuhtoutuu juuristovyöhykkeen alapuolelle ja sieltä edelleen salaojaveeteen ja pohjaveteen pääosin syksyn ja kevään välisenä aikana, jolloin sadanta on haihduttaa suurempaa ja maa on paljaana ennen kevätkylvöjä. Yhtenä ratkaisuna kasvipeitteisen ajan pidentämiseksi ja nitraatin huuhtoutumisen vähentämiseksi voisivat olla kerääjäkasvit, jotka kasvavat varsinaisen pääkasvin sadonkorjuun jälkeen. Kerääjäkasvin ensisijainen tehtävä on ottaa maasta varsinaiselta viljelykasviltä käyttämättä jäänyttä sekä syksyllä orgaanisesta aineksestä vapautuvaa typpeä. Kasvaessaan kerääjäkasvi alentaa maan epäorgaanisen typen määrää ja pienentää siten nitraatin huuhtoutumisriskiä. Siten se toimii väliaikaisena varastona ravinteille, jotka voivat myöhemmin vapautua viljelykasvien käyttöön (Vinther 1995).

Jos kerääjäkasvillista maata ei muokata syksyllä, typen mineraloituminen ei kiihdy. Kerääjäkasvin teho nitraatin huuhtoutumisen vähentämisessä voi kuitenkin olla heikko, jos sen kasvuunlähtö keväällä on huono tai pääkasvi korjataan niin myöhään, että kerääjäkasvin kasvuaika ilman pääkasvin kilpailua jää lyhyeksi. Myös riittämätön sadanta pääkasvin sadonkorjuun jälkeen voi vähentää kerääjäkasvin kasvua. Toisaalta rankka sade pääkasvin sadonkorjuun jälkeen voi aiheuttaa typen huuhtoutumisen juuristovyöhykkeen alapuolelle, jolloin kerääjäkasvin teho jää heikoksi (Hansen et al. 1995). Nykyisten (1995–1999) maatalouden ympäristötukiehtojen mukaan kerääjäkasvin on annettava kasvaa seuraavaan kylvömuokkaukseen asti, mikä käytännössä useimmiten tarkoittaa seuraavaa kevättä.

Syksyn ja talven aikana maata peittävät

ja ravinteita ottavat kasvit voidaan ryhmitellä seuraavasti:

Peittokasvi = cover crop

Kerääjäkasvit tai muut kasvit jotka suojaavat maan pintaa

Kerääjäkasvi = catch crop

Välikasvit tai aluskasvit, jotka ottavat pääkasvilta jäänteitä ja myöhemmin vapautuvia ravinteita.

Aluskasvi = undersown crop

Kylvetään samanaikaisesti kuin pääkasvi

Välikasvi = inter crop

Kylvetään pääkasvin sadonkorjuun jälkeen. Kasvaa pääkasvien välisenä aikana.

Termi peittokasvi (cover crop) tai kerääjäkasvi (catch crop) kuvaa, että näitä kasveja käytetään peittämään ja suojaamaan maata sadepisaroiden eroosiota aiheuttavaa vaikutusta vastaan. Ne saattavat parantaa maan rakennetta, lisätä maahan hajoavaa orgaanista ainesta, sitoa maaperään ilmakehän tyypeä ja vähentää ravinteiden huuhtoutumista (Brandsaeter 1995).

Suomen olosuhteissa syksy ei ole tarpeeksi pitkä, jotta varsinaisen viljelykasvin sadonkorjuun jälkeen kylvetyt kerääjäkasvit ehtisivät kasvaa riittävästi ehkäistäkseen nitraatin huuhtoutumista. Sitävastoin viljelykasvin kanssa samaan aikaan kylvetyt kasvit (aluskasvit) voivat kasvaa riittävästi syksyyn mennessä. Toisaalta kilpaillessaan varsinaisen kasvin kanssa aluskasvit voivat alentaa satoa.

Aluskasviksi kylvettävän kerääjäkasvin ideaaliominaisuuksia ovat: varsinaisen viljelykasvin kilpailun sietäminen, hidas kehittyminen ennen varsinaisen kasvin sadonkorjuuta, nopea kasvu varsinaisen kasvin sadonkorjuun jälkeen, hyvin kehittyneen juuriston muodostuminen. Aluskasvit eivät saa muodostua rikkakasveiksi tai siirtää tai

monistaa patogeeneja ja tuholaisia viljelykierrossa (Rydberg & Karlsson-Strese 1995).

## 2.1 Eroosio ja fosfori

Pohjoismaissa on tutkittu paljon kerääjäkasvien mahdollisuuksia vähentää typen huuhtoutumista, mutta kerääjäkasvien vaikutuksesta eroosioon ja fosforin huuhtoutumiseen on niukasti tutkimustietoa. Norjassa kerääjäkasvien vaikutusta eroosioon ja fosforin huuhtoutumiseen on tutkittu kenttälysimetriä (kaltevuus 4,5 %) pintavalunnasta (Børresen & Uhlen 1991). Ensimmäisen talven aikana eroosio lisääntyi 36-38 % maasta, joka muokattiin kyntämällä syksyllä aluskasvien viljelyn jälkeen. Jos kerääjäkasvit saivat kasvaa keväeseen, väheni eroosio valkoapilaa kasvaneesta maassa 43 % ja reiheinää kasvaneesta maassa 62 % syksyllä kynnetyyn kerääjäkasvittomaan maahan verrattuna. Samoin väheni kokonaisfosforin huuhtoutuminen.

Liukoisien fosforin huuhtoutumista kerääjäkasvit lisäsivät selvästi varsinkin, jos maata ei kynnety syksyllä. Valkoapilaa kasvaneesta maasta huuhtoutui yli kolme kertaa enemmän ja reiheinää kasvaneesta maasta lähes 4,5 kertaa enemmän liukoista fosforia kuin syksyllä kynnetyistä maasta. Samansuuntaisia tuloksia saatiin kahtena seuraavana vuonna (Skjøien et al. 1995). Ruotsissa tehdyssä kokeessa Englannin reiheinä ei vaikuttanut partikkelifosforin tai liukoisien fosforin huuhtoutumiseen pintavalunnassa kynnetyyn maahan verrattuna (Ulén 1997).

## 2.2 Tyyppi

Aluskasveiksi kylvettyjen kasvien (raiheinät, apilat ym.) ja niiden maahankynnön vaikutusta typen huuhtoutumiseen on tutkittu Pohjoismaissa maan ja maaveden tyyppipitoisuutta seuraamalla sekä huuhtoutumiskenttä- ja lysimetrikokeissa. Yhteenve-

to tuloksista on taulukossa 1. Kerääjäkasvit vähensivät typen huuhtoutumista vähintään kolmanneksen. Ainoastaan apila lisäsi hiukan typen huuhtoutumista lysimetrikokeessa (Bertilson 1988).

Kotimaisessa lysimetrikokeessa aluskasvina viljelty Italian raiheinä vähensi huuhtoutumista 20–68 % (Känkänen & Turtola 1998). Muokkausajan vaikutus vaihteli lysimetreissä maalajeittain, hiesumaalla kevätkuokkaus antoi syyskyntöä huonomman tuloksen, mutta savi- ja turvemaalla taas kevääseen jätetty muokkaus vähensi nitraatin huuhtoutumista syysmuokkausta selvästi enemmän. Aluskasvin teho oli paras hietamaalla, jolla muokkausajalla ei näyttänyt olevan merkitystä.

Useissa tutkimuksissa Italian ja Englannin raiheiniin on havaittu alentavan tehokkaasti maan mineraalityypen määrää syksyllä (Wallgren & Lindén 1994, Alvenäs & Marstorp 1993, Nielsen & Jensen 1985, Lyngstad & Breland 1995, Beck-Friis et al. 1994, Aronsson et al. 1995). Sitävastoin palkokasvit on useissa tutkimuksissa havaittu raiheiniä tehottomammiksi maan typpipitoisuuden alentajiksi (Nielsen & Jensen 1985, Thorup-Kristensen 1994) tai ne ovat jopa kohottaneet mineraalityypen määrää maassa (Wallgren & Lindén 1994, Lyngstad & Breland 1995, Beck-Friis et al. 1994).

Suomessa aluskasvien vaikutusta maan typpipitoisuuteen on tutkittu hietasavi-, hiesu- ja karkeilla hietamailla. Aluskasveina olivat puna-apila, valkoapila, Westerworldin raiheinä sekä puna-apilan ja nurminadan seos (Känkänen 1995). Jos aluskasvi kasvoi tiheänä, typen huuhtoutumisriski pieneni. Westerworldin raiheinä alensi nitraattityypen määrää eniten äärioloissa (maan nitraattimäärät suuria ja muut olosuhteet typen huuhtoutumiselle otolliset). Pälkäneen hietamaalla syksyllä 1995 maan nitraattityypen pitoisuus jäi raiheinän ansiosta lähes puoleen pelkkään sänkeen verrattuna (vähennys 17 kg/ha). Sitävastoin Laukaan hiesumaalla ei vaikutusta juuri ollut ja vuonna 1996 vaikutus hietamaallakin oli vähäinen (Känkänen & Turtola 1998).

Valkoapila nosti yleensä maan syksyistä typpipitoisuutta viljoihin ja muihin aluskasveihin verrattuna ja lisäsi siten huuhtoutumisriskiä. Myös puna-apila nosti syksyistä typpipitoisuutta savimaalla, mutta alensi sitä hieman muilla koepaikoilla. Nurminadan ja puna-apilan seos ei poikennut selvästi pelkän puna-apilan vaikutuksesta (Känkänen 1995). Palkokasvien välillä on eroa niiden vaikutuksessa helppoliukoisen nitraattityypen määrään maassa. Ruisvirnan jälkeen nitraattityypen määrä maassa oli syksyllä kaksinkertainen verrattuna muihin palkokasveihin (apilat, lupiini ja mesikkä) ja nelinkertainen heinän ja apilan seokseen verrattuna (Känkänen 1994).

Ulkomaisissa tutkimuksissa kerääjäkasvin kevätkuokkauksella on päästy syysmuokkausta parempaan tulokseen typen huuhtoutumisen tai maan mineraalityypen määrän vähentämisessä (esim. Hansen & Djurhuus 1996, Lyngstad & Breland 1995, Beck-Friis et al. 1994, Wallgren & Lindén 1994). Toisaalta Aronsson et al. (1995) pääsivät kasvuston myöhäisellä syyskynnöllä yhtä hyvään tulokseen kuin kevätkynnöllä. Sørensenin ja Thorup-Kristensenin (1993) mukaan kerääjäkasvin kyntö voidaan tehdä myöhään syksyllä ilman nitraatin huuhtoutumisvaaraa alueilla, joilla lämpötila talvelta on alhainen ja maa roudassa. Tässä Tanskassa tehdyssä kokeessa kyntöaika oli marraskuun lopussa.

Kotimaisessa tutkimuksessa Westerworldin raiheinän kynnön myöhästyttäminen syyskuusta lokakuuhun vähensi huomattavasti huuhtoutumisriskiä. Nitraattityypen määrä väheni 30–60 cm maakerroksessa neljäsosaan. Kynnön siirtäminen kevääseen ei enää vähentänyt huuhtoutumisriskiä (Känkänen & Turtola 1998). Typen mineraloitumisen ja nitrifikaation havaittiin olevan alhaisia ennen maan jäätymistä syksyllä. Talven aikana ei havaittu nitrifikaatiota eikä nitraatin huuhtoutumista (Känkänen & Nykänen-Kurki 1997).

Aluskasvien viljelyä on vaikea sovittaa puutarhakasvien viljelyyn. Kukkakaalin ja syyskeräkaalin korjuun jälkeen myöhäisen syyskynnön havaittiin vähentävän typen

**Taulukko 1.** Kevätviljan kanssa viljellyn aluskasvin aiheuttama muutos (%) typen huuhtoutumiseen verrattuna viljelyyn ilman kerääjäkasvia.

Kerääjäkasvi	Kokeen kesto, v	Menetelmä	Maalaji	Kerääjän vaikutus huuhtoutumiseen, %			
				Syysmuokkaus	Kevätmuokkaus	Maa	Viite
eng. raiheinä	2	Lysimetri	He	-71		Norja	Uhlen et al 1996
eng. raiheinä	2	Lysimetri	Ht	-71		Norja	Uhlen et al 1996
ital. raiheinä	4	Lysimetri	Ht	-55 **		Tanska	Thomsen et al. 1993
eng. raiheinä	5	Imukuppi	Ht	-36	-59	Tanska	Hansen & Djurhuus 1996
eng. raiheinä	5	Imukuppi	hs Ht	-37	-49	Tanska	Hansen & Djurhuus 1996
ital. raiheinä	2	huuht. kenttä	hs Ht		-81	Ruotsi	Svensson et al. 1994
ital. raiheinä	4	Lysimetri	S	-38	-49	Suomi	Känkänen & Turtola 1998
ital. raiheinä	4	Lysimetri	Hs	-53	-35	Suomi	Känkänen & Turtola 1998
ital. raiheinä	4	Lysimetri	Ht	-68	-65	Suomi	Känkänen & Turtola 1998
ital. raiheinä	4	Lysimetri	Tm	-20	-43	Suomi	Känkänen & Turtola 1998
ital. raiheinä	4	huuht.kenttä	Ht		-83	Ruotsi	Lewan 1994
ital. raiheinä*	2	Lysimetri	hs Ht		-64	Ranska	Martinez & Guiraud 1990
apila	5	pintalysimetri	Hs	7		Ruotsi	Bertilsson 1988
rapsi*	5	pintalysimetri	Hs	-36		Ruotsi	Bertilsson 1988
apila	5	pintalysimetri	HsS	-53		Ruotsi	Bertilsson 1988
rapsi*	5	pintalysimetri	HsS	-45		Ruotsi	Bertilsson 1988
rapsi*	1 talvi	lysimetri	S	-32		Ruotsi	Bertilsson 1988
rapsi*	1 talvi	lysimetri	Ht	-37		Ruotsi	Bertilsson 1988

\* kylvö pääkasvin sadonkorjuun jälkeen

\*\* muokkaus talvella

huuhtoutumisriskiä parhaiten, koska syksyllä jo pelkästään maan lämpötilan lasku hidastaa ravinteiden vapautumista kasvin-

jätteistä. Mikäli muokkaus on suoritettava aikaisemmin syksyllä, voidaan tutkijoiden mukaan typen huuhtoutumisriskiä pienen-

tää kerääjäkasvilla, jotka kylvetään aikaisen sadonkorjuun ja muokkauksen jälkeen (Salo et al. 1998).

