

*Maatalouden  
tutkimuskeskuksen  
julkaisuja*

S A R J A A

83

*Jaana Uusi-Kämpä  
Marja Kilpinen*

**Suojakaistat  
ravinnekuormituksen  
vähentäjänä**



*Jaana Uusi-Kämppä*  
*Marja Kilpinen*

---

# **Suojakaistat ravinne- kuormituksen vähentäjänä**

---

**Maatalouden tutkimuskeskus**

ISBN 951-729-585-5

ISSN 1238-9935

*Copyright*

Maatalouden tutkimuskeskus  
Jaana Uusi-Kämpä ja Marja Kilpinen

*Julkaisija*

Maatalouden tutkimuskeskus, 31600 Jokioinen

*Jakelu ja myynti*

Maatalouden tutkimuskeskus, tietopalveluyksikkö, 31600 Jokioinen  
Puhelin (03) 4188 2327, telekopio (03) 4188 2339  
sähköposti [julkaisut@mtt.fi](mailto:julkaisut@mtt.fi)

*Painatus*

Jyväskylän yliopistopaino 2000

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

---

**Uusi-Kämpä, J.<sup>1)</sup> & Kilpinen, M.<sup>2)</sup> 2000.** Suojakaistat ravinnekuormituksen vähentäjänä. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 83. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 49 p. + 2 app. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-585-5.

<sup>1)</sup> Maatalouden tutkimuskeskus, Luonnonvarojen tutkimus, Luonnonvarat, 31600 Jokioinen, jaana.uusi-kamppa@mtt.fi

<sup>2)</sup> Hämeen ammattikorkeakoulu Lepaa, Puutarhatalouden koulutusohjelma, 14610 Lepaa

---

## Tiivistelmä

---

*Avainsanat: maatalous, suojavyöhykkeet, ravinteet, hajakuormitus, eroosio, fosfori, typpi, niitto, pintavalunta, ravinteiden otto, valumavesi*

---

Maatalouden tutkimuskeskukseen (MTT) Lintupajun peltoalueelle Jokioisiin perustettiin suojakaistakenttä 1980-luvun lopussa. Koekentällä seurattiin 10 m leveän nurmikaistan ja luonnonkasveja kasvavan luonnonkaistan kykyä vähentää eroosioainesta, fosforia ja typpeä savimaan pintavalumavesistä 1991–1999. Valumien lisäksi seurattiin typen ja fosforin sitoutumista maahan. Myös suojakaistakasvien fosforinottoa seurattiin kasvukaudella 1998. Nurmikaistoilta kasvusto korjattiin pois, mutta luonnonkaistoja ei niitetty. Suojakaistojen yläpuolella olevalla pellolla sekä rinteessä kahdella verranneruudulla viljeltiin ohraa tai kauraa. Pelto kynnettiin syksyllä. Pintavalumavedet kerättiin maan pintakerroksesta 0–30 cm:n syvyydeltä 9 m leveillä keräimillä. Suojakaistojen ylä-

alareunasta kerättiin myös vajovesinäytteitä 0,2 m:n syvyydeltä.

Suurin osa eroosio- ja ravinnekuormasta tuli keväisin, jolloin suojavyöhykkeet eivät kylmissä oloissa toimineet kunnolla. Pintavalunnan kokonaistyyppikuorma oli tutkimusajankohtana niitetyillä nurmikaistoilla 60 % ja luonnonkaistoilla 40 % pienempi kuin ilman suojakaistaa viljellyillä ruuduilla. Suojakaistoilla eroosio oli keskimäärin 60 % ja kokonaisfosforikuorma 30–40 % pienempi kuin verranneruuduilla. Sen sijaan liuenneen fosforin määrä kasvoi luonnonkaistoilla, joita ei niitetty. Nurmikaistoilla oli liuenneen fosforin määrä sama kuin ilman suojakaistaa viljellyillä koeruuduilla. Paras niittoajankohta oli suojakaistakasvien kukinta- tai siemenvaihe, jolloin suojakaistakasvuston fosforinotto oli suurimmillaan.

# Alkusanat

MTT:n suojavyöhyketutkimus alkoi MTT:n ympäristötyöryhmän puheenjohtajan professori Martti Markkulan sekä dosentti Toivo Ylärannan aloitteesta vuonna 1988. Tässä raportissa esitetään Lintupajun suojakaistakentältä vuosina 1991–1999 saadut koetulokset. FM Jaana Uusi-Kämpä vastasi koekentän toiminnasta sekä ravinnetutkimuksista. Amk-opiskelija Marja Kilpinen Hämeen ammattikorkeakoulusta teki päättötöön 1998 Lintupajun suojakaistakasvustojen fosforinotosta.

Parhaat kiitokset MTT:n Kasvintuotannon tutkimusmestareille Risto Tannille sekä Kimmo Kakkoselle koekentän ja mit-

tausrakennuksen rakentamisesta sekä MTT:n Lintupajun tilan tutkimusmestareille viljelytöiden hoidosta. Kiitokset tutkimusmestareille Ari Seppäselle ja Pekka Kivistölle näytteenotosta sekä MTT:n Kasvintuotannon ja MTT:n Luonnonvarojen laboratoriohenkilökunnalle ravinneanalyseistä. Kiitokset myös atk-suunnittelija Kaarina Grékille datan käsittelystä sekä kuvien ja taulukoiden editoinnista sekä MMT Eila Turtolalle ja MMM Risto Uusitalolle hyvistä kommentteista kirjoitustyön aikana. Lisäksi kiitokset maa- ja metsätalousministeriölle sekä ympäristöministeriölle hankkeen rahoittamisesta.

Jokioisilla elokuussa 2000

*Jaana Uusi-Kämpä*  
tutkija

# Sisällys

Tiivistelmä . . . . .	3
Alkusanat . . . . .	4
Symboli- ja termiluettelo . . . . .	6
1 Johdanto . . . . .	7
1.1 Erilaisia suojavyöhykkeitä . . . . .	8
1.2 Suojavyöhyke ravinteiden poistajana . . . . .	9
1.3 Suojavyöhykkeen toiminta . . . . .	10
1.4 Suojavyöhykkeistä aiheutuvia haittoja . . . . .	11
1.5 Suojavyöhykekiinnostus Suomessa . . . . .	12
2 Lintupajun suojakaistakoe . . . . .	13
2.1 Koealueen kuvaus . . . . .	13
2.2 Kemialliset analyysit . . . . .	17
2.3 Tulosten laskenta . . . . .	18
3 Tulokset . . . . .	18
3.1 Pintavalunta . . . . .	18
3.1.1 Eroosio . . . . .	21
3.1.2 Maa-ainekseen sitoutunut fosfori . . . . .	22
3.1.3 Leville käyttökelpoinen fosfori . . . . .	23
3.1.4 Kokonaisfosfori . . . . .	25
3.1.5 Nitraattityppi . . . . .	26
3.1.6 Ammoniumtyppi . . . . .	26
3.1.7 Kokonaistyyppi . . . . .	27
3.2 Vajovedet . . . . .	27
3.2.1 Vajoveden liuennut fosfori . . . . .	28
3.2.2 Vajoveden kokonaisfosfori . . . . .	29
3.2.3 Vajoveden nitraattityppi . . . . .	29
3.2.4 Vajoveden ammoniumtyppi . . . . .	31
3.2.5 Vajoveden kokonaistyyppi . . . . .	31
3.3 Ravinteet maaperässä . . . . .	33
3.3.1 Maan mineraalityppi . . . . .	33
3.3.2 Maan helppoliukoinen fosfori . . . . .	34
3.4 Suojakaistakasvustojen ottamat ravinteet . . . . .	35
3.4.1 Suojakaistakasvien fosforipitoisuudet kasvukaudella 1998 . . . . .	35
3.4.2 Suojakaistakasvustojen fosforinotto kasvukaudella 1998 . . . . .	37
4 Tulosten tarkastelu . . . . .	39
5 Loppupäätelmiä . . . . .	42
Kirjallisuus . . . . .	45
Liitteet	

# Symboli- ja termiluettelo

a,	vuosi
$\text{g kg}^{-1}$ ,	grammaa kilossa
$\text{g l}^{-1}$ ,	grammaa litrassa
$\text{kg ha}^{-1}$ ,	kiloa hehtaaria kohden (kg/ha)
kok-N,	kokonaistyyppi
kok-P,	kokonaisfosfori
$\text{mg l}^{-1}$ ,	milligrammaa litrassa
N,	typpi
$\text{NH}_4\text{-N}$ ,	ammoniumtyppi
$\text{NO}_3\text{-N}$ ,	nitraattityppi
P,	fosfori
$\text{PO}_4\text{-P}$ ,	ortofosfaattifosfori, liuennut fosfori
PP,	partikkelifosfori
PPi,	anioninvaihtohartsilla uuttuva partikkelifosfori



# 1 Johdanto

Matalien järvien sekä rannikkovesien ongelmana on rehevöityminen, joka haittaa veden käyttöä talousvetenä ja virkistykseen. Pintavesien minimiravinteena on usein fosfori (P). Maatalouden fosforipäästöt sisältävät monia eri P-muotoja (Ekholm 1998). Levät voivat käyttää osan niistä välittömästi, kun taas jotkin P-muodot muuntuvat vain vähitellen leville käyttökelpoisiksi. Osa fosforista voi myös jäädä pysyvästi käyttökelvottomaan muotoon. Typpikuormituksen suurin haitta on Suomenlahden, Selkämeren ja joidenkin järvien rehevöityminen sekä paikoittain kaivovesien nitraattipitoisuuden kohoaminen.

Teollisuus- ja taajamajätevesien puhdistusmenetelmät ovat 1960-luvulta kehittyneet paremmiksi. Nykyään pidetäänkin maatalouden hajakuormitusta suurimpana ihmisen aiheuttamana vesistönkuormittajana. 1990-luvun alkupuolella laskettiin maataloudesta aiheutuvan kokonaisfosforikuorman olevan 3 300 tonnia ja typpikuorman 33 000 tonnia vuodessa (Ympäristöministeriö 1998). Ekholmin (1998) mukaan vesiä rehevöittävän, leville käyttökelpoisen fosforin osuus oli keskimäärin 28 % maatalouden kokonaisfosforikuormituksesta eli 560–1 120 tonnia vuodessa. Luonnonhuuhtoutuman aiheuttamaksi fosforikuormitukseksi arvioitiin 1 800 tonnia ja typpikuormitukseksi 45 000 tonnia vuodessa (Ympäristöministeriö 1998).

Viljelyalueilla arvioitiin keskimääräisen fosforikuormituksen olevan 0,65–0,95 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> ja typpikuormituksen 10–22 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> vuosina 1986–1990 (Rekolainen et al. 1995). Happamalla sulfaattimailloilla kuormitus oli pienempi: 0,2 kg fosforia ja 15 kg typpeä hehtaarialta. Fosforin luonnonhuuhtoutuman määräksi arvioitiin 0,017–0,14 kg ha<sup>-1</sup> ja typen 0,43–2,8 kg ha<sup>-1</sup>. MTT:n savimaan huuhtoutumiskentällä nitraattityppeä huuhtoutui ohranviljelyssä keskimäärin 11,1 (6,5–16,5) kg ha<sup>-1</sup> ja nurmiviljelyssä 5,4 (2,3–7,1) kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> koejaksolla

1980–1982. Fosforia huuhtoutui ohra- maasta keskimäärin 1,2 (0,5–1,6) kg ha<sup>-1</sup> ja nurmesta 1,6 (0,4–2,6) kg ha<sup>-1</sup> (Turtola & Jaakkola 1985). Suurimmat ravinnehuuhtoutumat on mitattu avokesantomaalla (Jaakkola 1984, Turtola & Jaakkola 1987, Ylärinta et al. 1993, Turtola 1999). MTT:n lysimetrikokeissa typpeä huuhtoutui avokesannoidulta savimaalta keskimäärin 65 kg ha<sup>-1</sup> ja hietamaalta 100 kg ha<sup>-1</sup> vuodessa (Ylärinta et al. 1993).

Maatalouden ravinnekuormitus kasvoi voimakkaasti 1900-luvulla. Kuormituksen kasvuun vaikuttivat monet eri tekijät, kuten lannoitteiden käytön lisääntyminen sekä nurmien ja syysviljojen viljelyalan pieneneminen. Väkilannoitteissa myydyin fosforin määrä oli 1980-luvun lopussa 30–32 kg ha<sup>-1</sup> ja typen määrä 100–110 kg ha<sup>-1</sup> vuodessa (Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus 1998). Maataloustuotannon yksipuolistuminen sekä tila- että aluetasolla lisäsi osaltaan vesistökuormitusta. Kotieläinten määrä kasvoi monilla tiloilla peltohehtaaria kohti. Usein lantaa on levitetty tuotantorakennuksen läheisyydessä oleville pelloille, jolloin niiden fosforipitoisuus on kasvanut vähitellen hyvin korkeaksi (Yli-Halla 1999). Maan P-luvun kasvaessa myös liunneen fosforin huuhtoutumisriski kasvaa (Turtola & Yli-Halla 1999). Viljelyalan ja peltolohkojen koon kasvattaminen kuivattamalla kosteikkoja sekä suoristamalla puron- ja ojanuomia on osaltaan saattanut lisätä kuormitusta. Pellon valumavedet virtaavat nopeasti vesistöön suoria ojanuomia pitkin. Tällöin niillä ei enää ole viipymää kosteikoissa ja meandroivissa. I säännöllisesti kiemurtelevissa uomissa, jolloin ne eivät myöskään ehdi puhdistua ennen pääsyä vesistöön. Norjassa on maan muotoilun ja luonnon uomien putkittamisen todettu lisäävän pintavalumia, eroosiota sekä vesistöjen ravinnekuormitusta (Njøs & Slyngstad 1999). Viime vuosina on jälleen alettu perustaa suojakaistoja ja -vyöhykkeitä, rakentaa laskeutusaltaita sekä kunnostaa kosteikkoja alkuperäisille paikoilleen.

## 1.1 Erilaisia suojavyöhykkeitä

Suojakaistalla ja -vyöhykkeellä tarkoitetaan pysyvän monivuotisen kasvillisuuden aluetta viljelymaan ja ojan tai vesistön välissä. Sitä ei saa lannoittaa eikä käsitellä torjunta-aineilla. Suojakaistalla kasvaa pääasiassa heinäkasveja. Tehokas suojakaista tai -vyöhyke saadaan kylvämällä maahan tiheäjuurinen, monivuotinen ja monikerrokselliseksi kasvava nurmisiemenseos. Hyviä lajeja ovat timotei, niittyurmikka, koiranheinä, nadat, puntarpääät ja nurmirölli (Salmela 1999). Kasvillisuus tulee valita maaperän, paikallisen ilmaston ja kasvin uudistumiskyvyn perusteella (Leeds et al. 1993). Suojakaistaa leveämmällä suojavyöhykkeellä voi olla myös puita ja pensaita (Ahola 1990). Suojavyöhykkeiden yleissuunnitelmissa suojavyöhykkeitä suositellaan jyrkille rannoille, tulva- ja pohjavesialueille.

Suojavyöhykkeen tehokkuuteen kiintoaineen pysäyttäjänä sekä ravinteiden poistajana vaikuttavat maalajin ja kaltevuuden lisäksi vyöhykkeen leveys sekä vyöhykkeellä kasvavat kasvilajit ja niiden tiheys. Suojavyöhykkeitä voidaan toteuttaa eri tavoin. Lopputuloksena voi olla esim. perinnumaiseman tapaan laidunnettu alue, kosteikkotyypinen tulvaniitty tai niittämällä hoidettu heinäurmi (Salmela 1999).

Suojavyöhykkeiden perustamisessa voi olla monta erilaista tarkoitusta. Yhdysvalloissa (USDA-NRCSa) suoja-alueisiin (Buffer Areas) luetaan mm.

- jokivarsimetsiköt (Riparian Forest Buffers)
- suojakaistat (Filter Strips, Shelterbelts/Field Windbreaks)
- ruohotetut veden kulkureitit (Grassed Waterways)
- lumenkeruukaistat (Living Snow Fences)
- korkeuskäyrän mukaiset nurmikaistat (Contour Grass Strips)
- sivutuulikaistat (Cross Wind Trap Strips)
- kosteikkoalueet (Shallow Water Areas for Wildlife)
- pellon päisteet (Field Borders)

- kujanteet (Alley Cropping)
- ruohovartiset tuuliesteet (Herbaceous Wind Barriers)
- kasvillisuusesteet (Vegetative Barriers).

Jokivarsimetsikkö koostuu kolmesta osasta (Bosch et al. 1994, USDA-NRCS 391). Joenuoman molemmin puolin on alueen luontaisia puu- ja pensaslajeja, joita ei harvenneta. Niiden tehtävänä on estää juurillaan uoman sortumista. Siitä seuraavan 45 m leveän vyöhykkeen nopeasti kasvavia puita harvennetaan tarpeen vaatiessa. Suojavyöhykkeeltä poistuu samalla ravinteita. Pellon reunaan rajoittuvalla 5 m:n kaistalla kasvaa ruohoja. Tätä pellon ja metsikön välistä aluetta hoidetaan kuten suojakaistaa. Tarpeen vaatiessa se voidaan kyntää ja perustaa uudelleen.

Pellon reunassa suojakaista vähentää pinta-, noro- ja rotkoeroosiota ja poistaa valumavedestä sedimenttiainesta ja epäpuhtauksia. Amerikkalaisten suositusten mukaan reunakaistan pitää olla vähintään 6 m leveä (USDA-NRCS 386). Yhdysvalloissa suositellaan suojavyöhykkeitä pellonreunan lisäksi myös viljelylohkojen väliin. Rinnepellolla nurmikaista sekä pensaat ja puut hidastavat pintavaluntaa ja keräävät erodoitunutta l. eroosion irrottamaa maa-ainesta. Pitkään rinteeseen voi perustaa useita kaistoja (USDA-NRCS 332, USDA-NRCS 311). Pintavalumavesien kulkureitit pellolla voi nurmettaa, jolloin kasvillisuus suojelee maata eroosiolta voimakkaiden valumien aikana. Mahdollisimman leveä noron purkukohta pellon reunassa hidastaa veden virtausta suojakaistalle (USDA-NRCS 412).

Suojakaistaa voidaan käyttää myös lumiesteenä sekä vähentämään tuulieroosiota. Se suojaa laitumella olevaa karjaa kylmillä ilmoilla, tarjoaa luonnollisen ympäristön luonnonvaraisille eläimille ja parantaa kalojen kutupaikkoja. Lisäksi hyvin perustettu ja hoidettu suojakaista tuo vaihtelua maaseutumaisemaan sekä lisää tilan kauneutta, virkistysmahdollisuuksia ja maan arvoa (USDA-NRCSb).

Yhdysvalloissa on tavoitteena perustaa 2 miljoonaa mailia (noin 3,2 miljoonaa kilometriä) suojavyyhykkeitä vuoteen 2002 mennessä. Hankkeen tarkoituksena on suojella lohi- ja taimenkantoja Tyynenmeren luoteisosassa, vähentää sedimentaatiota ja maatalouden pintavalumia Chesapeake Bayn valuma-alueella, suojella Keski-Lännen peltoja tuuli- ja vesieroosiolta sekä parantaa luonnonvaraisten asuinpaikkojen elinoloja pohjoisilla preeria-alueilla (Pettersson & Stuart 1997).

Etelä-Ruotsissa Scaniassa perustettiin 35 ha eli 66 km suojakaistoja 1992–1999. Niiden tarkoituksena on vähentää ravinteiden kulkeutumista läheiselle Öresundin rannikkoalueelle. Pellon ja vesistön välissä olevilla keskimäärin 6 m leveillä suojakaistoilla kasvaa ruohoa, yrttejä, pensaita ja puita. Yleensä suojakaistojen nurmiseoksissa käytetään raiheinää, niittynurmikkaa ja punanataa. Suojakaistakorvaus on noin 3 000 kruunua hehtaarilta vuosittain. Suojavyöhykesopimukset ovat 10–30-vuotisia (Ekologgruppen 1998). Norjassa suojakaistan leveys on 6 m ja Tanskassa vähintään 2 m (Laubel et al. 1998).

Suomessa jätetään 1 m:n piennar valtaojien varsille ja 3 m:n suojakaista vesistöjen rannoille. Lisäksi suositellaan 15 m leveitä suojavyyhykkeitä erityisesti jyrkille rantapelloille, pellon notkokohtiin, laajojen peltoalueiden rantapelloille, meanderoivien uomien reunoille, tulva-alueille sekä pohjavesialueille (Hänninen 1997).

## 1.2 Suojavyöhyke ravinteiden poistajana

Suojavyöhykkeitä on tutkittu maatilan jätevesien, kotieläinten syöttöaitausten ja peltoviljelyn pintavalumavesien puhdistajana Yhdysvalloissa 1950-luvulta lähtien. Suojakaistatutkimus lisääntyi 1970-luvun puolivälin jälkeen, kun haluttiin vähentää peltoviljelyn aiheuttamaa hajakuormitusta. Tutkimuksissa keskityttiin yleensä suojavyyhykkeen tehokkuuteen valumavesien puhdistajana. Sen sijaan suojavyyhykkeen

toimintaperiaatteista, muutoksista maaperässä ja suojakaistakasvien lajeista, iästä ja niiden keräämistä ravinnemääristä on tietoa vain vähän (Correll 1997). Kuitenkin tieto näistä asioista on erittäin tärkeää, kun erilaisille valuma-alueille suunnitellaan erilaisia ja erilevyisiä suojavyyhykkeitä sekä vyyhykkeiden vuosittaisia hoitotoimenpiteitä. Suojavyöhykkeen toiminnan tuntemista tarvitaan myös silloin, kun mallinnuksessa käytetään tietokonemalleja.

Suojavyöhykkeen pääasiallisena tarkoituksena on poistaa ravinteita ja muita vesistöille haitallisia aineita pellon pintavalumisesta (Magette et al. 1987, Schwer & Clausen 1989, Dillaha & Inamdar 1997, Patty et al. 1997). Vyyhyke vähentää myös eroosiota pellon reunassa ja puron uomissa. Tutkimusten mukaan hyvin perustettu ja hoidettu suojakaista poistaa jopa 50 % ravinteista ja torjunta-aineista, 60 % patogeeneista ja 75 % sedimentistä. Se estää myös torjunta-aineiden suoraa levitystä vesistöön, stabiloi uoman reunoja ja varjostaa vettä. Paras teho suojakaistasta saadaan yhdistämällä se muihin pellon hyviin viljelytoimenpiteisiin (USDA-NRCSb).

Pohjoismaisissa tutkimuksissa todettiin jo parin metrin levyisten suojakaistojen vähentävän yleensä yli 50 % pellon pintavalumavesien kokonaisfosforin määrästä. Nurmi- tai pensaskaistojen välillä ei havaittu eroa puhdistustehossa (Uusi-Kämpä et al. 2000). Puustisen (1999) mukaan 14 m leveä nurmikaista vähensi eroosiota 58–67 %, partikkelifosforin määrää 57–60 %, nitraattitypen määrää 61–81 % sekä kokonaistypen määrää 43–70 % verrattaessa syysvehnän viljelyyn hiesavimaalla. Norjalaisella hiesavimaalla 5 m leveä suojavyyhyke vähensi yli puolet ja 10 m leveä vyyhyke 67–96 % kokonaisfosforin kuormituksesta (Syversen 1994, 1996, 1997). Monissa kokeissa suurin osa fosforikuormasta pidättyi suojakaistan ensimmäisille metreille (Uusi-Kämpä et al. 2000). Sen sijaan Ruotsissa Ulén (1988) ei todennut 5 m:n nurmikaistan vähentävän fosforikuormitusta savimaalla. Tanskassa, jossa on paljon hiekkaperäisiä maita, suojakaistatutki-

mus on keskittynyt lähinnä jokivarsien kosteikkoalueisiin (Hoffmann 1998). Myös suojavyöhykkeelle sedimentoituneen maa-aineksen fosforipitoisuuksia on tutkittu (Laubel et al. 1998). Vaikka pintavaluma on tavallisesti vain pieni osa vuotuisesta valunnasta Tanskan joissa, todettiin liuenneen fosforin olevan pintavesissä merkittävä fosforin lähde. Islannissa suurin osa pelloista on nurmella, joten suojavyöhykkeitä ei ole katsottu tarpeellisiksi tutkia (Magnússon, B., Landbrukets forskningsinstitut, Keldnaholt, IS-112 Reykjavik, Island, henkilökohtainen tiedonanto, 1998).

Liunneen fosforin ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) pidättymisestä suojakaistoihin ja -vyöhykkeisiin on vain vähän tietoa. Ilmeisesti  $\text{PO}_4\text{-P}$  ei pidäty suojakaistoihin yhtä tehokkaasti kuin maa-ainekseen sitoutunut fosfori (Uusi-Kämpä et al. 1997). Puustisen (1999) koeksessa  $\text{PO}_4\text{-P}$ :n määrän ei todettu kasvavan suojakaistan pintavalumavesissä, vaikka  $\text{PO}_4\text{-P}$ :n pitoisuus pintavalumavedessä kasvoikin hieman. USA:n Virginiassa Dillaha et al. (1988) totesivat, että suojakaistat voivat toimia ensin fosforin pidättäjinä ja myöhemmin lisätä  $\text{PO}_4\text{-P}$ :n kuormitusta. Mahdollisesti maa-ainekseen sitoutunut fosfori muuttuu liunneeseen muotoon suojakaistoilla. Myös suojakaistamaan kyllästyttä fosforilla ei liuennutta fosforia enää sitoudu maahan. Sen sijaan Vought et al. (1994) totesivat 8 m leveiden nurmikaidosten vähentävän  $\text{PO}_4\text{-P}$ -kuormitusta 66 % ja 16 metrin kaistojen 95 %.

