

**TEKNILLINEN KORKEAKOULU
RAKENNUS- JA YMPÄRISTÖTEKNIIKAN OSASTO**

Hanne Friman

**MAAPERÄN VESITALOUDEN SÄÄDÖN
VAIKUTUS RAVINNEHUUHTOUMIIN
JA SATOON PELTOALUEILLA**

**Diplomityö, joka on tehty opinnäytteeksi
Teknillisen korkeakoulun rakennus- ja
ympäristötekniikan osastolla professori
Tuomo Karvosen valvonnassa vuosina
2002-2003.**

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Teknillisen korkeakoulun vesitalouden laboratoriolle professori Tuomo Karvosen valvonnassa. Ohjaajana toimi Rauno Peltomaa Salaojakeskuksesta. Rahoittajana tutkimuksessa oli Teknillisen korkeakoulun tukisäätiö.

Erityiset kiitokset työn valmistumisesta kuuluvat professori Tuomo Karvoselle hänen korvaamattomasta avustaan ja neuvoistaan tutkimuksen eri vaiheissa.

Lisäksi haluan kiittää kaikkia perheeni jäseniä tuesta koko opiskeluaikanani. Lopuksi vielä suuri kiitos Lenille, joka on tuonut suurta iloa tämän diplomityöntekijän elämään.

Helsingissä 5.5.2003



Hanne Friman

Tekijä ja työn nimi: Hanne Friman

Maaperän vesitalouden säädön vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen ja satoon peltoalueilla.

Päivämäärä: 14.05.2003**Sivumäärä:** 79**Osasto:** Rakennus- ja ympäristötekniikka**Professuuri:** Vesitalous ja vesirakennus**Työn valvoja:** Professori Tuomo Karvonen**Työn ohjaaja:** MMK Rauno Peltomaa, Salaojakeskus**Avainsanat:** Typpi, fosfori, huuhtoutuminen, sato, mallintaminen, vesitalouden säätö

Tämän työn tavoitteena on ollut tarkastella laskennallisesti vesitaloudellisen säädön vaikutusta peltoalueiden ravinnehuuhtoumiin ja satoon. Sadon ja typen huuhtoumien osalta laskelmat on tehty CROPWATN -mallilla. Määritettäessä maaprofiilille fosforin huuhtoumaa, on se tässä työssä laskettu mallista saatavien salaojavalunnan ja pintavalunnan arvojen perusteella. Mallilla on laskettu tuloksia eri säätövaihtoehdoille (tavallinen salaojitus, säätösalojitus ja pohjavesikastelu), eri maalajeille (hieta, hiesu ja savi), eri viljakasveille (ohra ja peruna), eri laskennallisille sääalueille (4 sääaluetta) ja eri ojaväleille (7, 10, 14, 18, 28 ja 42 m) sekä eri ojasvyvyksille (80, 90, 100, 110, 120 ja 130 cm).

Laskelmien perusteella tyyppiä huuhtoutuu salaojien kautta hietamaalla (ohra, ojaväli 18-28 m) 22-31 kg/ha/v, hiesumaalla (ojaväli 14-18 m) 10-13 kg/ha/v ja savimaalla (ojaväli 14 m) 5-7 kg/ha/v. Huuhtouma kasvaa hieman siirryttäessä etelästä pohjoiseen. Tarkasteltaessa typen huuhtoumaa eri säätövaihtoehtojen välillä havaittiin, että säätötoimenpiteillä on eniten vaikutusta typen huuhtouman vähenemiseen silloin kun kyseessä on hieta- tai hiesumaa (8-10%/säätövaihtoehto) sekä pienet ojavälit. Ojasvyvyyden havaittiin vaikuttavan typpihuhtoumaan eniten silloin kun kyseessä on tavallinen salaojitus. Tällöin typpihuhtouma väheni hietamaalla noin 26 % (ojaväli 18 m), hiesumaalla (ojaväli 14-18 m) noin 35% ja savimaalla (ojaväli 14 m) noin 41 % . Säätösalojituksen tai pohjavesikastelun typpihuhtoumiin ojasvyvydellä ei havaittu olevan huomattavaa vaikutusta. Tulosten mukaan ohralla typen huuhtouma jäi hiukan korkeammaksi kuin perunalla.

Fosforin huuhtoumaksi saatiin hietamailta (ojaväli 18 m) noin 1,5 kg/ha/v, hiesumailta (ojaväli 14-18 m) noin 1,5-3 kg/ha/v ja savimailta (ojaväli 14 m) 3-4,5 kg/ha/v. Tuloksien perusteella viljakasvilla ei näyttäisi olevan olennaista vaikutusta fosforin huuhtoumaan. Hietamaalla (ojaväli 18 m) vaihtelua eri sääalueiden välillä esiintyi suurimmillaan noin 0,5 kg/ha/v ja sekä hiesu- (ojaväli 14-18 m) että savimaalla (ojaväli 14 m) noin 1 kg/ha/v. Fosforin huuhtouma hietamaalla väheni siirryttäessä tavallisesta salaojituksesta säätöojitukseen (3%) tai pohjavesikasteluun (5%). Hiesu- ja savimailla puolestaan säätöojitukseen tai pohjavesikasteluun siirtyminen lisäsi fosforin huuhtoumaa. Tällöin fosforin huuhtouma lisääntyi tulosten mukaan hiesumaalla 3-4% ja savimaalla 6-8%.

Sadon osalta tulokset osoittivat, että hietamaa soveltuu parhaiten niin ohran kuin perunan viljelyyn edellyttäen että kosteusolot ovat hyvät. Ohran sato (tavallinen salaojitus) kasvoi noin 45 % ja perunan noin 38 % siirryttäessä alueelta 4 alueelle 1 riippumatta maalajista. Siirryttäessä hietamaalla (ojaväli 18 m) tavallisesta salaojituksesta säätösalojitukseen ohran sato suurenee noin 2 % (70 kg/ha/v) ja perunan noin 1 % (160 kg/ha/v). Jos vastaavasti siirryttiin tavallisesta salaojituksesta pohjavesikasteluun, saatiin ohralle noin 5 % (190 kg/ha/v) parempi sato ja perunalle noin 3 % (370 kg/ha/v). Tämä pätee ilmastoalueella 1. Sääalueilla 2-3 hietamaalla säätövaihtoehto vaikutti satoon yhä positiivisesti, mutta ei niin paljon kuin alueella 1. Sääalueella 4 säätövaihtoehto ei vaikuttanut millään maalajilla satoon. Hiesumaalla (ojaväli 14-18 m) salaojituksen muuttaminen säätösalojitukseen tai pohjavesikasteluun ei vaikuta satoon sitä lisäävästi, vaan jopa huonontaa sitä. Lisäksi voitiin havaita, että savimaalla säätösalojitus tai pohjavesikastelu ei toimi; vaikutusta satoon ei ole.

Tarkasteltaessa ojavälin vaikutusta (hieta, alue 1), todettiin, että ojaväliä kasvattamalla (esimerkiksi 18 metristä 28:aan metriin) sillä on satoa lisäävä (2%) sekä typen huuhtoumaa (20%) vähentävä vaikutus. Lisäksi ojaväli ei vaikuta huomattavasti fosforin huuhtoumaan, muutoin kuin erittäin suurilla ojaväleillä. Optimiojavälin määrittäminen kullekin maalajille, säätövaihtoehdolle, sääalueelle ja viljakasville ottaen huomioon sadon määrän sekä ympäristönäkökohdat edellyttäisi kustannus-hyötyanalyysin tekemistä, jossa määritettäisiin ympäristöhyödyille (typen ja fosforin huuhtouman väheneminen) euromääräinen arvo.

Author and name of the thesis: Hanne Friman

Influence of soil water management on crop yield and nutrient leaching from agricultural fields.

Date: 14.05.2003**Number of pages:** 79**Department:** Civil and Environmental Engineering**Professorship:** Water Resources**Supervisor:** Prof. Tuomo Karvonen**Instructor:** M.Sc. Rauno Peltomaa, Finnish Field Drainage Center**Key words:** Nitrogen, phosphorus, leaching, yield, modeling, soil water management

The goal of this thesis has been to examine the effect of soil water management on crop yield and leaching of nutrients. The calculations for the crop and nitrogen were made using the CROPWATN model. The amount of leached phosphorus for a particular type of land was determined in this work using the values for drainage- and surface runoff in the model. The model has been used to calculate results for different kind of water management options (conventional drainage, controlled drainage and subirrigation), different types of land (fine sand, silt/loam and clay), different plants (barley and potato) and different distances between the drainage pipes (7, 10, 14, 18, 28 and 42 m) and finally different depth of drainage pipes (80, 90, 100, 110, 120 and 130 cm).

According to the calculations nitrogen is leached in fine sand (barley, drainage distance 18-28 m) 22-31 kg/ha/a, in silt/loam (drainage distance 14-18 m) 10-13 kg/ha/a and in clay (drainage distance 14 m) 5-7 kg/ha/a. The amounts leached increase slightly when moving from south to north. When examining the amounts of nitrogen being leached in different water control options it was noticed that control measures had most influence in decreasing the amount of leached nitrogen in fine sand and silt/loam (8-10%/control option) and at short distances between drainages. The depth of the drains was found to have its biggest effect to the amount of leached nitrogen when using conventional drainage. Then the amount of leached nitrogen decreased in fine sand approximately 26% (drainage distance 18 m), in silt/loam (drainage distance 14-18 m) approximately 35% and in clay (drainage distance 14 m) approximately 41%. The depth of the drains was not found to significantly affect the amount of leached nitrogen when controlled drainage or subirrigation was used. According to the results the amount of leached nitrogen was slightly higher for barley than for potato.

The amount of leached phosphorus was for fine sand (drainage distance 18 m) approximately 1,5 kg/ha/a, for silt/loam (drainage distance 14-18 m) approximately 1,5-3 kg/ha/a and for clay (drainage distance 14 m) 3-4,5 kg/ha/a. Based on the results the plant does not seem to have an essential effect in the amount of phosphorus being leached. In fine sand (drainage distance 18 m) variation between different kinds of climates was at most 0,5 kg/ha/a and in both silt/loam (drainage distance 14-18 m) and clay (drainage distance 14 m) approximately 1 kg/ha/a. The amount of phosphorus being leached in fine sand decreased when changing from conventional drainage to controlled drainage (3%) or to subirrigation (5%). In silt/loam and clay changing to controlled drainage or to subirrigation increased the amount of phosphorus being leached. Then the amount of phosphorus being leached increased according to the results in silt/loam 3-4% and in clay 6-8%.

On the crops part the results show that fine sand is best suited for growing both barley and potato assuming that the soil moisture conditions are good. The crop for barley (subsurface drainage) increased approximately 45% and for potato approximately 38% when moving from region 4 to region 1 regardless of the type of land. In fine sand (drainage distance 18 m) when changing from conventional drainage to controlled drainage the crop of barley increases approximately 2% (70 kg/ha/a) and the crop of potato increases approximately 1% (160 kg/ha/a). If respectively changing from conventional drainage to subirrigation the crop for barley was approximately 5% (190 kg/ha/a) better and for potato approximately 3% (370 kg/ha/a). This applies to climate region 1. For climate region 2-3 in fine sand water control option had an equally positive effect on the crop but not as much as in climate region 1. In climate region 4 water control option did not affect the crop in any type of soil. In silt/loam (drainage distance 14-18 m) changing conventional drainage to controlled drainage or to subirrigation does not affect the crop by increasing it but even making it worse. In addition it was noticed that in clay controlled drainage or subirrigation does not work; it does not affect the crop.

When examining the effect of the drain spacing (fine sand, region 1) it was noticed that increasing the distance between the drains (for example from 18 meters to 28 meters) increases the amount of crop (2%) and decreases the amount of nitrogen being leached (20%). In addition, increase in the distance of the drain spacing does not significantly affect the amount of phosphorus being leached except when using very big distances between the drains. Determining the optimal distance between the drains for each type of land, water control alternative, climate region and plant taking into account the amount of crop and environmental aspects would require a cost-benefit analysis which would define monetary values for environmental benefits (decreased amounts of nitrogen and phosphorus being leached).

Taulukko 2.1 Eri maalajien osuus Suomen peltojen pohjamaista (Kähäri ym.1987)	10
Taulukko 2.2 Hydrologinen kierto Suomessa (J. Saavalainen, Salaojittaja käsikirja, osa 1B, 1983)	17
Taulukko 3.1 Laskentamallissa käytetyt sadanta-arvot sääalueittain	20
Taulukko 3.2 Laskelmissa käytetyt nettomineralisaatio-, nitrifikaatio- ja denitrifikaatiomallien parametrien arvot optimiolosuhteissa.	26
Taulukko 4.1 Todellinen ja potentiaalinen haihdunta eri sääalueilla.	28
Kuva 2.1 Ihmistoiminnan aiheuttama ravinnekuormitus vesistöihin.	2
Kuvat 3.1-3.2 Laskelmissa käytetyt pinta- ja pohjamaan pF-käyrät.	22-23
Kuvat 3.3-3.4 Laskelmissa käytetyt pinta- ja pohjamaan vedenläpäisevyyden (cm/d) arvot maankosteuspitoisuuden funktiona eri maalajeille.	23-24
Kuva 3.5 Mallissa käytetty funktio, jolla lasketaan todellisen haihdunnan E_{act} ja potentiaalisen haihdunnan PET suhde juuristokerroksen maavesipotentiaalın funktiona.	25
Kuva 3.6 CROPWATN-mallin tyypitaseen komponentit.	25
Kuva 3.7 CROPWATN-mallissa käytetyt funktiot, joilla otetaan huomioon maan suhteellisen kosteuden ($S=(\theta-\theta_R)/(\theta_S-\theta_R)$) vaikutus nitrifikaation ja denitrifikaation suhteelliseen nopeuteen (0..1).	26
Kuvat 4.2-4.4 Todellisen ja potentiaalisen haihdunnan suhde hiedalla, hiesulla ja savella. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Sääalueet 1-4.	28-29
Kuvat 4.5-4.7 Keskimääräinen salaojavalunta hiedalla, hiesulla ja savella. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Sääalueet 1-4.	30-31
Kuvat 4.8-4.10 Keskimääräinen pintavalunta hiedalla, hiesulla ja savella. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Sääalueet 1-4.	31-32
Kuva 4.11 Keskimääräinen salaojavalunta eri maalajeilla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Sääalue 1.	34
Kuva 4.12 Keskimääräinen typen huuhtouma salaojien kautta eri maalajeilla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Sääalue 1.	34
Kuvat 4.13-4.15 Typen huuhtouma salaojien kautta hieta-, hiesu-, ja savimailla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Sääalueet 1-4.	36-37
Kuva 4.16-4.18 Typen huuhtouma salaojien kautta viljakasvista riippuen. Maalaji hieta, hiesu ja savi. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvit ohra (O) ja peruna (P). Sääalue 1.	38-39
Kuvat 4.19-4.21 Typen huuhtouma salaojien kautta eri sääalueilla. Maalaji hieta, hiesu ja savi. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi peruna. Sääalueet 1-4.	40-41
Kuvat 4.22-4.25 Typen huuhtouma salaojien kautta eri säätövaihtoehdoilla. Maalaji hieta. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Sääalue 1-4.	42-44
Kuvat 4.26-4.29 Typen huuhtouma salaojien kautta eri säätövaihtoehdoilla. Maalaji hiesu. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Sääalue 1-4.	44-46
Kuvat 4.30-4.33 Typen huuhtouma salaojien kautta eri säätövaihtoehdoilla. Maalaji savi. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Sääalue 1-4.	46-48
Kuvat 4.34-4.36 Typen suhteellinen huuhtouma salaojien kautta eri ojasyvyyksillä. Maalaji hieta. Tavallinen salaojitus, säätösalojitus ja pohjavesikastelu. Viljakasvi ohra. Sääalue 1.	48-49