## 3 Viherkesanto

Monivuotinen viherkesanto vähentää nurmen tavoin eroosiota ja typen huuhtoutumista. Kesannoitaessa ei fosforia yleensä kerry maahan lannoituksen vuoksi kuten nurmella. Toisaalta viherkesannon satoa-kaan ei korjata, jolloin kasvimassaa voi jäädä enemmän maan pinnalle kuin viljellyissä nurmissa. Avokesanto on useissa tutkimuksissa havaittu pahimmaksi eroosioaineksen ja ravinnetappioiden lähteeksi (Skjøien 1988, Turtola 1992, Ylärinta et al. 1993, Sibbesen et al. 1994).

### 3.1 Eroosio ja fosfori

Suomessa kesannointimenetelmän vaikutusta eroosioon ja fosforin huuhtoutumiseen on tutkittu savi- ja turvemaalla (Turtola 1992). Loivasti viettävän savimaan vallunasta 50–85 % oli pintavaluntaa. Savimaalla toisen vuoden viherkesanto, joka koostui timotein ja nurminadan sekakasvustosta, laski pintaveden maa-aines- ja kokonaisfosforipitoisuuden jopa alle salaojavesien pitoisuuksien. Pintavalunnan maa-ainespitoisuus oli kaksinkertainen salaojavaluntaan verrattuna, jos viljeltiin ohraa tai maa oli avokesantona. Tuloksista voitiin päätellä, että jos kesantonurmi olisi perustettu jo edellisenä vuonna suojaviljaan, se olisi pystynyt ehkäisemään fosforin huuhtoutumista jo ensimmäisenä varsinaisena kesantovuonna. Myös yksivuotinen raiheinäkesanto pystyi hieman rajoittamaan syksyllä tapahtuvaa eroosiota. Viherkesantokasvuston maahankyntö nosti pintaveden maa-aines- ja fosforipitoisuudet entiselle tasolle.

Turvemaan kentällä valunta tapahtui lähes kokonaisuudessaan salaojien kautta. Turvemaalla timotein ja nurminadan muo-

dostama viherkesanto ja raiheinäkesanto vähensivät fosforin huuhtoutumista avokesantointiin verrattuna selvästi jo ensimmäisenä vuonna. Syynä oli turpeen huono fosforin pidätyskyky, minkä vuoksi viherkesantokasvuston fosforinotto vähensi liuenneen fosforin huuhtoutumista toisin kuin savimaalla (Turtola 1992).

Savimaalla lannoittamattomasta timotein ja nurminadan viherkesannosta huuhtoutui pintavalunnassa liukoista fosforia sekä toisena kesantovuonna että nurmikasvuston maahankynnön jälkeen enemmän kuin yksivuotisesta raiheinäkesannosta tai avokesannosta. Liukaisen fosforin osuus pintaveden mukana kulkeutuneesta kokonaisfosforista oli suurimmillaan nurmen kynnön jälkeen (30–40 %). Koska nurmea ei lannoitettu lainkaan, johtui liukaisen fosforin lisääntynyt huuhtoutuminen ilmeisesti fosforin vapautumisesta kasviaineksesta.

### 3.2 Typpi

Savimaan huuhtoutumiskentällä tehdyssä kokeessa ensimmäisenä koevuonna typpeä huuhtoutui avokesannosta 15 kg/ha ja viherkesannosta 5 kg/ha (Turtola 1992). Ohranviljelyyn verrattuna typen huuhtoutuminen väheni viherkesannoitaessa puoleen. Kolmivuotisessa heinäkasvikesannossa typen huuhtoutuminen väheni edelleen toisena ja kolmantena vuonna. Kolmivuotisen viherkesantonurmen maahankynnön seurauksena typen huuhtoutuminen kuitenkin lisääntyi yksivuotiseen viherkesantoon verrattuna, mutta huuhtoutuman lisääntyminen jäi selvästi vähäisemmäksi kuin lannoitetun nurmen maahankynnön jälkeen (Turtola & Jaakkola 1987). Vaikka viherkesantokasvustot eivät kasvaneet kovin reheviksi savimaan kokeessa, ne pystyivät ottamaan nitraattia maan pintakerroksesta niin paljon, että salaoja- ja pintavesien nitraattipitoisuus laski lähelle luonnontilaisilta alueilta tulevia pitoisuuksia (alle 1 mg/l).

Turvemaalla nitraattitypen huuhtoutuminen väheni puoleen avokesantoon verrattuna. Turvemaalla huuhtoutui typpeä

enemmän kuin savimaalta, mutta vain puolet kokonaistypestä oli nitraattimuodossa (Turtola 1992).

Yksivuotisten kesantojen vaikutusta typen huuhtoutumiseen tutkittiin myös savi-, hiesu-, hietä- ja turvemaan lysimetreissä (Turtola 1992). Kesannointitavat olivat avokesanto, muokkaamaton kesanto (kemiallinen kesanto) ja viherkesannot, joilla kasvoi raiheinää tai persianapilaa. Vähiten typpeä huuhtoutui raiheinää kasvaneesta kesannosta, mikä johtui osittain läpivalunnan vähenemisestä, mutta pääasiassa vesien nitraattipitoisuuksien pienenemisestä avokesantoon ja muokkaamattomaan kesantoon verrattuna. Persianapilaa kasvaneista lysimetreistä typpeä huuhtoutui lähes saman verran kuin muokkaamattomasta kesannosta johtuen muokkauksen jälkeisestä apilamassan hajoamisesta ja typen vapautumisesta. Eniten typpeä huuhtoutui avokesannoista. Savi- ja hietamaan avokesannosta huuhtoutuminen oli raiheinäkesantoon verrattuna 4,5-kertaista ja muihin kesantoihin verrattuna noin kaksinkertaista. Hiesu ja turvemaan avokesannosta huuhtoutui typpeä lähes kolminkertaisesti raiheinäkesantoon verrattuna.

Webster ja Goulding (1995) tutkivat erilaisten yksivuotisten kesantojen vaikutusta typen huuhtoutumiseen Keski-Englannissa hiesumaalla. Maa kynnettiin syksyllä ja siihen kylvettiin syysvehnää, raiheinää tai se jätettiin avokesannolle. Yhdessä käsittelyssä ei maata syksyllä kynnetty lainkaan ja sen annettiin kasvaa rikkakasveja. Keväällä raiheinän, syysvehnän ja rikkakasvien typenotto vähensi nitraatin huuhtoutumista avokesantoon verrattuna. Typen huuhtoutuminen väheni eniten raiheinää kasvaneilla alueilla.

## 4 Suojakaistat ja -vyöhykkeet

Toisin kuin muiden kasvipeitteiden, suojakaistojen ja -vyöhykkeiden tarkoituksena on vähentää niiden ulkopuolella sijaitsevalta peltoalueelta tulevaa kuormitusta. Suojakaista voi vähentää eroosioaineksen pääsyä vesistöön, jos kaistan läpi virtaavasta pintavaluntavedestä laskeutuu maahiukkasia kaistan alueelle. Raskaampien hietä- ja hiesuhiukkasten tai maamurujen laskeutuminen on todennäköisempää kuin pienten ja kevyiden saveshiukkasten (Brown et al. 1981). Suojakaistat voivat vähentää liuenneen fosforin kuormitusta vain, jos kaista on riittävän leveä ja vettä läpäisevä mahdollistaen suurien vesimäärien imeytymisen maahan (Uusi-Kämpä et al. 1997). Yleensä suojakaista ei voi vähentää salaojavedessä tulevaa kuormitusta. Monissa suojakaistatutkimuksissa on seurattu typen huuhtoutumista vain pintavalunnan kautta. Tämä on otettava huomioon tulosten tulkinnassa, koska yleensä vähintään kaksi kolmasosaa typpihuuhtoutumasta tulee salaojavalunnassa.

Teoreettisesti tarkastellen suojakaista voi vähentää lohkon pintavalunnan tuomaa kuormitusta sitä enemmän, mitä leveämpi kaista on suhteessa sen yläpuolella olevaan peltolohkoon. Jos suojavyöhyke sijaitsee muuta peltolohkoa jyrkemällä törmällä, kuormitus vähentyy myös siksi, että suojakaistan nurmivyöhyke vähentää voimakkaasti omalta alueeltaan tapahtuvaa eroosiota. Leveä nurmialue toimii muiden monivuotisten nurmien tavoin rajoittaen myös omalta alueeltaan tulevaa typpikuormitusta salaojiin ja pohjaveteen.

### 4.1 Eroosio ja fosfori

Suojakaistojen vaikutusta vesistökuormitukseen pintavaluntavedessä on tutkittu Jokioisilla savimaalla (Uusi-Kämpä & Ylä-

ranta, 1992). Suojakaistojen (leveys 10 m) kohdalla pellon kaltevuus oli keskimäärin 16 % (10–18 %) kun taas pelto niiden yläpuolella (lohkon pituus 60 m) oli melko tasainen. Suojakaistat kasvoivat nurmea (timotei-nurminata) tai luonnonkasveja (nurmirölli ja istutetut lehtipuiden ja pensaiden taimet). Kuormitusta verrattiin suojakaistattoman lohkon (pituus 70m) kuormitukseen.

Suojakaistakokeessa eroosion kokonaismäärä neljänä vuonna oli 1500–4900 kg/ha. Eroosioaineksen määrä pintavalunnassa oli 60–70 % pienempi suojakaistaruuduilta kuin ilman suojakaistaa viljellyiltä ruuduilta. Sateisena kesänä 1995 rehevät suojakaistat vähensivät eroosiota jopa 80–90 % suojakaistattomaan verrattuna (Uusi-Kämpä 1995). Partikkeleihin sitoutunutta fosforia kulkeutui pintavalunnassa neljän koevuoden aikana yhteensä 1,1–2,7 kg/ha, ja suojakaistat vähensivät partikkelifosforin joutumista vesistöön 40–60 %. Magette et al. (1987) toteavat, että suojakaistan tiheän kasvuston aikaansaamisella ja ylläpitämisellä on suuri vaikutus suojakaistan kykyyn vähentää eroosioainesta ja ravinteita valuntavedestä.

Norjassa Syversenin (1994) kokeessa hiesuisella hiuemaalla ja hiesuisella hiesavimaalla luonnonheiniä kasvaneet 10 m levyiset suojakaistat (kaltevuudet 12–17 %) pidättivät 73–91 % eroosioaineksesta, 56–85 % kokonaisfosforista ja 69–87 % orgaanisesta aineksesta. Eroosioainesta laskeutui eniten suojakaistan yläosaan. Syversen (1994) suositteli suojakaistan leveydeksi 5–10 m, koska 15 m:n suojakaista ei pidättänyt merkittävästi enemmän eroosioainesta tai ravinteita. Amerikkalaisessa tutkimuksessa todettiin, että eroosioainesta laskeutui merkittävästi suojakaistan ja sen yläpuolisen peltoalueen rajapinnassa (Magette et al. 1987). Myös Dillahan et al. (1989) hiesumaalla tehdyssä kokeessa suurin osa suojakaistan pidättämästä maa-aineksesta laskeutui suojakaistan yläreunassa ensimmäisillä metreillä. Kun kasvillisuus oli peittynyt eroosioaineksella, jatkui eroosioaineksen laskeutuminen heti edellisen kerrostu-

misvyöhykkeen alapuolella. Suojakaistan tehoa voidaan parantaa keinoilla, jotka estävät norojen muodostumisen ja veden virtauksen keskittymisen vain osalle alueesta (Magette et al. 1987). Amerikkalaisessa tutkimuksessa 9,2 m levyiset nurmikaistat vähensivät kesantoalueelta tulevaa eroosiota 81–86 % ja kokonaisfosforia 42–53 %. Koe sijaitsi hietaisella hiesumaalla, jonka olosuhteet oli pyritty järjestämään mahdollisimmat suotuisiksi eroosiolle ja ravinteiden huuhtoutumiselle kesannoimisen, lannoituksen ja sadetuksen avulla ("worst case"). Kotimaisiin tuloksiin verrattuna eroosion määrä amerikkalaisessa tutkimuksessa oli erittäin suuri, 27 000 kg/ha (Magette et al. 1987). Dillahan et al. (1989) tutkimuksessa 9,1 metrin koiranheinäkaista sitoi sille tulleesta eroosioaineksesta 84 % ja 79 % kokonaisfosforista. Suojakaistalle tulleesta fosforista 97 % oli sitoutuneena maa-ainekseen.