### 1.3 Suojavyöhykkeen toiminta

Suojavyöhykkeen toiminta perustuu monivuotiseen kasvillisuuteen, joka pienentää valumaveden virtausnopeutta. Alhaisemman virtausnopeuden ansiosta maa-ainesta ehtii laskeutua, sedimentoitua, suojavyöhykkeelle. Veden mukana maahuokosiin infiltroituu myös liukoisia ravinteita ja epäpuhtauksia. Ravinteet, lähinnä fosfori ja typpi, sitoutuvat maahan fysikaalisten, kemiallisten ja biologisten prosessien avulla.

Nitraattityppeä esimerkiksi poistuu valumavesistä denitrifikaation avulla. Kasvit ottavat myös juurillaan liukoisia ravinteita ja epäpuhtauksia. Epäpuhtauksia tarttuu myös kasvien pinnoille (USDA-NRCS 393).

### Sedimentoituminen

Eroosioaineksen sedimentoituminen l. kerrostuminen on prosessi, jossa fosforia pellon pintavalumavesistä pääasiassa poistuu. Tiheä suojavyöhykekasvusto pienentää pintavaluman virtausnopeutta, mikä puolestaan vähentää huomattavasti sedimentin kuljetuskapasiteettia. Pienimmät savespartikkelit eivät välttämättä ehdi laskeutua kaapealle suojakaistalle, jos pintavaluma on runsasta tai jos valuma ei jakaudu kaistalle tasaisesti (Dillaha et al. 1988).

### Infiltraatio

Kun valuma on hidasta ja tasaista, suojakaistan maaperään infiltroituu l. tunkeutuu vettä. Samalla maahuokosiin siivilöityy pieniä maapartikkeleita ja niihin sitoutunutta fosforia. Samoin kulkeutuu pieniin huokosiin myös liuennutta fosforia. Kasvillisuus voi muuttaa maan rakennetta lisäämällä juurikanavilla maan infiltraatiokykyä (Vought et al. 1994). Suojavyöhykkeellä infiltraatio vähentää pintavaluntaa, mikä puolestaan vähentää pintavalunnan kykyä kuljettaa eroosioainesta (Dillaha et al. 1988).

### Adsorptio

Fosforin sitoutuminen maahan (adsorptio) ja vapautuminen maasta (desorptio) on tasapainoreaktio, jonka suunta määräytyy Al- ja Fe-oksidiin määrän, niiden P-kyllästymisasteen sekä maan pH-luvun mukaan (Murrmann & Peech 1969, Hartikainen 1981, 1982). Fosforia sitoutuu maahan silloin, kun maaveden fosforipitoisuus ylittää tasapainotilan rajan. Fosforia vapautuu maasta, kun P-konsentraatio on pienempi kuin tasapainotila sallii. Yli-Hallan ja Har-

tikaisen (1996) mukaan valumaveden alhainen suolapitoisuus sekä suuri vesimaa-suhde suosivat fosforin vapautumista maasta.

### Kasvustoon sitoutuminen

Kasvukaudella kasvit poistavat fosforia valumavedestä ja sitovat sitä biomassaan. Kylmässä ilmastossa kasvin fosforinotto on erityisesti kevätkuukausien aikana vähäistä (esim. Granéli 1990). Myös eri kasvilajit sitovat eri määriä fosforia. Ravinteiden sitominen puiden biomassaan näyttää olevan tärkeä fosforin pidättäjä (Petterjohn & Correll 1984). Eestissä Kuusemetsin et al. (1998) kokeessa rautanokkonen (*Urtica dioeca*) sitoi fosforia  $5,48 \text{ g m}^{-2}$ , mesiangervo (*Filipendula ulmaria*)  $4,85 \text{ g m}^{-2}$ , juolavehna (*Elytrigia repens*)  $4,63 \text{ g m}^{-2}$ , vuohenputki (*Aegopodietum*)  $2,85 \text{ g m}^{-2}$ , koiranheinä (*Dactylis glomerata*)  $2,19 \text{ g m}^{-2}$ , koiranheinä ja nurmipuntarpää (*Alopecurus pratensis*) -kasvusto  $2,94 \text{ g m}^{-2}$ , kun harmaaleppä (*Alnus incana*) sitoi fosforia vain  $1,08\text{--}1,51 \text{ g m}^{-2}$ . Kaiken kaikkiaan kasvuston sitoma fosforimäärä on pieni. Schwerin ja Clausenin (1989) tutkimuksessa nurmikaistan kasvusto sitoi vain 2,5 % kaistalle tulleesta fosforista ja 15 % kaistalle tulleesta typestä.

Suojavyöhykkeen kasvusto tulisi niittää ja korjata pois vuosittain, jotta ravinteita poistuisi suojavyöhykkeeltä. Yhdysvalloissa suositellaan suojavyöhykkeen niittämistä useamman kerran vuodessa. Märissä oloissa koneiden sekä eläinten liikkumista suojavyöhykkeellä tulee kuitenkin välttää, jotta maa ei tiivistyisi eikä maan pintaan tulisi veden virtailua ohjaavia ajouria. Suojakaistalla ja -vyöhykkeellä paljaaksi jääneet kohdat nurmetetaan uudelleen. Suojakaistan uudistaminen tulee kyseeseen, jos kaistan kasvillisuus hautaantuu sedimentoituneen maa-aineksen alle tai kaista ei enää toimi tehokkaasti (USDA-NRCS 393).

## 1.4 Suojavyöhykkeistä aiheutuvia haittoja

Ojanpientareet, suojakaistat ja -vyöhykkeet saattavat aiheuttaa rikkakasvi-, tauti- ja tuholaisongelmia. Maatalouden ympäristötuen vaikutusten seuranta- ja selvitysprojekti MYTVAS selvitti suojavyöhykkeikasvillisuutta neljällä eri valuma-alueella. Selvityksen mukaan yleisimpiä piennar- ja suojakaistakasveja olivat timotei, nurminata, juolavehna, kylänurmikka, koiranputki, valkoapila, pelto-ohdake, pelto-saunio, rön-syleinikki, niittysuolaheinä, ukontatar, pihatähtimö, mesiangervo, leskenlehti, voikukka, ruokohelpi, peltovalvatti, pujo, punanata, nurmiröllä, karhunputki, linnunkaali ja puna-apila. Vastaperustetuilla suojakaistoilla, joilla perustamiskylvö oli epäonnistunut, oli enemmän yksivuotisia lajeja kuin vanhoilla kaistoilla (Tarmi 1998). Myös Hännisen (1997) mukaan kylvämättömän kaistan kasvillisuudeksi voi muodostua pelkkää saunakukkaa, ohdaketta, mesiangervoa ja pujoa. Muita tyyppillisiä suojakaistojen rikkakasveja ovat nokkonen, juolavehna ja erityisen haitallinen hukkakaura. Tällaisilta kaistoilta aluskasvillisuus voi puuttua kokonaan, eikä niiden vesiensuojeluteho ole riittävä. Suojakaistoilla ja -vyöhykkeillä voidaan erityistapauksissa turvautua hukkakauran torjumiseksi kemialliseen pesäkekäsittelyyn. Pesäkekäsittelystä on ilmoitettava etukäteen kirjallisesti kunnan maaseutuelinkeinoviranomaiselle (Valpasvuo-Jaatinen 2000, Wallenius & Sihvonnen 2000). Pujo aiheuttaa allergiaoireita, joten myös sen lisääntymistä kaistalla olisi estettävä esimerkiksi niittämällä tai kitkemällä. Tarmin (1998) mukaan huolellinen perustamiskylvö ehkäisee rikkakasvien esiintymistä. Myös niitto heikentää rikkakasvien elinvoimaisuutta. Paras niittoajan kohta on elokuun alkupuoli, jolloin juuririkkakasvit eivät ehdi varastoida ravinteita maanalaisiin osiinsa eivätkä levittäisi siementään ympäristöön (Tarmi 1998). Suojakaistakasvuston niiton ja korjuun avulla maata voidaan vähitellen köyhdyttää ja siten edistää niittylajiston leviämistä rikka-



kasvilajiston tilalle (Tarmi & Helenius 1998).

Pientareiden ja suojakaistojen kasvit saattavat toimia myös kasvitautilien säilymispaikkoina. Esimerkiksi torajyvä ja keltaruoste saattavat säilyä talvehtivissa heinissä seuraavaan kesään (Rauhala 1998).

Suojavyöhykkeillä kasvavat pensaat ja puut vähentävät maiseman avoimuutta. Esimerkiksi joenuoma tai järvi voi jäädä kokonaan piiloon nopeasti kasvavan suojavyöhykekasvuston taakse. Siksi suojavyöhykkeiden yleissuunnitelmissa esitetään puita ja pensaita vain joihinkin helposti erodoituviin rantoihin (Salmela 1999). Ympäristötuen erityistukiehtojen mukaan hallitsematon suojavyöhykkeen pensoittuminen on aina syytä estää, koska suojavyöhyke on peltomaata (Valpasvuo-Jaatinen 2000).

## 1.5 Suojavyöhykekiinnostus Suomessa

Suomessa kiinnostus suojakaistoihin lisääntyi 1980–90-luvun vaihteessa. Tuolloin Vantaanjoen valuma-alueella tehtiin ensimmäinen suojakaistakartoitus (Ahola 1989). Kartoituksen tuloksena annettiin suosituksia pientareiden, suojakaistojen ja -vyöhykkeiden perustamisesta (Ahola 1990). Suojavyöhyketyö on jatkunut Vantaanjoen valuma-alueella (Hänninen 1997, Vilonen et al. 1998).

Maa- ja metsätaloustuottajan Keskusliitto huomioi suojakaistojen merkityksen jo kymmenen vuotta sitten. MTK:n ympäristöohjelmassa (Maataloustuottajain Keskusliitto 1990) käsitellään suojakaistoja eroosion torjunnassa jyrkillä vesistöön rajoittuvilla rantapelloilla. Maaseudun ympäristötyöryhmä esitti muistiossaan, että valta- ja piiriojien sekä purojen ja vesistöjen varsille jätetään vähintään piennar tai 1–5 m:n levyinen suojakaista (Maaseudun ympäristöohjelmatyöryhmä 1992). Myös maa- ja metsätalousministeriö antoi ohjeita pientareiden, suojakaistojen ja -vyöhykkeiden perustamisesta ”Hyvät viljelymenetelmät”-viljelysuosituksissa (Korkman et al. 1993).

Maatalouden tutkimuskeskuksessa jätettiin jo 1990-luvun alussa leveitä suojavyöhykkeitä rinnepelloille, kuten Jokioisten kartanoiden ympäristönsuojeluohjelmassa oli ehdotettu (Turtola 1990).

Suojakaistatutkimusta aloitettiin samoihin aikoihin kuin kiinnostus suojavyöhykkeisiin lisääntyi Suomessa. Vesi- ja ympäristöhallituksen (nykyisin Suomen ympäristökeskus) koekentällä Aurajoen varressa alettiin 1991 tutkia 14 m leveän nurmikaistan vaikutuksia savipitoisen syysvehnämaan pintavalumavesiin (Puustinen 1999). Myös MTT:n suojakaistakokeet aloitettiin vuonna 1991 (Uusi-Kämpä & Ylärinta 1992). Suojakaistakokeita tehtiin myös MTT:n Ojaisten peltolohkolla (Ihalainen 1995, Lehtinen 1995, Uusi-Kämpä & Ihalainen 1996).

Suomen liittyessä Euroopan unioniin vuoden 1995 alussa suojakaistat ja leveät suojavyöhykkeet tulivat osaksi laajempaa maatalouden ympäristöohjelmaa. Noin 90 % koko viljelyalasta tuli perusympäristötuen piiriin. Tuen saamiseksi viljelijöitä veloitettiin jättämään muun muassa 1 m:n levyinen piennar valtaojan reunoille ja 3 m:n levyinen suojakaista puroon, joen, järven ja meren rannoille sekä talousvesikaivon ympärille. Kullekin tilalle tehdystä ympäristöhoito-ohjelmassa määriteltiin tarkemmin paikat, joissa suojakaistoja tarvittiin. Ohjelmakaudella perustettiin yhteensä noin 30 000 km suojakaistoja (Tarmi & Helenius 1998). Myös 15 m leveiden suojavyöhykkeiden perustaminen vesistön varrella oli mahdollista 20-vuotisella suojavyöhykesopimuksella. Sopimuksia tehtiin vähän – vain 2 300 hehtaarille (Vieltojärvi 1999).

Uudessa maatalouden ympäristötuki-järjestelmässä vuosille 2000–2006 suojavyöhykesopimusten aika on lyhennetty 5 tai 10 vuoteen. Sopimuskauden jälkeen suojavyöhykkeen voi ottaa viljelykäyttöön. Suojavyöhykettä saa laiduntaa ellei sillä ole vesiensuojelullista estettä, ja niittojätteen saa käyttää maataloustuotannossa (Valpasvuo-Jaatinen 2000). Nykyisten ohjeiden toivotaan lisäävän halukkuutta uusien suo-

javyöhykkeiden perustamiseen.

Myös lainsäädännössä on vaadittu pientareiden ja suojakaistojen perustamista. Vesilain (264/1961) 6. luvun 4. §:n mukaan ojaan katsotaan kuuluvan uoman kummallekin puolelle 60 cm:n levyinen piennar, jolle sitä ole määrätty leveämmäksi tai maan laatu vaadi leveämpää piennarta. Myös laissa peruskuivatustoiminnan tukemisesta (947/1997) vaaditaan, että peruskuivatushankkeen suunnittelussa otetaan huomioon myös ympäristön suojeluun ja hoitoon liittyvät seikat, kuten riittävien suojakaistojen muodostaminen hyötyalueen uomien varsille.

Valtioneuvoston päätöksessä (219/1998) ”Maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta” suositellaan, että jos vesistöön rajoittuvalle pellolle levitetään karjanlantaa, jätetään rantaan ja valtaojien varsille 10 m leveä suojavyöhyke. Myös talousveden hankintaan käytettävien kaivojen ja lähteiden ympärille tulisi jättää vähintään 30–100 m leveä suojavyöhyke, jolle ei karjanlantaa levitetä. Vyöhykkeen leveys riippuu mm. maaston korkeussuhteista ja maalajista. Suojavyöhykkeiden tarkoituksena on estää ravinteiden pääsyä vesistöön.

## 2 Lintupajun suojakaistakoe

### 2.1 Koealueen kuvaus

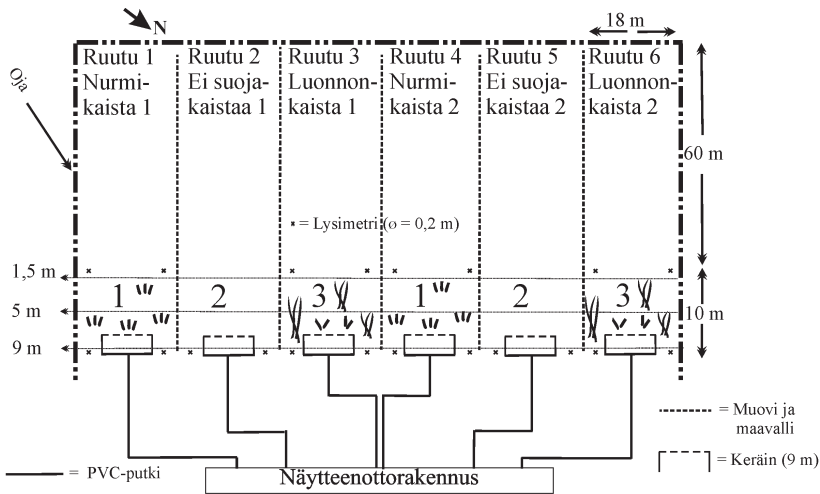
Maatalouden tutkimuskeskuksen Lintupajun peltolohkolle Jokioisiin perustettiin 1980–1990-luvun vaihteessa suojakaistakoe varten pintavaluntakenttä. Pelto oli savimaata (Taulukko 1). Alue jaettiin 6 ruutuun, joiden leveys oli 18 m ja pituus 70 m. Neljän ruudun alaosaan jätettiin 10 m leveä suojakaista (Kuva 1). Suojakaistat olivat rinteessä, jonka kaltevuus oli 10–20 % (Kuva 2). Suojakaistojen yläpuolisella peltoalueella oli muutaman prosentin vietto. Maan helppoliukoisen fosforin pitoisuus oli kokeen alkaessa nurmikaistoilla ja luonnonkaistalla 1 pienempi kuin pellolla (Kuva 3). Peltoalueella sekä kahdella verranneruudulla rinteessä viljeltiin ohraa tai kauraa.

Ruudut kalibroitiin mitta-asteikon tarkistamiseksi valumajaksolla syksy 1990–kevät 1991 (Uusi-Kämpä & Ylärinta 1996). Kalibroinnin tarkoituksena oli selvittää pintavalunnan erot kuudella eri ruudulla. Kalibroinnin aikana pellolla viljeltiin ohraa ja rinteessä oli 10 m leveä avokesan-

**Taulukko 1.** Maan ominaisuudet pellolla ja suojakaistoilla kokeen alussa syksyllä 1991.

	Näytteenotto- syvyys (cm)	Pelto	Suojakaistan yläreuna	Suojakaistan alareuna
Org. C (%)	0–20 20–50 <sup>1)</sup>	3,0 (2,7–3,4)	2,4 (2,1–2,8) 1,0 (0,6–1,3)	2,3 (1,9–2,5) 0,8 (0,4–1,3)
pH (H <sub>2</sub> O)	0–20 20–50 <sup>1)</sup>	6,1 (6,0–6,2)	6,2 (5,9–6,4) 6,3 (6,2–6,5)	6,3 (6,1–6,4) 6,4 (6,1–6,5)
P (mg l <sup>-1</sup> )	0–20 20–50 <sup>1)</sup>	8,0 (7,0–9,4)	7,4 (5,5–9,2) 1,7 (1,5–2,3)	5,8 (4,4–7,8) 1,7 (0,7–4,4)
Partikkelikoko- jakauma (%)				
<0,002 mm	0–20	54 (53–55)58	(54–60)	59 (56–63)
0,002–0,02 mm	0–20	27 (26–29)29	(28–31)	28 (26–29)
0,02–0,2 mm	0–20	13 (10–15)11	(10–13)	11 (8–13)
0,2–2,0 mm	0–20	6 (4,6–6,3)	2 (1,8–3,0)	2 (1,6–2,2)

<sup>1)</sup> = Näyte otettu 13.8.1992

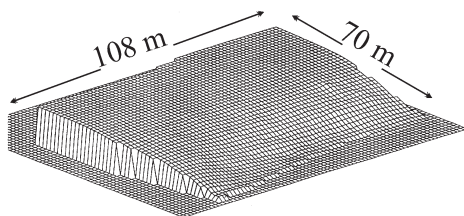


**Kuva 1.** Lintupajun suojakaistakentän toimintakaavio. Koejäsenet: 1. Nurmikaista: siemenseos timotei (*Phleum pratense*) 22 kg ha<sup>-1</sup> ja nurminata (*Festuca pratensis*) 12 kg ha<sup>-1</sup> kylvettiin suojaviljan kanssa toukokuussa 1991. 2. Ei suojakais-  
taa: rinneosaa viljeltiin kuten yläpuolista peltoaluetta. 3. Luonnonkaista: nurmi-  
röllin (*Agrostis tenuis*) siemeniä kylvettiin kesäkuussa 1991. Raidan (*Salix cap-  
rea*), taikinanmarjan (*Ribes alpinum*), koiranheiden (*Viburnum opulus*), koivun  
(*Betula*), lepän (*Alnus*), vaahteran (*Acer platanoides*) sekä pihlajan (*Sorbus au-  
cuparia*) taimia istutettiin syksyllä 1991. Rinteessä 1,5 m:n, 5 m:n ja 9 m:n näyt-  
teenottolinjat.

nolle jätetty kaista. Syksyllä kaikki ruudut  
kynnettiin lukuun ottamatta 10 m:n kais-  
taa ruutujen alaossa.

Kesällä 1991 ruutujen väliin laitettiin  
60 cm:n syvyyteen ulottuva muovikalvo.  
Seuraavana kesänä ruutujen väliin tehtiin  
maavalli koekentän ulkopuolelta tuodusta  
maasta. Muovien ja maavallien tarkoitukse-  
na oli estää veden virtailua ruudulta toiselle.

Keväällä 1991 perustettiin kaksi nurmi-  
kaistaa kylvämällä suojaviljaan timotei-



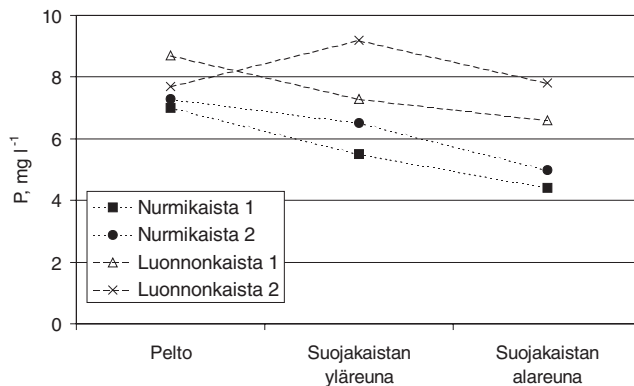
**Kuva 2.** Koekentän kaltevuus. (Kuva: Pekka  
Salo ja Jari Hietaranta).

nurminata-siemenseos. Kesäkuussa nurmi-  
röllin siemeniä levitettiin hajakylvönä käsin  
kahdelle luonnonkaistalle. Suojakaistoja ei  
perustettaessa lannoitettu. Keväällä 1992  
ohranoljet haravoitiin nurmikaistoilta pois.  
Syksyllä 1991 istutettiin luonnonkaistoille  
pensaiden ja lehtipuiden taimia. Jänikset  
söivät osan taimista, ennen kuin muoviset  
myyräsuojat ehdittiin laittaa taimien ympäril-  
le. Seuraavana kesänä luonnonkaistojen  
ympäriin pystytettiin verkkoaita estämään  
jänisten pääsy kaistoille. Taimia myös kas-  
teltiin kesällä 1992, koska savinen rinne oli  
hyvin kuiva. Aidat poistettiin kesällä 1997,  
koska niiden todettiin kokoavan kaistoille  
lunta. Myös puut ja pensaat olivat kasva-  
neet niin suuriksi, etteivät jänikset enää ai-  
heuttaneet niille tuhoa.

Saunakukat ja ohdakkeet kitkettiin suo-  
jakaistoilta kasvukaudella. Parin vuoden  
jälkeen saunakukkia ei enää kasvanut.  
Ohdakkeiden kasvu jatkui luonnonkaistoil-



**Kuva 3.** Helppoliukoisen fosforin (P) pitoisuudet (mg l<sup>-1</sup>) 0–20 cm:n syvyisessä maakerroksessa pellolla sekä suojakaistojen ylä- ja alareunoissa kokeen alussa 9.9. 1991.



**Taulukko 2.** Lintupajun suojakaistakentän viljelytoimenpiteet pellolla ja rinteesä vuosina 1990–1999.

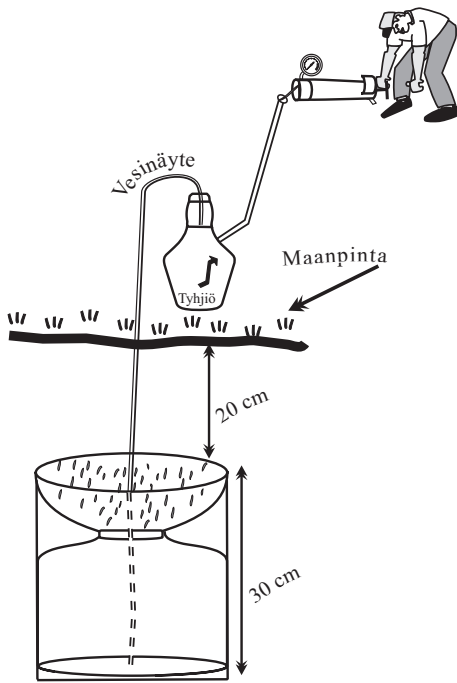
Pelto				
Vuosi	Kasvi	Kylvö	Puinti	Kyntö
1990	Ohra	04.05.	21.08.	17.10.
1991	Ohra	10.05.	18.08.	17.09.
1992	Ohra	15.05.	03.09.	06.10.
1993	Kaura	12.05.	16.09.	12.10.
1994	Ohra	15.05.	26.08.	26.09.
1995	Ohra	12.05.	28.08.	07.10.
1996	Kaura	13.05.	20.09.	15.10.
1997	Kaura	20.05.	25.09.	20.10.
1998	Kaura	27.05.	25.09.	21.10.
1999	Ohra	17.05.	08.09.	16.10.