Kuvat 4.37-4.39 Typen suhteellinen huuhtouma salaojien kautta eri ojasyvyyksillä. Maalaji hiesu. Tavallinen salaojitus, säätösalojitus ja pohjavesikastelu. Viljakasvi ohra. Säälue 1. _____	50-51
Kuvat 4.40-4.42 Typen suhteellinen huuhtouma salaojien kautta eri ojasyvyyksillä. Maalaji savi. Tavallinen salaojitussäätösalojitus ja pohjavesikastelu. Viljakasvi ohra. Säälue 1. _____	51-52
Kuva 4.43 Pintavalunta eri maalajeilla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 1. _____	53
Kuva 4.44 Fosforin huuhtouma eri maalajeilla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 1. _____	54
Kuva 4.45 Fosforin huuhtouma eri maalajeilla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 2. _____	55
Kuva 4.46 Typen huuhtouma eri maalajeilla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 2. _____	55
Kuvat 4.47-4.49 Fosforin huuhtouma hieta-, hiesu-, ja savimailla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälueet 1-4. _____	56-57
Kuvat 4.50-4.52 Fosforin huuhtouma viljakasvista riippuen. Maalaji hieta, hiesu ja savi. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Säälue 1. Viljakasvit ohra (O) ja peruna (P). _____	57-58
Kuvat 4.53-4.55 Fosforin huuhtouma eri säälueilla. Maalaji hieta, hiesu ja savi. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi peruna. Säälueet 1-4. _____	59-60
Kuvat 4.56-4.58 Fosforin huuhtouma eri säätövaihtoehtoilla. Maalaji hieta, hiesu ja savi. Ojasyvyys 100 cm. Säälue 1. Viljakasvi ohra. _____	61-62
Kuva 4.59 Sato eri maalajeilla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 1. _____	63
Kuva 4.60 Sato eri maalajeilla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi peruna. Säälue 1. _____	63
Kuvat 4.61, 4.63-4.65 Sato eri säätövaihtoehtoilla. Maalaji hieta. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 1-4. _____	64-66
Kuva 4.62 Sato eri säätövaihtoehtoilla. Maalaji hieta. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi peruna. Säälue 1. _____	65
Kuvat 4.66, 2.68-4.70 Sato eri säätövaihtoehtoilla. Maalaji hiesu. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 1-4. _____	67-69
Kuva 4.67 Sato eri säätövaihtoehtoilla. Maalaji hiesu. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi peruna. Säälue 1. _____	69
Kuvat 4.71, 4.73-4.75 Sato eri säätövaihtoehtoilla. Maalaji savi. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 1-4. _____	69-71
Kuva 4.72 Sato eri säätövaihtoehtoilla. Maalaji savi. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi peruna. Säälue 1. _____	70

Sisällysluettelo	Sivu
ALKUSANAT	I
TIIVISTELMÄ	II
ABSTRACT	III
TAULUKKO- JA KUVALUETTELO	IV
1. JOHDANTO	1
2. KIRJALLISUUSTUTKIMUS	
2.1 Yleistä	
2.1.1 Maatalouden aiheuttama ravinnekuormitus	2
2.1.2 Vesiensuojelun keinot	4
2.2 Pellon vesitalouden säätö	
2.2.1 Salaojitus	5
2.2.2 Säätosalaojitus	5
2.2.3 Pohjavesikastelu ja valumaveden kierrätys	5
2.3 Ravinteet	
2.3.1 Typpi	6
2.3.1.1 Nitrifikaatio	6
2.3.1.2 Denitrifikaatio	7
2.3.1.3 Mineralisaatio ja immobilisaatio	7
2.3.2 Fosfori	8
2.4 Ojituksen vaikutus ravinnehuuhtoumiin	
2.4.1 Toimenpiteitä haittojen ehkäisemiseksi	8
2.4.2 Typpi	8
2.4.3 Fosfori	9
2.5 Ojituksen valinta	
2.5.1 Säätojituksen käyttöedellytykset	10
2.5.2 Pohjavesikastelun käyttöedellytykset	10
2.6 Kustannukset ja hyödyt	
2.6.1 Tukijärjestelmä	11
2.6.2 Hyödyt	12

2.6.3 Kustannukset	14
2.6.4 Laskenta	15
2.6.5 Kannattavuus	16
2.7 Salaojituksen mitoitusvaluma	17
2.8 Hydrologinen kierto	
2.8.1 Yleistä	17
2.8.2 Sadanta	18
2.8.3 Valunta	18
2.8.4 Haihdunta	19
3. LASKENTAMALLIN KÄYTTÖ	
3.1 CROPWATN:n toiminta	
3.1.1 Mallin kuvaus, aineisto ja menetelmät	20
3.1.2 Vesitasemallin komponentit	22
3.1.3 Typpitasemallin komponentit	25
4. TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU	
4.1 Vesitaseosan tulokset	
4.1.1 Haihdunta	27
4.1.2 Valunta	29
4.1.2.1 Salaojavalunta	29
4.1.2.2 Pintavalunta	31
4.2 Typpiosan tulokset	
4.2.1 Yleistä typen huuhtouman laskemisesta käytetyssä laskentamallissa	32
4.2.2 Maalajin vaikutus typen huuhtoumaan	34
4.2.2.1 Typen huuhtouman vaihtelu	35
4.2.2.2 Typen huuhtouma hietamailla	35
4.2.2.3 Typen huuhtouma hiesumailla	36
4.2.2.4 Typen huuhtouma saviamailla	37
4.2.3 Typen huuhtouma viljakasvista riippuen	37
4.2.4 Sääalueen vaikutus typen huuhtoumaan	39
4.2.5 Säätoivoitehdon vaikutus typen huuhtoumaan	41
4.2.5.1 Säätoimenpiteistä aiheutuva typen huuhtouman väheneminen	42
4.2.6 Ojasyvyyden vaikutus typen huuhtoumaan	48

4.3 Fosforiosan tulokset	
4.3.1 Yleistä fosforin huuhtouman laskemisesta käytetyssä laskentamallissa	52
4.3.2 Fosforin ja typen suhde laskentamallissa	54
4.3.3 Maalajin vaikutus fosforin huuhtoumaan	55
4.3.4 Viljakasvin vaikutus fosforin huuhtoumaan	57
4.3.5 Sääalueen vaikutus fosforin huuhtoumaan	58
4.3.6 Säätvaihtoehdon vaikutus fosforin huuhtoumaan	60
4.4 Sato-osan tulokset	
4.4.1 Yleistä sadon laskemisesta käytetyssä laskentamallissa	62
4.4.2 Maalajin vaikutus satoon	62
4.4.3 Sääalueen vaikutus satoon	63
4.4.4 Säätvaihtoehdon vaikutus satoon	64
5. JOHTOPÄÄTÖKSIÄ	72
6. YHTEENVETO	
6.1 Työn tavoitteet, menetelmät ja aineisto	74
6.2 Yhteenveto tuloksista	
6.2.1 Typpiosan tulokset	74
6.2.2 Fosforiosan tulokset	76
6.2.3 Sato-osan tulokset	77
6.2.4 Ojavälin vaikutus esimerkkitaipauksessa	78
LÄHDELUETTELO	79

1. JOHDANTO

Suomen maatalous on viime vuosikymmeninä kokenut suuren ja yhä jatkuvan rakennemuutoksen. Merkittävin maatalouden toimintaedellytyksiin viime vuosina vaikuttanut tekijä on ollut Suomen liittyminen Euroopan unioniin. Suomalaisilla maataloilla on kiinnitettävä kasvavaa huomiota paitsi tuottavuuteen myös tuotannon ja tuotteiden laatuun, ympäristönäkökohtiin sekä puhtauteen, joiden merkitys kilpailutekijöinä on jatkuvasti kasvamassa.

Maataloudesta tuleva typpi- ja fosforikuormitus muodostavat nykyään valtaosan vesistöjen ravinnekuormituksesta. Vesiensuojelun tavoiteohjelman mukaan kaikkien kuormittajien on vähennettävä päästöjään. Tämä merkitsee sitä, että peltoviljelystä tulevaa typpikuormitusta on vähennettävä noin 40 prosenttia ja fosforikuormitusta noin 45 prosenttia 1990-luvun alkupuolen tasosta.

Yli puolet Suomen salaojituksista on tehty 1970- ja 80-luvuilla. Salaojituksella tähdättiin kuitenkin vielä tuolloin ennen kaikkea pellon kuivatustilan parantamiseen. Tavallisen salaojituksen lisäksi nykyään rakennetaan myös säätösaliaojituksia ja pohjavesikastelujärjestelmiä. Näin kuivatustavoitteiden ohella voidaan nykyään ottaa huomioon myös ympäristönäkökohdat sekä keskikesän kastelutarve. Ympäristön kannalta onnistuneet ratkaisut ovat myös taloudellisesti kestäviä, kun kuivatusvesiin liuenneet ravinteet saadaan paremmin kasvien hyväksikäytettäväksi.

EU:iin liittymisen myötä maatalouden uudeksi tukielementiksi on muodostunut ympäristötuki ja sen erityistuki, jonka yhtenä tavoitteena on pelloilta valuvan ravinnekuormituksen vähentäminen. Tämä on osaltaan lisännyt myös salaojituksen rahoitustukea. Erityistuen avulla tuettavia toimenpiteitä ovat säätösaliaojitus, pohjavesikastelu ja kuivatusvesien kierrätys.

Asianmukainen salaojituksen ylläpito ja salaojustoiminnan kehittäminen ovat tulevaisuudessakin sekä peltoviljelyn kannattavuuden että vesiensuojelun kannalta tärkeää. Tämän työn tavoitteena on ollut tarkastella laskennallisesti pellon vesitaloudellisen säädön vaikutusta niin satoon kuin ravinnehuuhtoumiinkin. Laskelmat on tehty käyttäen apuna Cropwatn-mallia. Mallilla on laskettu tuloksia eri säätövaihtoehdoille, maalajeille, viljakasveille, laskennallisille sääalueille ja eri ojaväleille sekä -syvyyksille.

Ympäristönäkökohtien tullessa yhä tärkeämmiksi, maatalouden kestävästä kehityksestä ei voi arvioida pelkästään sadon tuottavuuden kannalta. Ympäristöhyötyä on kuitenkin erittäin vaikea arvottaa rahassa. Edellisestä johtuen kustannus-hyötyanalyysiä eri ojitusvaihtoehdoille ei ole tässä työssä tehty, vaan on keskitytty tarkastelemaan

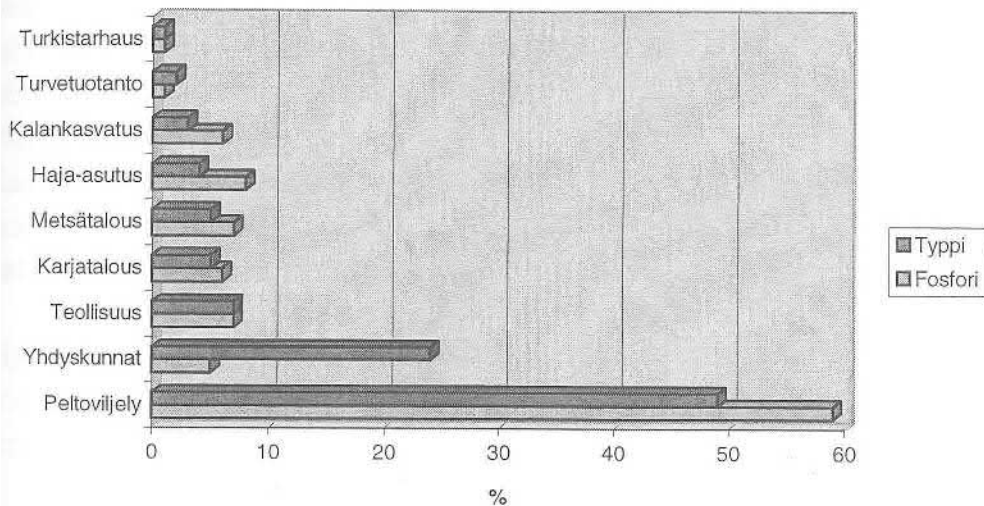
typpi- ja fosforihuuhtoumien sekä sadon määrien muutoksia eri ojitusvaihtoehtojen mukaan.

2. KIRJALLISUUSTUTKIMUS

2.1 Yleistä

2.1.1 Maatalouden aiheuttama ravinnekuormitus

Maataloudesta tuleva typpi- ja fosforikuormitus muodostavat nykyään valtaosan vesistöjen ravinnekuormituksesta (kuva 2.1). Typpikuormituksesta Suomen sisävesiin ja Itämereen noin 50 % aiheuttaa maatalous. Fosforilla maatalouden osuus on noin 60 %. Peltoalueilta tulevat huuhtoutumat muodostavat noin 90 % maatalouden kokonaiskuormituksesta.



Kuva 2.1 Ihmistoiminnan aiheuttama ravinnekuormitus vesistöihin.

Vesiensuojelun tavoiteohjelman (Ympäristöministeriö) mukaan kaikkien kuormittajien on vähennettävä päästöjään. Tämä merkitsee sitä, että peltoviljelystä tulevaa typpikuormitusta on vähennettävä noin 40 prosenttia ja fosforikuormitusta noin 45 prosenttia 1990-luvun alkupuolen tasosta.

Kuormitus vesiin on 1990-luvun loppupuolella vähentynyt. Vähentyminen on kuitenkin ollut hitaampaa kuin valtioneuvoston hyväksymän vesiensuojelun vuoteen 2005 ulottuvassa tavoiteohjelmassa edellytetään. Parhaiten on onnistuttu pistemäisistä

lähteistä kuten teollisuudesta ja yhdyskunnista peräisin olevan kuormituksen vähentämisessä. Sen sijaan hajakuormitus on vähentynyt pistekuormitusta hitaammin

eikä tavoitteita saavuteta ilman suojelutoimien tehostamista. Väliarvioinnin tulosten perusteella ympäristöministeriö tarkistaa vuonna 2000 hyväksyttyä vesiensuojelun toimenpideohjelmaa yhdessä toiminnanharjoittajien kanssa.

Valtioneuvoston päätöksen vuoteen 2005 ulottuvien vesiensuojelun tavoitteiden päätarkoitus on rehevöitymisen vähentäminen ja ehkäiseminen. Tavoitteena on, että Itämeren ja sisämaan pintavesien tila ei enää huonone ihmisen toimien seurauksena ja että haitallisesti muuttuneiden vesien tila paranee.

Suomen ympäristökeskuksen tekemä väliarviointi kuvaa eri toimialojen päästöjen kehitystä vuoteen 2000 mennessä suhteessa valtakunnallisiin suojelutavoitteisiin sekä ennakoi tavoitteiden toteutumista. Arvioinnissa on tarkasteltu typpi- ja fosforikuormitusta sekä orgaanisen aineen, kromin, kuparin, sinkin, nikkelin ja hiilivetyjen pääsyä vesiin.

Suurin osa vesien fosfori- ja typpikuormituksesta tulee peltoviljelystä. Peltoviljelyn aiheuttamaa kuormitusta on seurattu maatalousvaltaisilta valuma-alueilta tehtyjen mittausten ja huuhtoumamallien avulla. Seurannassa ei havaittu ravinnepäästöjen vähentyneen sen enempää pienten kuin suurtenkaan jokien valuma-alueilla. Saaristomereen laskevissa joissa sekä fosfori- että typpikuormitus oli pikemminkin nousussa kuin laskussa. Viime vuosina lisääntyneet huuhtoumat selittyvät pääosin sateiden lisääntymisestä.