Liukoista fosforia huuhtoutui pintavalunnassa Jokioisten suojakaistakokeessa neljän vuoden aikana keskimäärin 0,34–0,86 kg/ha, eniten suojakaistoilta, joiden kasvustoa ei korjattu. Jos kasvustoa ei korjattu huuhtoutuneen liunneen fosforin määrä oli 50 % suurempi kuin muilta ruuduilta (Uusi-Kämpä 1997). Sitävastoin kaistoilta, joiden kasvusto korjattiin kerran vuodessa, tuli liukoista fosforia hieman vähemmän tai saman verran kuin suojakaistattomalta ruudulta (Uusi-Kämpä 1995). Todennäköisenä syynä luonnonkasvikasvun korkeampiin liunneen fosforin huuhtoutumaan oli fosforin vapautuminen hajoavista kasvinjäännöksistä (Uusi-Kämpä & Ylärinta 1996). Luonnonkasvien fosforipitoisuudet olivat myös korkeampia kuin nurminadan tai timotein (Uusi-Kämpä & Ylärinta 1994). Myös amerikkalaisessa tutkimuksessa on havaittu suojakaistalta lähtevän veden sisältävän enemmän liukoista fosforia kuin sinne tullut vesi. Sen on arveltu johtuvan suojakaistan keräämän fosforin vapautumisesta. Kasvinjäännösten lisäksi ravinteita voi vapautua myös maa-aineksesta (Dillaha et al. 1989). Fosforin kertyminen maan pintakerrokseen ja vapaiden fos-

forin pidätyspaikkojen väheneminen edistävät fosforin vapautumista. Uusi-Kämpä (1997) havaitsi fosforin kertymistä maan pintakerrokseen (0–2 cm) luonnonkasvikasistoilla enemmän kuin nurmikaistoilla, mikä osaltaan saattoi vaikuttaa suurempiin fosforin huuhtoutumiin.

Norjalainen tutkimustulos (Syversen 1994) poikkesi edellä esitetystä, sillä siinä 10 m suojakaista pidätti jopa 88 % (0–88 %) liukoisesta fosforista. Tulos oli kuitenkin vain yhdeltä vuodelta.

## 4.2 Typpi

Uusi-Kämpän ja Yläranan (1996) kokeessa nitraattityyppiä huuhtoutui pintavalunnan mukana suojavyöhykkeeltä ruudulta neljän vuoden aikana yhteensä 17 kg/ha. Nurmikaistaruudut vähensivät huuhtoutumista 60–70 % ja luonnonkasviruudut 40–50 %. Syversenin (1994) kokeen tulokset ovat samaa suuruusluokkaa: luonnonheinäkaista pidätti 60–91 % kokonaistyypestä ja 66–84 % nitraattityypestä.

Puolentoista vuoden kokonaistyyppien huuhtoutumat amerikkalaisessa kokeessa suojakaistattomasta koejäsenestä olivat keskimäärin 39 kg/ha. Leveydeltään 9,2 m suojakaista vähensi huuhtoutumaa keskimäärin 51 % (Magette et al. 1987). Toisessa amerikkalaisessa tutkimuksessa 9,1 m leveä koiranheinäkaista vähensi kokonaistyyppien huuhtoutumaa 73 %. Suojakaistan leveys vaikutti kaikkien tyyppien muotojen pidättymiseen suojakaistalle. Suuri osa suojakaistalle pidättyneestä tyypestä oli maa-ainekseen pidättynyttä ammoniumtyyppiä, joka oli peräisin edeltävästä urea- ja  $\text{NH}_4$ -tyypilannoituksesta (Dillaha et al. 1989).

## 5 Syysviljat

Syysviljat eivät vähennä eroosiota ja ravintekuormitusta yhtä tehokkaasti kuin monivuotiset nurmet. Suorakylvöä lukuunottamatta syysviljoja kylvää varten maata muo-

kataan syksyllä ja kylvön yhteydessä myös lannoitetaan. Syksyllä olosuhteet eroosiolle ja ravinteiden huuhtoutumiselle ovat usein otollisimmillaan. Joinakin vuosina syysviljakasvusto jää myös heikoksi ennen syyssateiden alkamista, jolloin se ei pysty suojaamaan maata eroosiolta. Aikaisemmin kylvettävän rukiin kasvusto antaa syyssvehnää paremman suojan eroosiota vastaan. Rukiin vaikutuksesta eroosioon ja fosforikuormitukseen ei kuitenkaan löytynyt tutkimustietoa. Kevätviljoihin verrattuna syyssvehnä näyttäisi vähentävän tyyppien huuhtoutumista.

## 5.1 Eroosio ja fosfori

Tutkimustulokset syyssvehnän vaikutuksesta eroosioon ja ravinnetappioihin ovat vaihtelevia. Norjalaisessa tutkimuksessa syyssvehnää oli kokeiltu kahden vuoden ajan, joista toisen vuoden syksynä satoi runsaasti (Lundekvam 1998). Toisella koepaikalla syyssvehnä jopa lisäsi eroosiota ja fosforin huuhtoutumista syysskyltyyn verrattuna. Toisen koevuoden syksy oli erittäin sateinen. Syyssvehnä sen sijaan vähensi eroosiota tasoitettulla hiesusavimaalla, jossa eroosio normaalisti oli varsin voimakasta. Kumminkin kentät olivat eroosiolle herkkiä keinotekoisesti tasoitettuja maita. Jotta syyssvehnä olisi tehokas eroosion ja ravinnetappioiden vähentäjä, se tulisi voida kylvää aikaisin syksyllä, jotta se ehtisi muodostaa hyvän kasvipeitteen ennen talvea. Tutkija arvioi, että Kaakkois-Norjassa sääolosuhteet ovat suotuisat syysviljan viljelyn kannalta vähintään joka toinen vuosi ja epäsuotuisat joka neljäs vuosi (Lundekvam 1998).

Tanskassa syysviljaa kasvavat alueet näyttävät olevan herkempiä pintavalunnalle, eroosiolle ja fosforitappioille kuin kynnetyt maat, laitumet ja kerääjäkasveja kasvavat maat (Sibbesen et al. 1994). Hienolla hietamaalla pintavalunta oli syyssvehnämaalta huomattavasti suurempaa kuin kynnetyltä maalta (Sibbesen et al. 1993). Laboratorio- ja kenttätutkimuksissa kynnetyn hietamaan (Foulum) vedenläpäisykyky aleni, kun se äestettiin ja kylvettiin. Hiesuisella



hiedalla (Ødum) vaikutus oli vähäisempi mahdollisesti pysyvemmän mururakenteen vuoksi (Schjønning 1993). Syysviljamaat olivat kynnetyt maita alttiimpia eroosiolle erityisesti Foulumin kokeessa. Pintavalunta irroitti ja kuljetti maata eniten syysvehnää kasvaneesta maasta, joka oli kylvetty rinteiden suuntaisesti. Syysvehnä lisäsi kokonaisfosforin huuhtoutumista Ødumin kentällä 1,6–3,7 kertaisesti ja Foulumin kentällä 4,8–5,4 kertaisesti kynnetyyn maahan verrattuna (Sibbesen et al. 1993).

Valumaveden liukoisen fosforin pitoisuudet olivat suuria kummallakin koepaikalla (Sibbesen et al. 1994). Syysvehnä kuitenkin lisäsi liukoisen fosforin huuhtoutumista Foulumin kentällä 2,5–2,9 kertaisesti ja Ødumin kentällä 2,5 kertaisesti syksyllä kynnetyyn verrattuna (Sibbesen et al. 1993).

Suomessa syysvehnän vaikutusta eroosioon ja ravinnetappioihin on tutkittu Aurajoen savimaan kentän (kaltevuus 8 %) pintakerrosvalunnasta (Puustinen 1994). Normaaliin, rinteiden suuntaisesti tehtyyn kynneseen verrattuna syysvilja lisäsi pintavaluntaa 6 % (Turtola & Puustinen 1998). Syysvehnä vähensi eroosiota 42 % ja partikkelifosforin huuhtoutumista 48 % rinteiden suuntaisesti syksyllä kynnetyyn maahan verrattuna (Turtola & Puustinen 1998). Syysviljan vaikutus eroosioon vaihteli voimakkaasti vuosittain riippuen kasvuston perustamisen onnistumisesta. Liukoisen fosforin kuormituksessa ei ollut eroa syysvehnän ja kynnetyyn maan välillä (Puustinen 1994, Turtola & Puustinen 1998). Ruotsalaisessa tutkimuksessa (Ulén 1997) syysvehnän viljely hiesusavimaalla (kaltevuus 10 %) nosti pintavaluntaveden liukoisen fosforin konsentraatiota, mutta huuhtoutumisen absoluuttinen lisäys syksyllä kynnetyyn verrattuna oli kuitenkin pieni. Koepaikalla pintavalunnan määrä oli hyvin pieni ja pintavaluntaveden partikkelifosforin pitoisuus oli samansuuruinen syysvehnää kasvavalla ja syksyllä kynnetyllä maalla. Eroosio oli hieman pienempi syysvehnamaalta.

Syysvehnän vaikutusta fosforin huuhtoutumiseen salaojavalunnassa on tutkittu

Jokioisten huuhtoutumiskentällä (Turtola & Jaakkola 1987). Syysvehnästä huuhtoutui fosforia salaojavalunnan kautta kahden vuoden aikana 0,65 kg/ha ja kevävehnästä 0,48 kg/ha. Ero johtui syysvehnän kevävehnää runsaammasta salaojavalunnasta ja mahdollisesti myös suuremmasta fosforilannoituksesta. Pintavalunnan ravinnetappioita ei tutkimuksessa voitu määrittää.

## 5.2 Typpi

Aurajoen kentällä syysvehnamaasta huuhtoutui pintavalunnan mukana 7,5–13 kg/ha kokonaistyyppiä, mikä oli 49 % vähemmän kuin syksyllä kynnetyistä maasta (Turtola & Puustinen 1998). Jokioisten huuhtoutumiskentällä huuhtoutui syysvehnää kasvaneilta ruuduilta salaojien kautta kahden vuoden aikana yhteensä 4,6 kg/ha tyyppiä, kun kevävehnältä huuhtoutui 6,5 kg/ha (Turtola & Jaakkola 1987). Ero oli suurin ajankohtina, jolloin syysvehnamaat olivat kasvipeitteisiä, mutta kevävehnamaat paljaina.

Syysvehnää aikaisemmin kylvertävä ruis saattaa vähentää typen huuhtoutumista vieläkin enemmän. Keski-Englannissa hietamaalla ruis otti maasta syksyllä vapautunutta tyyppiä tehokkaasti ja laski salaojaveden typpipitoisuuden kevääseen mennessä alle 1 mg/l (Shepherd & Lord 1996).

## 6 Kevennetty muokkaus

Maatalouden ympäristötuessa kasvipeitteiseksi maaksi hyväksytään myös kasvinjätteen peittämä sänkimaa sekä ns. hyväksytyllä tavalla kevennetyksi muokattu pelto (MMM 1998). Hyväksytyt muokkaustapojat ovat tekniikat, jotka jättävät huomattavan osan sängestä tai kasvimaasta maan pinnalle, mikä käytännön viljelytermein tarkoittaa syyskynnön korvaamista sänki-muokkauksella. Tukiohjeissa hyväksyttäväksi tekniikoiksi on mainittu kultivaatorilla, lautas-, joustopiikki- tai lapiorulla-

keellä syksyllä perusmuokattu lohko (MMM 1998).

Kevätviljojen viljelyssä yleisimmin käytetty muokkausketju sisältää syyskyntönä tehdyn perusmuokkauksen sekä keväällä 2–3 äestyskertaa sisältävän kylvömuokkauksen, jota seuraa kylvölannoitus. Vaikka ympäristötuessa kevennetty muokkaus on rajattu vain kyntöä korvaaviin menetelmiin, se tarkoittaa yleisemmin menetelmää, jossa maata muokataan vähemmän kuin edellä kuvatussa normaalimenetelmässä (Pehkonen et al. 1996). Yleisemmässä merkityksessä muokkauksen keventäminen voi kohdistua eritasoisena joko perusmuokkaukseen tai kylvömuokkaukseen tai molempiin. Keventäminen voi tarkoittaa muokkaussyvyyden madaltamista, muokkauksen intensiteetin pienentämistä tai eri muokausvaiheiden yhdistämistä (Pehkonen et al. 1996).

Suomessa perusmuokkauksen keventäminen tapahtuu yleensä joko muokkaussyvyyttä mataloittamalla tai korvaamalla kyntö sänkimuokkauksella, josta käytetään nimityksiä auraton viljely tai kyntämättä viljely. Äärimuoto muokkauksen keventämisestä on suorakylvö, jossa maata ei perusmuokata eikä kylvömuokata lainkaan, vaan kylvö tehdään erikoisvalmisteisella suorakylvökoneella suoraan edellisen kasvuston sänkeen (Pitkänen & Mikkola 1998).

Kynnön poisjättämisellä on tutkimusten mukaan hyviä vaikutuksia maan rakenteeseen. Maan murujen vedenkestävyys paranee pintakerroksessa (Pitkänen 1988), mikä voi pienentää eroosioriskiä. Kynnön korvaaminen sänkimuokkauksella voi lisätä kastelierojen määrää maassa (Pitkänen & Nuutinen 1998). Toisaalta kyntämättömyys voi kuitenkin huonontaa maan pintakerroksen vedenjohtavuutta ja kykyä varastoida hetkellisesti suuria vesimääriä (Pitkänen 1994), mikä voi lisätä pintavaluntaa ja eroosiota.

Kun muokkaus jätetään keväeseen tai muokkauksen jälkeen huomattava osa kasvinjäännöksistä jää maan pinnalle, kasvinjäännökset voivat suojata maata sadepisaroiden iskuja vastaan ja eroosio voi vähen-

tyä. Muokkaamattoman sänkimaan pinta jää tasaiseksi ja sen hetkellinen veden varastoimiskyky on muokattua maata vähäisempi, jolloin voi muodostua runsaammin pintavaluntaa. Sänkimuokkauksessa muokkaussyvyys (5–20 cm) madaltuu kyntöön verrattuna pienentäen maan pinnan painannevarastoa. Painannevaraston pienentäminen lisää pintavaluntaa ja sen aiheuttamaa eroosioriskiä.

Paitsi maan rakenne, myös maan ravinnetalous voi muuttua kevennetyn maanmuokkauksen seurauksena. Kun muokkaussyvyys madaltuu, käyttämättä jäänyt lannoitefosfori ja suuri osa kasvinjätteiden sisältämästä fosforista kertyy aikaisempaa ohuempaan maakerrokseen. Pitkänen (1988) havaitsi muutaman vuoden kevennettyyn muokkaukseen siirtymisen jälkeen kasveille käyttökelpoisen fosforin määrän lisääntyneen maan pintakerroksessa. Pintamaan fosforiluvun kasvu lisää liukoisen fosforin huuhtoutumisriskiä.