Rinne = Kaista-alue			
Vuosi	Ei suoja-kaistaa	Nurmikaista	Luonnonkaista
1990	Ohra	Avokesanto	Avokesanto
1991	Ohra	Nurmiseoksen kylvö suojaviljaan 27.05.	Nurmiröllin kylvö 25.06 Taimien istutus 03.10.
1992	Ohra	Nurmen korjuu 16.09.	Ei niittoa
1993	Kaura	Nurmen korjuu 09.08.	Ei niittoa
1994	Ohra	Nurmen korjuu 28.07.	Ei niittoa
1995	Ohra	Nurmen korjuu 30.06.	Ei niittoa
1996	Kaura	Nurmen korjuu 17.07.	Ei niittoa
1997	Kaura	Nurmen korjuu 22.07.	Ei niittoa
1998	Kaura	Ei niittoa	Ei niittoa
1999	Ohra	Nurmen korjuu 27.07.	Ei niittoa

la kitkennästä huolimatta. Nurmikaistat niitettiin ja kasvusto korjattiin pois kerran

kesässä. Poikkeuksena oli kesä 1998, jolloin nurmi jäi sateiden takia niittämättä. Luon-



**Kuva 4.** Valumalysimetrin tyhjentäminen.

nonkaistoja ei niitetty. Suojakaistojen ja peltoalueen viljelytoimet ja -ajankohdat on esitetty taulukossa 2.

Koealueen pintavalumavedet kerättiin maan pintakerroksesta 0–30 cm:n syvyydeltä 9 m leveillä keräimillä (Puustinen 1999). Vesi johdettiin muoviputkia pitkin valvontarakennukseen, jossa mitattiin valumaveden määrä kääntyvän, kaksiosaisen mitta-astian avulla. Tilavuudeltaan 4,5–5,0 l:n astian kääntymisen täyttymisen jälkeen rekisteröityi elektroniseen laskuriin. Mitta-astioiden tilavuus kalibroitiin kaksi kertaa vuodessa. Joka toisella mitta-astian tyhjentämiskerralla noin 0,06 % vesimäärästä ohjautui pienen suppilon avulla muoviseen 5 l:n kanisteriin. Tällä tavalla kerätty vesinäyte edusti koko valunutta vesimäärää. Syksyllä 1996 mittausrakennukseen asennettiin uusi elektroninen laskuri. Siitä lähtien pintavalumaveden määrää on voitu seurata puolen tunnin tarkkuudella.

Syksyllä 1992 suojakaistojen ylä- ja alareunoihin sekä ei-suojakaistaa-ruutujen ala-

osaan kaivettiin yhteensä 20 valumalysimetriä 1. -mittaria 0,2 m:n syvyyteen. Lysimetricien tarkoituksena oli korvata suurikokoiset pintavalumakeräimet yleisessä käytössä. Lysimetri koostui 2 l:n muovipullost ja happopestyllä kvartsihiekkalla täytetystä muovisuppilosta, jonka halkaisija oli 0,2 m (Derome et al. 1991). Pulloon kerääntynyt vajovesi imettiin tyhjiöpumpulla imuletkua pitkin pullost lasiastiaan (Kuva 4). Kullakin ruudulla kahden parittaisen lysimetrin vesimäärät mitattiin ja yhdistettiin näytteenottoa varten.

Suojakaistoilta otettiin maanäytteitä, joista selvitettiin fosforin rikastumista pintamaahan ja typen huuhtoutumista maassa alaspäin. Fosfori- ja typpituloksia verrattiin pelolta otettuihin maanäytteisiin. Näytteitä otettiin:

1. rinteän yläpuolella olevalta viljelyalueelta (pelto)
2. muutamia metrejä suojakaistojen yläpuolelta (reuna)
3. suojakaistojen yläreunasta (1,5 m)
4. suojakaistojen puolivälistä (5 m)
5. suojakaistojen alareunasta (9 m).

Keväällä 1996 otettiin vain yksi kokoomaanäyte suojakaistaa kohti. Keväällä 1998 maanäytteet otettiin suojakaistojen ylä- ja alareunasta. Maanäytteitä otettiin keväällä, kesällä ja syksyllä. Näytteistä analysoitiin myös orgaanisen aineksen määrä, maan pH sekä johtoluku. Näytteenottosyvyys oli 0–20 cm vuosina 1990–1991. Sen jälkeen näytteitä otettiin kolmen vuoden ajan kahdesta syvyydestä: 0–10 cm ja 10–20 cm. Kevästä 1995 lähtien näytteenottosyvyyksiksi valittiin: 0–2, 2–5, 5–10, 10–20 ja 20–40 cm.

Kasvinäytteet otettiin suojakaistojen ylä-, keski- ja alaosasta (Kuva 1). Yleensä otettiin 5 satunnaisesti valittua osanäytettä  $0,2 \times 0,2 \text{ m}^2$ :n kokoisilta koealoilta. Näytteistä erotettiin heinät, apilat ja muut pallokasvit sekä yksittäiset valtalajit erilleen. Näytteistä määritettiin kuiva-ainepaino sekä fosfori- ja typpipitoisuudet.

Kasvukaudella 1998 kasvinäytteitä otettiin fosforimäärityksiä varten 5 kertaa

eri kasvuvaiheissa. Kokeeseen valittiin 6 suojakaistakasvia: voikukka (*Taraxacum sect. Vulgaria*), timotei (*Phleum pratense*), nurminata (*Festuca pratensis*), valkoapila (*Trifolium* spp.), siankärsäkö (*Achillea millefolium*) ja nurmirölli (*Agrostis tenuis*).

Jokainen suojakaista jaettiin 6 lohkokseen (Liite 1). Kokeessa käytettiin lohkoittain satunnaistettujen ruutujen menetelmää. Näytteitä otettiin 5 lohkoksesta. Lohko 1 jätettiin näittämättä. Lohko 2 niitettiin koejäsenten kasvuunlähtövaiheessa (kasvuvaihe I). Lohko 3 niitettiin ruohojen korrenkasvuvaiheessa, voikukan lehtiruusuksen muodostusvaiheessa sekä siankärsäkön ja valkoapilan lehtienmuodostusvaiheessa (kasvuvaihe II). Lohko 4 niitettiin kukintavaiheessa (kasvuvaihe III), lohko 5 siemenvaiheessa (kasvuvaihe IV) ja lohko 6 kasvien tuleennuttua (kasvuvaihe V).

Koejäsenten tarkat niittoajankohdat esitetään taulukossa 3. Lohkon ylä- ja alareunasta otettiin 2–4 osanäytettä. Näyte leikattiin 3–5 cm:n korkeudelta maanpinnasta. Kerätyn koekasvin seasta eroteltiin muut mukaan tulleet kasvit erilleen heti näytteenoton jälkeen.

## 2.2 Kemialliset analyysit

Vesinäytteet otettiin 500 ml:n happopesuihin muovipulloihin muovikanistereista. Näytteenottoitiheys vaihteli valumahuippujen aikana kerrasta kahdessa viikossa aina kahteen kertaan päivässä. Näytteet säilytettiin viileässä ja pimeässä, jonka jälkeen niitä analysoitiin PO<sub>4</sub>-P (SFS 3025), kok-P

(SFS 3026), NH<sub>4</sub>-N (SFS 1932), NO<sub>3</sub>-N (SFS 1930) ja kok-N (SFS 1931). PP-pitoisuus laskettiin vähentämällä kok-P-pitoisuudesta PO<sub>4</sub>-P-pitoisuus. Eroditunutta maa-ainesta kuvasi 105 °C:ssa haihdutetun vesinäytteen haihdutusjäännös.

Vesinäytteiden suodatuksessa käytettiin membraanifilteriä l. kalvosuodatinta (Sartorius 11306-50-PFN, reikäkoko 0,45 μm) vuoden 1994 loppuun asti. Keväällä 1995 alettiin näytteet fosforin ja liukoisen typen määrittäjä varten suodattaa Nuclepore polycarbonate-kalvolla (Nuclepore® Polycarbonate, reikäkoko 0,2 μm). Totaalityypen määrittämissä käytettiin Sartorius nitraate -kalvoja (Sartorius ACN, reikäkoko 0,45 μm). Vesinäytteet analysoitiin käyttäen Lachat QuikChem -autoanalysaattoria maaliskuuhun 1995 asti. Tämän jälkeen fosfori- ja totaalityypinäytteet analysoitiin Tecatorin FIAstar-autoanalysaattorilla ja NH<sub>4</sub>-N- ja NO<sub>3</sub>-N-näytteet Skalar-auto0

sen P:n määrästä PO<sub>4</sub>-P:n määrä.

Maanäytteistä analysoitiin ammonium- ja nitraattityppi. Lisäksi määritettiin maan pH sekä maan helpoliukoinen fosfori (Vuorinen & Mäkitie 1955)

Kasvit kuivattiin säilytystä varten 60 °C:ssa. Ennen kuivapainon punnitusta näytteet kuivattiin 105 °C:ssa. Märkäpoltetuista kasvinäytteistä määritettiin P-pitoisuudet plasmaemissiospektrofotometrillä avulla (Huang & Schulte 1985). Näytteiden tyyppipitoisuudet määritettiin LECO:lla.

## 2.3 Tulosten laskenta

Pintavalumavedet pyrittiin keräämään 9 m leveällä keräimellä 630 m<sup>2</sup>:n (9 m × 70 m) alueelta kullakin ruudulla. Koko ruudun ala oli 1 260 m<sup>2</sup> (18 m × 70 m). Tulokset laskettiin muodossa kg ha<sup>-1</sup>. Keskimääräinen ravinnekuorma kuvaa kahden koeruudun keskiarvoa. Valumaveden keskimääräinen ravinnepitoisuus on kahden ruudun valumapainotteinen pitoisuus, ei siis kahden ruudun aritmeettinen keskiarvo.

Myöskään vajovesivalunnan mittaus ei ollut tarkka, koska veden oletettiin tulevan lysimetripulloon suppilonkokoiselta alueelta (0,031 m<sup>2</sup>). Vajovesinäytteiden ravinnepitoisuudet laskettiin valumapainotteisesti: huuhtoutuneet ravinne määrät laskettiin jokaisella näytteenotokerralla yhteen koejäsenittäin, jonka jälkeen yhteenlasketut ra-

vinnemäärät jaettiin vesisummalla.

Pintavalumatulokset on laskettu syksystä 1991 vuoden 1999 loppuun. Syksyn 1994 tulokset jätettiin pois tarkastelusta, koska mittarit eivät silloin toimineet koekentällä. Koetulokset käsittävät siten kahdeksan vuoden valunnan Lintupajun suoja-kaistakentällä. Vajovesitulokset ovat vuosilta 1993–1999.

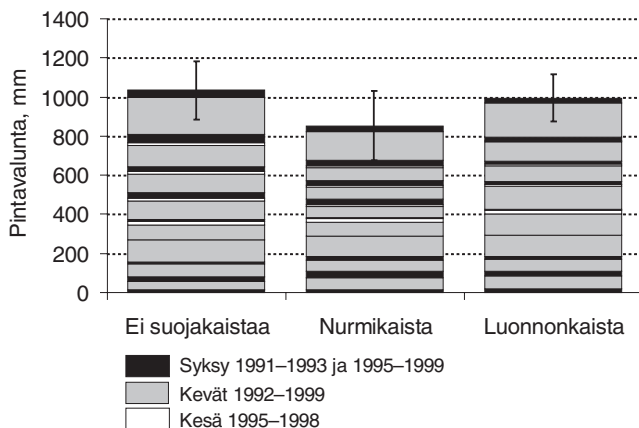
Pinta- ja vajovesivalunnat on esitetty valumakausittain: kevät, kesä ja syys. Kevätkausi kuvaa valuntaa vuoden alusta kylöpäivään, kesävalunta kylöpäivästä kyntöpäivään ja syysvaluntaa kyntöpäivästä vuoden loppuun.

Kasvukaudella 1998 suojakaistakasvien fosforinotto laskettiin niin, että pääkasvin ottamaan P-määrään lisättiin näytteenottoalan muun kasvillisuuden fosforinotto. Kasvien fosforinotosta tehtiin StatGraphics-ohjelmalla varianssianalyysi.

## 3 Tulokset

### 3.1 Pintavalunta

Ensimmäisinä koevuosina pintavalunta oli vähäistä eikä sitä esiintynyt kesäaikana (Kuva 5). Keskimääräinen vuosivalunta oli 130 mm ei-suojakaistaa-ruuduilla, 124 mm luonnonkaistaruuduilla ja 106 mm nurmikaistaruuduilla. Suurin osa, 70–80 %, va-



**Kuva 5.** Pintavalunnan yhteenlaskettu määrä (mm) syksystä 1991 vuoden 1999 loppuun. Syksyn 1994 tulos puuttuu. Pylväs kuvaa kahden ruudun keskiarvoa. Janan ala- ja yläpää kuvaavat vaihtelua kahden ruudun välillä.

lunnasta tuli kevätkaudella lumensulamisesinä. Keskimääräinen kevätkuvalunta oli nurmikaistoilla 60 ja 90 mm ja luonnonkaistoilla sekä ilman suoja-kaistaa viljellyillä ruuduilla 90 ja 110 mm. Vuosina 1995–1998 kesäajan valunta oli keskimäärin 10–20 mm. Alkukesä 1995 oli sateinen

ja pintavalunnatkin olivat suuria. Kesällä 1999 ei ollut pintavaluntaa. Syysvalunta-kaudella pintavalunta oli keskimäärin 20 ja 30 mm nurmikaistoilla sekä ilman suoja-kaistaa viljellyillä ruuduilla. Luonnonkaistoilla valunnat olivat keskimäärin 10 ja 20 mm.

**Taulukko 4.** Kuukausittaiset pintavalunnat ja sadesummat koeruuduilla 1991–1999. Sademäärä mitattiin Jokioisten observatoriossa noin 3 km:n päässä koekentästä.

	Nurmi- kaista 1	Nurmi- kaista 2	Luonnon- kaista 1	Luonnon- kaista 2	Ei suoja- kaistaa 1	Ei suoja- kaistaa 2	Sadanta
1991							
Tammikuu	8	10	10	5	7	6	69
Helmikuu	2	3	2	2	2	2	16
Maaliskuu	23	29	32	14	29	19	31
Huhtikuu	13	18	22	9	13	12	14
Toukokuu	0	1	1	1	1	0	29
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	69
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	55
Elokuu	0	0	0	0	0	0	92
Syyskuu	0	0	1	1	0	0	80
Lokakuu	1	0	3	1	0	0	49
Marraskuu	11	18	23	10	18	13	81
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	34
Summa	58	79	94	43	70	52	619
1992							
Tammikuu	4	10	9	6	3	3	50
Helmikuu	5	7	6	7	2	4	31
Maaliskuu	25	49	53	31	31	27	43
Huhtikuu	6	16	13	7	7	6	48
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	7
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	25
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	47
Elokuu	0	0	0	0	0	0	107
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	59
Lokakuu	2	6	3	1	4	3	64
Marraskuu	5	10	9	4	7	4	63
Joulukuu	13	29	21	10	19	11	33
Summa	60	127	114	66	73	58	577
1993							
Tammikuu	7	8	7	4	8	3	56
Helmikuu	3	3	3	2	4	1	16
Maaliskuu	19	39	11	31	47	14	29
Huhtikuu	14	18	24	42	22	28	29
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	1
Kesäkuu	0	0	0	0	0	1	56
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	107
Elokuu	1	5	1	1	4	1	136
Syyskuu	1	4	2	1	4	1	13
Lokakuu	1	5	1	2	2	1	51
Marraskuu	0	0	0	0	0	0	3
Joulukuu	8	11	3	9	6	2	61
Summa	54	93	52	92	97	52	558

Taulukko 4 jatkuu

	Nurmi- kaista 1	Nurmi- kaista 2	Luonnon- kaista 1	Luonnon- kaista 2	Ei suoja- kaistaa 1	Ei suoja- kaistaa 2	Sadanta
1994							
Tammikuu	20	15	15	19	22	11	52
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	1
Maaliskuu	23	17	14	23	20	25	54
Huhtikuu	61	65	66	72	73	74	33
Toukokuu	4	4	10	5	2	4	34
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	66
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	1
Elokuu	0	0	0	0	0	0	54
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	105
Lokakuu	0	0	1	0	0	0	75
Marraskuu	0	2	1	1	1	0	24
Joulukuu	8	8	6	4	0	1	51
Summa	116	111	113	124	118	115	550
1995							
Tammikuu	5	2	0	2	0	0	46
Helmikuu	39	40	48	49	66	28	58
Maaliskuu	21	21	28	33	30	9	45
Huhtikuu	6	13	28	24	11	4	47
Toukokuu	5	5	7	4	1	1	87
Kesäkuu	16	13	19	11	20	11	121
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	53
Elokuu	0	0	0	0	0	0	65
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	45
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	66
Marraskuu	4	13	6	3	11	8	47
Joulukuu	0	0	0	0	0	0	19
Summa	96	107	136	126	139	61	699
1996							
Tammikuu	0	0	0	0	0	0	8
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	35
Maaliskuu	0	0	0	0	0	0	29
Huhtikuu	36	76	142	100	91	102	24
Toukokuu	0	2	3	3	2	1	65
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	52
Heinäkuu	6	12	7	5	16	8	136
Elokuu	0	0	0	0	0	0	14
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	20
Lokakuu	0	0	0	0	0	0	56
Marraskuu	16	27	12	9	34	18	128
Joulukuu	2	6	3	2	9	3	28
Summa	60	123	167	119	152	132	595
1997							
Tammikuu	0	0	0	0	1	1	41
Helmikuu	31	45	40	28	51	40	56
Maaliskuu	8	22	23	20	31	23	31
Huhtikuu	7	14	25	21	16	18	45
Toukokuu	1	1	1	1	0	0	16
Kesäkuu	1	3	3	2	8	3	101
Heinäkuu	8	13	11	7	15	8	141
Elokuu	0	0	0	0	0	0	44

Syyskuu	0	0	1	0	0	1	78
Lokakuu	3	8	3	2	8	4	47
Marraskuu	8	11	10	4	12	6	43
Joulukuu	6	8	7	4	7	5	30
Summa	73	112	124	89	149	109	673
1998							
Tammikuu	14	25	25	12	26	25	53
Helmikuu	14	33	44	25	52	38	42
Maaliskuu	8	20	31	22	38	21	28
Huhtikuu	3	5	13	11	12	11	15
Toukokuu	4	6	7	4	6	3	65
Kesäkuu	3	4	4	2	4	2	99
Heinäkuu	1	1	1	1	2	1	70
Elokuu	6	5	3	1	9	2	83
Syyskuu	0	1	0	0	3	1	29
Lokakuu	21	20	22	11	34	24	82
Marraskuu	1	1	1	1	1	1	15
Joulukuu	8	10	5	3	11	11	46
Summa	83	131	156	93	198	140	627
1999							
Tammikuu	24	34	33	24	34	34	61
Helmikuu	0	0	0	0	0	0	48
Maaliskuu	31	35	38	29	40	33	28
Huhtikuu	70	105	128	85	123	123	42
Toukokuu	0	0	0	0	0	0	13
Kesäkuu	0	0	0	0	0	0	30
Heinäkuu	0	0	0	0	0	0	49
Elokuu	0	0	0	0	0	0	55
Syyskuu	0	0	0	0	0	0	34
Lokakuu	2	5	4	1	8	5	109
Marraskuu	2	5	4	2	6	5	35
Joulukuu	16	24	22	12	29	23	84
Summa	145	208	229	153	240	223	588

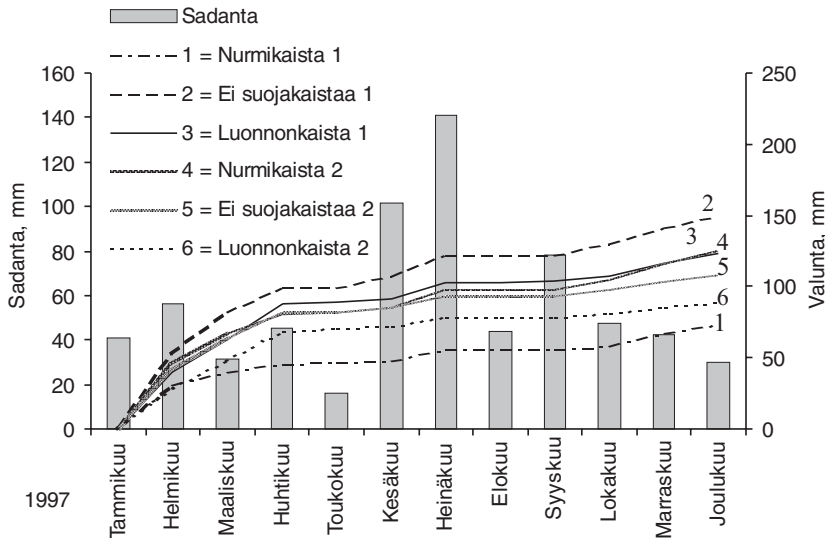
Pintavalunta vaihteli ruuduittain ja vuosittain (Taulukko 4). Erot eri ruutujen välillä muodostuivat keväällä lumen sulamisen yhteydessä (Kuva 6). Kahdeksan koivuoden keskimääräinen valunta oli 80–150 mm a<sup>-1</sup>. Koekentän keskimmaisilla ruuduilla valunta oli 130–150 mm a<sup>-1</sup> ja kentän vasemman puoleisella reunaruudulla (nurmi-kaista 1) vain 80 mm a<sup>-1</sup>. Pieni pintavalunta (110 mm a<sup>-1</sup>) mitattiin myös kentän oikeanpuoleisilla ei-suojakaistaa 2- ja luonnonkaista 2 -ruuduilla.

### 3.1.1 Eroosio

Keväällä eroosioaineksen pitoisuudessa oli vain pieni ero käsittelyjen välillä. Erot suurensivat kesällä ja syksyllä. Eroosioaineksen

pitoisuus oli suurin ilman suojakaistaa viljellyillä ruuduilla, 0,2–3,2 g l<sup>-1</sup>. Suojakaistoilla se oli 0,1–1,1 g l<sup>-1</sup>. Pitoisuushuippuja esiintyi syksyllä maan kyntämisen ja kultivoiminnan jälkeen. Kevätvalunnan aikana keskimääräinen eroosioaineksen pitoisuus oli pieni, kun puhtaat lumensulamisedet laimensivat loppukevään sameampia vesiä (Taulukko 5a). Varsinainen pitoisuushuippu oli kesällä 1995, jolloin eroosioainesta oli 7,3 g l<sup>-1</sup> ei-suojakaistaa-ruuduilla ja 1,3 g l<sup>-1</sup> suojakaistaruuduilla.

Pintavalunnan mukana tulleesta eroosioaineksesta 40–60 % oli peräisin keväätvalumakaudelta, 10–20 % kesäkaudelta ja 20–40 % syyskaudelta (Kuva 7). Keskimääräinen eroosiokuorma oli 1 500 ja 700 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> ilman suojakaistaa viljellyillä ruuduilla ja 400–600 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> suojakaistaruuu-



**Kuva 6.** Pintavalunnan kumulatiivinen summa (mm) ja kuukausittaiset sademäärät (mm) vuonna 1997. Sademäärä mitattiin Jokioisten observatoriossa noin 3 km:n päässä koekentästä.

duilla. Suojakaistoilla eroosioaineksen kuorma oli noin 60 % pienempi kuin verranneruuduilla. Kesällä puhdistusteho oli 60–80 %. Paras puhdistusteho oli kesällä 1995, jolloin eroosioaineksen määrä oli keskimäärin 1 200 kg ha<sup>-1</sup> ei-suojakaistaa-ruuduilla ja vain 200–300 kg ha<sup>-1</sup> suojakaista-ruuduilla. Syksyllä eroosiokuorma oli nurmikaistoilla keskimäärin 60 % (10–70 %) ja luonnonkaistoilla 70 % (40–80 %) pienempi kuin ilman suojakaistaa viljellyillä ruuduilla. Keväällä kuormitus oli suojakaista-ruuduilla keskimäärin 40 % (30–60 %) pienempi kuin verranneruuduilla. Poikkeuksena oli ensimmäinen kevät, jolloin eroosio-kuorma oli suojakaista-ruuduilla 20 % suurempi kuin ei-suojakaista-ruuduilla.

### 3.1.2 Maa-ainekseen sitoutunut fosfori

Maa-ainekseen sitoutuneen fosforin eli partikkelifosforin (PP) pitoisuus vaihteli samalla tavalla kuin eroosioaineksen pitoisuus. Keskimääräinen PP-pitoisuus oli yleensä 0,2–1,7 mg l<sup>-1</sup> ilman suojakaistaa viljellyillä

ruuduilla ja 0,1–1,1 mg l<sup>-1</sup> suojakaista-ruuduilla (Taulukko 5a). Sadekesänä 1995 PP-pitoisuudet olivat 3,2 mg l<sup>-1</sup> ei-suojakaista-ruuduilla ja 1,2–1,5 mg l<sup>-1</sup> suojakaistoilla.

Fosforia kulkeutui maa-aineksen mukana keskimäärin 0,8 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> ei-suojakaista-ruuduilla ja 0,4 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> suojakaista-ruuduilla. Puolet kuormituksesta tuli keväällä, runsas 10 % kesällä ja 30–40 % syksyllä. Kesäkauden kuormitus oli suuri, koska kesällä 1995 PP:n kuorma oli keskimäärin 0,5 kg ha<sup>-1</sup> ei-suojakaista-ruuduilla, 0,2 kg ha<sup>-1</sup> nurmikaistoilla ja 0,3 kg ha<sup>-1</sup> luonnonkaistoilla.

Maa-ainekseen sitoutuneen fosforin määrä oli suojakaista-ruuduilla keskimäärin 40 % pienempi kuin verranneruuduilla (Kuva 8). Kesällä ja syksyllä PP-kuormitus oli suojakaistoilla puolet pienempi ja keväällä kolmanneksen pienempi kuin ei-suojakaista-ruuduilla. Suojakaistojen toiminta parani vuosien kuluessa. Varsinkin nurmikaista toimi huonosti ensimmäisinä syksyinä 1992 ja 1993.