Huuhtoumamallit osoittivat nitraattitypen ja eroosiofosforin päästöjen vähentyneen jonkin verran (nitraattityppi 4-15 %, eroosiofosfori 5-13 %) ja liuenneen fosforin kuormituksen säilyneen lähes ennallaan.

Maatalouden ympäristötuki on muuttanut viljelykäytäntöjä ympäristöjen kannalta parempaan suuntaan. (Suomen ympäristökeskus, Vesiensuojelun tavoiteohjelma 2005, väliarviointi 2000)

Maatalouden ympäristöohjelmassa taloudellista ohjausta käytetään tukien ja niiden ehdollistamisen muodossa. Ympäristötuen perustuen saaminen edellyyttää mm. tilakohtaisen ympäristöhoito-ohjelman laatimista, lannoitteiden käytön pysymistä sallituissa rajoissa sekä pakollisten suojakaistojen ja pientareiden perustamista vesistöihin, puroihin ja valtaojiin rajoittuville pelloille. Ympäristötukijärjestelmän periaatteena on, että viljelijälle maksetaan tukea ympäristönsuojelu-toimista aiheutuvista kustannuksista mutta kuormituksen vähentämiseen maatalouden ympäristöohjelma ei tämän enempää kannusta. Nykyisillä perustukeen kuuluvilla toimenpiteillä ei hyvää vesiensuojelun tasoa vielä saavuteta. Useilla maatalouden ympäristötuen erityistukimuodoilla pyritään nimenomaan vähentämään maatalouden vesistöhaittoja.

Peltopinta-ala on Suomessa paljolti sijoittunut vähäjärviselle rannikkovyöhykkeelle, jolloin suuri osa peltojen valumavesien ravinnekuormasta kulkeutuu jokien mukana rannikkovesiin. Pitkänen (1987) on arvioinut 70 % maatalouden ravinnekuormituksesta päätyvän joko suoraan lähivaluma-alueelta tai välillisesti jokien mukana rannikkoalueelle.

Ravinnekuormitus kiihdyttää kasviplanktonin tuotantoa vesistössä, mikä johtaa aikaa myöten rehevöitymiseen. Rehevöitymistä voidaan parhaiten rajoittaa vähentämällä sitä ravinnetta, joka on kriittinen levien lisääntymiselle. Useimmiten tämä ravinne on fosfori. Typen merkitys ei ole niin yksikäsitteinen, vaan se vaihtelee vesistökohtaisesti. Typpikuormituksen pienentäminen vähentää tiettyjä levälajeja, mutta saattaa aiheuttaa sinilevien lisääntymistä varsinkin rehevöityneillä vesialueilla. Tärkeää on vähentää fosforin ja typen kuormitusta samanaikaisesti.

2.1.2 Vesiensuojelun keinot

Maatalouden vesiensuojelun keinot voidaan jakaa kolmeen ryhmään (Rouhtula 1996). Ensisijaisin ovat toimenpiteet, jotka vaikuttavat lannoitteiden ja lannan käyttöön, muokkausmenetelmiin ja kasvipeitteisyyteen. Seuraavana tavoitteena on pysäyttää jo liikkeelle päässeitä ravinteita ennen niiden vesistöön pääsyä. Näitä keinoja ovat mm. säätösalaajitus, suojakaistat, suojavyöhykkeet, laskeutusaltaat sekä valumaveden kierrätys. Kolmantena keinona on jo tapahtuneen kuormituksen korjaaminen, esimerkiksi järven tai joen kunnostus tai itse veden puhdistaminen. Kolmannen ryhmän toimenpiteitä ei ole helppo tai välttämättä mahdollistakaan toteuttaa.

Peltoviljelyssä ravinteiden huuhtoutumiseen vaikuttavat tärkeimmät tekijät ovat sadanta, maalaji, viljelyskasvi, ojitus ja viljelytoimenpiteet sisältäen lannoituksen. Ojitus vaikuttaa paitsi veden kulkeutumisreitteihin ja maan kosteuteen, myös maan happipitoisuuteen ja lämpötilaan, jotka puolestaan säätelevät biologisia ja kemiallisia reaktioita.

Aikaisempien tutkimusten perusteella tiedetään, että pellon vesitalouden säädöllä on mahdollista vaikuttaa ravinnehuuhtoutumiin. Mallilaskelmien perusteella säätösalaajitus vähensi vuotuista typpikuormitusta 3-13 %, mutta sateisina vuosina se jopa lisäsi huuhtoutumia tietyissä säätövaihtoehdoissa. Säädöllä näyttäisikin olevan vaikutusta ennen kaikkea kuormituksen ajankohtaan, sillä padotus vähensi tai esti kokonaan kesäaikaiset huuhtoutumat. Lannoituksen jälkeiset rankkasateet voivat kuitenkin aiheuttaa huomattavia kuormituspiikkejä, koska valumavesien pitoisuudet nousevat moninkertaisiksi kevään ja syksyn arvoihin verrattuna. (Paasonen-Kivekäs, Karvonen, Vakkilainen 2000).

Säätömenetelmien vaikutukset fosforikuormitukseen ovat epäselvät. Padotettaessa pohjaveden pintaa on mahdollista, että pintavalunta ja siten kiintoaineen kulkeutuminen lisääntyy, mikä puolestaan lisää fosforin huuhtoutumista. Toisaalta Peltovuoren (2000) mukaan padotuksella voidaan edistää fosforin pidättymistä pohjamaahan ja siten pienentää salaojien kautta tulevaa fosforikuormitusta.

Valumaveden määrällä on suuri merkitys peltoalueelta tulevaan ravinnekuormitukseen. Suurin osa kuormituksesta syntyy yleensä keväällä ja syksyllä valunnan ollessa suurimmillaan. Salaojituksen on todettu pienentäneen fosforikuormitusta, mutta savimailla salaojien kautta saattaa huuhtoutua huomattavia määriä fosforia. Tavanomainen salaojitus lisää typen huuhtoutumista. Salaojitusta on kehitetty viime vuosina palvelemaan entistä paremmin viljelyn tarpeiden lisäksi myös vesiensuojelun tarpeita. Pellon vesitalouden säädön tehostamiseksi on otettu käyttöön myös säätösalaojitus, salaojakastelu ja valumavesien kierrätys.

2.2 Pellon vesitalouden säätö

2.2.1 Salaojitus

Salaojitusta käytetään kuivattajana huonosti kuivuvilla mailla vähentämään veden haittavaikutuksia kasveille sekä pohjavesikasteluun vähentämään kasvien kuivuusstressiä. Salaojitus vähentää pellon pintavaluntaa ja lisää pohjavaluntaa. Pintavalunnan vähenemisen seurauksena eroosioherkkyys ja sedimenttien kulkeutuminen vähenee.

2.2.2 Säätösalaojitus

Säätösalaojitus on nimensä mukaisesti salaojitus, jonka kuivatustehokkuutta voidaan säätää. Pohjaveden tasoa pidetään kokoojaputkessa olevan säätökaivon tai avo-ojassa olevan säätöpadon avulla niin korkealla kuin viljelyn kannalta on mahdollista. Säätösalaojitus toimii luontaisen sadannan ehdoilla.

2.2.3 Pohjavesikastelu ja valumaveden kierrätys

Salaojakastelussa ei säädetä pelkästään pellossa jo olevia vesivaroja, vaan ojastoon voidaan tarvittaessa pumpata myös lisävetä. Paras vaihtoehto on, jos pellon lähellä on käyttökelpoinen joki tai järvi, josta kasteluvettä voidaan pumpata. On myös mahdollista käyttää kasteluun pohjavettä, jos sitä on riittävästi. Valumaveden kierrätys edellyttää valumavesien varastoimista altaaseen tai valtaojiin. Keväällä

varastoaltaaseen kerätään talteen pellon kuivatusvesiä, joita käytetään myöhemmin kasteluun.

Kuivatuksen säätelyllä ja pohjavesikastelulla voidaan vaikuttaa kasviin positiivisesti: kuivattamalla ehkäistään juuristokerroksen liiallista märkyyttä ja kastelulla aikaansaadaan kasville suotuisat olosuhteet koko kasvukauden ajan. Hyvät kasvuedellytykset parantavat satoa.

2.3 Ravinteet

2.3.1 Typpi

Typpi on yksi tärkeimmistä sadonmuodostusta säätelevistä tekijöistä. Sen määrällä voidaan vaikuttaa sadon määrään ja laatuun. Se mm. nostaa viljojen valkuaisainepitoisuutta ja parantaa siten laatua. Maan kunnon ylläpitämiseksi on typen lisääminen välttämätöntä. Nykyisin typpi annetaan lähes aina kemiallisena lannoitteena, joissa typpi esiintyy helppoliukoisessa muodossa.

Typpi esiintyy maassa orgaanisina ja epäorgaanisina yhdisteinä. Epäorgaanisista muodoista vesiliukoisia ovat nitraatti- ja ammoniumtyppi. Niistä nitraattityppi on helposti liukenevaa ja voi siten huuhtoutua maan veden mukana. Maan kosteudella on siksi huomattava merkitys maan typpitasapainoon. Ammoniumtyppi ei liukene helposti veteen, mutta edullisissa olosuhteissa sitä liukenee pienissä määrissä, joka voi huuhtoutua varsinkin hiekkamaasta (Stevenson, 1982). Se voi myös nitrifioitua nitraattitypeksi ja muuttua helppoliukoiseksi tai sitoutua maan orgaaniseen ainekseen ja savimineraaleihin. Ammoniumtyppeä poistuu myös haihdunnan kautta. Vesiliukoisien typen määrä maassa lisääntyy mineralisaation ja nitrifikaation kautta. Sitä poistuu denitrifikaation ja immobilisaation seurauksena. Tärkeimmät näihin vaikuttavat tekijät ovat maan kosteus, lämpötila ja happipitoisuus.

2.3.1.1 Nitrifikaatio

Nitrifikaatiolla tarkoitetaan ammoniumtypen (NH_4^+) hapettumista ensin nitriitti- (NO_2^-) sitten välittömästi sen jälkeen nitraattitypeksi (NO_3^-). Reaktio tapahtuu aerobisten bakteerien läsnäollessa. Bakteerit saavat energiansa hapettamalla typpiyhdisteitä. NO_3^- :n muodostumiseen tarvitaan maaperässä suotuisat olosuhteet. Tärkeimmät nitrifikaatiotason kanssa korreloivat tekijät ovat maan kosteus, lämpötila ja happamuus sekä orgaanisen aineen määrä maaperässä.

Nitrifikaatiobakteerit ovat aerobisia, sen vuoksi maan happipitoisuus on tärkeä edellytys reaktiolle. Happipitoisuus riippuu taas maan kosteudesta. Mitä kosteampaa maa on, sitä vähemmän siellä on vapaita huokosia. Huokosten määrä riippuu myös

maan rakenteesta. Nitrifikaatiota tapahtuu lämpötilan ollessa 5 - 40 astetta celsiusta. Happamuuden optimiarvo on pH 6,6 - 8,0. Orgaanisen aineksen muodostuminen vaatii happea ja epäorgaanista typpeä, eli samoja yhdisteitä kuin nitrifikaatiobaktereiden toiminta. Siksi runsas orgaanisen aineen muodostuminen vähentää nitrifikaatiota.

Nitrifikaatiotuote, nitraattityppi, on vesiliukoinen. Kasvit saavat typen käyttöönsä veteen liuenneena. Jos typpeä on maassa yli kasvien tarpeiden, ne eivät pysty hyödyntämään kaikkea. Silloin osa huuhtoutuu kuivatusvesien mukana vesistöön.

2.3.1.2 Denitrifikaatio

Denitrifikaatiolla tarkoitetaan nitraattitypen muuttumista välivaiheiden kautta kaasumaiseksi. Reaktiossa ovat läsnä toisenvaraiset denitrifikaatiobakteerit. Tuotteena on joko typpikaasu tai typpioksidi. Muodostuttuaan nämä yleensä haihtuvat ilmakehään. Denitrifikaation perusedellytyksenä ovat hapettomat tai vähähappiset olosuhteet. Maan kosteuden lisääntyessä hapen diffuusio maahan vähenee ja denitrifikaatio lisääntyy. Kosteuden ollessa alle 60 kyllästyskosteudesta, on denitrifikaatio hyvin alhainen. Denitrifikaatiobakteerit tarvitsevat energialähteekseen hiiltä. Bakteerien toimintaan vaikuttaa myös maan lämpötila ja happamuus. Optimaalinen happamuustaso on lähellä neutraalia, mutta bakteerit voivat toimia pH-arvo neljään asti. Maan lämpötilan nousu kiihdyttää bakteeritoimintaa ja denitrifikaatiota. Lämpötila vaikuttaa myös hapen diffuusion ja liukenemiseen veteen, ja siten epäsuorasti denitrifikaatiotasoon. Denitrifikaation minimilämpötila on noin 5 astetta celsiusta.

Denitrifikaation seurauksena typpeä siirtyy maasta ilmakehään. Sopivissa olosuhteissa lisätystä lannoitetyypestä huomattava osa voi denitrifioitua ja haihtua. Reaktio on maanviljelijän kannalta epäedullinen, sillä arvokas typpi poistuu maasta ilman, että kasvit voivat käyttää sitä hyväkseen. Tämä johtaa siihen, että lannoitetyypeä joudutaan antamaan ylimäärin, jotta typpeä olisi koko kasvukauden saatavilla. Toisaalta typen poistuminen denitrifikaation seurauksena ilmakehään on kuitenkin vesiensuojelun kannalta edullista.

2.3.1.3 Mineralisaatio ja immobilisaatio

Mineralisaatio tarkoittaa proteiinien, aminosokereiden ja nukleiinihappojen hajoamista ammoniumtypeksi. Mineralisaatioasteeseen vaikuttavat maan kosteus, pH ja happipitoisuus sekä orgaanisen typen määrä maassa. Mineralisaation ansiosta mm. kasvinjätteiden sisältämä orgaaninen typpi vapautuu uudelleen kasvien käyttöön. Jos olosuhteet ovat nitrifikaatiolle suotuisat, voi osa siitä edelleen nitrifioitua. Immobilisaatio on mineralisaatiolle käänteinen reaktio. Siinä epäorgaaninen typpi sitoutuu orgaaniseen, liukenemattomaan muotoon.

2.3.2 Fosfori

Fosforia arvioidaan Suomessa huuhtoutuvan vesistöihin pinta- ja salaojavalunnan kautta 0,9 - 1,7 kg/ha. Salaojavalunnan osuus on 0,3 - 0,6 kg/ha. Tästä osa on välittömän rehevöitymisriskin aiheuttavaa liukoista fosfaattifosforia. Fosfaattifosforin pitoisuus on salaojavedessä yleensä pieni, mutta saattaa kohota hetkellisesti korkeaksi, erityisesti jos sadantaa ja valuntaa tapahtuu pian fosforilannoituksen jälkeen.

Salaojaveden liukoisen fosforin pitoisuutta säätelee sorptio maassa oleville oksidipinnoille. Pohjamaassa näiden oksidien kyky pidättää liukoista fosforia on suuri, mistä syystä pohjamaan läpi salaojiin kulkeutuvan veden liukoisen fosforin pitoisuuden tulisi olla hyvin alhainen. Suurin sorptiokapasiteetti maannoksessa on alle 50 cm:n syvyydessä (Peltovuori, 2000).