Monista edellä kuvatuista kysymyksistä on olemassa vain vähän tutkimustietoa. Kevennetyn muokkauksen vaikutusta eroosiioon ja ravinnetappioihin on tutkittu eniten ja pisimpään Norjassa. Kotimaisia tutkimustuloksia on muutamien vuosien ajalta Aurajoen ja Jokioisten kentiltä. Pohjoismaisten tutkimusten tuloksista on yhteenvedo liitteissä 1–4.

## 6.1 Eroosio ja fosfori

### 6.1.1 Suorakylvö

Kevätviljojen suorakylvön vaikutusta eroosiioon ja fosforitappioihin on Pohjoismaissa tutkittu vain Norjassa. Eroosiota ja fosforin kulkeutumista pintavalunnassa seurattiin hiuemaalla kenttälysimetreistä, jotka olivat kooltaan 20 m \* 4,5 m ja kaltevuudeltaan 4,5 % (Børresen & Uhlen, 1991, Skjøien et al. 1995). Keväällä suorakylvetyt ruudut olivat talven yli sängellä. Pintavalunnan määrä oli yli kaksinkertainen suorakylvetyistä koejäsenestä syksyllä kynnetyyn verrattuna, mutta eroosio väheni kuitenkin 10

% Kokonaisfosforin huuhtoutuminen suorakylvetystä koejäsenestä oli pienempi, mutta liukoista fosforia huuhtoutui yli kaksinkertainen määrä syksyllä kynnetyihin verrattuna (Skøien et al. 1995).

Norjassa herkästi erodoituvalla, keino-tekoisesti tasoitetulla savimaalla (40 % savesta, kaltevuus 12 %) suoritetuissa tutkimuksissa on saatu samansuuntaisia tuloksia. Verrattuna syksyllä kynnetyyn maahan keväällä tehty suorakylvö (maa sängellä talven yli) vähensi eroosiota 80–84 % ja syksyllä tehty suorakylvö 13 % (Skøien 1988, Skøien et al. 1995). Keväällä suorakylvetyistä maista huuhtoutui 72–81 % vähemmän fosforia kuin syksyllä kynnetyistä maista (Skøien 1988, Skøien et al. 1995, Lundekvam 1998). Sitävastoin syysviljan suorakylvö jopa lisäsi hiukan (7 %) kokonaisfosforin huuhtoutumista kynnetyyn maahan verrattuna (Skøien 1988). Liukoista fosforia huuhtoutui varsin vähän, eikä keväällä tapahtunut suorakylvö (maa talven yli sängellä) vaikuttanut huuhtoutumiseen. Syksyllä suorakylvetystä maasta huuhtoutui selvästi (31 %) enemmän liukoista fosforia kuin kynnetyistä maista (Skøien 1988), mikä saattoi johtua maan pintakerrokseen annetun lannoitteen liukenemisestä pintavaluntaveteen.

### 6.1.2 Sängelle jättäminen (muokkaus keväällä)

Ruotsalaisessa tutkimuksessa selvitettiin kevätkynnön vaikutusta eroosioon ja ravinetappioihin hiesusavimaalla (kaltevuus 10 %) pintavaluntavedestä (Ulén 1997). Näytteenottoajankohtana maa oli sängellä. Pintavalunnan havaittiin olevan 32 % suurempaa sängelle jätetystä kuin syksyllä kynnetyistä maista, mutta valumaveden eroosioainespitoisuus oli 55 % pienempi kuin kynnetyistä maista. Sänki vähensi partikkelifosforin pitoisuutta kuitenkin vähemmän (12 %) kuin eroosioaineksen pitoisuutta. Sängeltä tulleen pintavaluntaveden liukoisen fosforin konsentraatio oli varsin alhainen

(0,045 mg/l), kuitenkin se oli yli kaksinkertainen kynnetyltä maalta tulleeseen verrattuna.

Norjassa sängelle jättäminen vähensi eroosioherkillä hiesusavimailla eroosiota 85–99 % ja kokonaisfosforin kulkeutumista 66–82 % (Lundekvam 1993, 1998). Kevätkynnön ja keväisen sänkimuokkauksen vaikutukset olivat lähes samansuuruiset. Syverudin hiesumaalla (kaltevuus 10 %), joka ei ollut herkkä erodoitumaan kyntämättömyys lisäsi pintavalunnan osuutta kokonaisvalunnasta ja eroosio väheni vain 8–18 % ja kokonaisfosforin tappiot lisääntyivät 63 % (Lundekvam 1998). Siksi mailla, jotka eivät ole herkkiä erodoitumaan tutkija suosittelee keskittymistä uomaerosion hallintaan.

Jokioisten kentällä (hietasavi/aitosavi, kaltevuus 2 %) maan jättäminen sängelle lisäsi pintavalunnan osuuden 32–47 prosenttiin kokonaisvalunnasta, kun se vastaavana aikana kynnetyltä maalta oli 15–25 prosenttia (Turtola & Puustinen 1998). Jyrkemällä Aurajoen kentällä (kaltevuus 8 %) mitattiin ainoastaan pintakerrosvaaluntaa, joka oli sängeltä lähes saman suurista kuin rinteeseen suuntaisesti kynnetyltä maalta. Aurajoella pintavalunta kuljetti eroosioainesta sängeltä 200–1400 kg/ha vuodessa. Jokioisissa eroosio oli sängeltä pintavalunnassa 230–330 kg/ha ja salaojavalunnassa 500–1300 kg/ha. Kynnetyyn maahan verrattuna sänki vähensi pintavalunnan aiheuttamaa eroosiota Jokioisissa 36 % ja Aurajoella 70 %. Kokonaiseroosio (pinta- ja salaojavalunnan eroosio yhteensä) Jokioisissa vähentyi 11 %. Jokioisten savimaalla salaojavesi kuljetti runsaasti eroosioainesta, kun taas hiesumaalla eroosio salaojavalunnassa saattaa olla hyvin pientä (Taulukko 2). Jos savimaalla on hyvin toimiva salaojasto (kuten Jokioisten kentällä), peltoalueen kuormitusarvioita ei voida tehdä pelkän pintavalunnan perusteella.

Pintavaluntaveden kiintoainespitoisuus oli molemmilta koepaikoilla sänkimaalla huomattavasti syksyllä kynnetyä pienempi (Taulukko 3), eikä sänkimaalta tullessa

**Taulukko 2.** Jokioisten huuhtoutumiskentän valunta, eroosio, kokonaisfosforin (Kok-P), partikkelifosforin (Part-P), liukaisen fosforin (Liuk-P) ja kokonaistypen (Kok-N) kuormitus sänkimuokatulta maalta (1996–98) ja sängeltä sekä kuormituksen muutos verrattuna syyskintöön (Turtola & Puustinen 1998, Turtola julkaisematon). Vertailun vuoksi kuormitus Norjasta sängeltä (1991–1992, Lundekvam 1993). Kaikki luvut keskiarvoja kahdelta vuodelta.

Paikka Maalaji Kaltevuus	Jokioinen Aitosavi/hietasavi 2 %						Syverud (Norja) Hiesu 10 %		
	Sänkimuokkaus			Sänki			Sänki		
	Pinta	Salaoja	Yht.	Pinta	Salaoja	Yht.	Pinta	Salaoja	Yht.
Valunta (mm)	100	177	277	113	198	311	131	279	410
muutos (%)	+300	-32	-3	+84	-15	+5	+191	-13	+12
Eroosio (kg/ha)	542	895	1440	280	870	1150	75	27	102
muutos (%)	+352	-28	+5	-35	+1	-11	-11	-34	-18
Kok-P (kg/ha)	0,52	0,79	1,3	0,29	0,80	1,09	0,37	0,12	0,49
muutos (%)	+373	-27	+11	-24	+17	+3	+114	-14	+59
Part-P (kg/ha)	0,46	0,72	1,2	0,24	0,73	0,97			
muutos (%)	+357	-27	+9	-31	+19	+1			
Liuk-P (kg/ha)	0,059	0,074	0,133	0,044	0,074	0,118			
muutos (%)	+490	-17	+35	+105	-2	+22			
Kok-N (kg/ha)	2,3	12	14	2,2	11	13	4,2	45	49
muutos (%)	+244	-19	-7	+56	-11	-5	+180	-15	-11

pintavaluntavedessä havaittu korkeita pitoisuuspiikkejä. Eroosio pintavalunnassa oli Aurajoella Jokioisten kenttää suurempaa johduen suuremmasta kaltevuudesta ja pintavalunnan määrästä ja kyntö lisäsi Aurajoen kentällä pintavalunnan eroosioainespitoisuutta enemmän kuin Jokioisissa (Taulukko 3). Jokioisissa salaojavalunnalle laskettu eroosioainespitoisuuden keskiarvo oli sängellä suurempi kuin pintavalunnan vastaava pitoisuus, sillä suuri osa pintavalunnasta muodostui keväällä lumen sulamisen yhteydessä, jolloin sängelle muodostunut yhtenäinen jääpeite suojasi maan pintaa eroosiolta (Turtola 1996a).

Sänki vähensi partikkelifosforin huuhtoutumista pintavalunnassa Aurajoen kentällä 73 % ja Jokioisten kentällä 31 %. Kun Jokioisissa otettiin salaojavalunta huomioon, partikkelifosforin kulkeutuminen ei

vähentynyt. Liukaisen fosforin huuhtoutumista sänki lisäsi kynnetyyn maahan verrattuna Aurajoen kentällä 46 % ja Jokioisten kentällä 22 %. Eri muokkausikäsitellyiltä (mukana myös kyntö) huuhtoutui liukoista fosforia Aurajoella huomattavasti enemmän (0,4–1,3 kg/ha vuodessa) kuin Jokioissa (0,09–0,15 kg/ha) maan korkeamman fosforitilan vuoksi.

Sokerijuurikkaan muokkaamatta jättäminen voi lisätä liuenneen fosforin kuormitusta, jos lohkolla muodostuu pintavaluntaa. Suomessa tehdyssä tutkimuksessa sokerijuurikkaan naatit sisälsivät fosforia 14 kg/ha, josta 3–5 kg/ha mobilisoitui talvella (Bruncrona 1994). Talven aikana pinnalle jätettyjen naattien fosforista hävisi 39 %, kun maahan kynnetyjen naattien fosforista hävisi 24 %. Todennäköisesti maassa vapautuvasta fosforista aiheutuu pienempi

**Taulukko 3.** Keskimääräinen eroosioaineksen, partikkelifosforin, liukoisen fosforin ja kokonaistypen pitoisuus kynnetyltä, sänkimuokatulta ja sänkimaalta tulleessa pinta- ja salaojavalunnassa Jokioisten ja Aurajoen kentillä (Turtola & Puustinen 1998, Turtola julkaisematon).

	Aurajoki	Jokioinen	
	Pintavesi	Pintavesi	Salaojavesi
<b>Eroosioaines (g/l)</b>			
Kynnetty	1,3	0,65	0,43
Sänkimuokattu	0,70	0,54	0,50
Sänki	0,34	0,25	0,44
<b>Partikkelifosfori (mg/l)</b>			
Kynnetty	2,4	0,53	0,32
Sänkimuokattu	1,2	0,46	0,41
Sänki	0,64	0,21	0,36
<b>Liukoinen fosfori (mg/l)</b>			
Kynnetty	0,29	0,037	0,033
Sänkimuokattu	0,34	0,059	0,042
Sänki	0,44	0,039	0,037
<b>Kokonaistyyppi (mg/l)</b>			
Kynnetty	6,6	2,4	5,6
Sänkimuokattu	4,3	2,3	6,8
Sänki	2,6	2,0	5,7

kuormitusriski kuin maan pinnalla vapautuvasta fosforista, joka voi suuremmin liueta pintavaluntaveteen.

### 6.1.3 Syyssänkimuokkaus

Norjalaisissa tutkimuksissa s-piikkiäkeellä tehty matala syyssänkimuokkaus lisäsi pintavaluntaa hiukan verrattuna syksyllä kynnettyyn maahan. Sitä vastoin pintavaluntaveden tuoma eroosiomäärä väheni 31–62 % (Skøien 1988, Lundekvam 1993). Pidemmällä tarkastelujaksolla pintavaluntaveden eroosioainekonsentraatio ja kokonaiseroosio vähenivät vieläkin enemmän (Lundekvam 1998). Syyssänkimuokkaus vähensi kokonaisfosforin kulkeutumista 14–36 % (Lundekvam 1993). Pidemmällä aikavälillä fosforin huuhtoutuminen aleni vielä enemmän (45 %) (Lundekvam 1998). Syyssänki-

muokkaus oli kuitenkin eroosion ja ravinnettappioiden vähentäjänä tehottomampi toimenpide kuin sängelle jättäminen (kevät-kyntö).

Lundekvamin (1998) mukaan vain kevyt sänkimuokkaus, jonka jälkeen kasvinjätteet peittävät 30–40 % maan pinnasta, voi tehokkaasti vähentää eroosiota. Skøienin (1988) mukaan topografisilla tekijöillä, kuten rinteiden kaltevuudella ja pituudella sekä valunnan jakautumisella pinta- ja salaojavalunnan kesken, on suuri vaikutus eroosioon. Eroosion ja ravinnettappioiden vuosivaihteluun vaikuttivat lumen sulaminen ja rankat sateet etenkin silloin, kun maa ei ollut kattavasti kasvipeitteinen. Tämän vuoksi johtopäätösten vetämiseksi tuloksia on oltava usealta vuodelta.