**Taulukko 5a.** Eroosioaineksen pitoisuus, g l<sup>-1</sup>, partikkelifosforin (PP), liuenneen fosforin (PO<sub>4</sub>-P) ja kokonaisfosforin (kok-P) pitoisuudet, mg l<sup>-1</sup>, pintavalumavesissä vuosina 1991–1999.

Vuoden-aika	Eroosioaines			PP			PO <sub>4</sub> -P			Kok-P		
	Nurmi-kaista	Luonnon-kaista	Ei suoja-kaistaa	Nurmi-kaista	Luonnon-kaista	Ei suoja-kaistaa	Nurmi-kaista	Luonnon-kaista	Ei suoja-kaistaa	Nurmi-kaista	Luonnon-kaista	Ei suoja-kaistaa
Syksy -91	1,13	1,11	2,14	1,12	0,99	1,74	0,15	0,20	0,16	1,28	1,19	1,90
Kevät -92	0,39	0,36	0,46	0,30	0,26	0,34	0,14	0,18	0,13	0,44	0,44	0,47
Syksy -92	0,60	0,41	0,88	0,59	0,52	0,86	0,11	0,16	0,18	0,71	0,68	1,04
Kevät -93	0,84	0,48	1,12	0,60	0,39	0,78	0,15	0,21	0,15	0,75	0,60	0,93
Syksy -93	0,38	0,37	0,86	0,44	0,46	0,85	0,15	0,64	0,24	0,59	1,09	1,09
Kevät -94	0,13	0,14	0,23	0,22	0,19	0,26	0,08	0,19	0,07	0,30	0,38	0,33
Kevät -95	0,41	0,33	0,68	0,39	0,33	0,60	0,10	0,14	0,10	0,50	0,46	0,70
Kesä -95	1,26	1,26	7,31	1,25	1,48	3,16	0,13	0,18	0,12	1,37	1,65	3,27
Syksy -95	0,78	0,86	2,42	0,65	0,71	1,04	0,14	0,16	0,10	0,78	0,87	1,14
Kevät -96	0,17	0,15	0,25	0,19	0,15	0,23	0,11	0,17	0,09	0,30	0,32	0,32
Kesä -96	0,61	0,63	1,27	0,67	0,75	1,19	0,13	0,16	0,14	0,80	0,91	1,33
Syksy -96	0,98	1,08	3,18	0,92	0,97	1,73	0,09	0,12	0,10	1,01	1,09	1,83
Kevät -97	0,30	0,26	0,48	0,31	0,27	0,43	0,13	0,22	0,12	0,44	0,49	0,55
Kesä -97	0,44	0,50	1,20	0,46	0,55	0,96	0,19	0,23	0,14	0,64	0,78	1,10
Syksy -97	0,97	0,83	2,27	0,85	0,87	1,18	0,13	0,17	0,21	0,99	1,03	1,40
Kevät -98	0,44	0,44	0,70	0,44	0,52	0,65	0,16	0,28	0,14	0,59	0,79	0,79
Kesä -98	0,90	0,88	2,01	0,94	1,07	1,58	0,14	0,18	0,17	1,07	1,25	1,74
Syksy -98	0,55	0,57	1,24	0,54	0,65	1,02	0,31	0,28	0,27	0,86	0,93	1,29
Kevät -99	0,20	0,17	0,27	0,19	0,16	0,24	0,18	0,19	0,06	0,36	0,35	0,30
Syksy -99	0,71	0,71	1,21	0,69	0,71	0,80	0,09	0,10	0,07	0,78	0,82	0,87

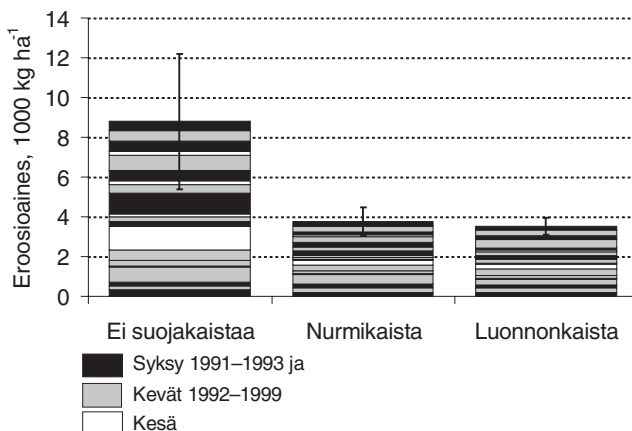
### 3.1.3 Leville käyttökelpoinen fosfori

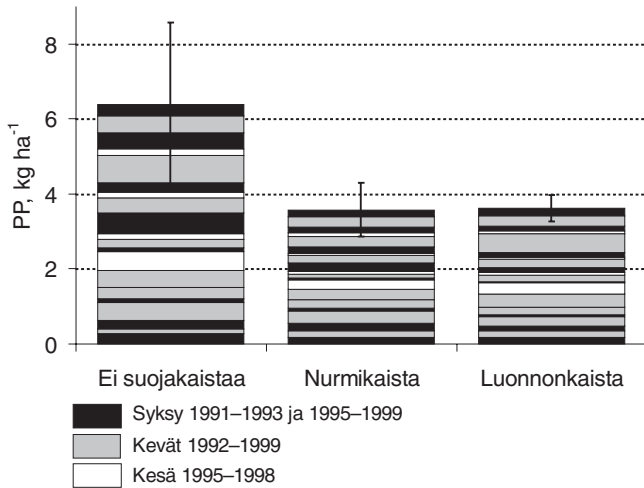
Liuenneen fosforin pitoisuus oli luonnonkaistoilla suuri koko kokeen ajan (Taulukko 5a). Nurmikaista- ja ei-suojakaistaa-käsitteilyjen PO<sub>4</sub>-P-pitoisuudet olivat lähellä toisiaan. Syksyllä 1993 PO<sub>4</sub>-P-pitoisuus oli luonnonkaistoilla peräti 0,64 (0,42–0,78) mg l<sup>-1</sup>. Nurmikaistoilla poikkeuksena oli syksy 1998, jolloin PO<sub>4</sub>-P-pitoisuus kasvoi niillä hieman muita käsitteilyjä suuremmaksi.

Liuenneen fosforin kuormituksesta tuli keväällä 70 % nurmikaistoilla sekä ilman

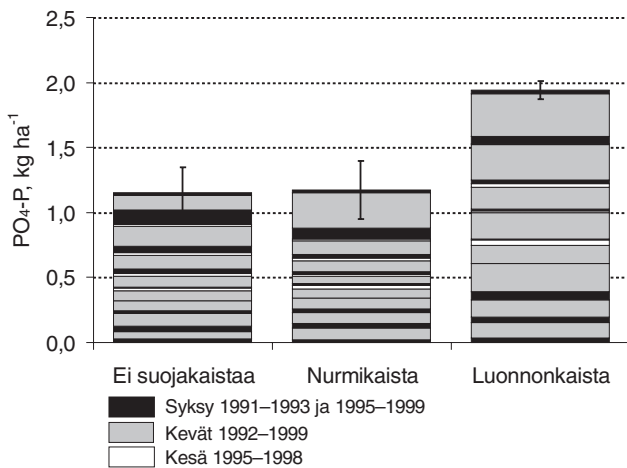
suojakaistaa viljellyillä ruuduilla ja 80 % luonnonkaistoilla. Kesällä kuormituksesta tuli 4–6 % ja loput 15–30 % syksyllä. Vuosina 1992–1998 kevätkuormituskaudella PO<sub>4</sub>-P-kuormitus oli keskimäärin 0,09 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> ilman suojakaistaa viljellyillä ruuduilla, 0,08 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> nurmikaistoilla ja 0,18 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> luonnonkaistoilla. Keväällä 1999 PO<sub>4</sub>-P-kuormitus oli poikkeuksellisen suuri: 0,27 kg ha<sup>-1</sup> nurmikaistoilla, 0,32 kg ha<sup>-1</sup> luonnonkaistoilla ja 0,11 kg ha<sup>-1</sup> verranneruuduilla. Kesä- ja syysvaluntakausilla PO<sub>4</sub>-P:n kuorma oli keskimäärin 0,02–0,03 kg ha<sup>-1</sup>. Syksyllä 1998 oli

**Kuva 7.** Eroosioaineksen yhteenlaskettu määrä (1000 kg ha<sup>-1</sup>) syksystä 1991 vuoden 1999 loppuun. Syksyn 1994 tulos puuttuu. Pylväs kuvaa kahden ruudun keskiarvoa. Janan ala- ja yläpää kuvaavat vaihtelua kahden ruudun välillä.





**Kuva 8.** Maa-ainekseen sitoutuneen fosforin I. partikkelifosforin (PP) yhteenlaskettu määrä ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) syksystä 1991 vuoden 1999 loppuun. Syksyn 1994 tulos puuttuu. Pylväs kuvaa kahden ruudun keskiarvoa. Janan ala- ja yläpää kuvaavat vaihtelua kahden ruudun välillä.



**Kuva 9.** Liunneen ortofosfaattifosforin ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) yhteenlaskettu määrä ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) syksystä 1991 vuoden 1999 loppuun. Syksyn 1994 tulos puuttuu. Pylväs kuvaa kahden ruudun keskiarvoa. Janan ala- ja yläpää kuvaavat vaihtelua kahden ruudun välillä.

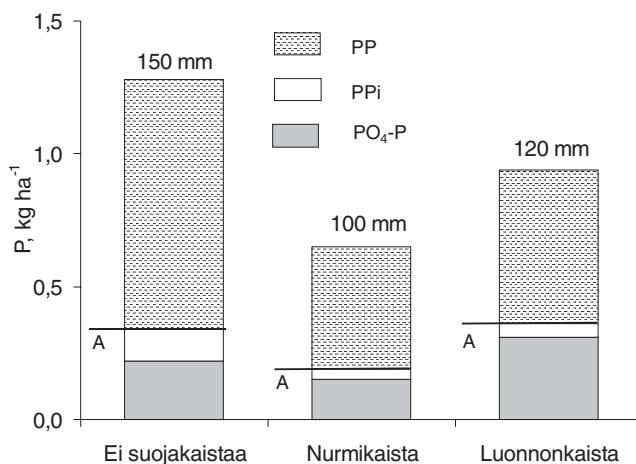
$\text{PO}_4\text{-P}$ :n kuormitus ( $0,04\text{--}0,13 \text{ kg ha}^{-1}$ ) kaikilla ruuduilla suurempi kuin muina syksyinä.

Kevätvalumakaudella 1993–1998 oli  $\text{PO}_4\text{-P}$ -kuormitus niitetyillä nurmikaistoilla keskimäärin 10 % (+10...–30 %) pienempi kuin ilman suojakaistaa viljellyillä ruuduilla lukuun ottamatta nurmikaistojen perustamisen jälkeistä kevättä (Kuva 9). Myös keväällä oli 1999  $\text{PO}_4\text{-P}$ :n määrä oli nurmikaistalla 2,5 kertaa suurempi kuin verranneruuduilla. Kesällä  $\text{PO}_4\text{-P}$ -kuorma joko kasvoi tai väheni (+30...–30 %) nurmikaistoilla. Syksyllä kuormitus oli nurmi-

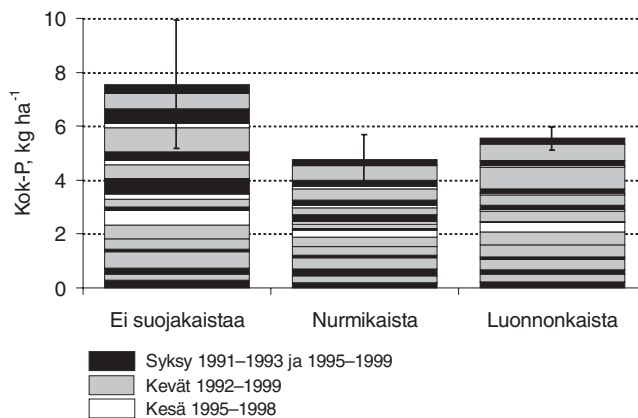
kaistoilla keskimäärin 20 % (+33...–40 %) pienempi kuin ei-suojakaistaa-ruuduilla. Luonnonkaistoilla, joita ei niitetty,  $\text{PO}_4\text{-P}$ :n määrä oli kesällä 20 % (–30... +100 %) suurempi kuin verranneruuduilla. Syksyllä  $\text{PO}_4\text{-P}$ -kuormitus oli luonnonkaistoilla 10 % (+180...–50 %) pienempi, mutta keväällä se oli peräti 100 % (30–210 %) suurempi kuin ilman suojakaistaa viljellyillä ruuduilla.

Anioninvaihtohartsilla uuttuvan partikkelifosforin kuormitus väheni 44 % nurmikaistoilla mutta kasvoi 6 % luonnonkaistoilla 1997–1998 (Kuva 10).

**Kuva 10.** Partikkelifosforin (PP), anioninvaihtohartsilla uuttuvan partikkelifosforin (PPI) ja liuenneen fosforin ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) määrä ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) ja pintavalunta (mm) pylvään päällä valumakaudella toukokuu 1997– toukokuu 1998. Viiva A kuvaa hartsiuuttoisen fosforin (PPI +  $\text{PO}_4\text{-P}$ ) määrää. Pylväs kuvaa kahden ruudun keskiarvoa.



**Kuva 11.** Kokonaisfosforin (kok-P) yhteenlaskettu määrä ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) syksystä 1991 vuoden 1999 loppuun. Syksyn 1994 tulos puuttuu. Pylväs kuvaa kahden ruudun keskiarvoa. Janan ala- ja yläpää kuvaavat vaihtelua kahden ruudun välillä.



### 3.1.4 Kokonaisfosfori

Kokonaisfosforin pitoisuudet olivat suurempia kesällä ja syksyllä kuin keväällä (Taulukko 5a). Suurin kok-P:n pitoisuus oli ilman suojakaistaa viljellyillä ruuduilla. Nurmi- ja luonnonkaistojen kok-P-pitoisuudet olivat keskenään lähes yhtä suuria.

Kokonaisfosforin keskimääräinen kuormitus oli  $0,9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  ilman suojakaistaa viljellyillä ruuduilla,  $0,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  nurmikaistoilla ja  $0,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  luonnonkaistoilla. Vaikka kok-P:n pitoisuudet olivat pienimmät keväällä, tuli yli 50 % kok-P-kuormituksesta keväällä, 10 % kesällä ja noin 30 % syksyllä (Kuva 11). Poikkeuksena oli

kesä 1995, jolloin kok-P-kuorma oli noin 50 % keskimääräisestä vuosittaisesta kuormasta.

Kok-P:n kuormitus oli nurmikaistoilla keskimäärin vajaat 40 % ja luonnonkaistoilla vajaat 30 % pienempi kuin ilman suojakaistaa viljellyillä ruuduilla. Keväällä kuormitus oli nurmikaistoilla noin 30 % mutta luonnonkaistoilla vain noin 6 % pienempi kuin verranneruuduilla. Kesällä kuormitus oli suojakaistoilla puolet (36–59 %) pienempi kuin verranneruuduilla. Syksyllä kok-P:n kuormitus oli nurmikaistoilla keskimäärin 40 % (2–58 %) ja luonnonkaistoilla 50 % (+3...–76 %) pienempi kuin ei-suojakaistaa-ruuduilla.

### 3.1.5 Nitraattityppi

Nitraattitypen keskimääräinen pitoisuus oli yleensä alle 10 mg l<sup>-1</sup> ilman suojakaistaa viljelyillä ruuduilla. Suojakaistoilla NO<sub>3</sub>-N:n pitoisuus oli pienempi kuin verranneruuduilla (Taulukko 5b).

Nitraattityppeä kulkeutui pintavalunnan mukana keskimäärin 4,2 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> ilman suojakaistaa viljelyillä ruuduilla, 1,2 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> nurmikaistoilla ja 2,0 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> luonnonkaistoilla. Suurin osa NO<sub>3</sub>-typpi-kuormasta tuli keväällä (Kuva 12). Kevätvalunnan osuus oli 60 % ei-suojakaistaa-ruuduilla ja yli 80 % suojakaistaruu-  
duilla. Kesällä NO<sub>3</sub>-N-kuormasta tuli 20 % ilman suojakaistaa viljelyillä ruuduilla ja 2–5 % suojakaistoilla. Syysvalunnan osuus kuormituksesta oli 25 % verranneruuduilla ja 10–20 % suojakaistaruu-  
duilla.

Nitraattitypen määrä oli suojakaistoilla kesällä keskimäärin 0,8 kg ha<sup>-1</sup> eli yli 90 % (74–99 %) ja syksyllä 0,8 kg ha<sup>-1</sup> eli 70–80 % (16–91 %) pienempi kuin ilman suojakaistaa viljelyillä ruuduilla. Keväällä NO<sub>3</sub>-N-kuorma oli nurmikaistoilla keskimäärin 1,7 kg ha<sup>-1</sup> eli 60 % (30–83 %) ja

luonnonkaistoilla noin 1,0 kg ha<sup>-1</sup> eli 40 % (+21...–62 %) pienempi kuin verranneruuduilla.

### 3.1.6 Ammoniumtyppi

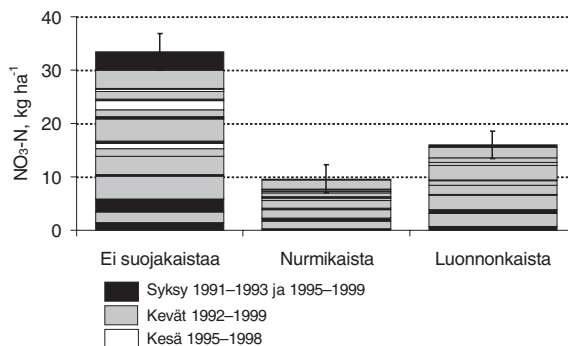
Kokeen alussa oli ammoniumtypen pitoisuus suurin luonnonkaistoilla (Taulukko 5b). Vähitellen NH<sub>4</sub>-N-pitoisuus alkoi luonnonkaistoilla vähentyä ja nurmikais-  
toilla kasvaa.

Ilman suojakaistaa viljelyillä ruuduilla NH<sub>4</sub>-N-kuorma oli sama kuin nurmikais-  
taruu-  
duilla, 0,14 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>, mutta 20 % pienempi kuin luonnonkaistoilla. NH<sub>4</sub>-N-  
kuormasta suurin osa (80–90 %) tuli ke-  
väällä (Kuva 13). Keväällä NH<sub>4</sub>-N:n määrä oli nurmikaistoilla saman suuruinen kuin ei-suojakaistaa-ruuduilla, mutta luonnon-  
kaistoilla sen määrä kasvoi 40 % (+240...  
–40 %). Kesällä ja syksyllä keskimääräinen NH<sub>4</sub>-N-kuorma oli luonnonkaistoilla hie-  
man pienempi kuin verranneruuduilla.

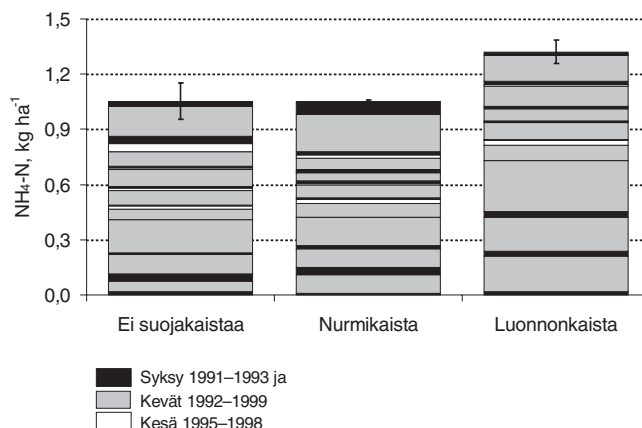
**Taulukko 5b.** Nitraattitypen (NO<sub>3</sub>-N), ammoniumtypen (NH<sub>4</sub>-N) ja kokonaistypen (kok-N) pitoisuu-  
det, mg l<sup>-1</sup>, pintavalumavesissä vuosina 1991–1999.

Vuoden- aika	NO <sub>3</sub> -N			NH <sub>4</sub> -N			Kok-N		
	Nurmi- kaista	Luonnon- kaista	Ei suoja- kaistaa	Nurmi- kaista	Luonnon- kaista	Ei suoja- kaistaa	Nurmi- kaista	Luonnon- kaista	Ei suoja- kaistaa
Syky -91	1,86	3,93	9,17	0,07	0,11	0,11	3,14	6,35	12,87
Kevät -92	2,35	3,67	4,77	0,17	0,29	0,13	3,07	4,76	5,82
Syky -92	1,95	2,76	9,97	0,12	0,11	0,17	3,02	4,16	12,39
Kevät -93	2,83	4,30	6,72	0,18	0,30	0,16	4,55	6,08	8,78
Syky -93	1,20	1,48	2,59	0,09	0,27	0,12	1,99	3,33	4,36
Kevät -94	1,33	1,60	3,06	0,15	0,24	0,16	2,49	2,92	4,45
Kevät -95	0,68	0,74	1,80	0,11	0,08	0,08	1,75	1,64	2,82
Kesä -95	0,99	0,63	6,81	0,11	0,13	0,10	3,19	3,09	13,22
Syky -95	0,65	0,80	4,15	0,07	0,08	0,05	2,24	2,56	6,81
Kevät -96	1,26	2,23	4,27	0,13	0,08	0,08	2,65	3,44	6,21
Kesä -96	0,10	0,40	1,03	0,11	0,06	0,07	2,28	2,53	3,60
Syky -96	0,09	0,26	0,72	0,04	0,04	0,03	1,90	2,24	4,39
Kevät -97	0,44	0,62	1,42	0,07	0,08	0,10	1,45	1,55	2,58
Kesä -97	0,26	0,18	11,13	0,07	0,04	0,07	2,03	2,05	13,58
Syky -97	0,19	0,36	1,54	0,06	0,05	0,04	2,40	2,66	3,72
Kevät -98	0,33	0,84	1,25	0,09	0,11	0,07	1,68	2,40	3,03
Kesä -98	0,31	0,24	3,74	0,18	0,10	0,44	2,78	2,72	6,73
Syky -98	0,24	0,21	0,42	0,07	0,09	0,10	1,93	2,13	2,77
Kevät -99	1,16	1,14	1,84	0,13	0,08	0,09	2,18	2,02	2,71
Syky -99	0,89	1,51	8,53	0,26	0,06	0,07	2,83	4,37	11,42

**Kuva 12.** Nitraattitypen ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) yhteenlaskettu määrä ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) syksystä 1991 vuoden 1999 loppuun. Syksyn 1994 tulos puuttuu. Pylväs kuvaa kahden ruudun keskiarvoa. Janan ala- ja yläpää kuvaavat vaihtelua kahden ruudun välillä.



**Kuva 13.** Ammoniumitypen ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) yhteenlaskettu määrä ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) syksystä 1991 vuoden 1999 loppuun. Syksyn 1994 tulos puuttuu. Pylväs kuvaa kahden ruudun keskiarvoa. Janan ala- ja yläpää kuvaavat vaihtelua kahden ruudun välillä.



### 3.1.7 Kokonaistyyppi

Keskimääräinen kok-N:n pitoisuus oli suurin ilman suojakaistaa viljellyillä ruuduilla (Taulukko 5b). Parin ensimmäisen koevuoden jälkeen laski kok-N-pitoisuus luonnonkaistoilla samalle tasolle kuin nurmikaistoilla.

Kok-N:n kuormitus oli suurin keväällä:  $4,3\text{--}3,7 \text{ kg ha}^{-1}$  ei-suojakaistaa-ruuduilla,  $1,5\text{--}2,3 \text{ kg ha}^{-1}$  nurmikaistoilla ja  $2,6\text{--}3,2 \text{ kg ha}^{-1}$  luonnonkaistoilla. Keväällä 1999 kok-N kuorma oli nurmikaistaruuduilla poikkeuksellisen suuri ( $2,9\text{--}3,6 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

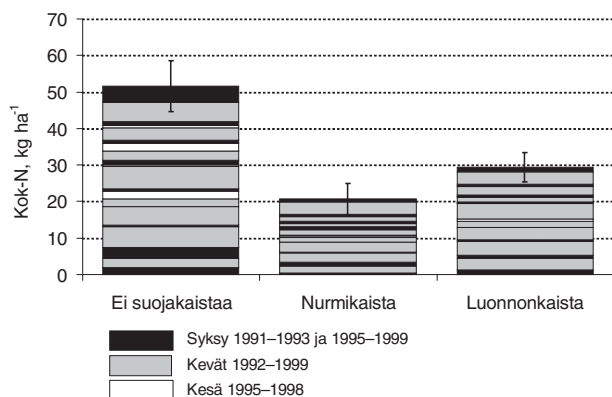
Kesällä oli keskimääräinen kok-N:n kuorma  $1,4 \text{ kg ha}^{-1}$  ilman suojakaistaa viljellyillä ruuduilla ja  $0,3 \text{ kg ha}^{-1}$  suojakaistoilla. Syksyllä kuormitus oli  $1,7 \text{ kg ha}^{-1}$  verranneruuduilla ja  $0,5\text{--}0,6 \text{ kg ha}^{-1}$  suoja-

kaistoilla.

Nurmikaistoilla kok-N:n kuormitus oli keskimäärin 60 % ja luonnonkaistoilla runsaat 40 % pienempi kuin ei-suojakaistaa-ruuduilla (Kuva 14). Suojakaistat toimivat parhaiten kesällä (puhdistusteho yli 70 %) ja syksyllä (puhdistusteho yli 60 %). Keväällä, jolloin kuormitus oli suurin, kok-N-kuorma oli nurmikaistoilla noin 50 % ja luonnonkaistoilla noin 25 % pienempi kuin ilman suojakaistaa viljellyillä ruuduilla.