Korkeat fosforipitoisuudet salaojavalunnassa johtuvat siitä, että salaojiin kulkeutuvan fosforin ja fosforia pidättävien pintojen välille ei muodostu kunnollista kontaktia. Jäykässä savimaassa kontaktin muodostumisen estää maan rakenne. Jauhettu maa pidättää fosforia tehokkaammin. Kunnollisen kontaktin muodostumisen saattaa estää myös valumaveden nopea virtaus maan läpi salaojiin. Tutkimuksen mukaan suurin osa lisätystä liukoisesta fosforista pidättyy noin vuorokauden aikana (Peltovuori, 2000). Liukoisen fosforin huuhtoutumista on siis teoriassa mahdollista pienentää varmistamalla valumaveden viipyminen maannosprofiilissa vähintään vuorokauden ajan. Tällöin edistyy myös valumaveden tunkeutuminen maan pieniin huokosiin. Mikäli valumavesi kulkee maassa toistuvasti samoja kanavia pitkin, saattaa kanavien seinämiin kerääntyä fosforia ja niiden fosforinpidätysominaisuudet heikentyä.

2.4 Ojituksen vaikutus ravinnehuuhtoutumiin

2.4.1 Toimenpiteitä haittojen ehkäisemiseksi

Säätelyn vaikutuksesta pellon pintavalunta pienenee. Tästä seuraa se, että esimerkiksi fosforin, kiintoaineksen ja tuholaismyrkkyjen huuhtoutuminen vähenee. Salaojituksen tehostuessa nitraatti-typpihuuhtoumat lisääntyvät voimakkaasti ja yleensä myös huuhtoutuvan kokonaistypen määrä lisääntyy, koska salaojitus lisää maan profiilin läpi virtaavan veden määrää ja siten liukenevien aineiden, kuten typen huuhtoutumista. Pohjavalunnan lisääntymistä ja ravinteiden kulkeutumista aiheuttavia haittoja voidaan ehkäistä estämällä tai pienentämällä pelloilta lähtevää virtausta.

2.4.2 Typpi

Maaperälle ja ympäristölle on edullista, jos tarvittava lannoitetyppi lisätään orgaanisessa eli niukkaliukoisessa muodossa. Se vapautuu hitaan prosessin tuloksena pitkin kasvukautta. Tällöin myös huuhtoutuvan typen määrä vähenee. Nykyisin typpi on kuitenkin aina helppoliukoisessa muodossa.

Denitrifikaatioon ja nitrifikaationopeuteen voidaan maanviljelyssä vaikuttaa lähinnä maan kosteutta säätelemällä. Säätojituksen ja pohjavesikastelun avulla on mahdollista vaihdella maan kosteuspitoisuutta niin, että se suosii denitrifikaatiota.

Korkea denitrifikaatiotasoa ei kuitenkaan ole viljelijälle edullinen, sillä se vähentää kasveille käyttökelpoisen typen määrää. Lisäksi kasvit tarvitsevat kasvukaudella ilmaa, jolloin maahan ei voida luoda hapettomia olosuhteita. Toisaalta taas tehokas maan kuivatus kasvattaa nitrifikaationopeutta ja lisää näin typen huuhtoutumista. Tämä on epäedullista sekä vesistölle että viljelijälle. Säätojituksen avulla typpi voidaan pidättää pellolla. Kun pellolta lähtevää virtaamaa pienennetään ja vesi pidätetään maaprofiilissa, pysyy liuennut typpi maassa ja huuhtoutuminen vähenee.

2.4.3 Fosfori

Ympäristön kannalta olisi edullista, jos pelloilta lähtevä valumavesi läpäisisi nopeasti kylmän muokkauskerroksen uuttaen mahdollisimman vähän liukoista fosforia mukaansa ja valuisi hitaasti lämpimän pohjamaan läpi, jotta vedessä oleva liukoinen fosfori pidättyisi mahdollisimman tehokkaasti maahan ennen veden kulkeutumista salaojiin.

Pintavalunnan fosforipitoisuudet ovat salaojavaluntaa suuremmat. Näin ollen eroosiontorjunta on erittäin merkittävä vesiensuojelutoimi. Erityisesti runsaasti helppoliukoista fosforia sisältävillä mailla tulee pintavalunta ja eroosio pyrkiä minimoimaan.

2.5 Ojituksen valinta

Suomessa on peltomaita noin 2,5 miljoonaa hehtaaria. Siitä salaojitettua on yli miljoona hehtaaria (Anon, 1987). Arvioiden mukaan Suomen peltomaista 41,6 % on sellaisia, joilla voitaisiin käyttää ojitusta kuivatus- ja kastelutarkoituksiin. Ojitusvaihtoehdon valintaan vaikuttaa erityisesti pellon maalaji. Eri maalajien osuus Suomen peltojen pohjamaista on esitetty taulukossa 2.1.

Maalaji	% kokonaispeltoalasta
savimaat	39,2
-aitosavea	7,8
hietamaat	26,4
hiesumaat	13,9
moreenimaat	10,2
turvemaat	6,0
multamaat	1,9
hiekkamaat	1,3
liejumaat	1,1
	100,0 %

Taulukko 2.1 Eri maalajien osuus Suomen peltojen pohjamaista (Kähäri ym.1987)

2.5.1 Säättöjituksen käyttöedellytykset

Tärkein soveltuvuuteen vaikuttava tekijä on maan hydraulinen johtavuus. Se vaihtelee runsaasti maalajin rakeisuuden mukaan. Säättöjitukseseen soveltuu parhaiten hiekka, hieta ja karkeimmat hiesumaat. Sen sijaan aitosaven hydraulinen johtavuus on siihen liian pieni. Eräät savimaat voivat kuitenkin soveltua säättöjitukseseen, sillä hydraulisen johtavuuden arvot ovat määritelty puhtaille lajitteille.

Säättöjituksen toimivuuden kannalta muita tärkeitä pellon ominaisuuksia ovat pellon tasaisuus ja pohjavedenpinnan korkeus. Kaltevuus saa olla korkeintaan 1 % (Skaggs, 1980). Suomessa pellot sijaitsevat harvoin jyrkissä rinteissä, joten kaltevuus tuskin rajoittaa säättöjituksen käyttöä. Ojitettavalla pellolla pohjavedenpinnan tulisi luonnostaan olla korkealla tai pellon pitäisi sijaita alueella, jossa vettä huonosti läpäisevä maakerros (kallio yms.) on lähellä.

2.5.2 Pohjavesikastelun käyttöedellytykset

Tärkeä edellytys pohjavesikastelun järjestämiselle on veden hankintamahdollisuus. Paras vaihtoehto on pellon lähellä sijaitseva joki tai järvi, josta vettä voidaan tarvittaessa pumpata pellolle. Jos alueen vesivarat riittävät, voidaan myös pohjavettä käyttää.

2.6 Kustannukset ja hyödyt

Salaojituksen merkitys on maataloustuotannossa muuttunut nopeasti viime vuosina. Viljelijän tulonmuodostuksessa salaojituksen kannattavuus on muuttunut, koska maataloustuotteista saatavat tulot ovat laskeneet ja maataloustukien suhteellinen osuus on kasvanut. Toisaalta tuotantopanosten, kuten energian, hinta on noussut ja nykyaikainen viljelytekniikka edellyttää riittävän suuria lohkoja. Kehittyneet salaojitekniikat vähentävät maatalouden ravinnevalumia ja ovat sen vuoksi yhteiskunnan intresseissä entistä näkyvämmiin mukana.

Salaojitus on viljelijälle investointi, joka aiheuttaa heti suurehkon kertasijoituksen, mutta josta tuottoja kertyy vähitellen vuosien tai vuosikymmenien kuluessa. Yhteiskunnan kannalta salaojitus on investointi, josta aiheutuu myös positiivisia ja/tai negatiivisia ulkoisvaikutuksia. Ulkoisvaikutus tarkoittaa toiminnasta tahattomasti muille aiheutuvia hyötyjä tai haittoja (Baumol ja Oates 1988). Salaojitus voi tuoda positiivisia ulkoisvaikutuksia mm. vähentämällä eroosiota. Kielteisiä vaikutuksia voi aiheutua luonnon monimuotoisuuden vähenemisenä ja typpihuuhtoutumien lisääntymisenä. Maatalouden myönteisiä ulkoisvaikutuksia voidaan edistää korvauksilla ja kielteisiä vaikutuksia voidaan ohjata esimerkiksi ympäristömaksuin. Tällöin ulkoisvaikutusten merkitys tulee yrittäjän taloudellisessa päätöksenteossa esille. Ympäristötuet, esimerkiksi säätösalojituksen erityistuki, voidaan nähdä korvauksena toimenpiteen tuottamista myönteisistä ulkoisvaikutuksista.

2.6.1 Tukijärjestelmä

Maatalouden ympäristötuki on toiminnassa jo kahdeksatta vuotta. Tänä aikana on tapahtunut paljon. Tällä hetkellä noin 96 % Suomen peltoalasta, eli 2,1 miljoonaa peltohehtaaria on ympäristötuen piirissä. Ympäristötukeen on sitoutunut lähes 69.000 viljelijää. Tuen positiiviset vaikutukset ovat selvästi nähtävissä. Viljelykäytännöt ovat parantuneet: viljelyn suunnitelmallisuus on lisääntynyt sekä ravinteiden ja torjunta-aineiden käyttö on vähentynyt. Typenkäyttömäärät ovat vähentyneet ja fosforitasot suorastaan romahtaneet. Ympäristötuen vaikutukset vesistöjen tilaan näkyvät kuitenkin hitaasti.

Maaseutuyrittäjän on siis mahdollista saada rahoitustukea tilansa investointeihin. Tuettavat investoinnit voivat liittyä maatalojen yrityskoon kasvattamiseen tai toiminnan monipuolistamiseen, ympäristösuojeluun, eläinten hyvinvoinnin parantamiseen, maanhankintaan sekä moniin muihin kohteisiin. Rahoituksen myöntämisen edellytyksenä on, että viljelijän ja hänen tilansa täyttävät tietyt tuen saamiselle asetetut ehdot.

Salaojitusinvestoinneille on mahdollista saada kansallista rakennetukea (MMM 1998a). Tuettavia kohteita ovat uudet salaojitukset ja vanhojen salaojitusten täydentäminen tai kokonaan uudistaminen sekä peltokuvioiden parantamiseksi tehtävät avo-öjien putkitukset. Vuonna 2002 koko maassa salaojituksen korkotuki on 70 % ja avustus 20 %.

Säätösalaajitus liitettiin EU:n ympäristötuen eritystukiin vuonna 1995. Koska säätösalaajitus soveltuu parhaiten tasaisille pelloille, tukiehtojen mukaan maan pinnan kaltevuus saa olla enintään 2 %. Tukea myönnetään hiekka- ja hietapitoisille kivennäismaille, muttei savi- tai turvemaille. Lisäksi sopimusalueen on oltava vähintään 50 aaria. Sopimukset ovat 5-vuotisia ja tuki on enintään 156 euroa/ha/v (930 mk/ha/v) (MMM1999b). Vuosina 1995-1998 sopimuksia tehtiin 940 kappaletta noin 14 000 hehtaarille. Sopimusalasta 90 % on kolmen Pohjanmaan TE-keskuksen alueella. Säätösalaajitus sisältyy myös seuraavaan maatalouden ympäristöohjelmaan 2000-2006 (MMM 1999a).

Pohjavesikastelu ja siihen liittyvä valumavesien varastointi ovat myös mukana maatalouden ympäristöohjelman 2000-2006 erityistuissa (MMM 1999a). Sopimukset ovat niinkään 5-vuotisia ja enimmäistuen määrä on myös 156 euroa/ha/v (930 mk/ha/v) (MMM1999b).

2.6.2 Hyödyt

Salaojituksen tilatason hyötyjä ovat selvittäneet mm. Keso (1952), Peltola (1980), Tolvanen ja Torvela (1981), Sipiläinen ja Ryyänen (1987) ja Laitinen (1987). Tutkimuksista yhteenvedona salaojituksen hyödyt voidaan listata seuraavasti:

1. Tuottoa lisäävät

- hyötypinta-ala kasvaa
- reunavaikutus pienenee

2. Kustannuksia alentavat

- ihmis- ja konetyön tarve vähenee
- kaksinkertaisen kylvön aiheuttama ainemenekki vähenee
- sarkaojien kunnossapitokustannus jää pois

3. Tuotantopanosten hyötyvaikutukset paranevat

- viljelysmaan kantavuus paranee
- kasvukauden pituuden hyväksikäyttö paranee
- viljelyn intensiteetti kohoaa

- viljelyskasvien keskinäiset suhteet muuttuvat
- panos-tuotosvaikutus muuttuu
- viljelyriski pienenee ja satovaihtelut tasaantuvat, kun viljelytyöt eivät jää pellon märkyyden vuoksi tekemättä
- lannoitteiden hyväksikäyttö paranee
- kasvinsuojelukustannuksia säästyy, kun avo-ojien ojanpientareet vähenevät
- ajotekniikka paranee, jolloin salaojitetulla pellolla voidaan toteuttaa paremmin mm. ajourajärjestelmää
- tehokkuus paranee, kun ojituksella aikaansaatu sadonlisäys ei lisää tuotantokoneiston muita kiinteitä kustannuksia

Salaojituksen markkamääräisesti laskettavat hyödyt ovat pelkistäen avo-ojien poistumisesta saatava lisämaan ja tätä kautta sadonlisäyksen sekä työn säästön arvo. Kannattavuus vaihtelee edelleen eri viljelykasvien ja viljelykiertojen perusteella. Esimerkiksi sokerijuurikkaalla ja perunalla salaojitushyöty on ollut vilja- ja nurmikasveja suurempi.

Lisäksi on muistettava, sekä salaojituksen kuin muutkin sen sovellutukset, kuten mm. säätöojituksen hyödyt ovat sitä suuremmat mitä paremmin niitä hoidetaan. On tärkeää, että salaojien kunto ja toimivuus tarkistetaan säännöllisesti. Säätöojituksessa saataviin hyötyihin vaikuttaa myös viljelijän oma aktiivisuus esimerkiksi pohjaveden ja patoveden pinnan seuraamisessa sekä sateiden ja kuivan kauden ennakoimisessa. Tähän vaikuttaa myös paikkakunnan sääennusteiden saatavuus ja luotettavuus.

Salaojituksella on saavutettavissa etuja, joista osa on markkamääräisesti määritettävissä, osa taas on vaikea arvottaa rahassa, kuten ympäristövaikutukset. Yhteiskunnan näkökulmasta tulee edellä olevaa hyöty-/vaikutus -listaa täydentää vielä seuraavasti:

4. Yhteiskuntatason vaikutukset

- vaikutukset ravinnehävikkeihin
- maisema- ja biodiversiteettivaikutukset
- perusparannusten merkitys toimivalle maatalouselinkeinolle

Salaojitus muuttaa pellon valuntasuhteita. Salaojitus voi jopa lisätä ravinnehuuhtoutumia. Toimiva ojitus on kuitenkin kokonaisuudessaan perusedellytys maan hyvälle kunnolle, jolloin ravinnehävikkiriskit ovat märkää peltoa pienemmät. Avo-ojien vähenemisen myötä pientareiden kasvillisuus vähenee, jolloin rikkakasvien torjuntatarve pienenee. Toisaalta laajat, yksipuoliset peltokuviot pienentävät luonnon monimuotoisuutta esimerkiksi yksipuolistamalla kasvilajistoa ja vähentämällä lintujen pesimismahdollisuuksia. Perusparannusten hyvä kunto on

edellytys maatalouden harjoittamiselle, joka taas mahdollistaa pitkällä aikavälillä viljellyn maaseutumaiseman säilymisen.

