

VESITALOUS

4/2008



**Kuivatus
ja kastelu**

SALAOJITUS JA SAVIPELTOJEN RAVINNEKUORMITUS



MAIJA PAASONEN-KIVEKÄS
TkL, tutkija
Teknillinen korkeakoulu,
vesitalous ja vesirakennus
E-mail: maija.paasonen@tkk.fi

PERTTI VAKKILAINEN
professori
Teknillinen korkeakoulu,
vesitalous ja vesirakennus
E-mail: pertti.vakkilainen@tkk.fi

TUOMO KARVONEN
professori
Teknillinen korkeakoulu,
vesitalous ja vesirakennus
E-mail: tuomo.karvonen@tkk.fi



KUVA 1 MAIJA PAASONEN-KIVEKÄS

Kuva 1. Tutkimusalueen pintakerrokset olivat jatkuvassa muutostilassa sääolosuhteiden ja viljelytoimenpiteiden seurauksena. Maahan muodostui useiden senttimetrin levyisiä ja suurimmillaan ainakin 60 senttimetrin syvyyteen ulottuvia halkeamia kuivina aikoina. Maan vettyessä se menetti rakenteensa ja kantavuutensa (alakuva).

Hyvin toimiva salaojitus vähentää pintavaluntaa ja sen mukana kulkeutuvaa fosforikuormaa, mikä on ensiarvoisen tärkeää vesiensuojelussa. Savimaissa oikovirtaukset saattavat kuitenkin kuljettaa merkittäviä määriä eroosioainesta, fosforia ja typpeä muokauskerroksesta salaojiin ja edelleen pintavesiin. Salaojien kautta tulevan kuormituksen vähentäminen asettaa haasteita sekä viljelymenetelmille että salaojistekniikalle.

Etälä- ja Lounais-Suomessa, missä salaojituksen osuus on keskimäärin 75 prosenttia peltopinta-alasta, valtaosa pelloista on eroosioherkkiä savimaita. Varsinkin näillä seuduilla salaojituksella voidaan saada välittömiä vesiensuojellisia hyötyjä pintavalunnan ja sen kiintoaine- ja fosforikuorman vähenemisen myötä. Useissa tutkimuksissa todettua typen huuhtoutumisen lisäksi salaojituksen seurauksena ei Suomessa ole pidetty kovin haitallisena toisin kuin useissa muissa maissa, koska fosfori on useimmiten pintavesiemme rehevöitymistä säätelevä minimitekijä.

Savimaissa veden virtaus salaojiin eroaa karkeammista kivennäismaista johtuen pääasiassa siitä, että muokauskerroksen alapuolisen pohjamaan vedenjohtavuus on hyvin pieni. Tällöin vesi virtaa salaojiin pääasiassa salaojakaivannon täyttömaan ja sorasilmäkkeiden sekä maassa olevien suurten huokosten eli makrohuokosten kautta niin sanottuina oikovirtauksina. Makrohuokosia (halkaisija > 0,03 mm) syntyy maan kuivumishalkeilun, juurikanavien, lierojen kaivamien reikien, roudan ja maan muokauksen seurauksena. Oikovirtaukset voivat joko lisätä tai vähentää aineiden kulkeutumista salaojiin riippuen niiden ominaisuuksista ja esiintymispainokasta maassa (Jarvis 2007).

Tässä artikkelissa käsitellään salaojista tulevaa kuormitusta Kirkkonummella sijaitsevalla savipellolla tehdyn seuran perusteella. Veden mahdollisia oikovirtausreittejä salaojiin on arvioitu maaperästä tehtyjen mittausten ja selvitysten perusteella.

Sjökullan koalue

Sjökullan tutkimusalue käsitti kaikkiaan 3,3 hehtaaria salaojitettua savipeltoa. Pellon pintamaa on hiesusavea ja pohjamaa aitosavea. Maa halkeilee voimakkaasti kuivina aikoina (Kuva 1). Maasto on kumpuilevaa ja pellon kaltevuus on suurimmillaan lähes 5 prosenttia. Salaojitus on tehty tiiliputkin vuonna 1951. Salaojat sijaitsevat 0,7–1,5 metrin syvyydessä ojavälin ollessa noin 13 metriä. Tutkimuksen aikana peltoalue oli tavanomaisessa viljelykäytössä ja siellä viljeltiin kevätvehnää, ohraa ja syysruista. Typpilannoitetta käytettiin vuosittain 96–120 kg ha⁻¹ ja fosforilannoitetta 9–15 kg ha⁻¹. Syksyisin pelto joko kynnettiin tai kultivoitiin.