## 3.2 Vajovedet

Vajovesi, joka kerättiin  $0,2 \text{ m}$ :n syvyydestä, edusti muokkauskerroksen läpi suotautunutta pintakerrosvaluntaa. Neljännes va-



**Kuva 14.** Kokonaistypen (kok-N) yhteenlaskettu määrä (kg ha<sup>-1</sup>) syksystä 1991 vuoden 1999 loppuun. Syksyn 1994 tulos puuttuu. Pylväs kuvaa kahden ruudun keskiarvoa. Janan ala- ja yläpää kuvaavat vaihtelua kahden ruudun välillä.

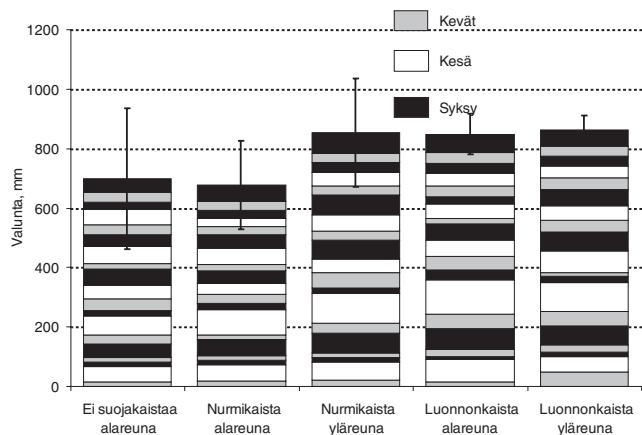
jovedestä kerättiin keväällä, runsas kolmannes kesällä ja kolmannes syksyllä (Kuva 15). Valunnan määrä (70–150 mm a<sup>-1</sup>) vaihteli koejäsenen sekä lysimetrin sijainnin mukaan. Keskimääräinen valunta, 70–80 mm a<sup>-1</sup>, oli pienin nurmikaista 1- ja ei-suojakaistaa 1-ruutujen alaosissa. Vajovesivalunnan määrä oli samaa suuruusluokkaa kuin pintavalunnan.

### 3.2.1 Vajoveden liuennut fosfori

Ortofosfaattifosforin pitoisuudet vaihtelivat vajovesissä huomattavasti jopa saman koekäsittelyn saaneiden ruutujen välillä. Myös suojakaistan ylä- ja alareunojen pitoisuuksissa oli eroja. Ruutujen alaosassa keskimääräinen PO<sub>4</sub>-P-pitoisuus oli kaikilla koekäsittelyillä yleensä 0,05–0,4 mg l<sup>-1</sup>

(Taulukko 6a). Suurin PO<sub>4</sub>-P-pitoisuus oli luonnonkaistoilla. Ilman suojakaistaa viljellyn koekäsittelyn PO<sub>4</sub>-P-pitoisuus laski kokeen aikana alle 0,1 mg:aan l<sup>-1</sup>. Syksyllä 1999 se nousi jälleen. Yleensä suojakaistojen ala- ja yläreunojen pitoisuudet olivat keskenään samaa suuruusluokkaa. Toisinaan, varsinkin pitoisuuspiikkien aikana, PO<sub>4</sub>-P-pitoisuus saattoi kuitenkin olla korkeampi suojakaistan alareunassa kuin yläreunassa. Vajovesien keskimääräinen PO<sub>4</sub>-P-pitoisuus oli luonnonkaistalla sekä ilman suojakaistaa viljellyllä koekäsittelyllä suurempi kuin pintavalumavesissä.

Vajoveden mukana kulkeutuneesta PO<sub>4</sub>-P:sta huuhtoutui 20 % keväällä, 40 % kesällä ja 40 % syksyllä (Kuva 16). Seitsemän koevuoden aikana suurin keskimääräinen huuhtoutuma oli luonnonkaistalla 2 (0,4 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>). Luonnonkaistalla 1 ja nur-



**Kuva 15.** Vajoveden yhteenlaskettu määrä (mm) vuosina 1993–1999. Janan ala- ja yläpää kuvaavat vaihtelua kahden ruudun välillä.

**Taulukko 6a.** Liuenneen fosforin (PO<sub>4</sub>-P) ja kokonaisfosforin (kok-P) pitoisuudet, mg l<sup>-1</sup>, vajovesissä vuosina 1993–1999. Vedet kerätty alareunan lysimetreistä.

Vuoden- aika	PO <sub>4</sub> -P			Kok-P		
	Nurmi- kaista	Luonnon- kaista	Ei suoja- kaistaa	Nurmi- kaista	Luonnon- kaista	Ei suoja- kaistaa
Kevät -93	0,27	0,32	0,37	0,52	0,52	0,49
Kesä -93	0,06	0,13	0,21	1,02	0,92	1,44
Syksy -93	0,06	0,10	0,12	1,56	0,92	1,82
Kevät -94	0,13	0,49	0,78	0,26	0,66	1,22
Syksy -94	0,15	0,47	0,24	0,88	1,05	0,94
Kevät -95	0,11	0,10	0,19	0,75	0,94	1,01
Kesä -95	0,25	0,47	0,21	1,08	1,50	1,65
Syksy -95	0,15	0,36	0,19	1,42	1,15	1,49
Kevät -96	0,14	0,26	0,08	1,12	0,98	0,89
Kesä -96	0,19	0,21	0,08	1,70	1,36	1,25
Syksy -96	0,18	0,24	0,09	0,98	0,84	1,46
Kevät -97	0,22	0,11	0,02	0,82	1,09	0,95
Kesä -97	0,30	0,23	0,05	0,99	1,31	1,04
Syksy -97	0,19	0,11	0,07	1,29	1,04	0,93
Kevät -98	0,07	0,11	0,02	0,63	0,65	0,80
Kesä -98	0,11	0,13	0,04	1,34	1,56	0,90
Syksy -98	0,12	0,13	0,02	0,93	1,02	1,09
Kevät -99	0,16	0,39	0,08	0,54	0,63	0,54
Syksy -99	0,53	0,34	0,17	1,26	0,75	0,72

mikaistalla 2 keskimääräinen PO<sub>4</sub>-P-kuorma oli 0,3 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Muilla koeruuduilla huuhtoutuma oli 0,1–0,2 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>.

Sadekesänä 1995 ortofosfaattifosforia huuhtoutui runsaasti. PO<sub>4</sub>-P-huuhtoutuma oli luonnonkaistan 2 yläreunassa 0,5 kg ha<sup>-1</sup> ja alareunassa 0,9 kg ha<sup>-1</sup>. Muilla ruuduilla PO<sub>4</sub>-P:n huuhtoutuma oli 0,1–0,3 kg ha<sup>-1</sup>. Vajoveden mukana kulkeutuneen PO<sub>4</sub>-P:n kuormitus oli suojakaistoilla 1,1–1,8-kertainen verrattuna pintavalunnan mukana kulkeutuneen PO<sub>4</sub>-P:n määrään.

### 3.2.2 Vajoveden kokonaisfosfori

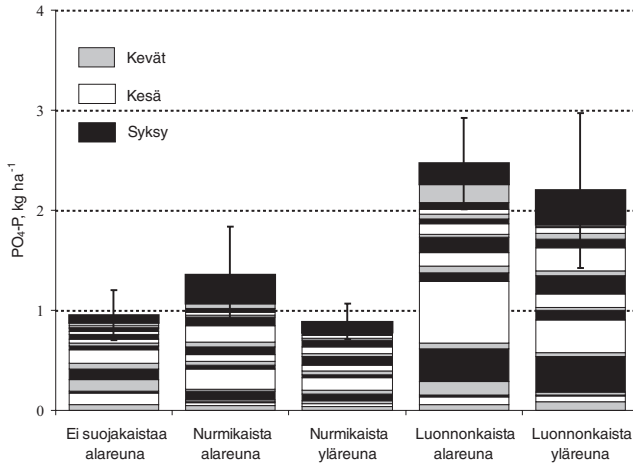
Ruutujen alaosassa oli kok-P:n pitoisuus yleensä 0,6–1,8 mg l<sup>-1</sup> kaikilla koekäsitteilyillä (Taulukko 6a). Alkuvuosina kok-P:n pitoisuus oli ilman suojakaistaa viljellyillä ruuduilla suurempi kuin suojakaistoilla. Muutaman vuoden kuluttua pitoisuus laski verranneruuduilla samalle tasolle kuin suojakaistoilla. Suojakaistaruuduilla vajovesien kok-P-pitoisuudet olivat hieman suurem-

pia kuin pintavalumissa.

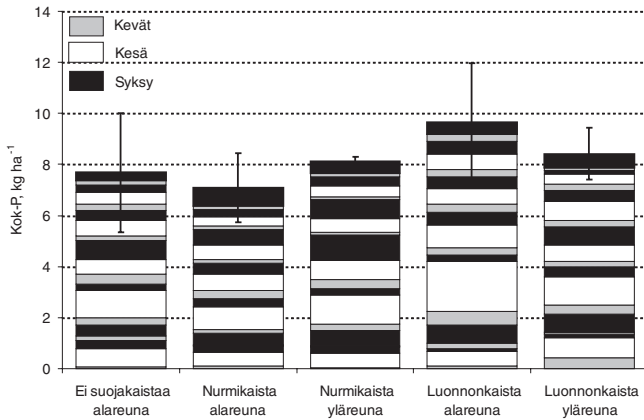
Kokonaisfosforia huuhtoutui keväällä 20 %, kesällä 40 % ja syksyllä 40 %. Kok-P:n määrä vaihteli paljon kahden verranneruudun vajovesissä (Kuva 17). Ei-suojakaistaa 1 -ruudulla kok-P-huuhtoutuma oli 0,8 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> ja ei-suojakaistaa 2 -ruudulla peräti 1,4 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Nurmikaistaruudun 1 alareunassa kok-P:n kuorma oli 0,8 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Muualla kok-P-huuhtoutuma oli 1,0–1,7 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Vajovesien kok-P-huuhtoutuma oli suojakaistoilla 1,4–2,8-kertainen verrattuna pintavalumien kok-P-kuormaan.

### 3.2.3 Vajoveden nitraattityppi

Lysimetrien asennuksen jälkeen vajovesien nitraattityypipitoisuudet olivat korkeita (maksimit 82 ja 130 mg l<sup>-1</sup>) syksyllä 1992 sekä osittain vielä seuraavana keväänä ja kesänä. Tämän jälkeen pitoisuudet olivat ilman suojakaistaa viljellyillä ruuduilla yleensä alle 5 mg l<sup>-1</sup> (Taulukko 6b). Poikkeukse-



**Kuva 16.** Liuenneen ortofosfaattifosforin ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) yhteenlaskettu määrä ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) vajovesissä vuosina 1993–1999. Pylväs kuvaa kahden ruudun keskiarvoa. Janan ala- ja yläpää kuvaavat vaihtelua kahden ruudun välillä.



**Kuva 17.** Kokonaisfosforin (kok-P) yhteenlaskettu määrä ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) vajovesissä vuosina 1993–1999. Pylväs kuvaa kahden ruudun keskiarvoa. Janan ala- ja yläpää kuvaavat vaihtelua kahden ruudun välillä.

na oli ei-suojakaistaa 1 -ruutu, jonka vajovesistä mitattiin yksittäisiä korkeita  $\text{NO}_3\text{-N}$ -pitoisuuksia toukokuussa 1995 ( $24,9 \text{ mg l}^{-1}$ ), kesäkuussa 1997 ( $48,6 \text{ mg l}^{-1}$ ) ja syyskuussa 1999 ( $35,4 \text{ mg l}^{-1}$ ). Suojakaistojen alareunoissa vajoveden  $\text{NO}_3\text{-N}$ -pitoisuudet olivat yleensä alle  $2 \text{ mg l}^{-1}$ . Kesällä  $\text{NO}_3\text{-N}$ -pitoisuus saattoi joskus nousta 5–9  $\text{mg:aan l}^{-1}$  luonnonkaistojen yläreunassa, mutta alareunassa pitoisuus pysyi alhaisena. Nurmikaistalla 2 ja luonnonkaistalla 1 oli  $\text{NO}_3\text{-N}$ -pitoisuus yläreunassa hieman suurempi kuin alareunassa. Nurmikaistalla 1 ja luonnonkaistalla 2 alareunan  $\text{NO}_3\text{-N}$ -pitoisuus oli toisinaan yläreunan pitoisuutta suurempi. Vajovesien keskimääräiset  $\text{NO}_3\text{-N}$ -pitoisuudet olivat yhtä suuria kuin pintava-

lumavesissä.

Nitraattityppeä huuhtoutui keväällä noin kolmannes, kesällä puolet ja syksyllä viidesosa koko vuoden huuhtoutumasta (Kuva 18). Eniten nitraattityppeä ( $4,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) huuhtoutui ei-suojakaistaa 1 -ruudulla. Syynä suureen huuhtoutumaan oli 24.6.1997 otettu näyte, jonka  $\text{NO}_3\text{-N}$ -pitoisuus oli  $48,57 \text{ mg l}^{-1}$ .  $\text{NO}_3\text{-N}$ -huuhtoutumaksi saatiin  $16,3 \text{ kg ha}^{-1}$ . Ei-suojakaistaa 2 -ruudulla ja suojakaistoilla keskimääräinen  $\text{NO}_3\text{-N}$ -huuhtoutuma oli  $0,8\text{--}1,9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Nitraattityppeä huuhtoutui suojakaistojen alareunassa 20–30 % vähemmän kuin yläreunassa. Nurmikaistaruudun 1 alareunassa  $\text{NO}_3\text{-N}$ -huuhtoutuma oli vain puolet yläreunan huuhtoutu-



**Taulukko 6b.** Nitraattitypen (NO<sub>3</sub>-N), ammoniumtypen (NH<sub>4</sub>-N) ja kokonaistypen (kok-N) pitoisuudet, mg l<sup>-1</sup>, vajovesissä vuosina 1993–1999. Vedet kerätty alareunan lysimetreistä.

Vuoden-aika	NO <sub>3</sub> -N			NH <sub>4</sub> -N			Kok-N		
	Nurmi-kaista	Luonnon-kaista	Ei suoja-kaistaa	Nurmi-kaista	Luonnon-kaista	Ei suoja-kaistaa	Nurmi-kaista	Luonnon-kaista	Ei suoja-kaistaa
Kevät -93	3,34	3,37	14,30	0,84	1,32	2,45	6,67	6,22	22,90
Kesä -93	0,69	0,88	1,87	0,08	0,19	0,09	2,37	2,70	4,59
Syksy -93	0,15	0,36	0,79	0,04	0,10	0,02	2,55	2,59	4,53
Kevät -94	1,68	0,38	2,15	1,22	1,40	8,42	4,30	2,91	15,06
Syksy -94	0,57	0,36	1,11	0,06	0,09	0,07	2,43	2,07	3,40
Kevät -95	2,07	0,79	3,37	0,14	0,53	1,10	3,65	3,16	7,01
Kesä -95	0,48	0,49	4,36	0,14	0,18	0,11	2,21	2,57	5,96
Syksy -95	0,43	0,46	0,50	0,08	0,10	0,11	2,94	2,67	3,31
Kevät -96	1,03	1,30	1,31	0,14	0,46	2,96	3,26	3,74	6,78
Kesä -96	1,12	0,63	1,11	0,22	0,48	0,45	5,31	4,08	5,16
Syksy -96	0,49	0,96	0,82	0,05	0,07	0,05	2,55	2,97	3,51
Kevät -97	1,57	0,64	0,02	0,18	2,73	10,77	3,27	5,16	14,63
Kesä -97	0,39	0,78	15,57	0,10	0,48	1,76	2,59	3,75	21,83
Syksy -97	0,74	3,40	0,44	0,06	0,05	0,06	3,09	5,52	2,57
Kevät -98	0,88	2,94	0,41	1,94	0,80	1,72	4,88	5,86	4,09
Kesä -98	1,01	1,22	2,17	0,15	1,10	0,13	3,40	4,68	4,54
Syksy -98	0,56	0,84	0,34	0,13	0,09	0,15	2,53	3,22	2,54
Kevät -99	0,49	0,59	0,02	6,82	1,12	2,78	11,42	3,38	5,62
Syksy -99	1,06	1,55	1,29	0,04	0,03	0,13	3,09	3,54	3,43

masta. Keskimääräinen vuosittainen NO<sub>3</sub>-N-kuorma oli vajovedessä yhtä suuri tai hieman pienempi kuin pintavalunnassa.

### 3.2.4 Vajoveden ammoniumtyppi

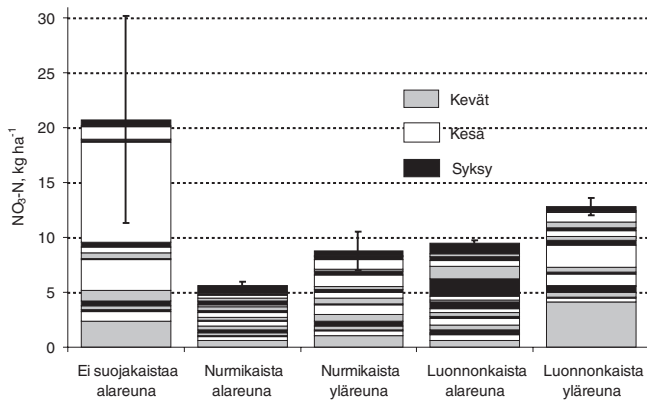
Vajovesien keskimääräiset NH<sub>4</sub>-N-pitoisuudet olivat yleensä alle 2 mg l<sup>-1</sup>. NH<sub>4</sub>-N-pitoisuudet olivat kaikilla koekäsitteilyillä suurimmillaan keväällä (Taulukko 6b). Suurimmat pitoisuudet olivat yleensä ilman suojakaistaa viljellyllä koejäsenellä. Keväällä 1999 myös nurmikaistan NH<sub>4</sub>-N-pitoisuus oli suuri. Nurmikaistojen alaja yläreunoissa NH<sub>4</sub>-N-pitoisuudet olivat yleensä yhtä suuria. Poikkeuksena olivat keväällä 1998 ja 1999 otetut neljä näytettä, joissa alareunan NH<sub>4</sub>-N-pitoisuudet (0,3–11,4 mg l<sup>-1</sup>) olivat suurempia kuin yläreunan pitoisuudet (0,2–1,0 mg l<sup>-1</sup>). Vajovesien keskimääräiset NH<sub>4</sub>-N-pitoisuudet olivat suurempia kuin pintavalumavesissä.

Ammoniumtyypistä 75 % huuhtoutui keväällä, 20 % kesällä ja muutama prosentti syksyllä (Kuva 19). Sitä huuhtoutui eni-

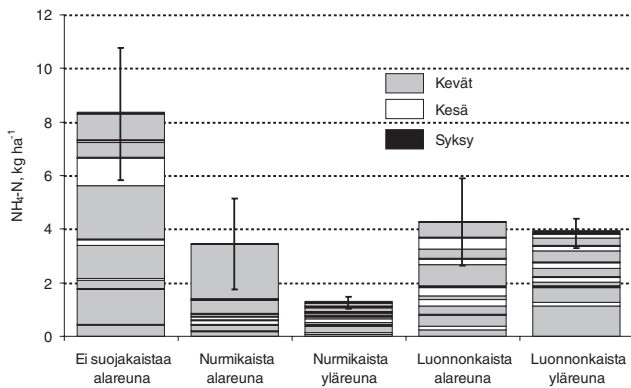
ten (1,5 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) ei-suojakaistaa 1 -ruudulta. Nurmikaistalta 1 ammoniumtyyppiä huuhtoutui noin 0,2 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Nurmikaistan 2 yläosassa NH<sub>4</sub>-N-huuhtoutuma oli 0,2 kg ha<sup>-1</sup> ja alareunassa 0,7 kg ha<sup>-1</sup>. Luonnonkaistojen alareunassa keskimääräinen NH<sub>4</sub>-N-huuhtoutuma oli 0,4–0,8 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> ja yläreunassa 0,5–0,6 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Keväällä 1999 ammoniumtyyppiä huuhtoutui runsaasti kaikilla koejäsenillä. Vajovesien keskimääräiset NH<sub>4</sub>-N-kuormat olivat 2–10-kertaisia verrattuna pintavalumien NH<sub>4</sub>-N-kuormiin.

### 3.2.5 Vajoveden kokonaistyyppi

Kokeen alkaessa syksyllä 1992 kok-N:n pitoisuudet olivat peräti 100–130 mg l<sup>-1</sup> ilman suojakaistaa viljeltyjen ruutujen ja 12–28 mg l<sup>-1</sup> luonnonkaistojen vajovesissä. Suojakaistoilla vajovesien keskimääräiset kokonaistyyppipitoisuudet olivat yleensä alle 5 mg l<sup>-1</sup> koko kokeen ajan (Taulukko 6b). Ei-suojakaistaa 1 -ruudulla kok-N-pitoisuus oli yleensä alle 12 mg l<sup>-1</sup>, lukuun otta-



**Kuva 18.** Nitraattitypen (NO<sub>3</sub>-N) yhteenlaskettu määrä (kg ha<sup>-1</sup>) vajovesissä vuosina 1993–1999. Pylväs kuvaa kahden ruudun keskiarvoa. Janan ala- ja yläpää kuvaavat vaihtelua kahden ruudun välillä.



**Kuva 19.** Ammoniumitypen (NH<sub>4</sub>-N) yhteenlaskettu määrä (kg ha<sup>-1</sup>) vajovesissä vuosina 1993–1999. Pylväs kuvaa kahden ruudun keskiarvoa. Janan ala- ja yläpää kuvaavat vaihtelua kahden ruudun välillä.

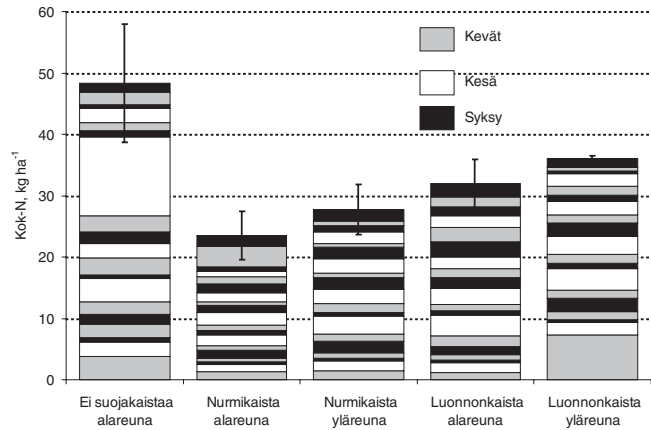
matta joitakin yksittäisiä piikkejä: 3.6.1994 (13,25 mg l<sup>-1</sup>), 26.5.1995 (28,4 mg l<sup>-1</sup>), 26.5.–31.7.1997 (17,2–62,5 mg l<sup>-1</sup>) ja 2.9.1999 (43,3 mg l<sup>-1</sup>). Ei-suojakaistaa 2-ruudulla kok-N-pitoisuus oli yleensä alle 8 mg l<sup>-1</sup> lukuun ottamatta paria pitoisuuspiikkiä: 22.4.1993 (53,1 mg l<sup>-1</sup>) ja 3.5.1994 (23,4 mg l<sup>-1</sup>).

Nurmikaistan 1 alareunassa vajoveden kok-N-pitoisuus (1,8–8 mg l<sup>-1</sup>) oli välillä hieman suurempi kuin yläreunassa (1,8–6,3 mg l<sup>-1</sup>). Nurmikaistalla 2 puolestaan yläreunan pitoisuus (2,0–11,8 mg l<sup>-1</sup>) oli yleensä suurempi kuin alareunan pitoisuus (1,9–6,2 mg l<sup>-1</sup>). Myös luonnonkaistalla 1 yläreunan pitoisuudet (1,6–20,1 mg l<sup>-1</sup>) olivat yleensä suurempia kuin alareunan pitoisuudet

(1,8–8,0 mg l<sup>-1</sup>). Luonnonkaistalla 2 ylä- ja alareunan pitoisuudet olivat samansuuruisia. Vaihteluväli oli 1,8–12 mg l<sup>-1</sup>. Vajovesien keskimääräiset kok-N-pitoisuudet olivat yhtä suuria kuin pintavalumavesissä.

Kokonaistypestä huuhtoutui kolmasosa keväällä, kolmasosa kesällä ja kolmasosa syksyllä (Kuva 20). Ei-suojakaistaa 1-ruudulta sitä huuhtoutui keskimäärin 8,2 kg ha<sup>-1</sup> ja ei-suojakaistaa 2-ruudulta 5,5 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Nurmikaistojen alareunasta kokonaistyyppiä huuhtoutui 2,8–3,9 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Luonnonkaistojen alareunassa kok-N-kuorma oli keskimäärin 4,0–5,2 kg ha<sup>-1</sup> vuodessa. Vajovesien keskimääräinen kok-N-kuorma oli yhtä suuri tai hieman suurempi kuin pintavaluntavesissä.

**Kuva 20.** Kokonaistypen (kok-N) yhteenlaskettu määrä ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) vajovesissä vuosina 1993–1999. Pylväs kuvaa kahden ruudun keskiarvoa. Janan ala- ja yläpää kuvaa vaihtelua kahden ruudun välillä.