2.6.3 Kustannukset

Salaojituksen kustannukset muodostuvat tarvikkeista (putket, kaivonrenkaat ja sora) (40%), urakkatyöstä (35%), tilan omasta työstä (13%) ja suunnittelusta (6%) sekä muista yleiskustannuksista ja jälkitöistä (Koivunen 1986). Salaojituksen kustannuksiin vaikuttaa keskeisimmin hankkeen koko, kaivumaalaji, salaojatiheys ja käytetty putkimateriaali (Saavalainen 1984). Lisäksi kustannuksiin vaikuttavat peltokuvion muoto, tasaisuus, sijainti, ojitustarvikkeiden ja työn hinta sekä ojitusajankohta. Myös salaojituksen edellyttämä peruskuivatuksen järjestäminen aiheuttaa omat kustannuksensa. Vuonna 1997 salaojituskustannus oli keskimäärin 1810 euroa/ha¹ (10 770 mk/ha) (Peltomaa 1998).

Salaojituksen vuotuiset kiinteät kustannukset muodostuvat pääomakustannuksista (korke- ja poistokustannukset) sekä ojituksen kunnossapidosta. Taloudellisena kestoikänä on salaojille käytetty yleensä 30 vuotta. Salaojituksen kunnossapito on useimmiten ojituksen toiminnan tarkkailua sekä aika ajoin tarvittavia puhdistus- ja huuhtelutöitä. Jos ojituksen hankintahintana on 1680 euroa/ha (10 000 mk/ha) ja laskentakorkona 5-6 % vuotuiset kiinteät kustannukset ovat noin 100-118 euroa/ha (600-700 mk/ha). Kunnossapitoon kuluvaksi ajaksi on arvioitu 1-2 h/ha, joka voidaan hinnoitella viljelijän palkkavaatimuksen perusteella.

Säätosalaojituksesta aiheutuu lisäinvestointikustannuksia normaalin salaojituksen verrattuna säätöjärjestelmästä, esim. säätökaivosta, mahdollisesti tihennetystä salaojituksesta sekä käyttökustannuksia kaivojen hoito- ja säätötöistä. Yhden säätökaivon kustannukset asennustöineen on arvioitu olevan noin 505 euroa (3000 mk) (v. 1996) (MMM 1997a). Tarvittava kaivojen määrä riippuu pellon kaltevuudesta.

Esimerkiksi Etelä-Pohjanmaalla toteutetun säätosalaojitushankkeen, joka käsitti 11,74 hehtaaria, investointikustannukset olivat noin 1396 euroa/ha (8300 mk/ha) (Haataja 2000). Kyseisessä tapauksessa peltoa ei ollut aiemmin salaojitettu. Aikaa kului varsinaiseen ojitukseen 8,5 päivää à 10 tuntia sekä jälkitöihin noin 10 tuntia.

Pohjavesikastelussa ei säädetä pelkäästään pellossa jo olevia vesivaroja, vaan ojastoon voidaan tarvittaessa pumpata myös lisävettä. Kustannuksia aiheutuu tällöin mahdollisista lisäojituksista tai erityisputkista, pumppaamosta sekä varastoaltaasta. Kasteluveden hankinta on myös ratkaistava. Varastoaltaasta aiheutuvia perustamiskustannuksia muodostuu maansiirtotöistä, rakenteista, mahdollisista kuivatusjärjestelmien korjauksista sekä maisemanhoitotöistä. Altaaseen tulee ajan

mittaan vesikasvillisuutta ja lietettä, jonka poistamisesta on tietyin väliajoin huolehdittava. Kertyvä liete voidaan levittää takaisin pellolle. Lisäksi sedimentin poisto tehdään noin 5-10 vuoden välein.

Pohjavesikastelun toteuttamiskustannukset vaihtelevat paljon tapauskohtaisesti. Kun jokainen hanke on yksilöllinen, on tarkkaa arvoa kokonaiskustannuksista vaikea määrittää. Esimerkiksi Tyrnävällä rakennetun pohjavesikastelujärjestelmän vuosittaisiksi kustannuksiksi muodostui normaaliputkistolla 437 euroa/ha/v (2600 mk/ha/v) (Haataja 2000).

Normaalin salaojituksen kustannukset ovat noin 1346-1682 euroa/ha (8000-10 000 mk/ha) ja täysin uuden säätöojituksen kustannukset ovat 1682-2100 euroa/ha (10 000-12 500 mk/ha). Yleisimmin säätöojitus tehdään jo salaojitetulle pellolle. Pelkkien säätökaivojen asennus kokoojajiin, 1 kaivo/ha, maksaa työkustannuksineen noin 252-336 euroa/ha (1500-2000 mk/ha) (alv 0 %). Kun ojitukseen lisätään kokoojaojat, säätökaivot ja muutamia lisäojia, niin kustannuksia muodostuu noin 673-1009 euroa/ha (4000-6000 mk/ha).

2.6.4 Laskenta

Haataja (2000) on arvioinut aluetasolla säätösalaojituksen käyttöä laskelmissaan sen yhteiskunnalle tuottamien hyötyjen ja kustannusten perusteella. Yhteiskunnallisia hyötyjä muodostuu ravinnehuuhtoumien vähenemisestä ja yhteiskunnassa tapahtuvan tuotantotoiminnan tehostumisesta. Haatajan laskelmissa säätösalaojitusinvestoinnin tuottoina ovat typpihuuhoutoumien vähenemisestä saatava hyöty, joka arvotetaan käyttäen jätevedenpuhdistamon typenpoiston tehostamiskustannuksia. Tuottoja ovat myös mahdolliset sadonlisäykset.

Haataja (2000) on käyttänyt laskentamenetelmänä nykyarvomenetelmää, jossa investoinnista eri vuosina aiheutuvat kustannukset ja tuotot tehdään vertailukelpoisiksi diskonttaamalla erät samaan ajankohtaan. Jos tuottojen summa on suurempi kuin investoinnin ja vuotuisten kustannusten nykyarvojen summa, voidaan toimenpidettä pitää kannattavana. Mitä suurempi laskentakorkokanta on, sitä enemmän korostuvat lähivuosien erät verrattuna kaukaisimpien vuosien rahamääriin. Haatajan tutkimuksessa investoinnin kustannukset olivat säätöojituksen investointikustannukset ja säätötyöstä vuosittain aiheutuvat kustannukset. Sopimuskauden kustannukset olivat samat kuin säätöojitukselle myönnetyn ympäristötuen erityistuen määrä. Sopimuskauden jälkeisenä tarkkailu- ja säätötyökustannuksena pidettiin 92 euroa/ha/v (540mk/ha/v).

Säätöojitusinvestoinnin tuotot muodostuivat kansantalouden kannalta pienentyneistä ravinnehuuhoutoumistusta sekä myös kohonneista satotasoista. Haatajan työssä

oletettiin, että sääätosalaojituksella on ravinnepäästöistä vaikutusta pelkästään typpihävikkeihin.

Salaojitetulta hietamaalta oletetaan huuhtoutuvan typpeä perunalta 20 kg/ha/v ja viljalta 14 kg/ha/v. Suomen olosuhteissa sääätosalaojituksen oletetaan vähentävän typpihuuhtoutumaa 5 - 30 % (30 % vain hyvin suotuisissa olosuhteissa). Typpihuuhtoutuman pienenemisen hyöty arvoitettiin käyttäen vaihtoehtoisena kustannuksena jätevesien puhdistamisen tehostamiskustannuksia. Yleisesti fosforinpoisto on Suomessa nykyisin varsin tehokasta, mutta typen osalta on vielä paljon parannettavaa. Jätevedenpuhdistamojen fosforinpoisto on keskimäärin 93 % ja typen vähenemä noin 31 % (Vahala 1998). Erillinen typenpoisto on aloitettu Suomessa vasta muutamissa jätevedenpuhdistamoissa. Näissä laitoksissa typenpoisto on korkeampi, esimerkiksi Espoossa puhdistusteho on 65 %.

Viljelykiertona käytettiin Haatajan laskelmissa 2 vuotta perunaa ja 3 vuotta viljaa. Sääätosalaojitusalaa jaettiin näin perunan viljelykierron mukaan: 2/5 perunalla ja 3/5 viljalla. Satohyödyt laskettiin siten, että satojen oletettiin kohoavan säädön ansiosta keskimäärin 5 % vuodessa lähtökohtatilanteeseen verrattuna, joka oli perunalla 30 tn/ha ja ohralla 3000 kg/ha. Tuottajahintoina käytettiin perunalla 0,2 euroa/kg (1 mk/kg) ja ohralla 1,12 euroa/kg (0,74 mk/kg).

Aluetason laskelmia tulkittaessa on otettava huomioon aina kyseisen alueen erityispiirteet.

2.6.5 Kannattavuus

Aluetason kustannus-hyötyanalyysissä salaojitusinvestointien kustannusosat ovat laskennallisesti määritettävissä. Ongelmana on hyötyvaikutusten arvottaminen. Haatajan (2000) tutkimuksessa sääätosalaojitushankkeiden ympäristövaikutusten eli typen huuhtoumien pienenemisen hyöty arvoitettiin jätevesipuhdistuslaitoksen typenpoiston edelleen tehostamisesta aiheutuvan kustannuksen eli rajakustannuksen perusteella. Haatajan tutkimuksen mukaan käytetyillä oletuksilla sääätosalaojitus ei ole yhteiskunnan näkökulmasta kannattava, mikäli tuotoiksi lasketaan pelkät ympäristöhyödyt. Jos mukaan lasketaan myös tuotannon tehostumisen myötä tulevat satohyödyt, tuotot kattavat kustannukset pidemmällä aikavälillä. Saatavat sadonlisäykset kuitenkin vaihtelevat luonnollisesti paljon vuosittain.

Viljelijän kannalta Haatajan tutkimuksen mukaan sääätosalaojitus voi olla kannattava erikoiskasvien tuottajille, esimerkiksi perunanviljelijöille jopa ilman ympäristötukia. Perunanviljelyssä noudatetaan kuitenkin yleensä monipuolista viljelykiertoa. Kannattavan perunan on siten viljelykierrossa pystyttävä kattamaan säädöstä aiheutuvat lisäkustannukset myös muiden kasvien osalta.

Säätösalaajituksen tuki kattaa merkittävän osan investointikustannuksista ja siten sillä on merkittävä rooli säätösalaajitusmenetelmien käyttöönotossa. Lisäksi on huomioitava, että sekä salaajittaminen että säätöajitus on aina pitkäaikainen investointi. Mitä pitempään se toimii, sitä kannattavampi investointi se on.

2.7 Salaajituksen mitoutusvaluma

Salaajituksen on riittävän nopeasti pystyttävä johtamaan pelloilta rankoista sateista tai lumen sulamisesta johtuvat tulvavedet. Mitoituksen perustaksi otettavaan ylivalumaan vaikuttavista tekijöistä olennaisimmat ovat sateen intensiteetti tai lumen vesiarvo ja maan vedenläpäisevyysominaisuudet. Ylivaluman suuruus riippuu myös mm. maaston viettävyydestä, haihdunnasta, ojaetäisyydestä ja ojasyvyydestä.

Salaajaputkien etäisyys toisistaan vaikuttaa veden pintaan profiiliin maamatriisissa. Kuivatustehokkuuteen vaikuttaa myös salaajien syvyys. Yleisesti käytetyt salaajien ojavälit ovat savimaassa 12-16 m, hiesumaassa 14-18 m ja hietamaassa noin 18 m. Salaajat asennetaan yleensä noin metrin syvyyteen.

2.8 Hydrologinen kierto

2.8.1 Yleistä

Suomi kuuluu ilmastollisesti alueeseen, jolle ovat tyypillisiä erityisesti voimakkaat vuodenaikaiset valuntavaihtelut. Lumen kevätulamisesta aiheutuu yleensä vuoden suurin tulva ja syksyisistä vesisateista syystulva. Alueellisesti hydrologisen kierron tekijät vaihtelevat suhteellisen vähän Suomessa. Taulukossa 2.2 on annettu eräitä arvioita tunnusomaisten hydrologisten suureiden keskimääräisistä vuotuisista arvoista erikseen Etelä- ja Pohjois-Suomessa.

		min	max	lumen osuus
Etelä-Suomi				
sadanta	mm/a	400	1000	30-40 %
haihdunta	"	300	500	
valunta	"	100	500	
Pohjois-Suomi				
sadanta	mm/a	300	800	40-50%
haihdunta	"	150	300	
valunta	"	150	500	

Taulukko 2.2 Hydrologinen kierto Suomessa (J. Saavalainen, Salaojittaja käsikirja, osa 1B, 1983)

2.8.2 Sadanta

Kansainvälisesti katsoen Suomessa sadantaa voidaan pitää varsin kohtuullisena. Kuitenkin sadeoloissamme korostuu piirteitä, jotka topografialtaan tasaisessa maassa aiheuttavat kuivatustarpeen lisääntymistä. Merkittävimmät ovat lumena tulevan sadannan huomattava osuus ja siitä johtuvat kevättulvat sekä vuoden sateisimman ajankohdan osuminen elo-syyskuuhun, jolloin alkava korjuukausi asettaa vaatimuksia pellon pinnan kaltevuudelle.

Salaojittajan käsikirjan mukaan (osa 1B, J. Saavalainen, 1983) vuosisadanta vaihtelee maantieteellisen sijainnin mukaan välillä 500-750 mm. Eri vuosina sadanta vaihtelee tavallisesti vähemmän kuin 30% keskiarvon molemmin puolin. Vuosisadanta on suurin etelärannikolla ja pienin Lapin pohjoisosassa sekä Pohjanmaan rannikkoalueilla.

2.8.3 Valunta

Vuosivalunnan suuruus Suomessa vaihtelee välillä 150-450 mm. Sulamiskauden aikainen kevätvalunta on keskimäärin 100-200 mm ja kesävalunta keskimäärin 10-40 mm. Syyskuusta lumipeitteen tuloon saakka tapahtuva syysvalunta vaihtelee huomattavasti vuosittain poikkeavien ilmasto-olosuhteiden vuoksi. Etelä-Suomessa syysvaluntaa on keskimäärin 50-100 mm, mutta se saattaa poikkeuksellisin vuosina ylittää 100 mm tai jäädä alle 10 mm. Maan pohjois- ja keskiosissa syysvalunta jää pienemmäksi pysyvän lumipeitteen tullessa aikaisemmin. (J. Saavalainen, Salaojittajan käsikirja, osa 1B, 1983)

Valunta koostuu kolmesta eri valunnan muodosta; maanpäällisestä valunnasta, pintakerrosvalunnasta ja pohjavesivalunnasta. Maanpäällinen valunta on se osa sadannasta tai sulannasta, joka ei haihdu eikä imeydy maaperään, vaan kulkeutuu painovoiman vaikutuksesta pintavetenä vesistöön. Pintakerrosvaluma aiheutuu sadannasta tai sulannasta, joka imeytyy maaperään, mutta kulkeutuu maan pintakerroksissa vesiuomiin. Pohjavesivaluman aiheuttaa se osa sadannasta tai sulannasta, joka imeytyy maaperään ja poistuu pohjavesien kautta vesistöön.

Valunnan eri osien suhteellinen suuruus riippuu sadannan tai sulannan ominaisuuksista sekä alueen pinnan muodoista ja maaperästä. Maanpäällisen valunnan osuus muodostuu suureksi, jos maanpinta läpäisee huonosti vettä. Tämä voi johtua maalajin hienorakeisuudesta, roudasta sekä luonnollisesta tai ihmisen aiheuttamasta maanpinnan tiivistymisestä. Imeyntä on vähäistä silloinkin, kun maan huokostila on aikaisempien sateiden tai sulannan vuoksi veden kyllästämä.

Valuntaan vaikuttavat tekijät voidaan jakaa siis kolmeen ryhmään; ilmastollisiin, aluetekijöihin (valuma-alueen koko, muoto, järvisyys, topografia, maaperä, kasvillisuus ja maastotyyppi) sekä ihmistoiminnasta aiheutuviin tekijöihin.