Peltoalueella seurattiin valuntaa ja valumavesien pitoisuuksia 1990-luvulla useammalla ajanjaksolla. Salaoja- ja pintavaluntaa mitattiin mittapadoilla (v-aukko) olevilla paineantureilla 15–30 minuutin välein, mutta varsinkin talven pintavaluntamittauksissa oli katkoksia mittalaitteiden toimintahäiriöistä johtuen. Salaojaveden laadun lyhytaikaista vaihtelua tutkittiin touko-marskuussa 1995 ja 1998 useiden valuntatapahtumien aikana näytteistä, jotka otettiin automaattisella näytteenottimella neljän tunnin välein. Muina ajan-kohtina näytteet otettiin satunnaisesti käsin, ja pintavaluntanäytteet otettiin aina käsin. Kuormitus laskettiin valunnan tunti-/vuorokausiarvojen ja em. pitoisuusmittausten perusteella.

Maa- ja elintarviketalouden tutkimuslaitos (MTT) tutki 2000-luvun alussa koalueen makrohuokoisuutta ja vedellä kyllästyneen maan veden johtavuutta sekä lierolajeja ja niiden määrää (Alakukku ym. 2003). Mittaukset

tehtiin salaojien kohdalta, 2 metrin etäisyydellä salaojasta ja salaojien puolivälistä.

Valunta

Sjökullan peltoalueella salaoja- ja pintavaluntaa muodostui varsin vaihtelevasti eri vuodenaikoina (Taulukko 1). Tutkimusvuosina lumen sulaessa pintavalunta oli yleensä vallitseva ja salaojavaluntaa alkoi esiintyä runsaammin vasta roudan sulettua. Leutoina alkutalvina, kuten tammi-helmikuussa 1998 ja tammikuussa 1999, vettä virtasi runsaasti myös salaojista. Kesällä valunnasta tuli salaojien kautta ja pintavaluntaa syntyi vain rankkasateiden yhteydessä vähäisiä määriä muutaman tunnin ajan. Syksyisin salaojavalunnan osuus kokonaisvalunnasta (salaoja- ja pintavalunnan summa) vaihteli välillä 40–90 prosenttia.

Kuvissa 2a ja 3a on esitetty yksittäisten sadanta-valuntatapahtumien dynamiikkaa kesäkuussa 1998 ja lokakuussa 1998. Sadannan ja salaojavalunnan välinen viive oli syksyllä vettyneessäkin maassa vain muutaman tunnin, mikä viittaa hyvin vettä johtaviin makrohuokosiin. Tulokset osoittavat myös, että kuivumishalkeamien umpeutuminen ei näyttänyt merkittävästi pienentäneen salaojavaluman maksimiarvoja (Kuvat 2b ja 3b).

Typen huuhtoutuminen salaojista

Vuotuinen kokonaistypen huuhtouma Sjökullan koalueen salaojista oli 8,2–13,3 kg ha⁻¹ vuosien 1995, 1996 ja 1998 mittauksen perusteella. Taulukossa 2 on esitetty kokonaistypen pitoisuuksia ja kuormia vuodenaikoina. Erilaisista näytteenottotiheyksistä johtuen arvot eivät ole täysin vertailukelpoisia, mutta antavat käsityksen kuormituksen suuresta vaihtelusta samanakin vuodenaikana.