### 3.3 Ravinteet maaperässä

#### 3.3.1 Maan mineraalityppi

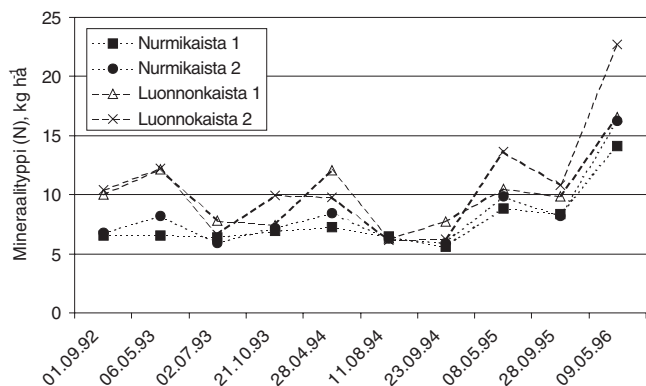
Mineraalitypen määrissä ei ensimmäisinä koevuosina ollut huomattavaa kasvua. Syksyllä 1995 mineraalitypen määrä kasvoi hieman nurmikaistoilla. Keväällä 1996 mineraalitypen määrä kasvoi kaikilla suojakaistoilla. Luonnonkaistoilla oli mineraalityppeä keskimäärin  $10 (6\text{--}23) \text{ kg ha}^{-1}$  ja nurmikaistoilla  $8 (6\text{--}16) \text{ kg ha}^{-1}$  0–20 cm:n kerroksessa (Kuva 21). Typen määrät olivat alimmillaan kesällä. Luonnonkaistoilla oli keväällä tyyppiä  $3\text{--}5 \text{ kg ha}^{-1}$  enemmän kuin nurmikaistoilla. Nurmikaistoilla typen määrä pysyi koko vuoden lähes yhtä suurena. Peltomaasta keväällä ja syksyllä otetuissa näytteissä oli mineraalityppeä keskimäärin  $6\text{--}14 \text{ kg ha}^{-1}$ . Poikkeuksena oli syksy

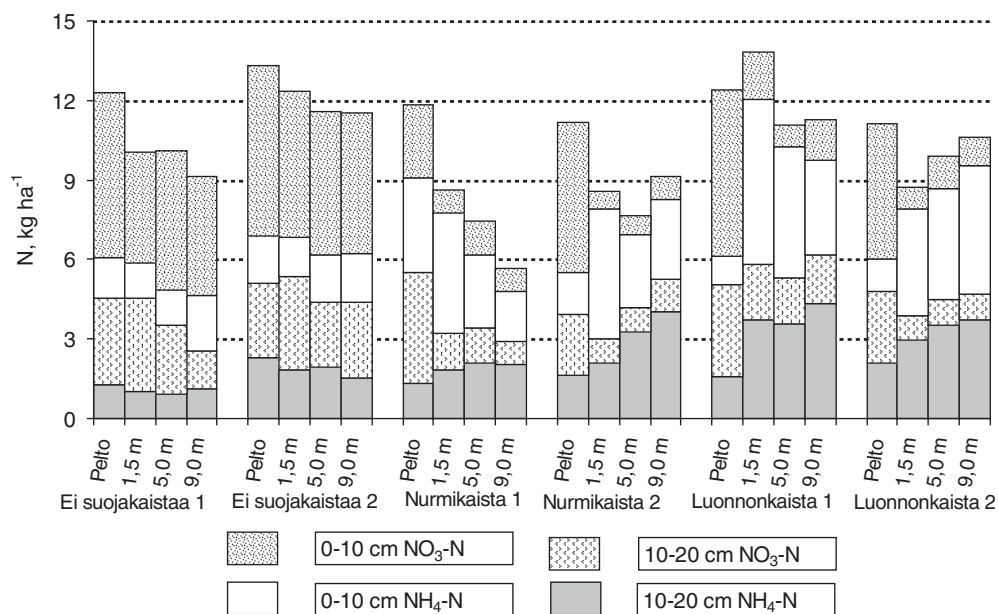
1992, jolloin pellolla oli vielä  $20\text{--}30 \text{ kg}$  mineraalityppeä 0–20 cm:n syvyydessä.

Suojakaistoilla oli ylempässä 10 cm:n maakerroksessa l. 0–10 cm:n syvyydessä yleensä hieman yli puolet (49–64 %) koko 20 cm:n mineraalityppimäärästä. Syyskuussa 1994 mineraalitypestä 63–72 % oli ylempässä 10 cm:n kerroksessa. 2 cm:n pintakerroksessa l. 0–2 cm:n syvyydessä mineraalityppeä oli  $1\text{--}2 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Suojakaistoilla mineraalitypestä 50–80 % oli ammoniumtyppiä, kun peltomaassa vain 30–50 % oli  $\text{NH}_4$ -muodossa (Kuva 22). Poikkeuksen muodostivat marraskuu 1997, jolloin 80–85 % pellon mineraalitypestä oli  $\text{NH}_4$ -muodossa, sekä lokakuun 1998 loppu, jolloin 70–80 % pellon mineraalitypestä oli ammoniumtyppiä. Rinteessä vain 30–40 % mineraalitypestä oli  $\text{NH}_4$ -muodossa lokakuussa 1998.

**Kuva 21.** Maan mineraalityppimäärät ( $\text{NH}_4\text{-N}$  ja  $\text{NO}_3\text{-N}$ ) ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) 0–20 cm:n maakerroksessa suojakaistoilla 1992–1996.





**Kuva 22.** Pellolla sekä 1,5 m, 5,0 m ja 9,0 m leveiden nurmi- ja luonnonkaistojen ammoniumtyypen ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) ja nitraattityypen ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) määrät ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) 0–10 cm:n ja 10–20 cm:n syvyisissä maakerroksissa 28.4.1994.

### 3.3.2 Maan helppoliukoinen fosfori

Kokeen alussa helppoliukoisin fosforin pitoisuus oli peltomaassa keskimäärin  $8 \text{ mg l}^{-1}$  ( $7,0\text{--}9,4 \text{ mg l}^{-1}$ ). Rinteessä, johon suojakaistat perustettiin, fosforipitoisuus oli pienempi (katso Kuva 3). Jo kokeen alussa oli helppoliukoisin fosforin pitoisuus luonnonkaistoilla ( $6,6\text{--}9,2 \text{ mg l}^{-1}$ ) hieman korkeampi kuin nurmikaistoilla ( $4,4\text{--}6,2 \text{ mg l}^{-1}$ ). Maan fosforipitoisuus pieneni siirryttäessä suojakaistan yläreunasta alareunaan.

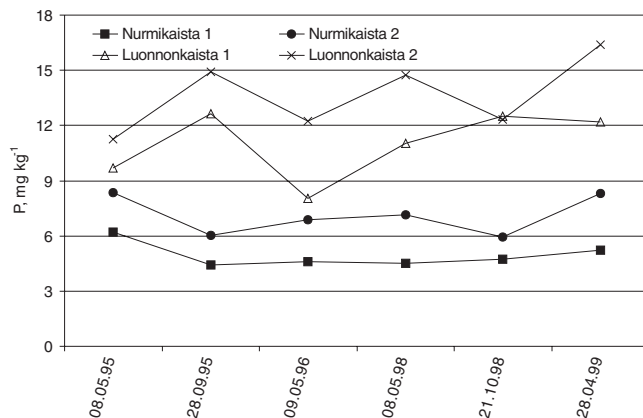
Vuosina 1992–1994 maanäytteet otettiin kahdesta syvyydestä: 0–10 ja 10–20 cm. Pintakerroksessa helppoliukoisin P:n pitoisuus oli suurempi kuin 10–20 cm:n kerroksessa. Helppoliukoisin P:n pitoisuus vaihteli myös sen mukaan, mistä osasta nurmi- tai luonnonkaistaa näyte oli otettu.

Vuonna 1995 maanäytteitä alettiin ottaa maan ylimmästä 2 cm:n kerroksesta eli 0–2 cm:n syvyydestä. Pintamaanäytteissä voitiin eri koekäsittelyjen välillä havaita selviä eroja. Luonnonkaistoilla helppoliukoisin P:n pitoisuus kasvoi syksyllä ja laski ke-

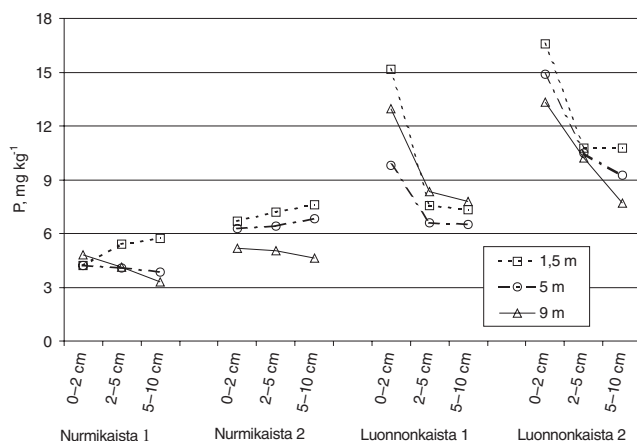
vällä. Nurmikaistoilla P-pitoisuus muuttui vain vähän (Kuva 23). Kahtena viimeisenä vuonna helppoliukoisin P:n pitoisuus kasvoi luonnonkaistalla 1. Keväällä 1999 myös nurmikaistojen P-pitoisuus kasvoi hieman. Helppoliukoisin P:n pitoisuus oli luonnonkaistoilla keväällä keskimäärin  $3,2 \text{ mg kg}^{-1}$  ja syksyllä  $8,6 \text{ mg kg}^{-1}$  suurempi kuin nurmikaistoilla. Keväällä 1996 ero oli  $4,4 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Nurmikaistalla helppoliukoisin fosforin pitoisuus oli 0–2 cm:n kerroksessa syksyllä 1995 samaa suuruusluokkaa kuin 20 cm:n kyntökerroksessa kokeen alkaessa. Nurmikaistoilla ei helppoliukoisin fosforin pitoisuus vaihdellut paljon eri näytteenottokerrosten välillä (Kuva 24). Syksyllä 1995 olivat helppoliukoisin fosforin pitoisuudet 2–5 cm:n maakerroksessa 3–14 % pienempiä tai 2–28 % suurempia kuin ylimmässä 2 cm:n kerroksessa. Sen sijaan luonnonkaistoilla olivat ylimmän 2 cm:n kerroksen pitoisuudet huomattavasti suurempia kuin muissa näytteenottosyvyyksissä (2–5, 5–10 ja 10–20 cm). Keväällä 1999 oli maan help-

**Kuva 23.** Maan heppoliukoisen fosforin (P) pitoisuudet ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) 0–2 cm:n syvyydessä suojakaistoilla kevästä 1995 keväteen 1999.



**Kuva 24.** Maan heppoliukoisen fosforin (P) pitoisuudet ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) 0–2 cm:n, 2–5 cm:n ja 5–10 cm:n syvyydessä suojakaistojen yläosassa (1,5 m), puolivälissä (5 m) ja alaosassa (9 m) 28.9.1995.



poliukoisen P:n pitoisuus nurmikaistoilla pintamaassa suurempi kuin alemmissa maakerroksissa.

Nurmikaistoilta poistui ravinteita vuosittain niiton yhteydessä. Loppusyksyllä nurmi- ja luonnonkaistojen maanpäällisissä kasvustoissa oli yhtä suuria P-määriä.

### 3.4 Suojakaistakasvustojen ottamat ravinteet

Suojakaistakasvustojen typpi- ja fosforipitoisuudet vaihtelivat kasvilajiston mukaan. Suurimmat ravinnepitoisuudet olivat luonnonvaraisilla kasveilla, kuten voikukalla, siankärsämöllä, niittyleinikillä, valkoopilalla ja virnoilla. Timotein ja nurminadan N- ja P-pitoisuudet oli pienemmät kuin koe-kasveina olleilla luonnonvaraisilla kasveilla.

Taulukossa 7 on esitetty suojakaistakasvustojen kuiva-aine-, fosfori- ja typpimää-

#### 3.4.1 Suojakaistakasvien fosforipitoisuudet kasvukaudella 1998

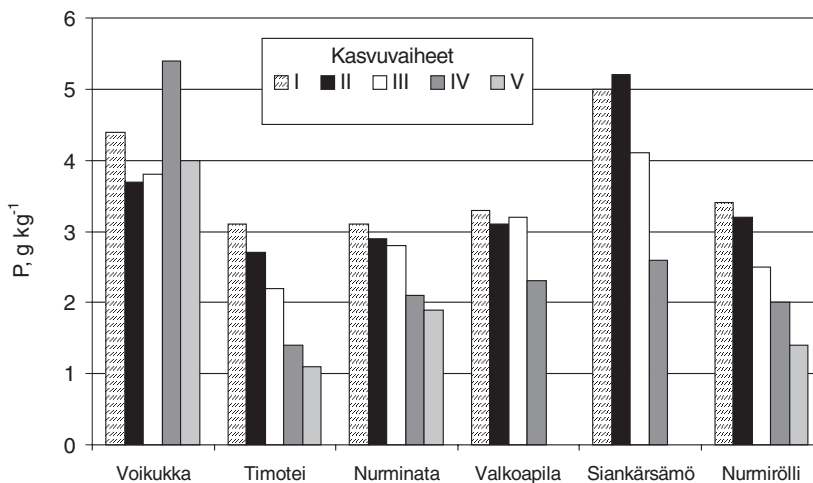
Suojakaistakasvien eri kasvuvaiheiden fosforipitoisuudet on esitetty kuvassa 25. Siankärsämön ja voikukan P-pitoisuudet olivat melko korkeita jo kasvuvaiheessa I. Kasvukauden edetessä kasvien P-pitoisuudet laskevat. Poikkeuksena oli voikukka, jonka P-pitoisuus oli korkeimmillaan ( $5,4 \text{ g kg}^{-1}$ ) siemenvaiheessa. Siankärsämön P-pitoisuus

**Taulukko 7.** Suojakaistakasvustojen kuiva-ainesato (KA), fosforinotto (P) ja ty-  
penotto (N), kg ha<sup>-1</sup>, vuosittain. Nurmikaistojen niittopäivät olivat 16.09.92,  
09.08.93, 28.07.94, 30.06.95, 17.07.96 ja 22.07.97.

	KA	N	P
26.06.92			
Nurmikaista 1	2100	23	4
Nurmikaista 2	2400	27	5
20.08.92			
Nurmikaista 1	2700	27	4
Nurmikaista 2	2700	23	3
Luonnonkaista 1	2700	54	5
Luonnonkaista 2	2300	40	4
16.09.92			
Nurmikaista 1	2500 <sup>1)</sup>	38 <sup>1)</sup>	5 <sup>1)</sup>
Nurmikaista 2	2500 <sup>1)</sup>	34 <sup>1)</sup>	5 <sup>1)</sup>
Luonnonkaista 1	2500	60	8
Luonnonkaista 2	2000	46	6
01.06.93			
Nurmikaista 2	2600	43	6
Luonnonkaista 1	2200	52	7
Luonnonkaista 2	2400	55	7
16.09.93			
Luonnonkaista 1	5400	65	11
Luonnonkaista 2	4200	57	9
26.07.94			
Nurmikaista 1	5100 <sup>1)</sup>	77 <sup>1)</sup>	12 <sup>1)</sup>
Nurmikaista 2	4500 <sup>1)</sup>	72 <sup>1)</sup>	10 <sup>1)</sup>
Luonnonkaista 1	3400	50	10
Luonnonkaista 2	3600	50	12
04.10.94			
Nurmikaista	2100 <sup>2)</sup>	35 <sup>2)</sup>	6 <sup>2)</sup>
Nurmikaista	2800 <sup>2)</sup>	49 <sup>2)</sup>	8 <sup>2)</sup>
Luonnonkaista 1	5800	51	9
Luonnonkaista 2	4800	63	10
18.08.95			
Luonnonkaista 1	3900	39	9
Luonnonkaista 2	5200	50	14
17.07.96			
Nurmikaista 1	6600 <sup>1)</sup>	99 <sup>1)</sup>	14 <sup>1)</sup>
Nurmikaista 2	7800 <sup>1)</sup>	79 <sup>1)</sup>	16 <sup>1)</sup>
Luonnonkaista 1	14000	145	25
Luonnonkaista 2	11000	127	18
21.07.97			
Nurmikaista 1	6200 <sup>1)</sup>	73 <sup>1)</sup>	18 <sup>1)</sup>
Nurmikaista 2	7200 <sup>1)</sup>	43 <sup>1)</sup>	19 <sup>1)</sup>
Luonnonkaista 1	5600	48	17
Luonnonkaista 2	6700	80	22
29.09.97			
Nurmikaista 1	1800 <sup>2)</sup>	36 <sup>2)</sup>	6 <sup>2)</sup>
Nurmikaista 2	1400 <sup>2)</sup>	20 <sup>2)</sup>	4 <sup>2)</sup>
Luonnonkaista 1	3000	27	6
Luonnonkaista 2	2200	26	5

<sup>1)</sup> = Poistunut niittojätteen mukana

<sup>2)</sup> = Niiton jälkeen kasvanut kasvusto, joka jäi talveksi kaistalle



**Kuva 25.** Kasvien kokonaisfosforin (P) pitoisuudet ( $\text{g kg}^{-1}$ ) eri kasvuvaiheissa (I=kasvuunlähtö-, II=heinän korrenkasvu- ja lehtienmuodostus-, III=kukinta-, IV=siemen- ja V=tuleentumisvaihe) kasvukaudella 1998.

oli melko korkea koko alkukesän.

Suojakaistakasvustojen keskimääräiset P-pitoisuudet olivat seuraavat: voikukka  $4,3 \text{ g kg}^{-1}$ , siankäräsämö  $4,0 \text{ g kg}^{-1}$ , valkoapila  $2,8 \text{ g kg}^{-1}$ , nurminata  $2,6 \text{ g kg}^{-1}$ , nurmirölli  $2,5 \text{ g kg}^{-1}$  ja timotei  $2,1 \text{ g kg}^{-1}$ . Varianssianalyysin mukaan oli kerranteiden välinen ero tilastollisesti suuntaa antava ( $p < 0,7714$ ). Koejäsenten välillä oli erittäin merkitsevä ero ( $p < 0,0000$ ). Verrattaessa jokaista koejäsentä erikseen keskenään oli koejäsenten välillä tilastollisesti merkitsevä ero muiden kuin parien voikukka–siankäräsämö, timotei–nurminata, timotei–nurmirölli, nurminata–valkoapila, nurminata–nurmirölli ja valkoapila–nurmirölli välillä.

Suurimmat fosforipitoisuudet olivat kasvuvaiheessa I ja pienimmät kasvuvaiheessa V. Kasvien P-pitoisuus oli ensimmäisessä kasvuvaiheessa keskimäärin  $3,7 \text{ g kg}^{-1}$ , toisessa  $3,5 \text{ g kg}^{-1}$ , kolmannessa  $3,1 \text{ g kg}^{-1}$ , neljännessä  $2,6 \text{ g kg}^{-1}$  ja viidennessä kasvuvaiheessa  $2,3 \text{ g kg}^{-1}$ . Kasvuvaiheiden välinen ero oli erittäin merkitsevä ( $p < 0,0000$ ). Verrattaessa jokaista kasvuvaihetta keskenään oli ero tilastollisesti merkitsevä kaikkien muiden kuin kasvuvaiheiden I–II, II–III, III–IV ja IV–V välillä.

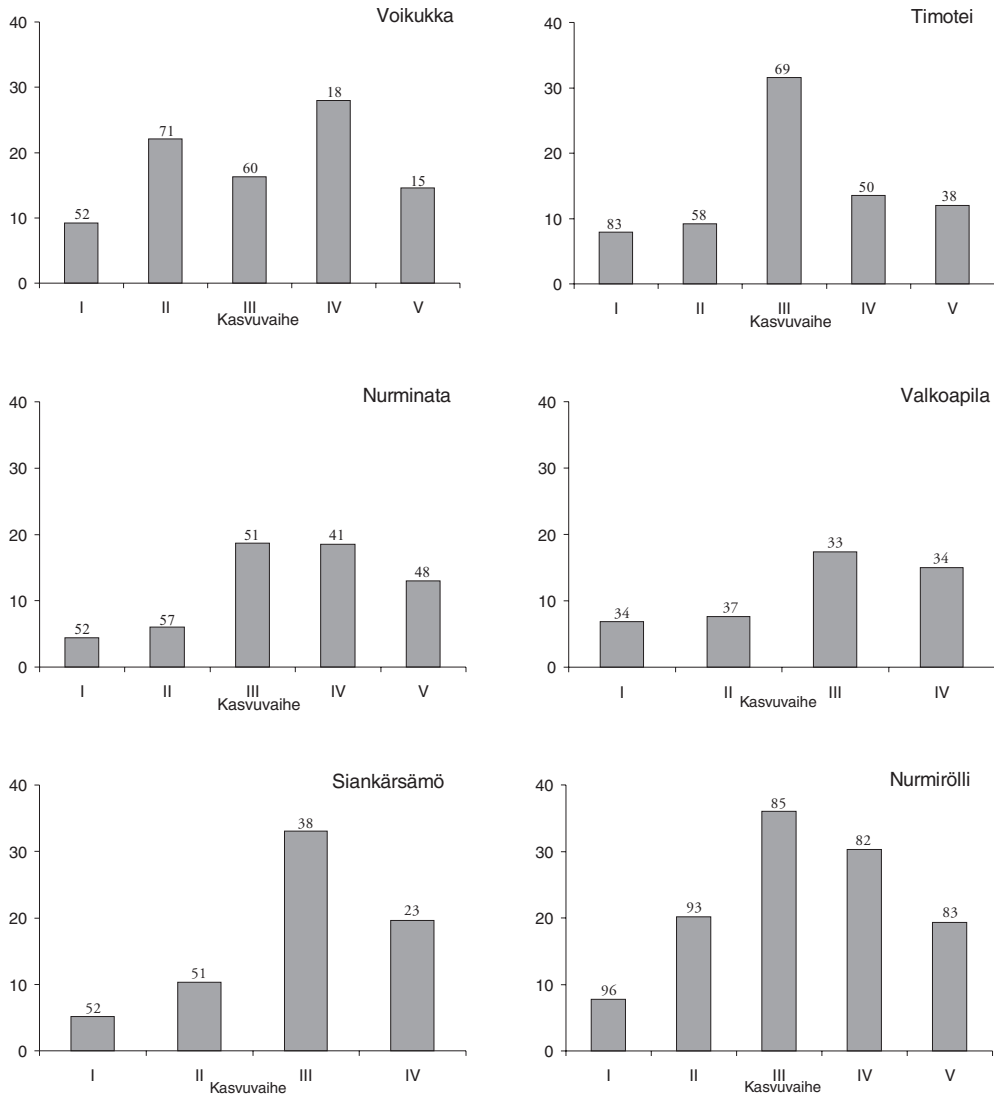
### 3.4.2 Suojakaistakasvustojen fosforinotto kasvukaudella 1998

Eri suojakaistakasvustojen fosforinotto ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) on esitetty kuvassa 26. Kasvuvaiheessa I voikukkavaltaisen kasvuston P-pitoisuus oli korkea, mutta kuiva-ainesato (Liite 2) oli vielä pieni, joten hehtaaria kohden laskettu fosforipoistuma ei ollut suuri. Kasvuvaiheessa II voikukan kuivapaino oli suurimmillaan ja P-pitoisuus kohtalainen. Tässä kasvuvaiheessa voikukkavaltainen kasvusto poisti fosforia toiseksi parhaiten. Parhaiten voikukka poisti fosforia kasvuvaiheessa IV.

Timoteikasvuston P-pitoisuudet laskivat syksyä kohden, mutta sadon määrä näytti olevan korkeimmillaan kasvuvaiheessa III. Eniten fosforia saatiin hehtaaria kohden kasvuvaiheen III aikana. Kasvuvaiheessa I ja II olivat P-pitoisuudet korkeimmillaan, mutta biomassan kasvu ei ollut vielä päässyt vauhtiin.

Nurminatavaltaisessa kasvustossa kasvuvaiheet I ja II näyttivät samansuuntaisilta kuin timoteivaltaisessa kasvustossa, vaikkakaan nadan luvut olivat hieman alhaisemmat.

Tämä johtui ilmeisesti siitä, että timoteikasvusto oli tiheämpää kuin natakasvusto.



**Kuva 26.** Kasvien fosforinotto ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) kasvuvaiheen (I=kasvuunlähtö-, II=heinän korrenkasvu- ja lehtienmuodostus-, III=kukinta-, IV=siemen- ja V=tuleentumisvaihe) mukaan. Koekasvin kuivapainon osuus (%) koko näytemäärästä on esitetty pylvään päässä.

Nurminatavaltaisessa kasvustossa ei ollut yhtä selvää fosforinoton huippua kuin timoteikasvustossa, vaan kasvuvaiheissa III ja IV fosforinotto oli suunnilleen yhtä suurta.

Suojakaistoilla kasvoi muiden kasvien seassa pieniä määriä valkoapilaa, joten näytteiden apilapitoisuudet olivat aika alhaisia (33–37%). Kasvuvaiheessa III fosforinotto oli suurinta, vaikka kuivapaino oli suurim-

millaan vasta kasvuvaiheessa IV. Tämä se liittyy osaksi sillä, että P-pitoisuus oli suurempi kasvuvaiheessa III kuin kasvuvaiheessa IV.

Siankärsämövaltaisen kasvuston fosforinotto seurasi kuivapainoja. Suurin kuivapaino oli kasvuvaiheessa III, jolloin myös saatiin eniten fosforia hehtaaria kohden. Vaikka siankärsämön P-pitoisuus oli suurin



kasvuvaiheissa I ja II, ei kuiva-ainesato ollut riittävä, jotta fosforinotto olisi kohonnut maksimiin.