Syysänkimuokkauksen vaikutuksesta eroosioon ja ravinnettappioihin on kotimaisia tutkimustuloksia Jokioisten ja Aurajoen

kentiltä (Turtola & Puustinen 1998, Turto-  
la julkaisematon). Aurajoen kentällä syksyl-  
lä kynnetyyn maahan verrattuna s-piikkiä-  
keellä 8–10 cm syvyyteen tehty syyssänki-  
muokkaus lisäsi pintavaluntaa 38 %. Joki-  
oisissa pintavalunnan osuus kokonaisvalun-  
nasta oli kultivaattorilla 8 cm syvyyteen  
sänkimuokatusta maasta 34–39 % kun se  
oli kynnetyllä maalla vain 7–11 %. Aurajo-  
ella sänkimuokatusta maasta eroosio pinta-  
valunnassa oli 540–3100 kg/ha vuodessa  
(Turtola & Puustinen 1998), kun se oli Joki-  
oisissa kahden vuoden aikana 420–660  
kg/ha vuodessa pintavalunnassa ja 710–  
1080 kg/ha salaojavalunnassa (Turtola, jul-  
kaisematon). Vastaavat eroosiomäärät kyn-  
netyltä olivat Aurajoella 1700–3300 kg/ha  
ja Jokioisissa 70–150 kg/ha ja 1060–1430  
kg/ha. Syyssänkimuokkaus vähensi Aurajo-  
ella pintavalunnassa tapahtuvaa eroosiota  
20 % ja kokonaisfosforin kulkeutumista 7  
%. Jokioisten kentällä eroosio ja kokonais-  
fosforin kulkeutuminen pintavalunnassa li-  
säntyi (Taulukko 2). Kun Jokioisissa las-  
kettiin yhteen pinta- ja salaojavalunnan  
tuoma eroosio ja kokonaisfosforimäärä, sän-  
kimuokatun maan kuormitus oli hieman  
kynnetyä suurempi (Taulukko 2).

Suurin vaikutus sänkimuokkauksella oli  
liukaisen fosforin huuhtoutumiseen. Aura-  
joen kentällä sänkimuokkaus lisäsi liukaisen  
fosforin huuhtoutumista pintavalunnassa 128  
% syksyllä kynnetyyn verrattuna (Turtola &  
Puustinen 1998) ja Jokioisissakin pinta- ja sa-  
laojavedessä kahden vuoden aikana yhteensä  
35 % (Turtola, julkaisematon). Liukaisen fos-  
forin kuormituksen nousu johtui sekä lisään-  
tyneestä pintavalunnasta että pintavalunnan  
liukaisen fosforin pitoisuuden kasvamisesta  
kynnetyyn verrattuna. Pintavalunnan liu-  
koisen fosforin pitoisuuden kasvu voi olla seu-  
rausta maan helppoliukaisen fosforin määrän  
noususta maan pintakerroksessa sekä fosforin  
liukenemisestä pinnalle jääneistä kasvinjät-  
teistä. Pintavalunta lisääntyy ja fosforin rikas-  
tuu kyntöä enemmän maan pintakerrokseen,  
koska sänkimuokkauksen syvyys on kyntöä  
pienempi, yllä selostetuissa tutkimuksissa alle  
10 cm (Turtola & Puustinen 1998).

## 6.2 Typpi

Syysmuokkaus lisää typen huuhtoutumis-  
riskiä (Shepherd & Lord 1996). Muokkauk-  
sen aiheuttamaan huuhtoutumisriskiin vai-  
kuttaa myös maahan muokattavien kasvin-  
jätteiden typpipitoisuus. Jos typpipitoisuus  
on yli 1,8 % (C/N -suhde noin 30), tapahtuu  
nettomineralisaatiota, ainakin väliaikaises-  
ti, kun taas pitoisuuden ollessa alle 1,8 %  
tapahtuu nettoimmobilisaatiota (Wild  
1988). Sokerijuurikkaan naattien typpipi-  
toisuus (noin 3,8 %, Bruncrona 1994) ja pe-  
runan varsien typpipitoisuus (elo-syyskuun  
vaihteessa noin 2,7 %, Paavo Kuisma, suul-  
linen tiedonanto 9.11.1998) ovat niin suu-  
ria, että niiden hajotessa vapautuu mineraa-  
lityppeä enemmän kuin kuluu. Viljan olki-  
en typpipitoisuus on puolestaan niin pieni  
(alle 1 %), että olkien maahanmuokkaus ai-  
heuttaa typen immobilisaatiota ja vähentää  
maan mineraalitypen määrää syksyllä  
(Powlson et al. 1985, Bertilsson 1988). Sän-  
kimuokkauksessa kauttaaltaan maahan se-  
koittuva olkimassa saattaa hajotessaan im-  
mobilisoida tehokkaammin nitraattityppeä  
kuin kynnössä tiiviiksi patjaksi jäävä olki.

### 6.2.1 Suorakylvö

Jos maata ei syksyllä muokata lainkaan, ei  
kiihdytetä maan oman orgaanisen aineksen  
mineraloitumista, mikä voi vähentää typen  
huuhtoutumista. Tanskalaisessa tutkimuk-  
sessa seurattiin hietamaalla kevätsuorakyl-  
vön vaikutusta typen huuhtoutumiseen  
(Hansen & Djurhuus 1997). Vesinäytteet  
maasta saatiin 0,8 m syvyyteen upotettujen  
keraamisten imukuppien avulla. Keski-  
määrin nitraattia huuhtoutui kynnetyistä  
maasta 67 kg/ha ja suorakylvetyistä maasta  
17 % vähemmän, mutta ero ei ollut tilastol-  
lisesti merkitsevä. Tutkijat pitivät muokka-  
uksen orgaanisen aineksen hajoamista kiih-  
dyttävää vaikutusta selityksenä suorakylve-  
tyn maan hiukan pienempään nitraatin  
huuhtoutumiseen.

## 6.2.2 Sängelle jättäminen (muokkaus keväällä)

Maan jättäminen syksyllä muokkaamatta ehkäisee typen mineralisaatiota. Ero sängen ja muokatun maan välillä voi kuitenkin jäädä pieneksi, sillä muokatussa maassa olkimassan hajoamisen yhteydessä tyypeä immobilisoituu tehokkaasti. Esimerkiksi Keski-Englannissa hietamaalla maan jättäminen sängelle vähensi maan mineraalityypen vapautumista 22 kg/ha verrattuna syyskynntöön, jota ennen olki oli korjattu. Kuitenkin vähennys oli vain 6–7 kg/ha verrattuna syyskynntöön, jossa 5 000 kg:n olkisato muokattiin maahan (Shepherd & Lord 1996).

Norjalaisen tutkimuksen mukaan maan jättäminen sängelle (ja kynttäminen keväällä) vähensi hieman typen huuhtoutumista hiesusavimaalla (Lundekvam 1993), mikä johtui ainakin osittain salaojavalunnan vähenemisestä verrattuna syksyllä kynnettyyn maahan.

Tanskalaisessa tutkimuksessa kevätkynnöllä ei ollut vaikutusta nitraattityypen huuhtoutumiseen karkealta hietamaalta (Hansen & Djurhuus 1997). Sitä vastoin hiesuisella hietamaalla vasta keväällä kynnetystä maasta huuhtoutui nitraattityyppiä 49 kg/ha eli 24 % vähemmän kuin syksyllä kynnetystä maasta. Keväällä sänkimuokattusta maasta huuhtoutui vielä hiukan vähemmän nitraattityyppiä, 35 kg/ha. Tutkijoiden mukaan erot eri maiden välillä saattoivat johtua hiesuisen hiedan kyvystä suojata maan orgaanista ainesta hajoamiselta. Muokkauksen seurauksena suojauskyky kuitenkin aleni. Tutkimuksen aikana talvet olivat leutoja, minkä vuoksi muokkauksen vaikutus oli todennäköisesti suurimmillaan, kun taas kylmempinä talvina typen mineraloituminen olisi ollut vähäisempää.

Aurajoen kentällä sängelle jättäminen vähensi kokonaistypen huuhtoutumista 70 % (Turtola & Puustinen 1998). Aurajoella tutkittiin ainoastaan pintavaluntaa, jossa sängeltä tullessa vedessä tyyppiä huuhtoutui 1,9–7,6 kg/ha vuodessa. Tyyppi kuitenkin

kin huuhtoutuu pääasiassa salaojavalunnassa. Esimerkiksi Jokioisissa sängellä huuhtoutuminen salaojavedessä vaihteli 8,9–14 kg/ha vuodessa, kun se oli pintavalunnassa vain 1,2–3,2 kg/ha.

Jokioisissa sänki vähensi kokeen alussa typen huuhtoutumista kolmanneksen johdun osaksi salaojavalunnan vähenemisestä. Sängen positiivinen vaikutus kuitenkin väheni, kun sängen jälkeen sateisena kevätke-sänä perustettu ohrakasvusto kärsi alkuke-sän voimakkaista sateista ja typen huuhtoutuminen lisääntyi samana ja seuraavana vuonna merkittävästi. Kahden vuoden koejakson aikana typen huuhtoutuminen pinta- ja salaojavalunnassa oli sänkimaasta ainoastaan 5 % alhaisempi kuin syksyllä kynnetystä maasta. Sängelle jättäminen on myös viljelyteknisesti riskialtis menetelmä (vrt. Pitkänen 1994, Pitkänen & Mikkola 1998).

Sokerijuurikkaan naatit sisältävät tyyppiä yli 130 kg/ha (Linden 1987, Bruncrona 1994), minkä vuoksi niiden syksyllä tapahtuvasta muokkauksesta voi aiheutua typen huuhtoutumista. Shepherd & Lord (1996) havaitsivat Keski-Englannissa hietamaalla, että sokerijuurikkaan myöhäinen korjuu marras-joulukuussa ja maan muokkaamatta jättäminen aiheuttivat selvästi pienemmän typen huuhtoutumisen kuin aikaisempi korjuu lokakuussa, jota seurasi maan muokkaus ja syysvehnän kylvö. Suomessa tehdyssä tutkimuksessa sokerijuurikkaan naattien sisältämästä tyypestä mineralisoitui talven aikana 26 %, jos naatit oli muokattu maahan, ja 16 %, jos ne oli jätetty pinnalle (Bruncrona 1994). Jos naatit sisälsivät tyyppiä 160 kg/ha, ero mineralisoinnissa oli 16 kg/ha.

## 6.2.3 Syyssänkimuokkaus

Syysänkimuokkauksen vaikutuksesta typikuormitukseen on vain vähän tutkimustietoa. Norjalaisessa tutkimuksessa syyssänkimuokkaus vähensi kokonaistypen huuhtoutumista pintavalunnassa hiesusav-

imaalla 25 % syksyllä kynnettyyn verrattuna (Lundekvam 1993). Tanskassa hiesuisella hietamaalla syysänkimuokkaus ei vähentänyt nitraattitypen huuhtoutumista syksyllä kynnettyyn verrattuna (Hansen & Djurhuus 1997). Sitävastoin pelkkä sänkimuokkaus syksyllä vähensi nitraattitypen huuhtoutumista syksyllä sänkimuokattuun ja sen jälkeen kynnettyyn maahan verrattuna 11 kg/ha (17 %), mikä osoitti voimakkaan muokkaus käsittelyn lisäävän typen huuhtoutumisriskiä. Suomessa Aurajoen kentältä tyypeä huuhtoutui pintavalunnassa sänkimuokatulta maalta 1,9–7,6 kg/ha, mikä oli 39 % vähemmän kuin syksyllä kynnetystä maasta (Turtola & Puustinen 1998).

## 7 Yhteenveto ja johtopäätökset

Nykyisessä maatalouden ympäristötuessa (MMM 1998) kasvipeitteisyyden nimellä vesistökuormitusta pyritään vähentämään elävän kasvipeitteen (nurmi, viherkesanto, syysviljat, kerääjäkasvit) ohella kuolleilla kasvinjätteillä (sänki, olki, sokerijuurikkaan naatit, yms.) mutta myös vähentämällä tai muuttamalla maan muokkausta (syysmuokkauksesta luopuminen, syysänkimuokkaus). Edellisissä luvuissa läpikäydyn kirjallisuuden perusteella laadittiin arvio toimenpiteiden todennäköisestä vaikutuksesta kuormitukseen Suomen olosuhteissa verrattuna viljanviljelyyn syyskyntöä käyttäen (Taulukko 4).

Taulukon 4. kasvipeitteisyysvaihtoehdoilla voidaan vähentää peltolohkolta tulevaa eroosiota arviolta 10–40 % ja typen huuhtoutumista 10–70 %. Tehokkaimmat vähentäjät ovat monivuotinen viherkesanto ja monivuotinen nurmi. Kasvipeitteisyys ei vähennä liukoisen fosforin kuormitusta, koska esimerkiksi nurmi, viherkesanto, sänkimuokkaus ja sänki lisäävät pintavalunnan osuutta kokonaisvalunnasta. Helppoliukoisen fosforin pitoisuus maan pintakerrokses-

sa on suurempi kuin syvemmällä maassa, minkä vuoksi maan pintakerroksessa virtaava vesi kuljettaa mukanaan enemmän liukoista fosforia kuin syvemmälle maahan imeytyvä vesi. Lisäksi muokkausvyödytys madaltaminen voi johtaa fosforin rikastumiseen maan pintakerrokseen. Kaikkein nopein fosforin rikastuminen aiheutuu monivuotisten nurmien toistuvasta pintalannoituksesta. Vuosittainen muokkausvyödytys näyttääkin määräävän paitsi fosforin rikastumiskerroksen syvyyden myös sen syvyyden, missä suurin osa pintavirtailuvedestä kulkee.