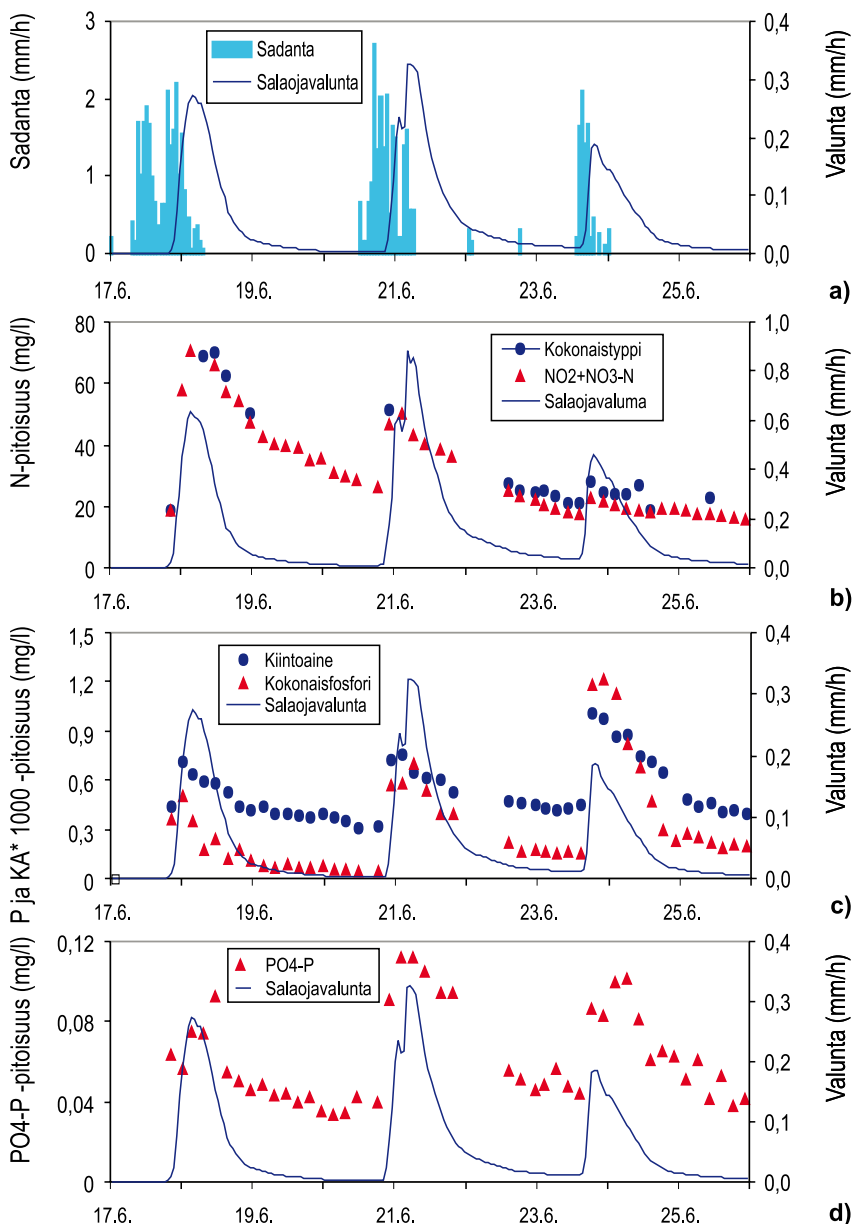
Salaojaveden typpipitoisuudet nousivat huomattavan korkeiksi, suurimmillaan 70 mg:aan l⁻¹, lannoituksen jälkeen. Touko-kesäkuussa 1995 vuodenaikaan nähden runsas salaojavalunta (20 mm) kuljetti kokonaistyyppiä kaikkiaan 11 kg ha⁻¹. Vuoden 1998 kesäkuussa kuukausi lannoituksen jälkeen tyyppiä huuhtoutui salaojista 5 kg ha⁻¹ (Kuva 2b). Muina vuodenaikoina ko-

Taulukko 1. Sadanta, salaoja- ja pintavalunta vuodenaikoina Sjökullan koalueella. Tammi-huhtikuun pintavalunnan arvot ovat epätarkkoja mm. mittalaitteiden jäätymisen vuoksi.