Nurmirölli-valtaisessa kasvustossa nurmiröllin osuus oli 82–96 %. Nurmiröllin P-pitoisuus laski tasaisesti syksyä kohden. Suurin fosforinotto oli kasvuvaiheessa III. Seuraavaksi tulivat kasvuvaiheet IV, II, V ja I.

## 4 Tulosten tarkastelu

### Pintavalunta ja ravinnekuormitus

Jyrkkään rinteeseen perustetuilla 10 m leveillä suojakaistoilla voitiin vähentää pintavalunnan mukana tullutta eroosio- ja ravinnekuormitusta. Todennäköisesti suojakaistaruutujen kuormitus oli normaalia pienempi, koska suojakaistakasvuston peittämästä rinteestä erodoitui hyvin vähän maa-ainesta. Ei-suojakaistaa -ruuduilla sen sijaan suurin osa eroosiosta saattoi tapahtua kasvipeitteettömässä rinneosassa. Lisäksi leveä kaista esti ravinteiden levityksen aivan pellon reunaan ja vähensi siten ravinnekuormitusta pintavalumavesissä. Osa eroosioaineksesta ja siihen sitoutuneista ravinteista, jotka tulivat pintavalunnan mukana tasaiselta peltoalueelta, sedimentoitui kaistalle.

Kahdeksan vuotta kestäneen kokeen aikana Lintupajun suojakaistaruuduilla eroosioaineksen määrä oli 60 %, kok-P-kuorma 30–40 % ja kok-N-kuorma 40–60 % pienempi kuin ilman suojakaistaa viljelyllä koekäsittelyllä. Ulkomailla saaduissa kokeissa tulokset ovat yleensä olleet eroosioaineksen ja kokonaistypen osalta parempia. Kok-P:n vähenemä oli tässä kokeessa erityisen pieni. Yhtenä syynä oli ilmeisesti koealueen savipitoinen maa-aines. Pienipartikkelisen saveksen sekä siihen sitoutuneen PP:n poisto ei ollut riittävän tehokasta. Suojakaistoilla kasvustot lähtivät kasvuun hitaasti. Varsinkaan nurmikastoilla ei nurmi pystynyt lannoittamattomalla kaistalla kilpailemaan riittävästi ohran kanssa. Luonnonkaistojen monivuotinen

kasvusto oli vielä ensimmäisen vuoden jälkeen harvaa. Kokeen alussa eroosio- ja ravinnekuormitus kasvoikin kevään valumavesissä. Myöhemmin eroosioaineksen ja ravinteiden pidättyminen suojakaistoilla parani. Poikkeuksena oli liennut fosfori, jonka määrää ei saatu suojakaistoilla vähentämään. Niittämättömillä luonnonkaistoilla liunneen fosforin määrä lisääntyi keväervalunnan aikana. Mahdollisesti syyshalla vaikutti  $PO_4$ -P:n suureen pitoisuuteen luonnonkaistalla syksyllä 1993. Hallan vioittamista suojakaistakasvien soluista saattoi huuhtoutua fosforia pintavalumaveden mukana. Nurmikaistoilla  $PO_4$ -P-kuorman kasvu keväällä 1999 saattoi johtua siitä, että nurmi oli edellisenä kesänä jätetty niittämättä. Myös kok-N-kuorma kasvoi nurmikaistoilla keväällä 1999.

Suurin osa eroosio- ja ravinnekuormituksesta tuli keväervalunnan aikana, jolloin suojakaistat eivät kylmissä olosuhteissa toimineet kunnolla. Kasvukaudella suojakaistat poistivat 50–90 % kuormituksesta. Tosin kesäajan kuormitus muodosti vain pienen osan koko vuoden kuormituksesta. Joinakin kesinä pintavalumia ei ollut lainkaan. Kesän 1995 rankkasateiden aikana suojakaistat toimivat erinomaisesti. Vastavasti Schwer ja Clausen (1989) havaitsivat Vermontissa USA:ssa tehdyissä kokeissa, että lumien sulamisen aikaan maitohuoneen jätevesistä poistui suojakaistoilla puhdistettaessa tavallista vähemmän fosforia ja tyyppiä.

Maan helpoliukaisen fosforin pitoisuusmuutoksia ei pystytty erottamaan nurmi- ja luonnonkaistoilla, kun maanäytteet otettiin 10 tai 20 cm:n maakerroksesta. Fosforipitoisuuksien muutokset saatiin esiin vasta sitten, kun maan pinnasta otettiin 0–2 cm:n paksuinen näyte. Turtolan ja Yli-Hallan (1999) mukaan fosforin huuhtoutuminen pintavalumavesien mukana tapahtuu juuri maan pintakerroksessa.

Vaikka helpoliukaisen fosforin pitoisuus maassa oli luonnonkaistoilla hieman suurempi jo kokeen alussa, kasvoi pitoisuus maan pintakerroksessa kokeen aikana. Pintamaan helpoliukaisen fosforin pitoisuus

den kasvuun luonnonkaistoilla vaikutti kasvimassan jättäminen niittämättä ja korjaamatta. Helppoliukoisen P:n pitoisuus pintamaassa kasvoi myös nurmikaistoilla keväällä 1999, kun nurmi oli jäänyt edellisenä kesänä niittämättä. Myös kasvien siemenet, jotka kirjallisuuden mukaan sisältävät runsaasti fosforia, saattoivat lisätä helppoliukoisen P:n pitoisuutta maan pintakerroksessa. Osa kasvimassan ja siementen fosforista ilmeisesti rikastui maan pintaan ja lisäsi siten liunneen fosforin kuormaa luonnonkaistojen pintavalumavesissä. Yli-Hallan ja Hartikaisen (1996) mukaan melko kirkkaat lumensulamisedet voivat irrottaa maasta fosforia. Myös yhdysvaltalaisissa tutkimuksissa epäillään suojakaistojen ja -vyöhykkeiden fosforinpidätystehon heikenevän aikaa myöten ja liunneen fosforin huuhtoutumisen lisääntyvän (Magette et al. 1987, Dillaha et al. 1988). On mahdollista, että suojavyöhykkeelle aikaisemmin pidättyneestä partikkelimuotoisesta fosforista osa muuttui myöhemmin liunneeseen muotoon. Ruotsissa Ulén (1984) huomasi laboratoriokokeissa kasvimassan kuivaamisen, pakastamisen ja sulattamisen lisäävän fosforin huuhtoutumista. Tämä kuvannee hyvin tilannetta myös suojavyöhykkeillä. Kasvusto kuolee syksyllä, talven pakkaset rikkovat kasvisoluja ja kevään sulamisvedet huuhtelevat suojakaistoilta fosforia.

Pintavalumaveden suureen  $\text{PO}_4\text{-P}$ -kuormitukseen syksyllä 1998 saattoi vaikuttaa useampi tekijä. Kesä 1998 oli ollut sateinen, ja syksyllä maa kynnettiin kahden kultivoimalla viljellyn vuoden jälkeen. Myös kokonaisfosforin kuorma oli suurempi kuin useimpina muina syksyinä. Kok-P:n kuormitus oli suuri myös keväällä 1998. Sen sijaan valunta ja eroosion määrä eivät poikenneet tavanomaisesta.

Eri koekäsittelyjen välisiä valumatuloksia oli vaikea vertailla, koska ilman suojakaistaa viljellyillä verranneruuduilla oli suuri hajonta. Syynä kuormituksen vaihteluun saman koekäsittelyn aikana saattoivat olla ruutujen väliset kaltevuuserot. Esimerkiksi ei-suojakaistaa 2 -ruudulla osa valumavedestä virtasi pintavalumakeräimen ohi.

Todellinen epävarmuustekijä on se, tuliko koko  $630 \text{ m}^2$ :n koalueen valunta kerättyä vai tuliko osa valunnasta bruttoruudun reunaoisista.

Kun verrataan suojakaistojen valumatuloksia ei-suojakaistaa 1 -ruudun pintavalumiin, puhdistivat suojakaistat eroosioainesta ja ravinteita pintavalumavedestä erinomaisesti. Jos vertailukohteena käytetään ei-suojakaistaa 2 -ruutua, suojakaistojen puhdistusteho oli huono. Syynä ei-suojakaistaa 2 -ruudun pienempään valuntaan oli ainakin osaksi pintavalunnan ohjautuminen valumakeräimen ohitse. Tämä oli havaittavissa kesäkuun 1995 sateiden aikana. Myös ei-suojakaistaa 2 -ruudun lysimetreissä oli suuremmat vesimäärät kuin muilla ruuduilla, mikä tuki veden ohivirtailun mahdollisuutta. Koekentän reunassa olevien nurmikaista 1- ja luonnonkaista 2 -ruutujen pieniin valumiin vaikutti ilmeisesti kentän ympärillä oleva oja, jonka tarkoituksena oli estää koalueen ulkopuolisten vesien pääsyä kentälle. Ilmeisesti oja kuivatti myös kentän reunaruutuja.

Nurmikaistan 1 pienen valunnan takia nurmikaistat antoivat ehkä liian hyvän kuvan niiden kyvystä puhdistaa valumavesiä. Jos verrataan vain nurmikaistaruutua 2 luonnonkaistaruutuun 1 ja 2, oli nurmikaista eroosioaineksen ja maa-ainekseen sitoutuneen fosforin pidättäjänä hieman huonompi. Sen sijaan liunneen fosforin määrä oli nurmikaistalla 2 ( $0,18 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) pienempi kuin luonnonkaistoilla ( $0,23\text{--}0,25 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ). Myös kokonaistypen kuormitus oli hieman pienempi nurmikaistalla 2 ( $3,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) kuin luonnonkaistalla 1 ( $4,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) mutta yhtä suuri kuin luonnonkaistalla 2 ( $3,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ).

Typpihuuhtoutuman vähentäjänä suojakaistat eivät ole kovin tehokkaita, vaikka nurmikaistat vähensivät kokeen aikana 70 % ja luonnonkaistat 50 % pintavalumaveden mukana huuhtoutuvasta nitraattitypestä. On huomattava, että hyvin ojitetulla peltomaalla jopa 75–95 % typpikuormituksesta saattaa tulla salaojien kautta (Turtola & Paajanen 1995). Myöskään Magetten (1998) mukaan suojavyöhykkeet eivät

vähennä typen kuormitusta salaojitetulla maalla. Huonosti toimivat salaojat lisäävät pintavaluntaa, jolloin suojaväyhykkeiden tarpeellisuus myös typen poistajana kasvaa. Myös fosforikuormasta suuri osa ohjautuu salaojavesiin, mikäli pellon ojitus on kunnossa (Turtola & Paajanen 1995).

## Vajovesivalunta

Suuri osa suojakaistakentän kevätvalunnasta kerättiin pintavalumakeräimillä. Vajovesien kerääminen talvella ja aikaisin keväällä oli ongelmallista maan ollessa roudassa. Vajovesien perusteella oli vaikea laskea ravinnekuormitusta, koska vajoveden määrän määrittäminen oli epäluotettavaa. Vettä saattoi kulkeutua lysimetripulloon suppilon ulkopuolelta, ja osa vedestä saattoi ohittaa suppilon. Niinpä vajovesien ravinnepitoisuudet ilmaisevat paremmin eroja nurmikaista-, luonnonkaista- ja ei-suojakaistaa-ruutujen sekä suojakaistojen ylä- ja alaosan välillä. 20 cm:n syvyyteen asennetut valumalysimetrit antoivat samansuuntaisia ravinnekuormitustuloksia kuin pintavalunnatkin. Lysimetrien käyttöä valuntavesien ravinnepitoisuuksien mittaamiseen voi suositella lysimetrien yksinkertaisen käytön sekä edullisen hinnan takia. Lysimetrin voi asentaa aivan maan pintaan tai syvemmälle maahan.

## Suojakaistakasvien fosforinotto

Suojakaistakasvien fosforinotot ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) kasvukaudella 1998 eivät ole täysin vertailukelpoisia, sillä koekasvien osuudet näytteissä vaihtelivat. Koelalla kasvoi koejäsenen lisäksi muita kasveja, joiden fosforinotto laskettiin lopputulokseen. Toisinaan koejäsenen osuus tuosta alasta oli hyvin alhainen (Kuva 26). Kokeessa tutkittiin vain kasvien maanpäällisiä osia, joten todellista kasvin fosforinottoa ei tässä kokeessa päästy tarkastelemaan.

Kasvukaudella 1998 oli tavallista enemmän sateita ja lämpöhuiput puuttuivat kokonaan. Kesä-, heinä- ja elokuussa keskilämpötilat olivat tavallista matalampia.

Syyskuu oli kesäisen lämmin ja sademäärä normaalia matalampi (Ilmatieteen laitos 1998). Suuret ilman lämpötilojen vaihtelut eivät häirinneet suojakaistakasvien kasvua, vaan tasainen lämpötila takasi tasaisen yhteyttämisen. Lintupajun suojakaistakentän maa-aines oli savea, minkä ansiosta suojakaistakasvuston fosforipitoisuudet saattoivat olla alhaisemmat verrattuna ravinteiden pidätyskykyyn kivennäismailla.

Mengelin ja Kirkbyn (1987) mukaan puhtaat timotei- sekä puna-apilakasvustot ottavat  $13 \text{ kg P ha}^{-1}$  ja *Cynodon dactylon* -heinä  $35 \text{ kg P ha}^{-1}$ . Tässä kokeessa timoteikasvuston ( $15 \text{ kg P ha}^{-1}$ ), valkoapilan ( $12 \text{ kg P ha}^{-1}$ ) ja nurmiröllin ( $23 \text{ kg P ha}^{-1}$ ) fosforinotot olivat saman suuruisia Mengelin ja Kirkbyn (1987) tulosten kanssa. Apilänäytteet leikattiin matalan kasvustonsa vuoksi ihan maan pinnasta, kun muut koejäsenet leikattiin hieman ylempää. Tämä vaikutti positiivisesti apilan kuiva-ainesatoon.

Alhaisimmat P-pitoisuudet olivat suojakaistoilla paljon käytetyllä timoteilla. Kähärin ja Nissisen (1978) kokeessa todettiin timotein P-pitoisuuden olevan keskimäärin  $2,00\text{--}2,99 \text{ g kg}^{-1}$ . Heidän kokeessaan timotei kerättiin tähkän ollessa juuri kehittynyt. Tässä kokeessa ei koejäseniä kerätty kyseisessä kasvuvaiheessa, mutta tähkän kehittyminen osui korrenkasvuvaiheen ja kukintavaiheen välille. Korrenkasvuvaiheen ( $2,7 \text{ g kg}^{-1}$ ) ja kukintavaiheen ( $2,2 \text{ g kg}^{-1}$ ) P-pitoisuudet olivat samansuuntaisia kuin Kähärin ja Nissisen kokeessa.

Nurminadan P-pitoisuus laski tasaisesti kasvukauden loppua kohden, mitä tukee edellä mainittu P-pitoisuuden pieneneminen kasvimassan lisääntyessä. Sama ilmiö on havaittavissa nurmiröllin kohdalla. Grossin ja Jungin (1981) kokeessa ruohojen P-pitoisuus laski ilman keskilämpötilan noustessa ja pitkässä päivänpituudessa. Tässä kokeessa tämä toteutui alkua- ja kesikesällä, mutta loppukesällä ja syksyllä P-pitoisuudet laskivat ilman keskilämpötilan madaltuessa ja päivänpituuden lyhetessä.

Kähärin ja Nissisen (1978) samoin kuin Grossin ja Jungin (1981) kokeessa palkokasvien P-pitoisuus oli hieman pienempi



**Kuva 27.** Suojavyöhyke estää eroosioaineksen ja ravinteiden kulkeutumista pelloilta vesistöön. (Kuva: Jaana Uusi-Kämpä).

kuin ruohojen. Tässä kokeessa palkokasveihin luettavan valkoapilan P-pitoisuus oli puolestaan hieman ruohoja korkeampi. Grossin ja Jungin (1981) kokeessa parin valkoapilalajikkeen P-pitoisuus oli syksyllä korkeampi kuin keväällä. Tässä kokeessa P-pitoisuus laski kukintavaiheen jälkeen, mutta koska tuleentumisvaiheesta ei ollut tulosta, ei voida varmasti todeta P-pitoisuuden laskevan syksyä kohden. Valkoapilan P-pitoisuus nousi kukintavaiheessa hieman.

Siankärsämön fosforinottookyky vaikutti erittäin hyvältä. P-pitoisuus pysyi kolmen ensimmäisen kasvuvaiheen aikana yli 4 g:ssa  $\text{kg}^{-1}$ . Muun muassa Mengelin ja Kirkbyn (1987) mukaan syynä voi olla se, että siankärsämo lähtee hitaasti kasvuun. P-pitoisuus laski vasta sitten, kun kasvimassa pääsi keskikesällä kunnolla kasvuun.

Janssonin et al. (1985) mukaan kasvien siemenet sisältävät runsaasti fosforia. Tämä näkyi selvästi voikukan P-pitoisuudessa: voikukan P-pitoisuus oli suurimmillaan siemenvaiheessa (kasvuvaihe IV). Toiseksi suurin P-pitoisuus oli kasvuunlähtövaiheessa (kasvuvaihe I). Tätä tukee Mengelin ja Kirkbyn (1987) sekä Heinosen et al. (1992) esittämä teoria nuorten kasvien suuresta P-pitoisuudesta, joka laskee varren pituuskasvun myötä

Kojesänten P-pitoisuuksien vaihteluväli oli 0,11–0,54 % kuiva-aineesta. Keskiarvo oli 0,31 % ja keskihajonta 0,11 %. Heinosen et al. (1992) mukaan kasvavan kasvin vegetatiivisissa osissa fosforipitoi-

suus on tavallisesti 0,3–0,4 % kuiva-aineesta. Voidaan siis todeta P-pitoisuuksien olleen kokeessa keskimäärin samansuuruisia kirjallisuudessa mainittujen arvojen kanssa.

Lisäksi on huomioitava, että tämä koe tehtiin savimaan suojakaistoilla. Tulevaisuudessa olisi hyvä tutkia muiden maalajien vaikutusta suojakaistakasvien fosforinottoon. Kasvuolosuhteet vaihtelevat kovasti Suomessa maa-alueen sijainnista ja maalajista riippuen. Suojakaistakokeita pitäisikin tehdä eri maalajeilla.

## 5 Loppupäätelmiä

Oikeisiin paikkoihin perustetut suojakaistat ja -vyöhykkeet vähentävät tehokkaasti eroosioaineksen sekä ravinteiden kulkeutumista valumaveden mukana suoraan vesistöön (Kuva 27). Paikoissa, joissa pintavalunta on vähäistä, suojakaistojen tarvekin on pienempi. Jyrkillä rinnepellolla, joissa helposti syntyy noroja, leveät suojakaistat ovat tarpeen (Kuva 28). Paras tapa estää eroosiota rinteessä on jättää koko rinne suojavyöhykkeeksi. Suojakaista tai -vyöhyke toimii hyvin, kun pintavalunta jakaantuu tasaisesti koko kaistalle. Jos vesi kerääntyy tiettyyn kohtaan suojavyöhykettä, suojavyöhykkeen puhdistusteho laskee. Pellon muotoilu tai suojavyöhykkeen ulottaminen pellon puolelle, parantaa suojavyöhykkeen tehoa (Kuva 29). Joillekin pelloille syntyy

**Kuva 28.** Pellon jyrkän rinteeseen voi jättää suojavyöhykkeeksi, jos rinteessä esiintyy usein noroeroosiota. (Kuva: Jaana Uusi-Kämpä).



**Kuva 29.** Suojavyöhyke toimii huonommin, jos pintavalunta ei jakaudu tasaisesti koko vyöhykkeelle. Tarvittaessa pellon notkokohtaan voidaan jättää leveämpi suojakaista, joka estää veden kertymistä yhteen kohtaan suojavyöhykkeellä. (Kuva: Jaana Uusi-Kämpä).



**Kuva 30.** Joillekin pelloille syntyy helposti ”erosiorotkoja”, kun vesi kuljettaa maa-ainesta tiettyä väylää pitkin pelolta ojaan. Tällainen kohta kannattaa nurmettaa, jolloin eroosio on siinä vähäisempää. (Kuva: Jaana Uusi-Kämpä).



helposti isoja noroja tai ”erosiorotko” (Kuva 30). Notkelmakohdan kylväminen heinälle vähentää noroutumista sekä eroosioaineksen ja ravinteiden kulkeutumista vesistöön.

Uoman reunassa tapahtuu usein uomaeroosiota (Kuva 31). Monikerroksinen ja tiheä suojakaistakasvusto estää parhaiten eroosioaineksen ja siihen sitoutuneiden ravinteiden kulkeutumista pelolta vesistöön. Leveät pientareet myös stabiloivat uomaa ja

estävät reunaa sortumasta pellon reunassa, kun ajetaan raskailta koneilla (Kuva 32).

Suojakaistan puhdistustehokkuuteen vaikuttavat kaistan leveys ja kasvillisuuden tiheys. Harva suojakaistakasvusto ei pysty pidättämään edes karkeajakoista maa-ainesta. Leveää suojavyöhykettä tarvitaan jyrkästi vesistöön viettävällä pellolla tai helposti erodoituvalla maalajilla. Myös pellon viljelykäyttö vaikuttaa kaistan leveyteen. Nurmiviljelyssä riittää kapeahko kaista,





**Kuva 31.** Uomaerosio saattaa olla ongelma joissakin meanderoivissa l. säännöllisesti kieturtelevissa ojissa. (Kuva: Jaana Uusi-Kämpä).

kun taas avovihannesviljelyssä tai avokesanolla tarvitaan leveämpi kaista estämään eroosioaineksen ja ravinteiden kulkeutumista. Pelloilla, joille levitetään karjanlantaa, pitäisi olla vielä leveämmät lannalla käsittelemättömät suoja-alueet (Uusi-Kämpä & Heinonen-Tanski 2000).

Kokeen tulosten perustella olisi suositeltavaa kylvää suojakaistalle nurmirölliä ja siankärsämöä. Timoteita ja nurminataa voidaan myös käyttää sekakasvustona. Apilaa ei tarvitse kylvää, sillä se leviää usein itseksensä. Tosin apila olisi hyvä maanparantaja-

na, ja palkokasvina se lisää kasvillisuuden monimuotoisuutta. Sekakasvusto takaa monimuotoisemman elinympäristön myös hyönteisille ja eläimille. Kokeessa ei tutkittu pensaiden fosforinottoa. On oletettavaa, että pensaiden juuristo sitoo suoja-kaistoilla maata ja ottaa fosforia syvemmistä kerroksista kuin monivuotiset heinät. Tarvitaankin lisätutkimuksia puuvartisten kasvien fosforin- ja typenotosta Suomen oloissa.

Leville käyttökelpoisen liuenneen fosforin kulkeutumisen vähentämiseksi suoja-kaistat tulisi niittää ja kasvusto korjata pois. Näin pintamaan fosforipitoisuus pysyy suojakaistoilla alhaisena eivätkä liuenneen fosforin päästöt kasva. Suojavyöhykkeen niittoajankohdalla on merkitystä silloin, kun vyöhykkeeltä halutaan kasvillisuuden mukana poistaa mahdollisimman paljon fosforia. Paras niittoajankohta oli kukintavaihe, jolloin kasvien fosforinotto oli suurimmillaan. Tällöin myös kuiva-ainesato oli korkeimmillaan. Kukintavaiheen jälkeen kuiva-ainesato alkoi laskea kasvimassan lakastumisesta johtuen. Suojavyöhykkekasvuston voi niittää vielä siemenvaiheessa. Toinen niitto loppusyksystä saattaisi olla suositeltava, jotta suojakaistoille jäisi mahdollisimman vähän kasvimassaa talveksi. Näin voidaan vähentää sadevesien mukana vesistöihin valuvaa kasvijätteistä peräisin olevaa liuenneen fosforin kuormitusta. Toisaalta vastaperustettu, myöhään syksyllä niitetty suojakaista ei poista eroosioainesta ja ravinteita kevätvalunnan aikana hyvin. Tarvitaankin lisätutkimuksia aikaisen niiton vai-



**Kuva 32.** Leveä piennar estää ojan reunoja sortumasta, kun pellon reunalla ajetaan painavilla koneilla. (Kuva: Jaana Uusi-Kämpä).

kutuksista talvikauden PO<sub>4</sub>-P-kuormitukseen.

Puinnin jälkeen tehty niitto on viljelijälle edullisin, sillä niittosilpun voi levittää peltoon. Niittoa ei tule tehdä lintujen ja muiden suojavyöhykkeellä asustavien eläinten pesinnän aikana (Hänninen 1997, Vilonen et al. 1998).

Käytännössä suojakaistoja ei voida aina niittää, koska vain harvoilla tiloilla on niitokone käytettävissä. Kapeiden kaistojen niitto kaltevalla pellonreunalla ei myöskään ole helppoa. Pieniä, halpoja niittokoneita pitäisi kehittää pientareiden ja suojakaistojen niittämiseen. Myös niittojätteen poiskorjaaminen voi tuottaa vaikeuksia väline- ja työvoimapulan sekä lisäkustannusten takia. Sen sijaan leveiden suojavyöhykkeiden niittämisen pitäisi onnistua paremmin. Niittojätteen hyödyntämisen salliminen maataloustuotannossa lisää osaltaan halukkuutta suojavyöhykkeen niittämiseen ja

niittojätteen poiskorjaamiseen.