2.8.4 Haihdunta

Haihdunnalla tarkoitetaan nestemäisessä tai kiinteässä muodossa olevan veden muuttumista vesihöyryksi. Olomuodon muutoksen keskeisenä ehtona on haihduttavan pinnan ja ilman välillä vallitseva hyörynpaine-ero. Haihdunta sitoo energiaa, joten jatkuvan haihdunnan edellytyksenä on haihduttavaan pintaan kohdistuva energiavirta. Energiaa haihtumiseen saadaan auringon säteilystä tai lämmön kulkeutumisesta ilmakehästä tai maasta. Ilman lämpötila ja tuuliolosuhteet siis vaikuttavat haihdunnan määrään.

Koska haihtuminen vaatii energiaa, maan lämpötilouden kannalta on suotuisampaa saada keväisin sulamisvedet pois pelloilta ennen kaikkea ojitustoimenpitein eikä haihduttamalla.

Maa-alueen kokonaishaihdunnasta käytetään nimitystä evapotranspiraatio, joka sisältää maanpinnasta, kasvien ilmaraoista ja kasvien pinnoilta tapahtuvan haihdunnan. Potentiaalinen evapotranspiraatio tarkoittaa suurehkon maa-alueen kokonaishaihduntaa olosuhteissa, jolloin haihtumiselle altista vettä on riittävästi ja maanpinta on kauttaaltaan vihreän matalan ruohokasvillisuuden peitossa.

3. LASKENTAMALLIN KÄYTTÖ

3.1 CROPWATN:n toiminta

3.1.1 Mallin kuvaus, aineisto ja menetelmät

Tässä työssä on käytetty CROPWATN -mallia (CROP growth influenced by WATER and Nitrogen balance) (Karvonen & Kleimola 1995; Kleimola & Karvonen 1996; Kleimola & al. 1996). Malli kuvaa kahden salaojaputken väliin jäävää maaprofiilia, jonka oletetaan edustavan keskimääräisesti koko peltoaluetta. Malli koostuu viidestä osamallista, jotka laskevat maan vesi-, typpi- (kasvuston ottama typpi sekä typen prosessit maaperässä) ja lämpötaseen syvyyden ja ajan suhteen sekä sadon määrän. Lähtötietoina annetaan mm. säätilan ja potentiaalisen haihdunnan vuorokausiarvot sekä lukuisia kunkin osamallin prosesseja kuvaavia parametreja.

Malli laskee tulokset valitun viljelyskasvin, maalajin ja sääalueen mukaan.

Viljelyskasviksi voidaan valita peruna, ohra tai kevätvehnä. Tässä työssä tulokset on laskettu perunalle ja ohralle.

Maalajivaihtoehtoja ovat hieta, hiesu ja savi. Sääalueita on neljä, jotka edustavat eri alueita Suomessa. Alue 1 edustaa Etelä- ja Länsi - Suomea, alue 2 Keski - Suomea ja alueet 3 ja 4 Pohjois - Suomea. Säädata perustuu havaintoihin viideltätoista vuodelta (vuodet 1976-1990), jotka on saatu Jokioisissa (alue 1), Kuopiossa (alue 2a), Jyväskylässä (alue 2b) ja Oulussa ja Sodankylässä (alueet 3 ja 4) (taulukko 3.1).

Sadanta mm/v	Alue 1	Alue 2	Alue 3	Alue 4
keskiarvo	675	673	682	590
min	582	524	383	375
max	854	849	940	860

Taulukko 3.1 Laskentamallissa käytetyt sadanta-arvot sääalueittain

Tässä työssä käytetyt mallin laskemat tulostusmuuttujat ovat:

- todellisen ja potentiaalisen haihdunnan suhde E_a/E_p (%)
- salaojavalunta (mm/v)
- pintavalunta (mm/v)
- viljakasvin sato (kg/ha/v, keskimääräinen arvo laskentajaksolta)
- typen kokonaishuuhtouma (kg/ha/v, keskimääräinen arvo laskentajaksolta)

(Karvonen, T. and Kleimola, J. 1995. CROPWATN: Prediction of water and nitrogen limited crop production. Modelling and Parameterization of the Soil-Plant-Atmosphere System: A Comparison of Potato Growth Models (Eds. Kabat, P.,

Marshall, B., van den Broek, B.J., Vos., J. and van Keulen, H.). Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands. p. 335-369. Kleemola, J. and Karvonen, T. 1996. Modelling growth and nitrogen balance of barley under ambient and future conditions. Agr. and Food Sci. in Finland, Vol. 5(1996): 299-310. Kleemola, J., Teittinen, M. and Karvonen, T. 1996. Modelling crop growth and biomass partitioning to shoots and roots in relation to nitrogen and water availability, using a maximisation principle. Model description and validation. Plant and Soil 185: 101-111.)

Määritettäessä maaprofiilille fosforin huuhtoumaa, on se tässä työssä laskettu mallista saatavien salaojavalunnan ja pintavalunnan arvojen perusteella.

Kaava fosforin huuhtoumalle (3.1):

$$P_{\text{(huuhtouma)}} = (C_d * Q_d + C_s * Q_s) * 0,01 \text{ (kg/ha/v)} \quad (3.1)$$

missä

C_d = fosforin konsentraatio salaojavalunnassa (mg/l)

Q_d = salaojavalunta (mm/v)

C_s = fosforin konsentraatio pintavalunnassa (mg/l)

Q_s = pintavalunta (mm/v)

Fosforin konsentraatioksi salaojavalunnassa on käytetty oletusarvoa 0,5 mg/l ja pintavalunnassa arvoa 2 mg/l.

Malli esittää tulokset ojavälin ja ojasyvyyden funktioina. Valitut ojavälit ja ojasyvyydet voi valita vapaasti. Tässä työssä ojaväleiksi on valittu 7, 10, 14, 18, 28 ja 42 m ja ojasyvyyksiksi 80, 90, 100, 110, 120 ja 130 cm.

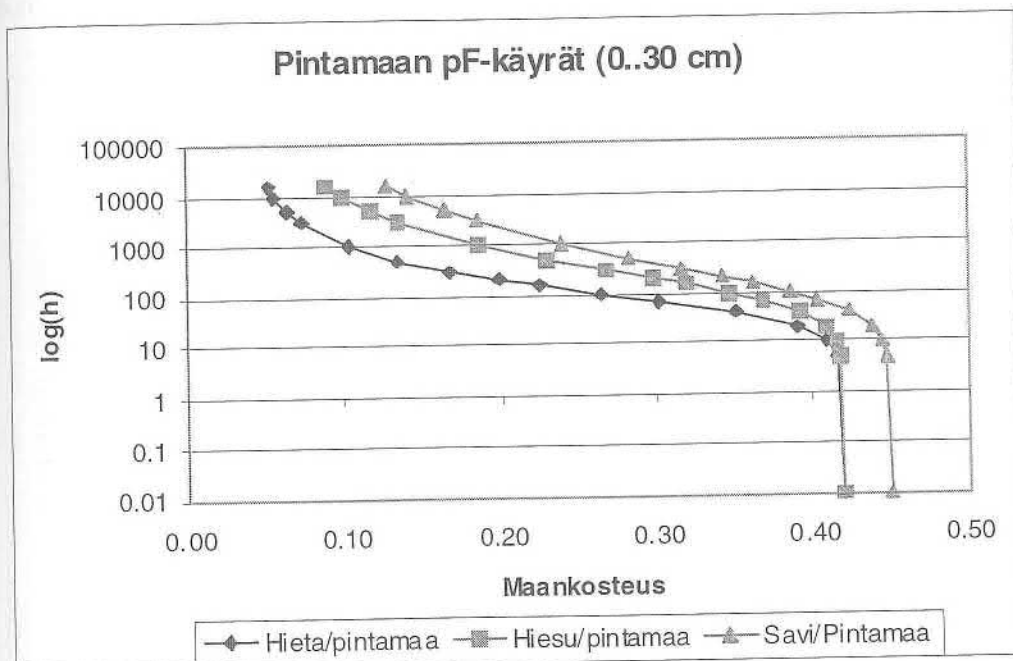
Malli laskee kolme sarjaa ja ojitusvaihtoehtoina tavanomainen salaojitus, säätösalaajitus ja pohjavesikastelu.

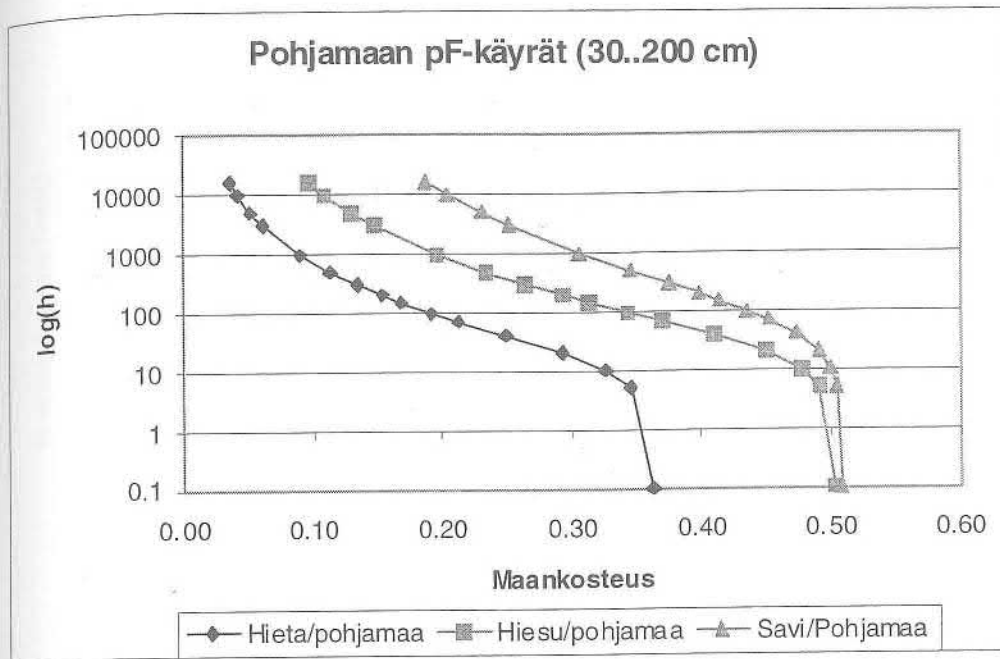
Mallissa maaveden virtausta ja typen kulkeutumista voidaan tarkastella joko yhdessä huokossysteemissä tai kahdessa systeemissä, joista toinen edustaa niinkutsuttua maamatriisia ja toinen suuria huokosia eli makrohuokosia. Oletuksena on, että maamatriisin pienissä huokosissa veden virtaus on erittäin hidasta verrattuna makrohuokosiin, joiden kautta tapahtuvat oikovirtaukset kuljettavat vettä nopeasti pinnalta syvemmälle maaprofiiliin. Maamatriisin ja makrohuokosten välillä on sekä veden että typen vaihtoa.

3.1.2 Vesitasemallin komponentit

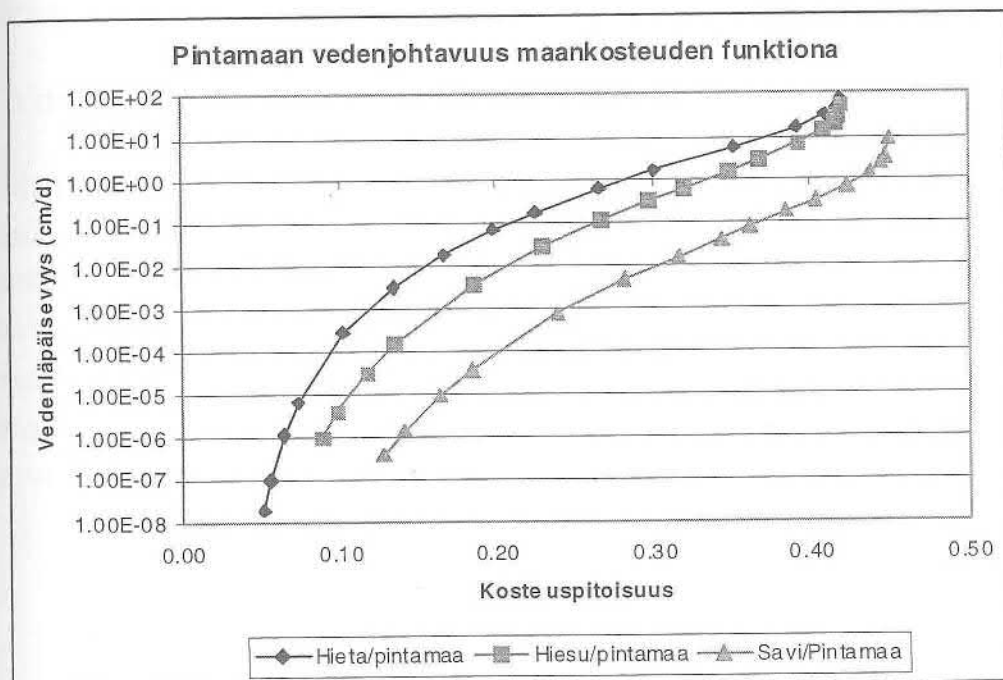
CROPWATN -mallin mukaan salaojavaluntaa esiintyy silloin, kun pohjavedenpinta mikro- ja makrohuokosissa nousee salaojitussyvyyteen tai yli säätökaivon padotuskorkeuden.

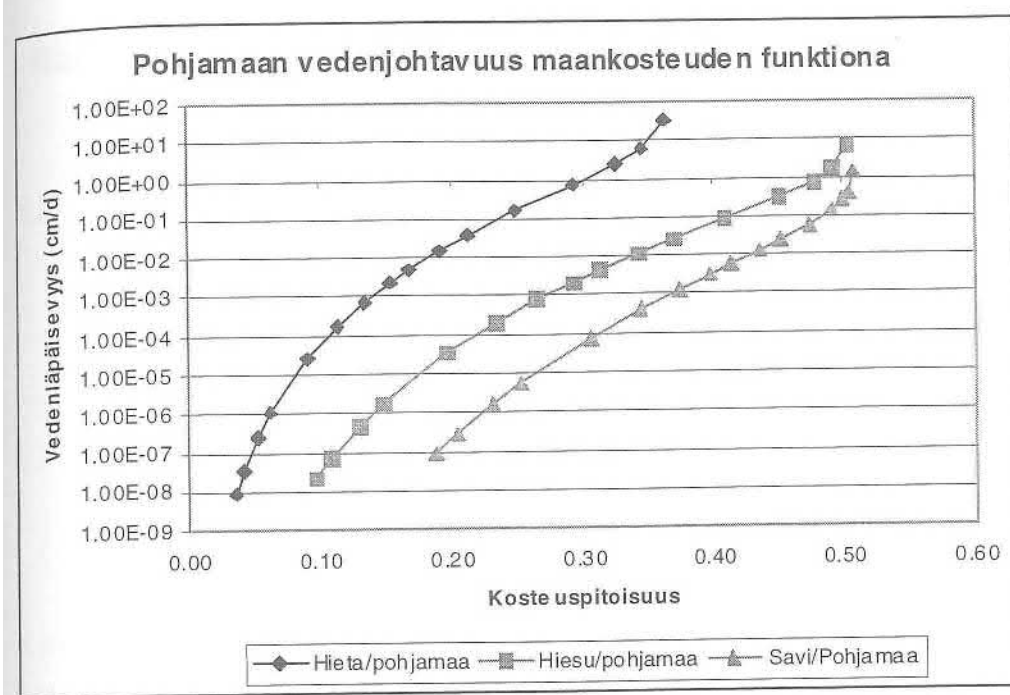
Vesitasemallin keskeisiä lähtökohtia on kullekin maakerrokselle annettava vedenpidätyskäyrä ja kyllästyneen maan hydraulinen johtavuus. Makrohuokosia kuvaavia parametreja on useampia; makrohuokosten osuus pinta-alasta, jakautuminen syvyyden suhteen ja hydraulinen johtavuus. Kuvissa 3.1-3.2 on esitetty laskelmissa käytetyt pinta- ja pohjamaan pF-käyrät ja kuvissa 3.3-3.4 laskelmissa käytetyt pinta- ja pohjamaan vedenläpäisevyyden (cm/d) arvot maankosteuspitoisuuden funktiona eri maalajeille. Pintamaalle kyllästyneen maan K-arvot olivat seuraavat: hieta 80 cm/d, hiesu 60 cm/d, savi 10 cm/d. Pohjamaalle vastaavat arvot olivat: hieta 50 cm/d, hiesu 12 cm/d ja savi 3 cm/d.