Vuosi	Sadanta, mm			Salaojavalunta, mm			Pintavalunta, mm		
	tammi-huhti	touko-kesä	syys-joulu	tammi-huhti	touko-kesä	syys-joulu	tammi-huhti	touko-kesä	syys-joulu
1995	208	203	281	15	24	37	90 ¹⁾	0,4	4
1996	91	245	359	20	20	84	64 ²⁾	3,0	58
1998	142	395	262	42	55	57	83	8,8	80
1999	186			57			116		

¹⁾ ei mitattu 1.1. - 24.2.1995

²⁾ mittauksissa katkoksia



Kuva 2. Sadanta ja salaojavalunta (a), kokonaistypen ja nitraattityypin pitoisuudet ja salaojavaluma (b), kokonaissfosforin ja kiintoaineen pitoisuudet (c) ja liukoisen fosfaattifosforin pitoisuudet (d) Sjökullan peltoalueelta purkautuvassa salaojavedessä 17. - 26. kesäkuuta. Kylvö ja lannoitus (117 kg N ha⁻¹ ja 9 kg P ha⁻¹) tehtiin 16. toukokuuta. Kokonaissadanta oli 53 mm, salaojavalunta 12,2 mm ja pintavalunta 0,3 mm ko. ajanjaksolla. Kokonaistypen kulkeuma salaojista oli 5,1 kg ha⁻¹, kokonaissfosforin 0,12 kg ha⁻¹ ja kiintoaineen 148 kg ha⁻¹ koko ajanjaksolla.

Taulukko 2. Salaojavalunnan keskimääräinen valunnalla painotettu kokonaistypen pitoisuus ja kuorma vuodenajoittain Sjäskullan koalueella.

Vuosi	Kokonaistypen pitoisuus, mg/l			Kokonaistypen kuorma, kg/ha			
	tammi-huhti	touko-kesä	syys-joulu	tammi-huhti	touko-kesä	syys-joulu	tammi-joulu
1995	4,1	45,6	4,0	0,6	10,8	1,5	12,9
1996	7,1	7,1	5,5	1,4	1,6	5,2	8,2
1998	7,3	13,4	5,4	3,1	7,2	3,0	13,3
1999	2,9			1,6			

konaistypen pitoisuudet pysyivät yleensä alle 10 mg l⁻¹, mutta syysmuokkauksen jälkeen typpipitoisuudet nousivat ylivirtaamien aikana yli 20 mg:aan l⁻¹ (Kuva 2b).

Vuonna 1998, jolloin mittausaineisto oli edustavin ja salaoja- ja pintavaluntaa muodostui lähes yhtä paljon, salaojien osuudeksi kokonaistypen kokonaiskuormituksesta arvioitiin 65 pro-

senttia. Nitraattityypen osuus salaojien kokonaistyyppikuormasta oli korkeimmillaan (80–90 %) alkukesällä ja pienimmillään (30 %) syksyllä 1998.

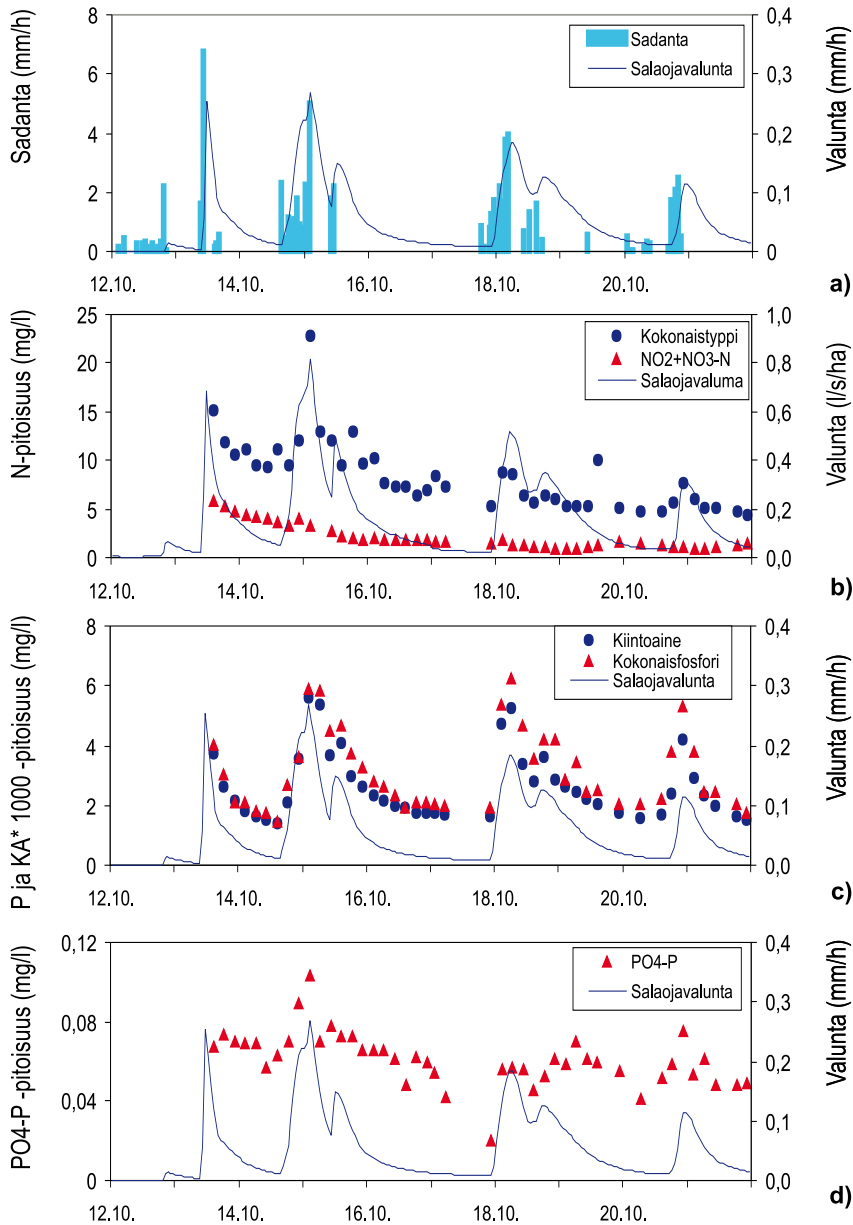
Fosforin ja kiintoaineen kulkeutuminen salaojista