Kasvipeitteisyyden kokonaisvaikutus vesistöjä rehevöittäväan fosforikuormitukseen muodostuu eroosioaineksen kuljetettaman partikkelifosforin vähenemisen ja liukoisen fosforin lisääntymisen summana. Liukoinen fosfori on kokonaan leville käytökelpoista. Kokonaisvaikutuksen arvioinnin lähtökohdaksi voidaan pitää, että 1) kolmannes peltoalueilta tulevasta fosforikuormituksesta on liuenneessa ja kaksi kolmannesta partikkelimuodossa ja 2) noin 10 % partikkelifosforista voi vapautua vesistöissä leviemiseen. Jos peltolohkon fosforikuormitus on keskimääräisellä suomalaisella tasolla, liukoisen fosforin kuormitus on 0,4 kg/ha ja partikkelifosforin kuormitus 0,8 kg/ha. Oletetaan, että kasvipeitteisyys aiheuttaa liukoisen fosforin kuormitukseen 20 %:n lisäyksen. Jotta tämä lisäys (0,08 kg/ha) saataisiin kompensoitua, partikkelifosforin kuormituksen pitäisi vähentyä 100 % (0,8 kg/ha) eli eroosio sekä pinta- että salajavalunnassa olisi saatava kokonaan loppumaan.

Yllä esitetty laskelma osoittaa, että liukoisen fosforikuormituksen lisäystä ei saada kompensoitua eroosion torjunnalla. Tilanne vaikeutuu edelleen, jos yllä mainittu lähtöoletus 2) korvataan pienemmällä käyttökelpoisuusarviolla (5 % partikkelifosforista, Ekholm 1994). Fosforikuormituksen pienentämiseksi onkin kasvipeitteisyyden sijasta käytettävä muita keinoja, joista tärkein on pellon fosforitilan alentaminen.

Eroosiota ja ravinnekuormitusta tulisi vähentää lohkokohtaisesti siten, että savi- ja



**Taulukko 4.** Arvio erilaisten kasvipeitemuotojen aiheuttamasta muutoksesta kuormituksessa (%) syksyllä kynnettyyn maahan verrattuna Etelä-Suomessa. + kuormitus kasvaa, – kuormitus vähenee, ? muutos ei tiedossa.

Kasvipeite	Erosio ja Partikkelifosfori	Liukoinen fosfori	Typpi
Monivuotinen nurmi	- 40	+ 30	- 40
Pintalannoitettu (P) monivuotinen nurmi	Erosio - 40 partikkelifosfori - 30	+ 200	- 40
Monivuotinen viherkesanto	- 40	+ 30	- 70
Aluskasvit (raiheinä)	?	?	- 30
Syysviljat	?	?	- 30
Sänki	- 20	+ 30	- 20
Syysänki-muokkaus	- 10	+ 30	?

hiesumailla käytetään kasvipeitteisyyttä eroosion (vesistöjen samentumisen) ja typ-pikuormituksen torjumiseen, hieta- ja turvemailla typpikuormituksen vähentämiseen. Eroosion torjuminen on tärkeää savi- ja hiesumailla, jotka erodoituvat hietamaita herkemmin, ja joiden eroosioaines kulkeutuu helpommin peltoalueen ulkopuolelle. Savi- ja hiesumaiden eroosiontorjuntatimet on kohdistettava viettävillä ja jyrkille peltolohkoille. Hiesumailla eroosiontorjunnassa kannattaisi keskittyä vesistöjen läheisille lohkoille, joilta erodoituva aines päättyy helpommin vesistöön. Tehokkain keino torjua eroosiota on viljelyn lopettaminen jyrkimmillä törmillä tai monivuotisen nurmen viljely. Kaltevuuden mukaan sijoitettu, pysyvän kasvillisuuden alue vähentää kuormitusta moninkertaisesti verrattuna osuuteensa peltopinta-alasta.

Liunneen fosforin ja partikkelifosforista vesistöissä liukenevan fosforin kuormitusta vähennetään tehokkaimmin alentamalla korkeita maan fosforilukuja. Nurmien viljelyssä olisi luovuttava fosforin pintalannoit-

tuksesta, josta aiheutuu suuri kuormitusriski, jos loholla muodostuu pintavaluntaa. Viettävillä savi- ja hiesumailla olisi huolehdittava pellon kunnollisesta salaojituksesta pintavalunnan vähentämiseksi.

Typpikuormitusta on puolestaan tärkeää torjua hieta- ja turvemailla, joilta typen huuhtoutuminen on runsasta suuremman läpivalunnan ja orgaanisen aineksen hajoamisen vuoksi. Monivuotinen nurmi, viherkesanto ja aluskasvit (raiheinä) lisäävät elävän kasvipeitteen kestoja ja rajoittavat typen huuhtoutumista tehokkaimmin. Aikaisin korjattavien kasvien viljelyssä typen huuhtoutumista voitaisiin torjua myöhäisen kynnön tai mahdollisuuksien mukaan kevätmuokkauksen tai välikasvien avulla.

Sokerijuurikkaan naatit sisältävät runsaasti typpeä ja fosforia joten niiden korjuu vähentäisi ravinteiden huuhtoutumisriskiä. Ellei naatteja voida korjata, typen huuhtoutumista voidaan vähentää jättämällä maa muokkaamatta syksyllä. Syysmuokkauksesta luopuminen vähentää typen huuhtoutumista myös perunanviljelyssä. Muokka-

uksen siirtämisestä kevääseen on etua etenkin hyvin vettä läpäisevillä mailla, joilla ei muodostu pintavaluntaa ja joilla typen huuhtoutumisriski on jäykempiä maita suurempi. Sen sijaan kaltevilla, huonommin vettä läpäisevillä savimailla, joilla muodostuu pintavaluntaa, sokerijuurikkaan naat-

tien jääminen maan pinnalle muokkaamatta lisää liuenneen fosforin kuormitusriskiä. Suuremman pintavalunnan vuoksi näillä mailla myös typen huuhtoutumisessa saatettava etu jää läpäiseviä maita pienemmäksi.

## Kirjallisuus

**Alvenäs, G. & Marstorp, H.** 1993. Effect of a ryegrass catch crop on soil inorganic-N content and simulated nitrate leaching. *Swedish Journal of Agricultural Research* 23: 3–14.

**Aronsson, H., Stenberg, M., Lindén, B., Gustafson, A. & Rydberg, T.** 1995. Soil tillage systems with and without a catch crop - nitrogen mineralization and risk of nitrate leaching. In: Lindén, B. (ed.). *Proceedings of NJF seminar no. 245. The use of catch or cover crops to reduce leaching and erosion. NJF-utredning/rapport nr 99.* Knivsta, Sweden, 3-4 October 1994. p. 93–104. ISSN 0333-1350.

**Beck-Friis, B., Lindén, B., Marstorp, H. & Henriksson, L.** 1994. Kväve i mark och grödor i odlingssystem med fånggrödor. Undersökningar på en sandjord i södra Halland. Rapport 193. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitetet, Institution för markvetenskap. 36 p. ISSN 0348-3541.

**Bergström, L.** 1987. Nitrate leaching from annual and perennial crops in tile-drained plots and lysimeters. *Journal of Environmental Quality* 16: 11–18.

**Bertilsson, G.** 1988. Lysimeter studies of nitrogen leaching and nitrogen balances as affected by agricultural practices. *Acta Agriculturae Scandinavica* 38: 3–11.

**Brandsæter, L. O.** 1995. Catch crops as a possible tool in the management of weeds in row crops. In: Lindén, B. (ed.). *Proceedings of NJF seminar no. 245. The use of catch or cover crops to reduce leaching and erosion. NJF-utredning/rapport nr 99.* Knivsta, Sweden, 3-4 October 1994. p. 62–66. ISSN 0333-1350.

**Brown, M.J., Bondurant, J.A. & Brockway, C.E.** 1981. Ponding surface drainage water for sediment and phosphorus removal. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 25: 1478–1481.

**Bruncrona, C.** 1994. Uppföljning av näringsämnen i sockerbetsblast. Pro gradu -työ. Helsingin yli-

pisto. 66 p.

**Børresen, T. & Uhlen, G.** 1991. Soil erosion and phosphorus losses in winter surface runoff in field lysimeters at Ås 1989-1990. *Norsk landbruksforskning* 5: 47–54.

**Dillaha, T. A., Reneau, R. B., Mostaghimi, S. & Lee, D.** 1989. Vegetative filter strips for agricultural nonpoint source pollution control. *Transactions of the ASAE* 32: 513–519.

**Ekholm, P.** 1994. Bioavailability of phosphorus in agriculturally loaded rivers in southern Finland. *Hydrobiologia* 287: 179–194.

**Eltun, R.** 1995. Effect of different crop rotations on soil mineral nitrogen, nitrogen leaching and loss of phosphorus. In: Lindén, B. (ed.). *Proceedings of NJF seminar no. 245. The use of catch or cover crops to reduce leaching and erosion. NJF-utredning/rapport nr 99.* Knivsta, Sweden, 3-4 October 1994. p. 115–124. ISSN 0333-1350.

**Gustafson, A.** 1987. Nitrate leaching from arable land in Sweden under four cropping systems. *Swedish Journal of Agricultural Research* 17: 169–177.

**Hansen, E. M. & Djurhuus, J.** 1996. Nitrate leaching as affected by long-term N fertilization on a coarse sand. *Soil Use and Management* 12: 199–204.

– & **Djurhuus, J.** 1997. Nitrate leaching as influenced by soil tillage and catch crop. *Soil & Tillage Research* 41: 203–219.

–, **Djurhuus, J. & Simmelsgaard, S.E.** 1995. Effect of catch crops on nitrate leaching. An outline of some field experiments performed by the Danish institute of plant and soil science. In: Lindén, B. (ed.). *Proceedings of NJF seminar no. 245. The use of catch or cover crops to reduce leaching and erosion. NJF-utredning/rapport nr 99.* Knivsta, Sweden, 3-4 October 1994. p. 67–78. ISSN 0333-1350.

- Hudson, N.** 1971. Soil Conservation. London, BT Batsford. 320 p.
- Jaakkola, A.** 1984. Leaching losses of nitrogen from a clay soil under grass and cereal crops in Finland. *Plant and Soil* 76: 59–66.
- Känkänen, H.** 1994. Viherkesannon typpi hyödyksi. Koetoiminta ja käytäntö 51(22.2.1994): 7
- 1995. The effect of undersown clover and grass on the nitrogen leaching risk during autumn and winter. In: Lindén, B. (ed.). Proceedings of NJF seminar no. 245. The use of catch or cover crops to reduce leaching and erosion. NJF-utredning/rapport nr 99. Knivsta, Sweden, 3-4 October 1994. p. 79–86. ISSN 0333-1350.
- & **Nykänen-Kurki, P.** 1997. Effect of incorporation time of different plant materials on soil mineral nitrogen content. September 30 - October 3, 1997, Southwell, UK. *Mmimeografia*. 16 p.
- & **Turtola, E.** 1998. Typpihuutoutumat kuriin aluskasvilla. Koetoiminta ja käytäntö 55(3): 4.
- Lewan, E.** 1994. Effects of a catch crop on leaching of nitrogen from a sandy soil: simulations and measurements. *Plant and Soil* 166: 137–152
- Linden, B.** 1987. Reasons for variation in optimum demand of fertilizer nitrogen in sugar beet production. In: Nielsen, N.E. (ed.). Proceedings of the Third Meeting of the NW Study Group for the Assessment of Nitrogen Fertilizer Requirement. Copenhagen, Denmark. Royal Veterinary and Agricultural University. p. 72–86.
- Linsley, R.K., Kohler, M.A. & Paulhus, J.L.H.** 1949. *Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill Book Company. 689 p.
- Lundekvam, H.** 1993. Soil erosion and runoff under different tillage systems. In: Elonen, P. & Pitkänen, J. (eds.). Proceedings of NJF-seminar no. 228. Soil tillage and environment. NJF-Utredning/Rapport nr. 88. Jokioinen, Finland, 8-10 June 1993. p. 50–63. ISSN 0333-1350.
- 1998. P-losses from three soil types at different cultivation systems. In: Agerlid, G. (ed.). Phosphorus balance and utilization in agriculture - towards sustainability: Seminarium, den 17-19 mars 1997. *Kungliga skogs- och lantbruksakademiens tidskrift* 137(7): 177–185.
- Lyngstad, I. & Breland, T. A.** 1995. Ryegrass and white clover undersown in small grains at three N levels and four tillage treatments: effects on soil mineral nitrogen. In: Lindén, B. (ed.). Proceedings of NJF seminar no. 245. The use of catch or cover crops to reduce leaching and erosion. NJF-utredning/rapport nr 99. Knivsta, Sweden, 3-4 October 1994. p. 87–92. ISSN 0333-1350.
- Maa- ja metsätalousministeriö 1998. Hakuopas 1998. Peltokasvien tuki, ympäristötuen perustuki, luonnonhaittakorvaus, kansalliset tuet. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. 112 p.
- Magette, W.L., Brinsfield, R.B., Palmer, R.E., Wood, J.D., Dillaha, T.A. & Reneau, R.B.** 1987. Vegetated filter strips for agricultural runoff treatment. CBP/TRS 2/87, United States Environmental Protection Agency, Philadelphia, PA 19107. 125 p.
- Martinez, J. & Guiraud, G.** 1990. A lysimeter study of the effects of a ryegrass catch crop, during a winter wheat/maize rotation, on nitrate leaching and on the following crop. *Journal of Soil Science* 41: 5–16.
- Nielsen, N.E. & Jensen, H.E.** 1985. Soil mineral nitrogen as affected by undersown catch crops. In: Neeteson, J. & Diltz, K. (eds.). Assessment of nitrogen fertilizer requirement. Institute for soil fertility, Haren. p. 101–109.
- Olsen, P., Hansen, B., Hasholt, B., Jensen, N. E., Schjøning, P. & Sibbesen, E.** 1995. Water erosion and surface transport of phosphorus on agricultural land in Denmark. In: Lindén, B. (ed.). Proceedings of NJF seminar no. 245. The use of catch or cover crops to reduce leaching and erosion. NJF-utredning/rapport nr 99. Knivsta, Sweden, 3-4 October 1994. p. 132–141. ISSN 0333-1350.
- Pehkonen, A., Pitkänen, J., Turtola, E., Pietilä, S. & Sipilä, I.** 1996. Ympäristöä säästävä muokkaus- ja kylvöannoitustekniikka. Maatalousteknologian julkaisuja 20. Helsinki: Helsingin yliopisto, Maa- ja kotitalousteknologian laitos. 70 p. ISSN 1235-3957, ISBN 951-45-7384-6.
- Pitkänen, J.** 1988. Aurattoman viljelyn vaikutukset maan fysikaalisiin ominaisuuksiin ja maan viljavuuteen (Summary: Effects of ploughless tillage on physical and chemical properties of soil. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 21/88. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. p. 62–162. ISSN 0359-7652.
- 1994. A long term comparison of ploughing and shallow tillage on the yield of spring cereals in Finland. In: Jensen, H.E. et al. (eds.). Proceedings of International Soil Tillage Research Organization. Aalborg, Denmark, 24-29.7.1994. Vol 2, p. 709–715.
- & **Mikkola, H.** 1998. Muokkausopas. Käytännön Maamies 3/98. 32 p.
- & **Nuutinen, V.** 1998. Earthworm contribution to infiltration and surface runoff after 15 years of differ-

ent soil management. *Applied Soil Ecology* 9: 411–415.