Kuvat 3.1-3.2. Laskelmissa käytetyt pinta- ja pohjamaan pF-käyrät.

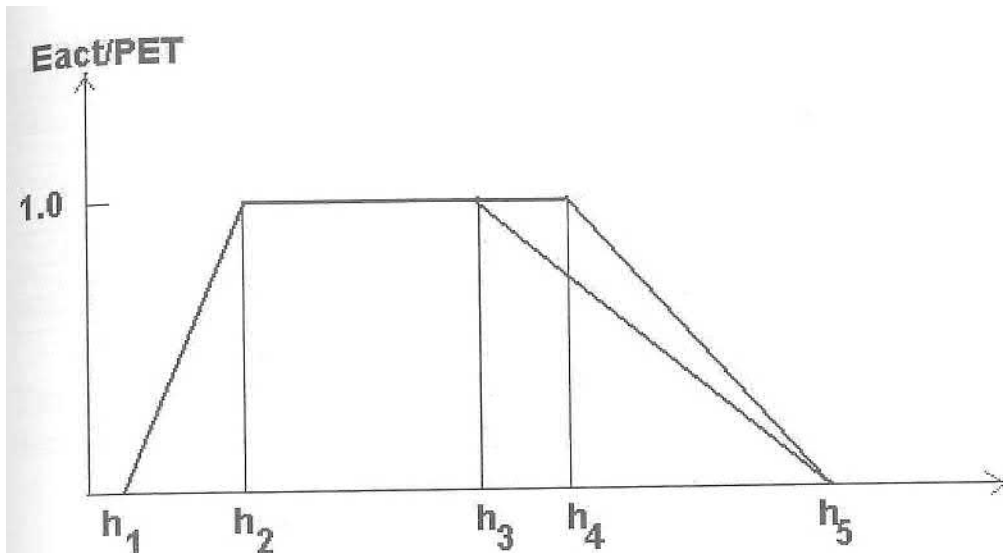




Kuvat 3.3-3.4. Laskelmissa käytetyt pinta- ja pohjamaan vedenläpäisevyyden (cm/d) arvot maankosteuspitoisuuden funktiona eri maalajeille.

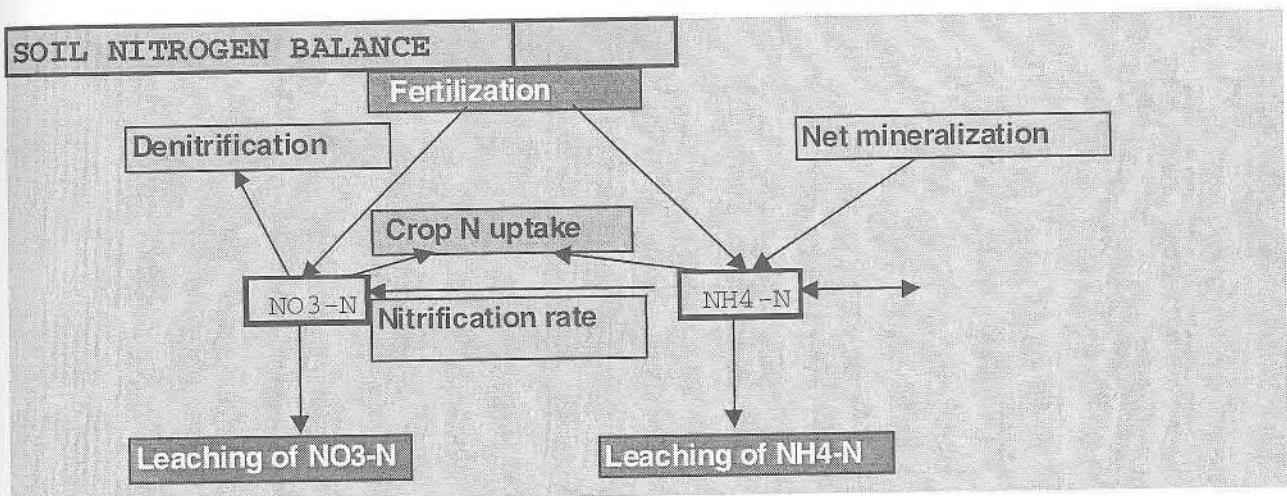
Todellisen haihdunnan laskenta

Malli laskee todellisen haihdunnan E_{act} potentiaalisen haihdunnan PET ja mallin laskeman juuristokerroksen matrikpotentiaalin $h(t)$ avulla. Todellisen ja potentiaalisen haihdunnan suhde E_{act}/PET lasketaan ns. sink-funktion (kuva 3.5) avulla. Kuvan X funktiossa raja-arvo h_3 on raja-arvo silloin, kun PET on suuri (5 mm/d) ja h_4 on raja-arvo, kun PET on alle 1.0 mm/d. PET-arvoilla 1.0..5.0 mm/d malli interpoloi rajoittavan matrikpotentiaalin arvon h_3 ja h_4 väliltä. Käytetyt raja-arvot olivat: $h_1 = -20$ cm ; $h_2 = -40$ cm $h_3 = -200$ cm; $h_4 = -800$ cm; $h_5 = -8000$ cm.



Kuva 3.5. Mallissa käytetty funktio, jolla lasketaan todellisen haihdunnan E_{act} ja potentiaalisen haihdunnan PET suhde juuristokerroksen maavesipotentialin funktiona.

3.1.3 Typpitasemallin muuttujat ja prosessit

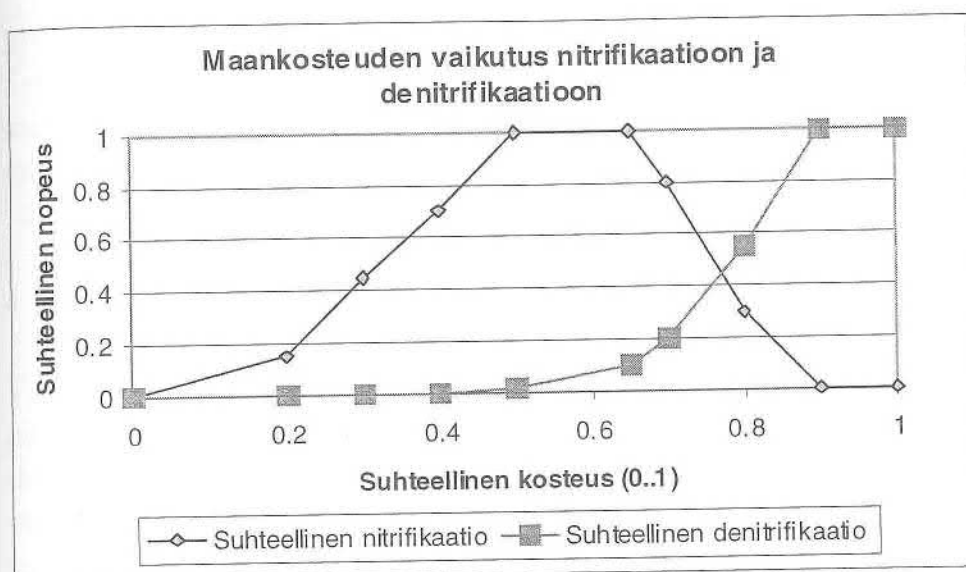


Kuva 3.6 CROPWATN-mallin typpitaseen komponentit.

Typpimallissa on erikseen nitraatti- ja ammoniumtyypen varasto, mutta laskennassa voidaan käyttää myös niiden summaa (mineraalityppi) riippuen käytettävissä olevasta mittausaineistosta ja sovelluskohteesta. Nitraattityppi on kokonaisuudessaan liukoisessa muodossa, kun taas ammoniumtypestä suurin osa on kiinnittynyt maahiukkasiin ja vain pieni osa on liuenneena maaveteen. Mineralisaatiossa otetaan huomioon erikseen maan orgaanisesta aineksesta ja sadonkorjuun jälkeen kasvinjätteiden hajoamisesta vapautuva ammoniumtyppi. Typen reaktiot kuvataan kertoimilla, joiden suuruuteen vaikuttavat sekä maan lämpötila että kosteus.

	kg N/ha/cm	1/d	1/d
	Nettomineralisaatio	Nitrifikaationopeus	Denitrifikaationopeus
Pintamaa/Hieta	0.007	0.04	0.004
Pohjamaa/Hieta	0.003	0.04	0.004
Pintamaa/Hiesu	0.006	0.05	0.005
Pohjamaa/Hiesu	0.003	0.05	0.005
Pintamaa/Savi	0.005	0.06	0.006
Pohjamaa/Savi	0.002	0.06	0.006

Taulukko 3.2 Laskelmissa käytetyt nettomineralisaatio-, nitrifikaatio- ja denitrifikaatiomallien parametrien arvot optimiolosuhteissa.



Kuva 3.7 CROPWATN-mallissa käytetyt funktiot, joilla otetaan huomioon maan suhteellisen kosteuden ($S=(\theta-\theta_R)/(\theta_S-\theta_R)$) vaikutus nitrifikaation ja denitrifikaation suhteelliseen nopeuteen (0..1).

CROPWATN-mallin typpiosan prosessit on esitetty kuvassa 3.6. Mallissa nettomineralisaatio annetaan yksikössä kg/ha/cm, eli malli laskee nettomineralisaation kullekin kerrokselle erikseen. Nettomineralisaation, nitrifikaation ja denitrifikaation määrää rajoittavat mallissa kosteuden (kts. kuva 3.7) lisäksi maan lämpötila. Optimi-arvot on annettu lämpötilassa 20 °C ja 10 °C alennus referenssilämpötilaan verrattuna puolittaa prosessinopeudet (esim. lämpötilassa 10 °C suhteellinen nopeus 50 % ja lämpötilassa 0 °C 25 % optimiarvosta). Oletus on, että jos maa on jäässä, niin prosessinopeudet on asetettu nolliksi. Nettomineralisaation ja nitrifikaation kosteusriippuvuudet on oletettu samoiksi.

4. TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELO

Työn tulosten osalta korostetaan, että kaikki esitetyt tulokset on CropWatn-mallilla laskettuja tuloksia, eikä todellisia mitattuja arvoja.

Laskelmien tuloksia esitettäessä on suurimmaksi osaksi keskitytty ohran tuloksiin, vaikka laskelmat on tehty myös perunalle. Tämä johtuu tulosten suuresta määrästä. Perunan osalta tulokset löytyvät niistä kappaleista, joissa eri viljakasveja on vertailtu keskenään. Kuitenkin kappaleissa tarkasteltaessa typen ja fosforin huuhtoumaa eri sääalueilla kuvat huuhtoumista on esitetty myös perunalle. Lisäksi sadon osalta on esitetty tuloksia myös perunan osalta.

Myös säätövaihtoehtojen ja ojasyvyyksien osalta tulosten määrää on rajattu. Salaojavalunnan, pintavalunnan, haihdunnan, typen ja fosforin huuhtouman sekä sadon tulokset on esitetty niiltä osin kuin ne vastaavat tavallisen salaojituksen arvoja ojasyvyydellä 100 cm. Sääntövaihtoehtojen ja ojasyvyyksien vaikutuksia on tarkasteltu tuloksissa erikseen.

4.1 Vesitaseosan tulokset

Vesitaseosan tuloksissa esitetään haihdunnan, salaojavalunnan ja pintavalunnan määrät. Tarkasteltaessa tuloksia typen ja fosforin huuhtoumille sekä sadon osalta, täytyy ottaa huomioon, että tulokset perustuvat käytetyn laskentamallin laskemiin vesitaseosan tuloksiin. Tämä on myös syynä siihen, miksi vesitaseosan tulokset esitetään työssä, vaikka niitä ei sen enempää arvioidakaan.

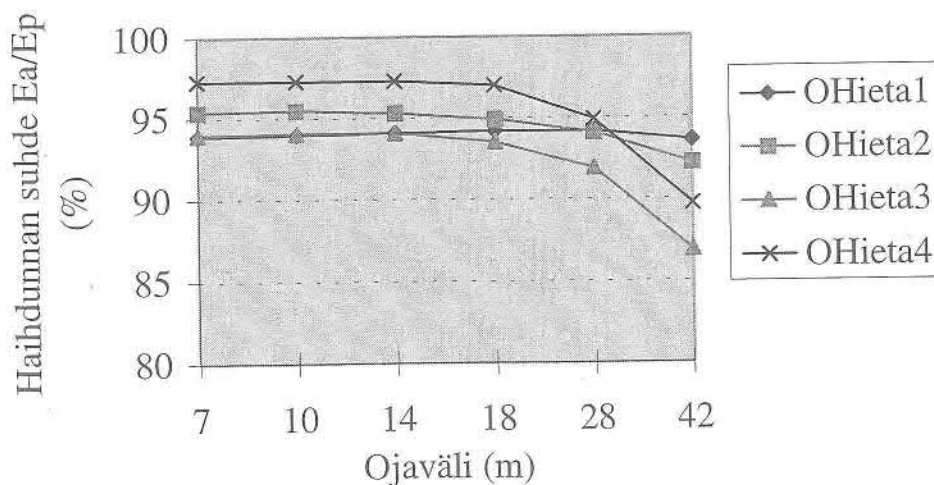
4.1.1 Haihdunta

Taulukko 4.1 esittää laskentamallin tulokset todelliselle ja potentiaaliselle haihdunnalle eri laskennallisilla sääalueilla.

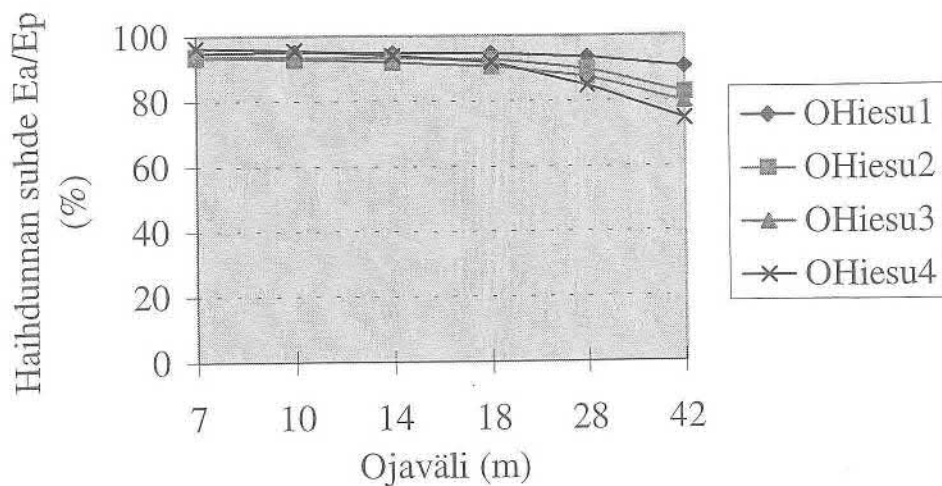
Todellinen haihdunta Eact	Alue 1	Alue 2	Alue 3	Alue 4
keskiarvo	403	393	375	335
min	372	366	319	288
max	423	426	423	371
Potentiaaalinen haihdunta PET	Alue 1	Alue 2	Alue 3	Alue 4
keskiarvo	423	409	396	344
min	390	374	341	307
max	472	434	434	374

Taulukko 4.1 Todellinen ja potentiaalinen haihdunta eri sääalueilla.