Sjäskullan salaojastosta kulkeutuvaksi kiintoainemääräksi saatiin 105–1900 kg ha⁻¹ a⁻¹ vuosien 1995, 1996 ja 1998 mittauksen perusteella. Taulukko 3 osoittaa, että pitoisuudet ja kuormitukset vaihtelivat paljon vuodenajoittain. Salaojavesien kokonaisfosforikuorma oli 1,7 kg ha⁻¹ vuonna 1998, jolloin kokonaisfosforin pitoisuuksia mitattiin läpi vuoden. Valtaosa salaojavesien mukana tulleesta fosforista kulkeutui maa-ainekseen sitoutuneena, sillä vastaava liukoksen fosfaattifosforin kuorma oli vain 0,105 kg ha⁻¹.

Kiintoainetta ja partikkelimaista fosforia kulkeutui salaojista varsinkin syksyllä muokkauksen jälkeen. Tällöin ylivirtaamien aikaiset kiintoaine- ja kokonaisfosforin pitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa kuin pintavalunnasta mitatut suurimmat pitoisuudet. Uusitalon ym. (2001) tekemien Cs-137-mittauksen perusteella pääosa Sjäskullan salaojavesien maa-aineksestä oli peräisin muokkaukserroksesta.

Kuvissa 2c ja 3c on esitetty salaojavesien kiintoaine- ja kokonaisfosforipitoisuuksien vaihtelua yksittäisten valuntatapauksien aikana kesäkuussa ja lokakuussa 1998. Kesäkuussa kasvusto oli oraalla suojaten maata eroosiolta. Lokakuussa runsaat sateet alkoivat viikko kynnyksen jälkeen, minkä seurauksena maa erodoitui herkästi. Pintavaluntaa muodostui selvästi enemmän kuin salaojavaluntaa lisäten eroosiota. Liukoksen fosfaattifosforin pitoisuudet pysyivät puolestaan varsin samanlaisina näinä ajankohtina (kuvat 2d ja 3d). Syksyllä ennen muokkausta sekä talvella ja keväällä salaojavesistä mitatut kiintoaine- ja kokonaisfosforipitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa kuin alkukesällä.