**Powison, D.S., Jenkinson, D.S., Pruden, G. & Johnston, A.E.** 1985. The effect of straw incorporation on the uptake of nitrogen by winter wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 36: 26–30.

**Puustinen, M.** 1994. Effect of soil tillage on erosion and nutrient transport in plough layer runoff. Publications of the Water Research Institute 17. Helsinki, National Board of Waters and Environment. p. 71–90.

**Rydberg, I. & Karlsson-Strese, E.-M.** 1995. Variation between and within species for the ability to catch nitrogen. In: Lindén, B. (ed.). Proceedings of NJF seminar no. 245. The use of catch or cover crops to reduce leaching and erosion. NJF-utredning/rapport nr 99. Knivsta, Sweden, 3-4 October 1994. p. 55–61. ISSN 0333-1350.

**Salo, T., Raiskio, S. & Aaltonen, M.** 1998. Kaalipellon syysmuokkaus ja kerääjäkasvit. In: Suojala, T. & Pessala, R. Laatuvihannesten hyvät viljelymenetelmät. Tutkimusohjelman loppuraportti. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 43. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. p. 18–24. ISBN 951-729-525-1.

**Schjønning, P.** 1993. Effect of soil tillage on surface runoff, soil erosion and loss of phosphorus - plot studies. 2. Key soil physical properties. In: Elonen, P. & Pitkänen, J. (eds.). Proceedings of NJF-seminar no. 228. Soil tillage and environment. NJF-Utredning/Rapport nr. 88. Jokioinen, Finland, 8-10 June 1993. p. 38–49. ISSN 0333-1350.

**Sharpley, A.N., Smith, S.J., Jones, O.R., Berg, W.A. & Coleman, G.A.** 1992. The transport of bioavailable phosphorus in agricultural runoff. *Journal of Environmental Quality* 21: 30–35.

**Shepherd, M.A. & Lord, E.** 1996. Nitrate leaching from a sandy soil: the effect of previous crop and post-harvest soil management in a arable rotation. *Journal of Agricultural Science* 127: 215–299.

**Sibbesen, E., Hansen, A.C., Nielsen, J.D. & Heidman, T.** 1993. Effect of soil tillage on surface runoff, soil erosion and loss of phosphorus - plot studies. 1. Course and extend of processes. In: Elonen, P. & Pitkänen, J. (eds.). Proceedings of NJF-seminar no. 228. Soil tillage and environment. NJF-Utredning/Rapport nr. 88. Jokioinen, Finland, 8-10 June 1993. p. 29–37. ISSN 0333-1350.

–, **Hansen, A. C., Nielsen, J. D. & Heidman, T.** 1994. Runoff, erosion and phosphorus loss from various cropping systems in Denmark. In: Rickson, R. J. (ed.). *Conserving soil resources : European*

*perspectives: selected papers from the first international congress of the european society for soil conservation.* Oxon: CAB International. p. 87–93. ISBN 0-85198-948-9.

**Skøien, S.** 1988. Soil erosion and runoff losses of phosphorus, effect of tillage and plant cover. *Norsk landbruksforskning* 2: 207–218.

–, **Børresen, T., Lundekvam, H. & Uhlen, G.** 1995. Effects of plant cover and tillage on soil erosion and phosphorus losses in surface runoff. In: Lindén, B. (ed.). Proceedings of NJF seminar no. 245. The use of catch or cover crops to reduce leaching and erosion. NJF-utredning/rapport nr 99. Knivsta, Sweden, 3-4 October 1994. p. 142–147. ISSN 0333-1350.

**Svensson, K. S., Lewan, E. & Clarholm, M.** 1994. Effects of a ryegrass catch crop on microbial biomass and mineral nitrogen in an arable soil during winter. *Swedish Journal of Agricultural Research* 23: 31–38.

**Syversen, N.** 1994. Effect of vegetative filter strips on minimizing agricultural runoff in southern Norway. In: Persson, R. (ed.). Proceedings of NJF-seminar 247, Agrohdrology and nutrient balances. Uppsala, Sweden: Division of Agricultural Hydrotechnics Swedish University of Agricultural Sciences Communications 94: 5. p. 70–74.

**Sørensen, J.N. & Thorup-Kristensen, K.** 1993. Nitrogen effects of non-legume catch crops. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 156: 55–59.

**Thomsen, I.K., Hansen, J.F., Kjellerup, V. & Christensen, B.T.** 1993. Effects of cropping system and rates of nitrogen in animal slurry and mineral fertilizer on nitrate leaching from a sandy loam. *Soil Use and Management* 9: 53–58.

**Thorup-Kristensen, K.** 1994. The effect of nitrogen catch crop species on the nitrogen nutrition of succeeding crops. *Fertilizer Research* 37: 227–234.

**Timmons, D.R., Holt, R.F. & Latterell, J.J.** 1970. Leaching of crop residues as a source of nutrients in surface runoff water. *Water Resources Research* 6: 1367–1375.

**Turtola, E.** 1992. Kesannointimenetelmän vaikutus typen ja fosforin huuhtoutumiseen. In: Rekolainen, S. & Kauppi, L. (eds.). Maatalous ja vesien kuormitus. Yhteistutkimusprojektin tutkimusraportit. Vesi- ja Ympäristöhallituksen monistesarja nro 359. Helsinki. Vesi- ja ympäristöhallitus. p. 135–145.

– 1996a. Muokkausajankohdan ja maan kasvipeitteisyyden vaikutus vesien kuormitukseen. In: Pehkonen, A. et al. (eds.). *Ympäristöä säästävä*

- muokkaus- ja kylvöläannoitustekniikka. Maatalous-tekniikan julkaisu 20. Helsinki: Helsingin yliopisto, Maa- ja kotitaloustekniikan laitos. p. 34–42. ISSN 1235-3957, ISBN 951-45-7384-6.
- 1996b. Phosphorus losses from clay soil as affected by cropping and subsurface drainage improvement. 35 p. Lisensiaattityö. Helsingin yliopisto.
- & **Jaakkola, A.** 1985. Viljelykasvin ja lannoitustason vaikutus typen ja fosforin huuhtoutumiseen savimaasta. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 6/85. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 43 p. ISSN 0359-7652.
- & **Jaakkola, A.** 1987. Viljelykasvin vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen savimaasta. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 22/87. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 34 p. ISSN 0359-7652.
- & **Jaakkola, A.** 1995. Loss of phosphorus by surface runoff and leaching from a heavy clay soil under barley and grass ley in Finland. *Acta Agriculturae Scandinavica B* 45: 159–165.
- & **Paajanen, A.** 1995. Influence of improved subsurface drainage on phosphorus losses and nitrogen leaching from a heavy clay soil. *Agricultural Water Management* 28(4): 295–310.
- & **Puustinen, M.** 1998. Kasvipeitteisyys ravinnehuuhtoutumien vähentäjänä. *Vesitalous* 1/1998: 6–11.
- Uhlen, G.** 1988. Surface runoff losses of phosphorus and other nutrient elements from fertilized grassland. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 3: 47–55.
- , **Bakken, L. & Haugen, L. E.** 1996. Nutrient and water balances in lysimeter experiments. 2. Nitrogen and mineral leaching and balances. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 10: 339–354.
- Ulén, B.** 1984. Nitrogen and phosphorus to surface water from crop residues. *Ekohydrologi* 18: 39–44.
- 1997. Nutrient losses by surface run-off from soils with winter cover crops and spring-ploughed soils in the south of Sweden. *Soil & Tillage Research* 44: 165–177.
- Uusi-Kämpä, J.** 1995. Jokioisten suojakaistatuloja. In: Jokirantasuunnittelun kehittäminen. Yhteistyöprojektin aloitusseminaari, Jokioinen, 13.12.1995. Maatalouden tutkimuskeskus ja Hämeen Ammattikorkeakoulu. p. 13–25.
- 1997. Ajankohtaista suojavyöhyketutkimuksesta. In: Maaseudun jokiympäristöt –seminaari, MTT/Jokioinen, 14.-15.8.1997. p. 6–11.
- & **Turtola, E., Hartikainen, H. & Ylärinta, Y.** 1997. The interactions of buffer zones and phosphorus runoff. In: Haycock, N.E. et al. (eds.). *Buffer Zones: Their Processes and Potential in Water Protection. The Proceedings of the International Conference on Buffer Zones*, Ovest Environmental, Harpenden, Hertfordshire, UK, September 1996. p. 43–53. ISBN: 0 9530051 0 0. p. 43–53.
- & **Ylärinta, T.** 1992. Reduction of sediment, phosphorus and nitrogen transport on vegetated buffer strips. *Agricultural Science in Finland* 1: 569–575. Research Note.
- & **Ylärinta, T.** 1993. Nutrient and sediment removal by vegetated buffer strips. In: Elonen, P. & Pitkänen, J. (eds.). *Proceedings of NJF-seminar no. 228. Soil Tillage and Environment*, NJF-Utredning/Rapport nr. 88. Scandinavian Association of Agricultural Scientists (NJF), Jokioinen, Finland, 8-10.6.1993. p. 225–230.
- & **Ylärinta, T.** 1994. Suojakaistat ravinteiden kerääjinä. *Leipä leveämmäksi* 4: 21–22.
- & **Ylärinta, T.** 1996. Effect of buffer strips on controlling soil erosion and nutrient losses in southern Finland. In: Mulamootil, G. et al. (eds.). *Wetlands: Environmental Gradients, Boundaries, and Buffers*. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, Inc. p. 221–235. ISBN 1-56670-147-3.
- Vinther, F. P.** 1995. N-mineralization and denitrification after incorporation of catch crops and plant residues. In: Lindén, B. (ed.). *Proceedings of NJF seminar no. 245. The use of catch or cover crops to reduce leaching and erosion*. NJF-utredning/rapport nr. 99. Knivsta, Sweden, 3-4 October 1994. p. 93–104. ISSN 0333-1350.
- Wallgren, B. & Lindén, B.** 1994. Effects of catch crops and ploughing times on soil mineral nitrogen. *Swedish Journal of Agricultural Research* 24: 67–75.
- Webster, C.P. & Goulding, K.W. T.** 1995. Effect of one year rotational set-aside on immediate and ensuing nitrogen leaching loss. *Plant and Soil* 177: 203-209.
- Wild, A.** 1988. Plant nutrients in soil: nitrogen. In: Wild, A. (ed.). *Russell's soil conditions & plant growth*. Harlow: Longman Group UK Limited. p. 652–694. ISBN 0-582-44677-5.
- Ylärinta, T., Uusi-Kämpä, J. & Jaakkola, A.** 1993. Leaching of nitrogen in barley, grass ley and fallow lysimeters. *Agricultural Science in Finland* 2: 281–291.
- Øygarden, L., Kværner, J. & Jenssen, P.D.** 1997. Soil erosion via preferential flow to drainage systems in clay soils. *Geoderma* 76: 65–86.

LIITE 1

Muokkauksen aiheuttama muutos (%) eroosiion pintavalunmassa verrattuna syyskynntöön.

Käsittely	Pintavalunta mm	Erosioaineskons, g/l	Erosio muutos, %	kg/ha	Maa- laji	Kaltevuus	Paikka	Maa	Koeaika	Viite
suorakylvö	112	+109	-10	207	He	4,5%	Aas	Norja	3 talvea	Skøien et al, 1995
suorakylvö	168	+98	-4	450	He	4,5%	Aas	Norja	1 talvi	Børresen & Uhlen 1991
suorakylvö			-80	460	AS	12 %	Øsaker	Norja	4 v	Skøien 1988
suorakylvö		0,15	-85	189	AS	12 %	Øsaker	Norja		Lundekvam 1998 *
suorakylvö			-84	218	AS	12 %	Øsaker	Norja	3 v	Skøien et al, 1995
suorakylvö, syysvilja			-13	1980	AS	12 %	Øsaker	Norja	4 v	Skøien 1988
sänki	2	+32	-55		HsS	10 %		Ruotsi	3 talvea	Ulén 1997
sänki			-85	47	HsS	12 %	Bjørnebekk	Norja		Lundekvam 1998 *
sänki	226	-9	-83	840	HsS	12 %	Bjørnebekk	Norja	3 v	Lundekvam 1993
sänki			-70	4000	HsS	12 %	Bjørnebekk	Norja	4 v	Skøien 1988
sänki			-8	123	Hs	10 %	Syverud	Norja		Lundekvam 1998 *
sänki			-18	102	Hs	10 %	Syverud	Norja	3 v	Skøien et al, 1995
sänki		0,11	-89	217	HsS	10 %	Hellerud	Norja		Lundekvam 1998 *
sänki		0,28	-83	705	HsS	12 %	Askim	Norja		Lundekvam 1998 *
sänki	226	-18	-87	968	HsS	12 %	Askim	Norja	6 v	Lundekvam 1993
sänki	188	-1	-74	200-1400	HeS/AS	7-8%	Aurajoki	Suomi	4 v	Turtola & Puustinen 1998
sänki	113	+84	-36	230-330	HtS/AS	2 %	Jokioinen	Suomi	2 v	Turtola & Puustinen 1998
sänkimuokkaus		0,96	-48	2573	HsS	12 %	Bjørnebekk	Norja		Lundekvam 1998 *
sänkimuokkaus	260	+4	-41	3400	HsS	12 %	Bjørnebekk	Norja	3 v	Lundekvam 1993
sänkimuokkaus		0,61	-40	861	AS	12 %	Øsaker	Norja		Lundekvam 1998 *
sänkimuokkaus			-26	1028	AS	12 %	Øsaker	Norja	3 v	Skøien et al, 1995
sänkimuokkaus			-62	13830	hs HeS		Nordby	Norja	3 v	Skøien 1988
sänkimuokkaus	208	+38	-46	540-3100	HeS/AS	7-8%	Aurajoki	Suomi	4 v	Turtola & Puustinen 1998
sänkimuokkaus	101	+381	0	420	HtS/AS	2 %	Jokioinen	Suomi	1 v	Turtola & Puustinen 1998

\* ) Lundekvam 1998: tulokset 5-12 vuoden ajalta

LIITE 2

Muokkauksen aiheuttama muutos (%) kokonaisfosforin (Kok-P) ja partikkelifosforin (Part-P) kuormitukseen pintavalunmassa verrattuna syyskylvöön.