Suojakaistojen niitto voisi sopia tehtävään erikoistuneelle urakoitsijalle. Erillinen tuki tai korvaus suojakaistan niitosta ja kasvillisuuden poiskorjaamisesta saattaisi lisätä kiinnostusta suojakaistojen hoitamiseen. Suojakaistojen niitto helpottaisi osaltaan myös kaistojen rikkakasviongelmia (Tarmi 1998). Toisaalta oikean niittoajankohdan löytäminen suojakaistakasvustolle ravinteiden poistamiseksi häiritsemättä luonnonvaraisten eläinten pesintää ja poikasten hoitamista voi olla ongelmallista.

Suojakaistoilla ja -vyöhykkeillä on myös monia ekologisia ja maisemallisia hyödynäkökohtia. Suojavyöhyke lisää vesistön arvoa, kun se puhdistaa pellon valumavesiä ja parantaa maisemakuvaa. Suojavyöhykkeet lisäävät osaltaan maaseudun arvoa vierailijoille ja matkailijoille (Hietala-Koivu et al. 1999).

## Kirjallisuus

---

**Ahola, H.** 1989. Vegetated buffer zone project of the Vantaa River river basin. *Geografisk Tidsskrift* 89: 22–25.

– 1990. Vegetated buffer zone examinations on the Vantaa River basin. *Aqua Fennica* 20: 65–69.

**Bosch, D.D., Hubbard, R.K., West, L.T., & Lowrance R. R.** 1994. Subsurface flow patterns in a riparian buffer system. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 37: 1783–1790.

**Correll, D.L.** 1997. Buffer zones and water quality protection: General principles. In: Haycock, N.E. et al. (eds). *Buffer zones: their processes and potential in water protection*. Harpenden: Quest Environmental. p. 7–20.

**Derome, J., Niska, K., Lindroos, A.-J. & Välikangas, P.** 1991. Ion-balance monitoring plots and bulk deposition in Lapland during July 1989–June 1990. In: Tikkanen & Varmola (eds.). *Research into forest damage connected with air*

*pollution in Finnish Lapland and the Kola peninsula of the U.S.S.R.: A seminar held in Kuusamo, Finland, 25–26 May 1990*. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 373: 49–76. (In English).

**Dillaha, T.A. & Inamdar, S.P.** 1997. Buffer zones as sediment traps or source. In: Haycock, N.E. et al. (eds). *Buffer zones: their processes and potential in water protection*. Harpenden: Quest Environmental. p. 33–42.

– **Sherrard, J.H., Lee, D., Mostaghimi, S., & Shanholtz, V.O.** 1988. Evaluation of vegetative filter strips as a best management practice for feed lots. *Journal of the Water Pollution Control Federation* 60: 1231–1238.

**Ekholm, P.** 1998. Algal-available phosphorus originating from agriculture and municipalities. Monographs of the Boreal Environmental Research No. 11. Helsinki: Finnish Environment Institute. 60 p. ISSN 1239-1875, ISBN 952-11-0329-9.

Ekologgruppen. 1998. Höje å projektet. En renare å

– ett renare hav, Ett vatten- och landskapsvårdsprojekt. Updated 9 September 1998, cited 8 May, 2000. Available from Internet: <http://www.ekologgruppen.com/wetnet/hojea/hojindex.htm>

**Granéli, W.** 1990. Standing crop and mineral content of reed, *Phragmites australis* (CAV.) TRIN. ex STEUDEL, in Sweden – Management of reed stands to maximize harvestable biomass. *Folia Geobotanica et Phytotaxonomica* 25: 291–302.

**Gross, C. F. & Jung, G. A.** 1981. Season, temperature, soil pH and Mg fertilizer effects on herbage Ca and P levels and ratios of grasses and legumes. *Agronomy Journal* 73: 629–634.

**Hartikainen, H.** 1981. Effect of decreasing acidity on the extractability of inorganic soil phosphorus. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 53: 16–26.

– 1982. Water soluble phosphorus in Finnish mineral soils and its dependence on soil properties. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 54: 89–98.

**Heinonen, R., Hartikainen, H., Aura, E., Jaakkola, A. & Kemppainen, E.** 1992. Maa, viljely ja ympäristö. Porvoo: WSOY. 334 p. ISBN 951-0-17090-9.

**Hietala-Koivu, R., Tahvanainen, L., Nousiainen, I., Heikkilä, T., Alanen, A., Ihalainen, M., Tyrväinen, L. & Helenius, J.** 1999. Visuaalinen maisema maatalouden ympäristöohjelman vaikuttavuuden seurannassa. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 50. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 27 p. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-537-7.

**Hoffmann, C.C.** 1998. Nutrient retention in wet meadows and fens. PhD thesis. Ministry of Environment and Energy, National Environmental Research Institute. 132 p. ISBN: 87-7772-376-7.

**Huang, C.-Y.L. & Schulte, E.E.** 1985. Digestion of plant tissue for analysis by ICP emission spectroscopy. *Communications in Soil Science and Plant Analyses* 16: 943–958.

**Hänninen, S.** 1997. Vantaanjoen maatalouden vesiensuojeluprojekti. Julkaisu nro 41. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry. 102 p.

**Ihalainen, H.** 1995. Suojakaistan leveyden ja hoitomuodon vaikutus pellon fosfori- ja typpihuuhtoutumien puhdistumiseen. Opinnäytetutkimus, Ympäristöhygieniä, Kuopion yliopisto, Ympäristötieteiden laitos. 67 p.

Ilmatieteen laitos. 1998. Ilmastokatsaus 10.6.1998, 10.7.1998, 12.8.1998, 11.9.1998, 9.10.1998, 3. vuosikerta.

**Jaakkola, A.** 1984. Leaching losses of nitrogen from a clay soil under grass and cereal crops in Finland. *Plant and Soil* 76: 59–66.

**Jansson, H., Ylärinta, T. & Sillanpää, M.** 1985. Macronutrient contents of different plant species grown side by side. *Annales Agriculturae Fenniae* 24: 139–148.

**Korkman, J., Ijas, J., Pehkonen, A., Rekolainen, S., Valpasvuo-Jaatinen, P. & Tiilikkala, K.** 1993. Hyvät viljelymenetelmät 1993. Maaseudun ympäristöohjelman mukaiset viljelysuositukset. Maa- ja metsätalousministeriön työryhmämuistio 1993:7. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. 31 p. ISSN 0781-6723.

**Kuusemets, V., Mander, Ü., Ivask, M. & Lõhmus, K.** 1998. Phosphorus retention in riparian buffer zones in agricultural landscapes in Estonia. In: Foy, R.H. & Dils, R. (eds.). Practical and innovative measures for the control of agricultural phosphorus losses to water. p. 114–115. ISBN 1-85527-354-3.

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

**Laubel, A., Kronvagn, B. & Larsen, S.E.** 1998. The structure and function of Danish riparian buffer zones. In: Foy, R.H. & Dils, R. (eds.). Practical and innovative measures for the control of agricultural phosphorus losses to water. p. 112–113. ISBN 1-85527-354-3.

**Leeds, R., Brown, L.C., Sulc, M.R. & Van Lieshout, L.** 1993. Vegetative filter strips: Application, installation and maintenance. The Ohio State University Extension, Extension Factsheet 10/93. AEX-467. 8 p.

**Lehtinen, T.** 1995. Suojakaistan hoitomuodon vaikutus fosfataasiaktiivisuuksiin ja fosforin liikkumiseen maaprofiilissa. Opinnäytetutkimus, Ympäristöhygieniä, Kuopion yliopisto, Ekologisen ympäristötieteiden laitos. 39 p.

Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. 1998. Maatilatilastollinen vuosikirja 1998. Helsinki. Maa- ja metsätalousministeriö. 266 p.

Maataloustuottajain Keskusliitto. 1990. Puhdas ympäristö – korvaamaton rikkaus. MTK:n ympäristöohjelma. Maataloustuottajain Keskusliiton julkaisu n:o 124. 16 p. ISBN 952-90-1988-2.

Maaseudun ympäristöohjelmatyöryhmä. 1992. Ehdotus maaseudun ympäristöohjelmaksi: Maaseudun ympäristöohjelmatyöryhmän muistio. Työryhmän mietintö nro 68. Helsinki: Ympäristöministeriö, Ympäristönsuojeluosasto. 48 p. ISBN 951-47-5196-5.



- Magette, W. L.** 1998. Factors affecting losses of nutrients from agricultural systems and delivery to water resources. In: Carton, O.T. (ed.). Draft guidelines for nutrient use in intensive agricultural enterprises. Teagasc, Johnstown Castle, Wexford, Ireland. p. 6–31.
- , **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, U.S. Philadelphia, PA 19107: Environmental Protection Agency. p 125.
- Mengel, K. & Kirkby, E.A.** 1987. Principles of plant nutrition. 4th edition. Worblaufen-Bern: International Potash Institute. 687 p. ISBN 3-906-535-03-7.
- Murrmann, R.P. & Peech, M.** 1969. Effect of pH on labile and soluble phosphate in soils. Soil Science Society of America Proceedings 33: 205–210.
- Njøs, A. & Slyngstad, B.** 1999. Bakkeplanering og bunnledninger i store fyllinger. Eksempler fra Romerike, Norge. (English summary). In: 21st NJF Congress, As, Norway, June 28–July 1, 1999. Excursion guide; section 8 and 11. Jurdforsk rapport 45/99: 9–18.
- Patty, L., Réal, B. & Gril, J.J.** 1997. The use of grassed buffer strips to remove pesticides, nitrate and soluble phosphorus compounds from runoff water. Pesticide Science 49: 243–251.
- Peterjohn, W. T. & Correll, D. L.** 1984. Nutrient dynamics in an agricultural watershed: observations on the role of a riparian forest. Ecology 65: 1466–1475.
- Petterson, J. & Stuart, D.** 1997. Glickman encourages landowners and operators to participate in new conservation reserve program. Cited 19 January, 2000. Available from Internet: <http://www.usda.gov/news/releases/1997/03/0073>
- Puustinen, M.** 1999. Viljelymenetelmien vaikutus pintaeroosioon ja ravinteiden huuhtoutumiseen. Suomen ympäristö 285. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 116 p. ISBN 952-11-0430-9. ISSN 1238-7312.
- Rauhala, E.** 1998. Rikkakasvit kasvitautilien isäntinä. Kasvinsuojelulehti 2/98: 55–56.
- Rekolainen, S., Pitkänen, H., Bleeker, A. & Sietske, F.** 1995. Nitrogen and phosphorus fluxes from Finnish agricultural areas to the Baltic Sea. Nordic Hydrology 26: 55–72.
- Salmela, K.** 1999. Peltoalueiden vesienpuojellisten suojavyöhykkeiden yleissuunnitteluopas. Lounais-Suomen ympäristökeskuksen monistesarja 6/99. Turku: Lounais-Suomen ympäristökeskus. 28 p. ISBN 952-5288-08-0, ISSN 1238-3201.
- Schwer, C.B. & Clausen, J.C.** 1989. Vegetative filter treatment of dairy milkhouse wastewater. Journal of Environmental Quality 18: 446–451.
- SFS 3025. Veden fosfaatin määrittäminen. 1986. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 10 p.
- SFS 3026. Veden kokonaisfosforin määrittäminen. Hajoitus peroksidisulfaattilla. 1986. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 11 p.
- SFS 3030. Veden nitriitti- ja nitraattityypen summan määrittäminen. 1990. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 5 p.
- SFS 3031. Veden typen määrittäminen. Peroksidisulfaattihapetus. 1990. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 6 p.
- SFS 3032. Veden ammoniumtypen määrittäminen. 1976. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 6 p.
- Syversen, N.** 1994. Vegetasjonens effekt på avrenning fra jordbruksarealer – sluttrapport. Jordforsk-rapport 6.93.11/1. 60 p. ISBN 82-7407-112-0.
- 1996. Fourensningbegrensede effekter av vegetasjonssoner i jordbrukslandskapet. Vann nr. 2, 1996: 320–327.
- 1997. Vegetasjonssoner som tiltak for å redusere overflateavrenning fra kornarealer. Jordforsk-rapport nr. 30/97. 29 p. ISBN: 82-7467-236-4.
- Tarmi, S.** 1998. Pientareiden ja suojakaistojen kasvilajisto – näkökulmia kasvinsuojelun ja lajimonimuotoisuuden kannalta. Kasvinsuojelulehti 2/98: 52–54.
- & **Helenius, J.** 1998. Miten suojakaistoja tulisi hoitaa. Ajankohtaisia kasvinsuojeluohteita. Kasvinsuojeluseuran julkaisuja 91: 24–26.
- Turtola, A.** 1990. Peltoalueiden ympäristönsuojeluohjelma. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus, Jokioisten kartanot. 40 p.
- Turtola, E.** 1999. Phosphorus in surface runoff and drainage water affected by cultivation practices. Agricultural Research Centre of Finland. 108 p. ISBN 951-729-555-3.
- & **Jaakkola, A.** 1985. Viljelykasvin ja lannoitus-tason 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 Jokioisten

huuhtoutumiskentällä v. 1983–1986. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 22/87. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 34 p. ISSN 0359-7652.

– & **Paajanen, A.** 1995. Influence of improved subsurface drainage on phosphorus losses and nitrogen leaching from a heavy clay soil. *Agricultural Water Management* 28: 295–310.

– & **Yli-Halla, M.** 1999. Fate of phosphorus applied in slurry and mineral fertilizer: accumulation in soil and release into surface runoff water. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 55: 165–174.

**Ulén, B.** 1984. Nitrogen and phosphorus to surface water from crop residues. *Ekohydrologi* 18: 39–44.

– 1988. Fosforerosion vid vallodling och skyddszon med gräs. *Ekohydrologi* 26: 23–28.

USDA-NRCSa. Buffers, common-sense conservation. Natural Resources Conservation Service (NRCS). United States Department of Agriculture (USDA). Cited 23 May, 2000. Available from Internet:  
<http://www.nhq.nrcs.usda.gov/CCS/BufrsPub.html>

USDA-NRCSb. Buffer strips: common sense conservation. Natural Resources Conservation Service (NRCS). United States Department of Agriculture (USDA). Cited 23 May, 2000. Available from Internet:  
<http://www.nhq.nrcs.usda.gov/CCS/Buffers.html>

USDA-NRCS 311. Alley cropping. Conservation practice job sheet. Natural Resources Conservation Service (NRCS). Washington, D.C.: United States Department of Agriculture (USDA). April 1997. 4 p.

USDA-NRCS 332. Contour buffer strips. Conservation practice job sheet. Natural Resources Conservation Service (NRCS). Washington, D.C.: United States Department of Agriculture (USDA). April 1997. 4 p.

USDA-NRCS 386. Field borders. Conservation practice job sheet. Natural Resources Conservation Service (NRCS). Washington, D.C. United States Department of Agriculture (USDA). April 1997. 4 p.

USDA-NRCS 391. Riparian forest buffer. Conservation practice job sheet. Natural Resources Conservation Service (NRCS). Washington, D.C.: United States Department of Agriculture (USDA). April 1997. 4 p.

USDA-NRCS 393. Filter strips. Conservation practice job sheet. Natural Resources Conservation Service (NRCS). Washington, D.C.: United States Department of Agriculture (USDA). April 1997. 4 p.

USDA-NRCS 412. Grassed waterway/vegetated fil-

ter system. Filter strips. Conservation practice job sheet. Natural Resources Conservation Service (NRCS). Washington, D.C.: United States Department of Agriculture (USDA). April 1997. 4 p.

**Uusi-Kämpä, J., Braskerud, B., Jansson, H., Syversen, N. & Uusitalo, R.** 2000. Buffer zones and constructed wetlands as filters for agricultural phosphorus. *Journal of Environmental Quality* 29: 151–158.

– & **Heinonen-Tanski, H.** 2000. Lietelannan levitys nurmeen - tilan ja ympäristön yhteinen etu. In: Rinne, M. (ed.). *Maataloustieteen päivät. Maaseutukeskusten Liiton julkaisuja 952*. Helsinki: Maaseutukeskusten Liitto. p. 65–70.

– & **Ihalainen, H.** 1996. Suojakaistaselvitys Jokioisten kartanoiden alueella. In: Jäppinen, J.-P. & Leikola, N. (eds.). *LUMO-tutkimusohjelman toteutus 1993–1996 Osa I: LUMO-ohjelman toinen väliraportti 1.3.1996, Osa II: Projektikuvaukset 1992–1996*. p. 150–152.

–, **Turtola, E., Hartikainen, H. & Ylärinta, T.** 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*. Harpenden: Quest Environmental. 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.** 1996. Effect of buffer strips on controlling soil erosion and nutrient losses in southern Finland. In: Mulamootil, G., Warner, B.G. & McBean, E.A. (eds.). *Wetlands: Environmental Gradients, Boundaries and Buffers*. New York, CRC, Lewis Publishers. p. 221–235.

**Uusitalo, R. & Yli-Halla, M.** 1999. Estimating errors associated with extracting phosphorus using iron oxide and resin methods. *Journal of Environmental Quality* 28: 1891–1897.

**Valpasvuo-Jaatinen, P.** 2000. Suojavyöhykkeiden perustaminen ja hoito. Ympäristötuen erityistuet v. 2000–2006. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. 12 p.

**Vieltojärvi, O.-P.** 1999. Maatalouden vesiensuojelumenetelmiä: Suojavyöhykkeet – suunnittelussa huomioitavia asioita. Updated 22 June, 1999, cited 22 May, 2000. Available from Internet:  
<http://www.vyh.fi/ympysuo/projekti/lifeppo/ves-suo/mamitsuo.htm>

**Vilonen, K., Vahtera, H., Ahtela, I. & Kitula, J.** 1998. Suojavyöhykkeet kotitumassa jokivarsien tiloille. Kestävä maatalous Vantaanjoella. Helsinki:

Edita. 16 p. ISBN 952-5237-24-9.

**Vought, L.B.-M., Dahl, J., Pedersen, C.L. & Lacoursière, J.O.** 1994. Nutrient retention in riparian ecotones. *Ambio* 23: 342–348.

**Vuorinen, J. & Mäkitie, O.** 1955. The method of soil testing in use in Finland. *Agrogeological Publications* 63: 1–14.

**Wallenius, S. & Sihvonen, T.** 2000. Ympäristötuokiopas 2000. Maatalouden ympäristötuki v. 2000-2006. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. 28 p.

**Yli-Halla, M.** 1999. Lannoituksen vaikutus vesistökuormitukseen. Esitelmä Maatalouden ympäristöasioiden neuvottelupäivillä 26.5.1999. Jokioinen:

Maatalouden tutkimuskeskus. 5 p.

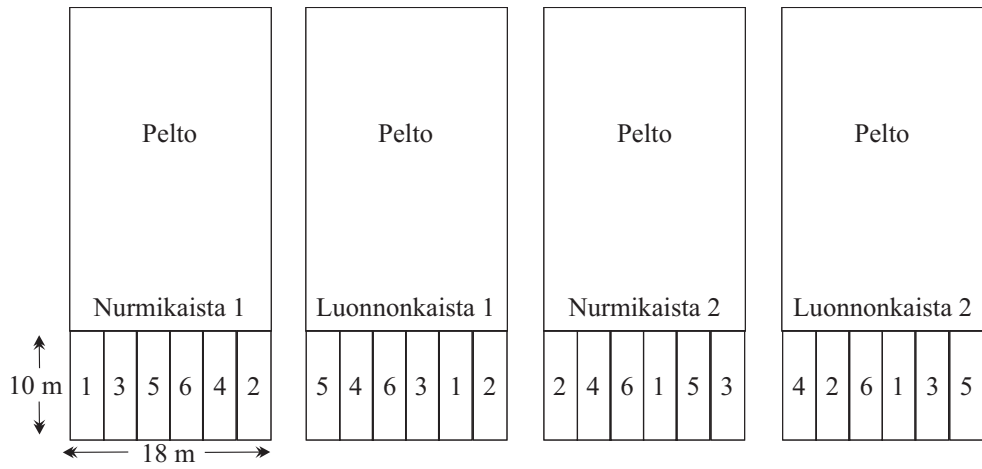
– **& Hartikainen, H.** 1996. Release of soil phosphorus during runoff as affected by ionic strength and temperature. *Agricultural and Food Science in Finland* 5: 193–202.

**Ylärinta, T., Uusi-Kämpä, J. & Jaakkola, A.** 1993. Leaching of nitrogen in barley, grass ley and fallow lysimeters. *Agricultural Science in Finland* 2,4: 281–291.

Ympäristöministeriö 1998. Vesiensuojelun tavoitteet vuoteen 2005. Suomen ympäristö 226. Helsinki: Ympäristöministeriö. P. 1–82. ISBN 951-37-2574-X. ISSN 1238-7312.



Lohkokaavio suojakaistakasvien fosforinottokokeessa 1998.



## LIITE 2

Koejäsenten näytteenottoalat ( $m^2$ ), kuivapainot (g) ja kuiva-ainesadot ( $g\ m^{-2}$ ) kasvuvaiheittain.

Kasvu- vaihe	Koejäsen	Ala	Kuiva- paino	Kuiva- ainesato
I	Voikukka	0,48	30	63
I	Timotei	0,32	31	97
I	Nurminata	0,48	18	37
I	Apila	0,32	12	37
I	Siankärsämö	0,48	15	31
I	Nurmistölli	0,40	45	112
II	Voikukka	0,48	111	230
II	Timotei	0,48	43	89
II	Nurminata	0,48	28	58
II	Apila	0,32	15	46
II	Siankärsämö	0,48	29	60
II	Nurmistölli	0,32	116	360
III	Voikukka	0,48	66	140
III	Timotei	0,32	129	400
III	Nurminata	0,48	83	170
III	Apila	0,48	46	96
III	Siankärsämö	0,28	50	180
III	Nurmistölli	0,32	166	520
IV	Voikukka	0,52	32	62
IV	Timotei	0,48	87	180
IV	Nurminata	0,48	89	185
IV	Apila	0,48	57	120
IV	Siankärsämö	0,48	48	100
IV	Nurmistölli	0,28	162	580
V	Voikukka	0,64	23	36
V	Timotei	0,48	67	140
V	Nurminata	0,48	82	170
V	Apila	x	x	x
V	Siankärsämö	x	x	x
V	Nurmistölli	0,32	185	580

x = Ei otettu näytettä kuolleesta kasvustosta

		<b>Julkaisun sarja ja numero</b> Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 83	
		<b>Julkaisuaika (kk ja vuosi)</b> Syyskuu 2000	
<b>Tekijä(t)</b> Jaana Uusi-Kämpä ja Marja Kilpinen		<b>Tutkimushankkeen nimi</b>	
		<b>Toimeksiantaja(t)</b> Maatalouden tutkimuskeskus	
<b>Nimike</b> Suojakaistat ravinnekuormituksen vähentäjänä			
<b>Tiivistelmä</b> Maatalouden tutkimuskeskukseen (MTT) Lintupajun peltoalueelle Jokioisiin perustettiin suojakaistakenttä 1980-luvun lopussa. Koekentällä seurattiin 10 m leveän nurmikaistan ja luonnonkasveja kasvavan luonnonkaistan kykyä vähentää eroosioainesta, fosforia ja typpeä savimaan pintavalumavesistä 1991–1999. Valumien lisäksi seurattiin typen ja fosforin sitoutumista maahan. Myös suojakaistakasvien fosforinottoa seurattiin kasvukaudella 1998. Nurmikaistoilta kasvusto korjattiin pois, mutta luonnonkaistoja ei niitetty. Suojakaistojen yläpuolella olevalla pellolla sekä rinteessä kahdella verranneruudulla viljeltiin ohraa tai kauraa. Pelto kynnettiin syksyllä. Pintavalumavedet kerättiin maan pintakerroksesta 0–30 cm:n syvyydeltä 9 m leveillä keräimillä. Suojakaistojen ylä- ja alareunasta kerättiin myös vajovesinäytteitä 0,2 m:n syvyydeltä. Suurin osa eroosio- ja ravinnekuormasta tuli keväisin, jolloin suojavyöhykkeet eivät kylmissä oloissa toimineet kunnolla. Pintavalunnan kokonaistyyppikuorma oli tutkimusajankohtana niitetyillä nurmikaistoilla 60 % ja luonnonkaistoilla 40 % pienempi kuin ilman suojakaistaa viljellyillä ruuduilla. Suojakaistoilla eroosio oli keskimäärin 60 % ja kokonaisfosforikuorma 30–40 % pienempi kuin verranneruuduilla. Sen sijaan liuenneen fosforin määrä kasvoi luonnonkaistoilla, joita ei niitetty. Nurmikaistoilla oli liuenneen fosforin määrä sama kuin ilman suojakaistaa viljellyillä koeruuduilla. Paras niittoaajankohta oli suojakaistakasvien kukinta- tai siemenvaihe, jolloin suojakaistakasvuston fosforinotto oli suurimmillaan.			
<b>Avainsanat:</b> maatalous, suojavyöhykkeet, ravinteet, hajakuormitus, eroosio, fosfori, typpi, niitto, pintavalunta, ravinteiden otto, valumavesi			
<b>Toimintayksikkö</b> Maatalouden tutkimuskeskus, Luonnonvarojen tutkimus, Luonnonvarat, 31600 Jokioinen			
<b>ISSN</b> 1238-9935	<b>ISBN</b> 951-729-585-5	<input type="checkbox"/> Tuloksia voi soveltaa luomuviljelyssä	
<b>Myynti:</b> MTT tietopalveluyksikkö, 31600 JOKIOINEN Puhelin (03) 4188 2327 Telekopio (03) 4188 2339		<b>Sivuja</b> 49 s. + 2 liitettä	<b>Hinta</b>

Jyväskylän yliopistopaino 2000  
ISBN 951-729-585-5  
ISSN 1238-9935