Salaojavesien kiintoaine- ja fosforikuormituksen arvioitiin muodostaneen 30–40 prosenttia syksyn 1996 ja 1998 kokonaiskuormituksista. Kokonaisfosforin kuormasta salaojista tuli vajaa 40 prosenttia vuonna 1998. Tällöin liukoista fosfaattifosforia kul-



Kuva 3. Sadanta ja salaojavalunta (a), kokonaistypen ja nitraattityypen pitoisuudet ja salaojavaluma (b), kokonaisfosforin ja kiintoaineen pitoisuudet (c) ja liukoksen fosfaattifosforin pitoisuudet (d) Sjäskullan peltosalaojasta purkautuvassa salaojavedessä 12. - 22. lokakuuta. Peltosalaojasta otettiin osittain kynnnettiin ja osittain kultivoitiin 6. lokakuuta. Kokonaissadanta oli 68 mm, salaojavalunta 12,6 mm ja pintavalunta 33 mm ko. ajanjaksolla. Kokonaistypen kulkeuma salaojista oli 1,3 kg ha⁻¹, kokonaisfosforin 0,52 kg ha⁻¹ ja kiintoaineen 441 kg ha⁻¹ koko ajanjaksolla.

keutui salaojien kautta hieman enemmän kuin pintavalunnassa. Esitettyihin lukuihin sisältyy kuitenkin epävarmuutta muun muassa erilaisista näytteenotto-ohjelmista johtuen.

Runsasta kiintoaine- ja fosforikuormitusta salaojavesissä on todettu myös MTT:n Jokioisilla sijaitsevalla Kotkanojan koealueella (Turtola ym. 2007, Uusitalo ym. 2007). Uusintaajituksen jälkeen salaojien kautta kulkeutui 18–92 prosenttia vuosittaisesta kokonaisvalunnasta ja 37–94 prosenttia eroosioaineksesta, jonka mukana tuli myös valtaosa kokonaisfosforin kuormituksesta.

Veden reitti pellon pinnalta salaojaan

Sjökullan tutkimusalueella oli selviä merkkejä oikovirtauksista salaojiin, kuten oli odotettavissa aiempien savimaila tehtyjen tutkimusten perusteella. Salaojavalunnan nopea vaste sadantaan ja salaojavesien korkeat tyyppipitoisuudet heti lannoituksen jälkeen viittasivat veden nopeaan virtaukseen muokauskerroksesta syvemmälle maahan. Samoin salaojavesissä havaittu runsas maa-ainemäärä kulkeutui pääosin oikovirtausten mukana muokauskerroksesta salaojiin.

Oikovirtausten keskeinen osuus salaojavalunnan muodostumiseen tuli esille myös laskennallisesti, kun erilaisia malleja sovellettiin tutkimusalueelle (esim. Karvonen ja Paasonen-Kivekäs 2005, Hintikka ym. 2008, Warsta ym. 2008). Mitattua salaojavaluntaa pystyttiin simuloimaan vain malleilla, joissa veden virtaus makrohuokosissa ja maamatriisin pienissä huokosissa laskettiin erikseen.

Tutkimusalueella maa on selvästi tiivistynyt muokauskerroksen alapuolella sekä salaojien kohdalla että niiden välissä (Alakukku ym. 2003), joten vesi ei todennäköisesti pääse virtaamaan suoraan muokauskerroksesta kaivannon täyttömaahan kautta salaojiin. Veden virtaus tapahtuneekin pääasiassa biohuokosten (lierojen käytävät ja juurikanavat) sekä halkeamien ja kuivumisen synnyttämien pysyvien rakojen kautta. MTT:n tutkimuksen (Alakukku ym. 2003) mukaan kastelieroja, jotka kaivavat läpimitaltaan jopa 10 mm suuruisia pystysuoria on-

kaloita yli metrinkin syvyyteen, esiintyi Sjökullassa lähes yksinomaan salaojien kohdalla. Makrohuokokset näyttävät olevan suhteellisen pysyviä myös paisuneessa maassa sadannan ja salaojavalunnan lyhyen viiveen ja lähellä mitoitusvalumaa olevien ylivaluma-arvojen perusteella.

Johtopäätökset

Tutkimus osoitti, että kiintoainetta, kokonaisfosforia ja kokonaistyyppiä kulkeutui huomattavan paljon salaojien kautta pintavesiin kohtuullisen viettävällä peltoalueella. Tulokset tukevat muilla savisilla peltoalueilla tehtyjä havaintoja (esim. Seuna ja Kauppi 1981, Turtola ym. 2007, Uusitalo ym. 2007). Yksittäisiä peltoalueita koskevien kuormitustulosten yleistäminen on kuitenkin hankalaa muun muassa peltojen saviaineksen hyvinkin erilaisten kemiallisten ja fysikaalisten ominaisuuksien takia. Kiinnostavaksi kysymykseksi nouseekin, miten yleistä maa-aineksen ja siihen sitoutuneen fosforin kulkeutuminen salaojista on erityyppisillä savipelloilla.