	Kok-P kg/ha	Kok-P %	Kok-P mg/l	Part-P %	Part-P mg/ha	Part-P %	Maalaji	Kaltevuus Paikka	Maa	Koeaika	Vilite
suorakylvö	1,05	-11					He	4,5% Aas	Norja	1 talvi	Børresen & Uhlen 1991
suorakylvö	0,45	-72					AS	12 % Øsaker	Norja	4 v	Skøien 1988
suorakylvö	0,32	-77					AS	12 % Øsaker	Norja		Lundekvam 1998
suorakylvö	0,26	-89					AS	12 % Øsaker	Norja	3 v	Skøien et al, 1995
suorakylvö, syysvilja	1,71	+7					AS	12 % Øsaker	Norja	4 v	Skøien 1988
sänki	0,73	-30					He	4,5 Aas	Norja	3 talvea	Skøien et al, 1995
sänki	1,1	-82					HsS	12 % Bjørnebekk	Norja		Lundekvam 1998
sänki	1,24	-81	0,55	-79			HsS	12 % Bjørnebekk	Norja	3 v	Lundekvam 1993
sänki	2,2	-68					HsS	12 % Bjørnebekk	Norja	4 v	Skøien 1988
sänki	0,39	+63					Hs	10 % Syverud	Norja		Lundekvam 1998
sänki	0,31	-37					Hs	10 % Syverud	Norja	3 v	Skøien et al, 1995
sänki	1,01	-80					HsS	12 % Askim	Norja		Lundekvam 1998
sänki	1,74	-79					HsS	12 % Askim	Norja	5 v	Lundekvam 1993
sänki	0,83	-66					HsS	10 % Hellerud	Norja		Lundekvam 1998
sänki			0,3	-12			HsS	10 %	Ruotsi	3 talvea	Ulén 1997
sänki			0,64	-73	0,4-	-73	HeS/AS	7-8%	Suomi	4 v	Turtola & Puustinen 1998
sänki			0,21	-64	0,2-	-31	HtS/AS	2 %	Suomi	2 v	Turtola & Puustinen 1998
					2,8						
					0,3						
sänkimuokkaus	3,3	-45					HsS	12 % Bjørnebekk	Norja		Lundekvam 1998
sänkimuokkaus	4,25	-36	1,63	-39			HsS	12 % Bjørnebekk	Norja	3 v	Lundekvam 1993
sänkimuokkaus	1,17	-14					AS	12 % Øsaker	Norja		Lundekvam 1998
sänkimuokkaus			1,2	-50	0,8-	-7	HeS/AS	7-8%	Suomi	4 v	Turtola & Puustinen 1998
					5,8						
sänkimuokkaus			0,34	+4	0,3		HtS/AS	2 %	Suomi	1 v	Turtola & Puustinen 1998

Muokkauksen aiheuttama muutos liukoisen fosforin (Liuk-P) kuormitukseen pintavalunnassa verrattuna syyskyntöön.

	Liuk-P mg/l	%	Liuk-P kg/ha	%	Maalaji	Kaltevuus	Paikka	Maa	Koeaika	Viite
suorakylvö	0,1	<b>-23</b>	0,17	<b>+55</b>	He	4,5%	Aas	Norja	1 talvi	Børresen & Uhlen 1991
suorakylvö			0,084	<b>-3</b>	AS	12 %	Øsaker	Norja	4 v	Skøien 1988
suorakylvö, syysvilja			0,114	<b>+31</b>	AS	12 %	Øsaker	Norja	4 v	Skøien 1988
sänki			0,11	<b>+122</b>	He	4,5	Aas	Norja	3 v	Skøien et al, 1995
sänki			0,44	<b>-30</b>	HsS	12 %	Bjørnebekk	Norja	4 v	Skøien 1988
sänki	0,045	<b>+118</b>			HsS	10 %		Ruotsi	3 talvea	Ulen 1997
sänki	0,44	<b>+52</b>	0,5-1,3	<b>+46</b>	HeS/AS	7-8%	Aurajoki	Suomi	4 v	Turtola & Puustinen 1998
sänki	0,039	<b>+11</b>	0,04-0,05	<b>+103</b>	HIS/AS	2 %	Jokioinen	Suomi	2 v	Turtola & Puustinen 1998
sänkimuokkaus	0,34	<b>+17</b>	0,5-1,1	<b>+128</b>	HeS/AS	7-8%	Aurajoki	Suomi	4 v	Turtola & Puustinen 1998
sänkimuokkaus	0,058	<b>+54</b>	0,06	<b>+646</b>	HIS/AS	.2 %	Jokioinen	Suomi	1 v	Turtola & Puustinen 1998



LIITE 4

Muokkauksen aiheuttama muutos (%) kokonaistypen (Kok-N) ja nitraattitypen (NO3-N) huuhtoutumiseen pintavalunnassa verrattuna syyskyntoon.

Käsittely	Kok-N kg/ha	Kok-N %	Kok-N mg/l	NO3-N kg/ha	NO3-N %	NO3-N mg/l	Ht	Kaltevuus	Paikka	Maa	Koeaika	Vilite
suorakylvö*				56	-17		Ht	Jynde vad	Tanska	5 v		Hansen & Djurhuus 1997
sänki			8,8	-25	3,4	-28	HsS	12 %	Bjørnebekk	Norja	3 v	Lundekvam 1998
sänki	7,2	-38	3,2	-32			HsS	12 %	Bjørnebekk	Norja	2 v	Lundekvam 1993
sänki	4,2	+180					Hs	10 %	Syverud	Norja	2 v	Lundekvam 1993
sänki, kk*				49	-24		hs Ht		Ødum	Tanska	4 v	Hansen & Djurhuus 1997
sänki, ks*				35	-46		hs Ht		Ødum	Tanska	4 v	Hansen & Djurhuus 1997
sänki*				68	0		Ht		Jynde vad	Tanska	6 v	Hansen & Djurhuus 1997
sänki			3,9	+6	2	-16	HsS	10 %		Ruotsi	3 talvea	Ulén 1997
sänki	1,9-7,6	-70					HeS/AS	7-8%	Aurajoki	Suomi	4 v	Turtola & Puustinen 1998
sänki	1,2-3,2	+57					HtS/AS	2 %	Jokioinen	Suomi	2 v	Turtola & Puustinen 1998
sänki		+27					HtS	**	Jokioinen	Suomi	4 v	Turtola & Puustinen 1998
sänki		-9					Hs	**	Jokioinen	Suomi	4 v	Turtola & Puustinen 1998
sänki		-16					Ht	**	Jokioinen	Suomi	4 v	Turtola & Puustinen 1998
sänki		-11					Tm	**	Jokioinen	Suomi	4 v	Turtola & Puustinen 1998
sänkimuokkaus	8,8	-25	3,4	-28			HsS	12 %	Bjørnebekk	Norja	3 v	Lundekvam 1993
sänkimuokkaus			7,2	-38	3,2	-32	HsS	12 %	Bjørnebekk	Norja	4 v	Lundekvam 1998
sänkimuokkaus*				62	-5		hs Ht		Ødum	Tanska	4 v	Hansen & Djurhuus 1997
sänkimuokkaus	1,9-7,6	-39					HeS/AS	7-8%	Aurajoki	Suomi	1 v	Turtola & Puustinen 1998

\*) imukuppimenetelmä, kk= kevätkyntö, ks=kevätsänkimuokkaus, \*\*) lysimetri

Julkaisun sarja ja numero  
Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja.  
Sarja B 18

Julkaisuaika (kk ja vuosi)  
Joulukuu 1998

Tekijä(t)  
Riitta Lemola  
Eila Turtola

Tutkimushankkeen nimi Ympäristötuen kasvipeitteisyysvaatimuksen ympäristövaikutukset

Toimeksiantaja(t)  
Maatalouden tutkimuskeskus

### Nimike

Kasvipeitteisyys, eroosio ja ravinnekuormitus. Kirjallisuuskatsaus.

### Tiivistelmä

Tutkimuksessa tarkasteltiin maatalouden ympäristötuessa määriteltyjen kasvipeitevaihtoehtojen vaikutusta vesistökuormitukseen. Kasvipeitteellä voidaan vähentää eroosiota ja typen huuhtoutumista. Elävä tai maahan kiinnittynyt kasvipeite (nurmi, sänki) rajoittaa kuormitusta enemmän kuin irrallaan olevat kuolleet kasvinjätteet (olki, naatit). Kasvipeitteistä tehokkaimmat eroosion ja typpikuormituksen vähentäjät ovat suojaviljaan perustettu monivuotinen viherkesanto ja monivuotinen viljelynurmi. Typen huuhtoutumista voidaan rajoittaa myös keväällä kylvettävillä aluskasveilla, erityisesti raiheinällä. Syysviljat vähentävät typen huuhtoutumista, mutta eroosion suhteen tulokset vaihtelevat. Pellon jättäminen syksyllä muokkaamatta vähentää eroosiota ja voi vähentää typen huuhtoutumista, jos kevätmuokkaus on peltolohkolla viljelytekniisesti mahdollista. Kynnön korvaaminen matalalla syyssänkimuokkauksella voi vähentää eroosiota kaltevilla mailla, joilla pintavalunta on runsasta. Jos salaojavalunta on vallitsevampi, sänkimuokkaus ei pysty samalla tavalla rajoittamaan eroosiota. Jyrkälle rinteeseen osalle sijoitettuna suojakasvit ja -vyöhykkeet torjuvat tehokkaimmin kuormitusta toimien monivuotisten nurmien tavoin eli vähentäen eroosiota ja typen huuhtoutumista omalta alueeltaan. Moniin kasvipeitemuotoihin sisältyy riski fosforikuormituksen kasvamisesta. Riski on erityisen suuri monivuotisilla nurmilla, joille levitetään fosforilannoitteita pintaan. Myös muokkaussyvyyden madaltuminen aiheuttaa fosforin rikastumista ohuempaan pintakerrokseen ja lisää liuenneen fosforin huuhtoutumista, jos pintavalunta ei samalla vähenne. Kasvipeitteisyyden sijasta fosforikuormitusta on rajoitettava välttämällä fosforin pinta-lannoitusta ja alentamalla helpoliukoisen fosforin pitoisuutta mailla, joilla se ylittää viljelykasvien tarpeen.

**Avainsanat** aluskasvi, liukoinen fosfori, nurmi, partikkelifosfori, suojakasvit, syyssänkimuokkaus, syysvilja, sänki, tyyppi, viherkesanto

### Toimintayksikkö

Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen

ISSN 1238-9943  
ISBN 951-729-531-6

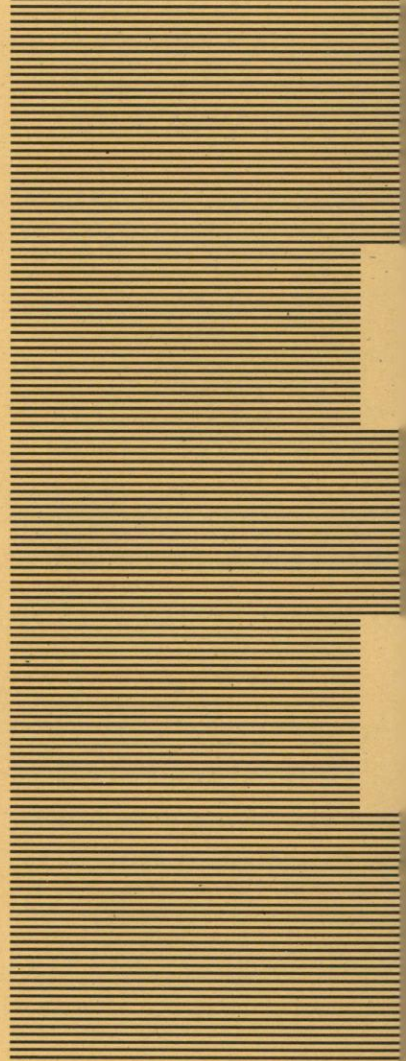
Tuloksia voi soveltaa luomuviljelyssä

Myynti: MTT tietopalveluyksikkö, 31600 JOKIOINEN  
Puhelin (03) 4188 7502  
Telekopio (03) 4188 339

Sivuja  
28 s. + 4 liitettä

Hinta





Yliopistopaino 1998  
ISBN 951-729-531-6  
ISSN 1238-9943