Sjökullan tutkimusalueella kuormitusta salaojien kautta tuli varsinkin silloin, kun lannoituksen ja syysmuokkauksen jälkeen sattui runsaita sateita. Vastaava ilmiö on todettu myös muilla koealueilla. Pelloilta tulevan pintavalunnan ja sen aiheuttaman eroosion vähentäminen uusinta- tai täydennysojituksella ei välttämättä ole riittävä keino fosforikuormituksen vähentämiseksi. Salaojituksen tehostamisen lisäksi olisi muutettava maan muokkausta vähemmän kuormittavaksi ja parannettava pintamaan kestävyttä eroosiota vastaan.

Uusien salaojitusten suunnittelu- ja toteutuksessa tulee kiinnittää eniten huomiota ratkaisuihin, joilla voidaan vähentää vesistökuormitusta. Tutkimusta tarvitaan esimerkiksi siitä, missä määrin salaojien ympäristä voidaan estää savimaissa maapartikkelien ja ravinteiden kulkeutumista salaojiin. Myös säätösalojituksen käyttö ravinnekuormituksen, erityisesti typen huuhtoutumisen, vähentämiseen kaipaasi perusteellista selvitystä suomalaisissa viljelyolosuhteissa.

Taulukko 3. Salaojavalunnan keskimääräinen valunnalla painotettu kiintoaineen pitoisuus ja kuorma vuodenajoin Sjökullan koealueella.

Vuosi	Kiintoaineen pitoisuus, mg/l			Kiintoaineen kuorma, kg/ha			
	tammihuhti	touko-kesä	syys-joulu	tammihuhti	touko-kesä	syys-joulu	tammijoulu
1995	116	203	106	18	48	39	105
1996	573	642	1750	114	140	1649	1903
1998	365	856	1664	153	461	937	1551
1999	269			154			

Kirjallisuus

- Alakukku, L., Nuutinen, V., Koivusalo, H., Paasonen-Kivekäs, M. 2003. Macroporosity of three arable clays in relation to subdrain location. Proceedings of the 16th Triennial Congress (July 2003) of the International Soil Tillage Research Organisation (ISTRO), Brisbane, Australia. 6 pp.
- Hintikka, S., Koivusalo, H., Paasonen-Kivekäs, M., Nuutinen, V., Alakukku, L. 2008. Role of macroporosity in runoff generation on a sloping subsurface drained clay field – a case study with MACRO model. *Hydrology Research* 38, 2: 143–155.
- Jarvis, N. 2007. A review of non-equilibrium water flow and solute transport in soil macropores: principles, controlling factors and consequences for water quality. *European Journal of Soil Science* 58: 523–546.
- Karvonen, T., Paasonen-Kivekäs, M. 2005. Valunnan muodostuminen makrohuokosissa salaojitetussa maassa. Helsingin yliopisto. Pro Terra No. 22: 126–128.
- Seuna, P., Kauppi, L. 1981. Influence of sub-drainage on water quantity and quality in a cultivated area in Finland. *Vesihallitus, Vesitutkimuslaitoksen julkaisuja* 43: 32–47.
- Turtola, E., Alakukku, L., Uusitalo, R., 2007. Surface runoff, subsurface drainflow and soil erosion as affected by tillage in a clayey Finnish soil. *Agricultural and Food Science*, 16: 332–351.
- Uusitalo, R., Turtola, E., Kauppi, T., Lilja, T. 2001. Particulate phosphorus and sediment in surface runoff and drainflow from clayey soils. *Journal of Environmental Quality* 30: 589–595.
- Uusitalo, R., Turtola, E., Lemola, R. 2007. Phosphorus losses from a subdrained clayey soil as affected by cultivation practices. *Agricultural and Food Science*, 16: 332–351.
- Warsta, L., Paasonen-Kivekäs, M., Karvonen, T. 2008. Modelling runoff at an agricultural field. Proceedings of the 10th International Drainage Workshop of ICID Working Group on Drainage. Teknillisen korkeakoulun vesitalouden ja vesirakennuksen julkaisuja 16. TTK-VTR-16: 209–217. ♦