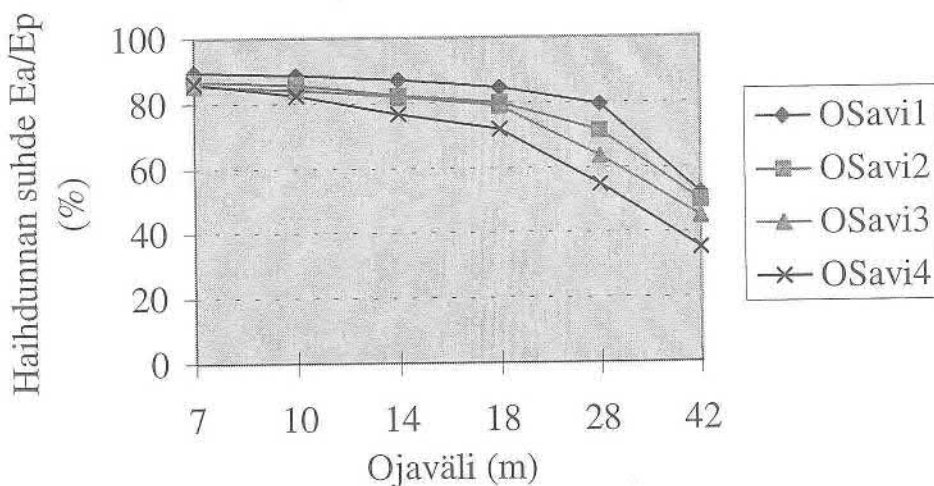
Kuvissa 4.2-4.4 esitetään todellisen ja potentiaalisen haihdunnan suhde eri maalajeilla riippuen laskennallisesta sääalueesta. Kuvista voidaan nähdä, että todellisen ja potentiaalisen haihdunnan suhde on hiedalla (ojavälillä 18 m) ja hiesulla (ojavälillä 14-18 m) noin 0,95, mutta savella (ojavälillä 14 m) se on hiukan alhaisempi tarkasteltaessa kullekin maalajille sopivaa salaojituksen ojaväliä.



Kuva 4.2 Todellisen ja potentiaalisen haihdunnan suhde hiedalla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Sääalueet 1-4.



Kuva 4.3 Todellisen ja potentiaalisen haihdunnan suhde hiesulla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälalueet 1-4.



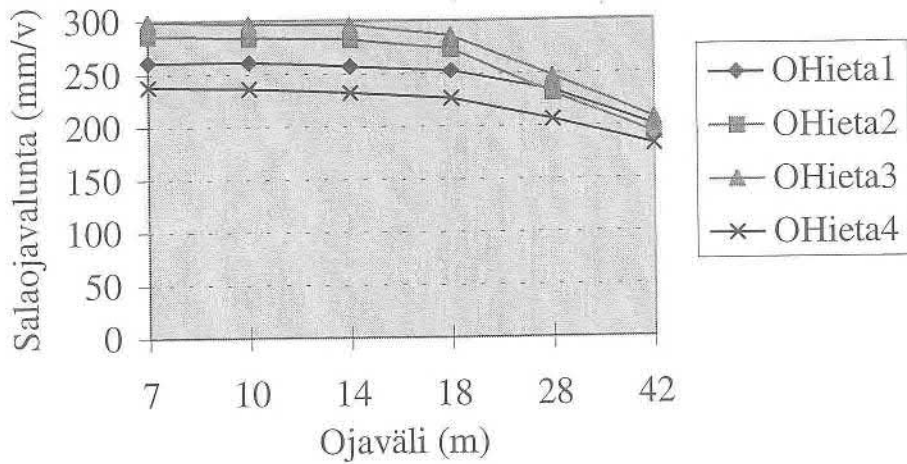
Kuva 4.4 Todellisen ja potentiaalisen haihdunnan suhde savella. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälalueet 1-4.

4.1.2 Valunta

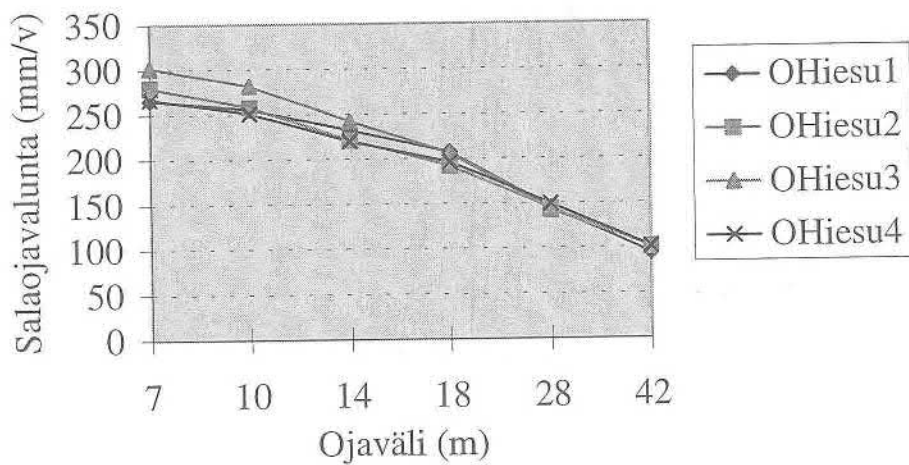
4.1.2.1 Salaojavalunta

Salaojavaluntaa esiintyy vähemmän niillä maalajeilla, joiden vedenpidätyskyky on suurempi. Laskelmissa käytetyillä maalajeilla eniten salaojavaluntaa esiintyy hiedalla ja vähiten savella. Tarkasteltaessa yleisimmin käytettyjä ojaleveyksiä eri maalajeille, salaojavalunnan määräksi saatiin hiedalla (ojavälillä 18 m) 225-290 mm/v (kuva 4.5). Vaihtelu johtuu eri säälalueista, jotka laskelmien mukaan vaikuttavat salaojavalunnan määrään nimenomaan silloin kun maalajina on hieta. Hiesulla ja

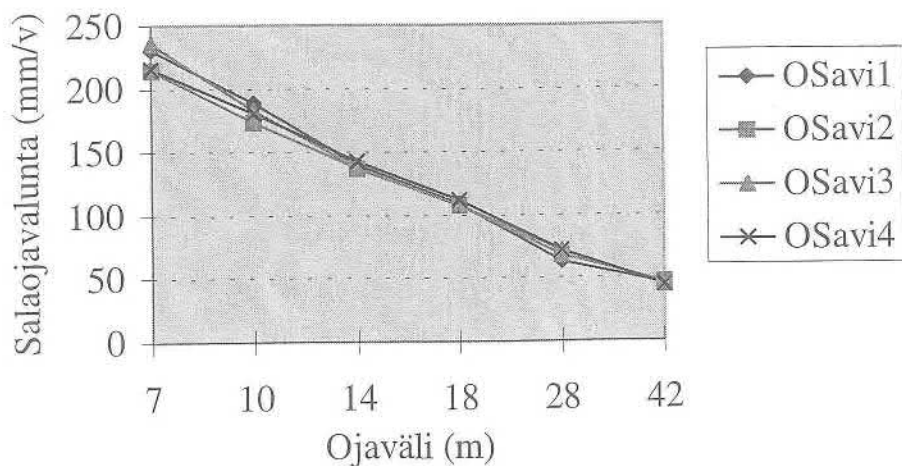
savella eri sääalueet eivät laskelmien mukaan vaikuttaneet huomattavasti. Salaojavalunnan osuudeksi saatiin hiesulle (ojavälillä 14-18 m) 200-250 mm/v (kuva 4.6) ja savelle (ojavälillä 14 m) 150 mm/v (kuva 4.7). Yleisesti ottaen kuvista voidaan lisäksi nähdä, että salaojavalunta kasvaa ojavälin pienentyessä.



Kuva 4.5 Keskimääräinen salaojavalunta hiedalla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Sääalueet 1-4.



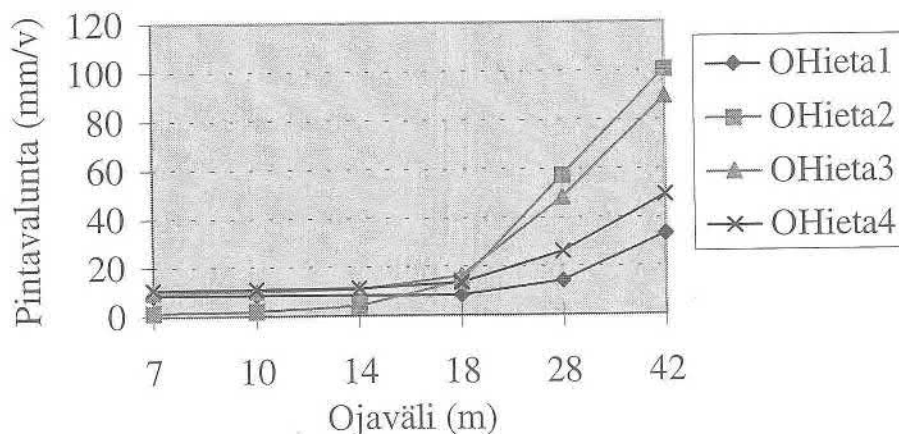
Kuva 4.6 Keskimääräinen salaojavalunta hiesulla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Sääalueet 1-4.



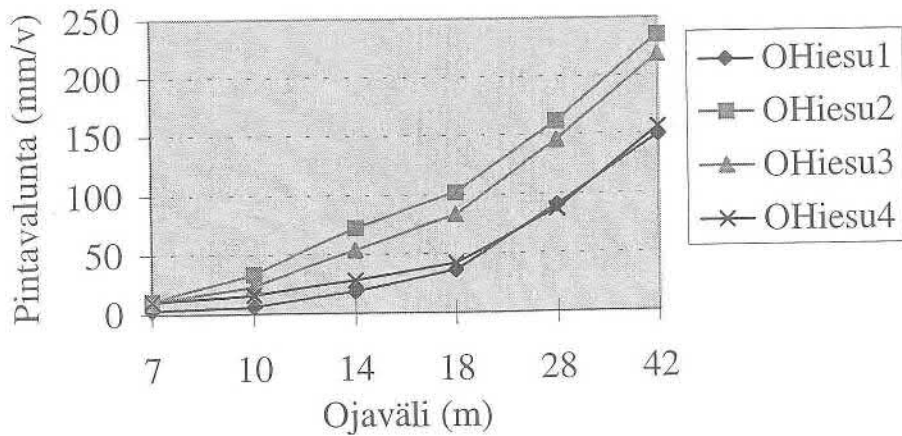
Kuva 4.7 Keskimääräinen salaojavalunta savella. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälueet 1-4.

4.1.2.2 Pintavalunta

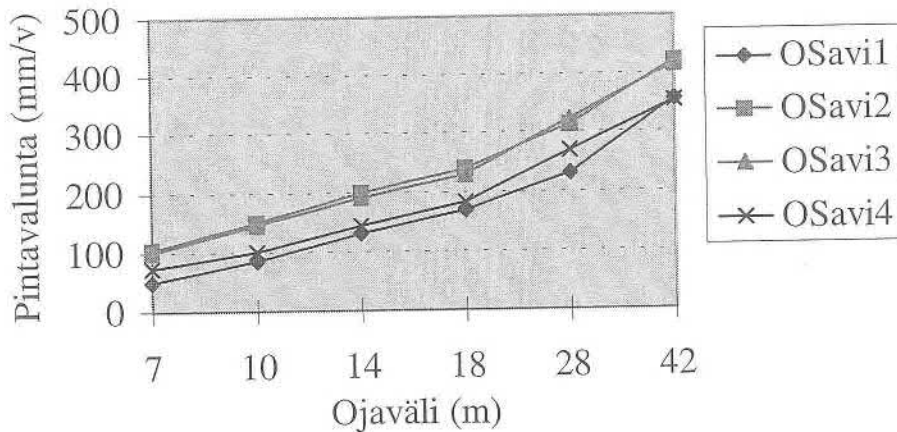
Pintavalunta käyttäytyy maalajikohtaisesti päinvastoin kuin salaojavalunta. Tulosten mukaan eniten pintavaluntaa esiintyy savella; 130-200 mm/v, ojavälin ollessa 14m (kuva 4.10) ja vähiten hiedalla; vain 10-20 mm/v, ojavälillä 18m (kuva 4.8). Hiesulla pintavalunnan osuudeksi saatiin 10-100 mm/v ojavälillä 14-18m (kuva 4.9). Tulosten mukaan pintavalunnan määrään hiesulla ja savella vaikuttaa jonkin verran myös säälue.



Kuva 4.8 Keskimääräinen pintavalunta hiedalla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälueet 1-4.



Kuva 4.9 Keskimääräinen pintavalunta hiesulla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälueet 1-4.



Kuva 4.10 Keskimääräinen pintavalunta savella. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälueet 1-4.

4.2 Typpiosan tulokset

4.2.1 Yleistä typen huuhtouman laskemisesta käytetyssä laskentamallissa

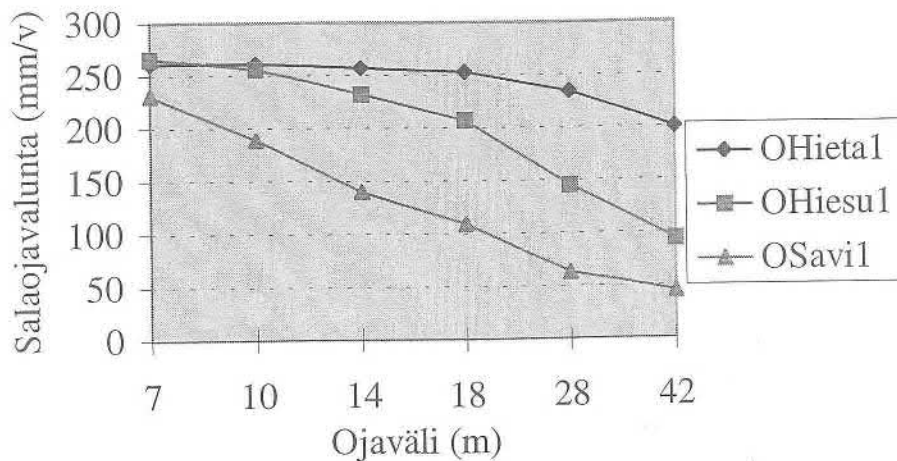
Laskelmissa on käytetty samaa lannoitemäärää kaikilla säätövaihtoehdoilla, ojasyvyyksillä, ojaleveyksillä, maalajeilla, viljakasveilla ja säälueilla. Näin tarkastelu eri kombinaatioiden välillä on havainnollisempaa, vaikka lannoitemäärät ei välttämättä vastaakaan todellisia määriä. Typpilannoituksen määrä laskelmissa on 80 kg/ha/v. Lannoitus tapahtuu kertalannoituksena kevättöiden jälkeen.

Typpeä vapautuu kuitenkin myös mineralisaation kautta ja mallin laskelmien mukaan sen osuus on noin 30-80 kg/ha/v, jolloin kokonaistypymääräksi tulee noin 110-160 kg/ha/v. Laskelmissa on otettu huomioon myös denitrifikaatio, jolloin nitraattityppi muuttuu kaasumaiseksi ja haihtuu, joka osaltaan vähentää typpikuormituksen määrää. Eniten typpikuormitusta vähentää tietenkin kasvuston ottama kokonaistypen määrä, joka riippuu vallitsevista olosuhteista.

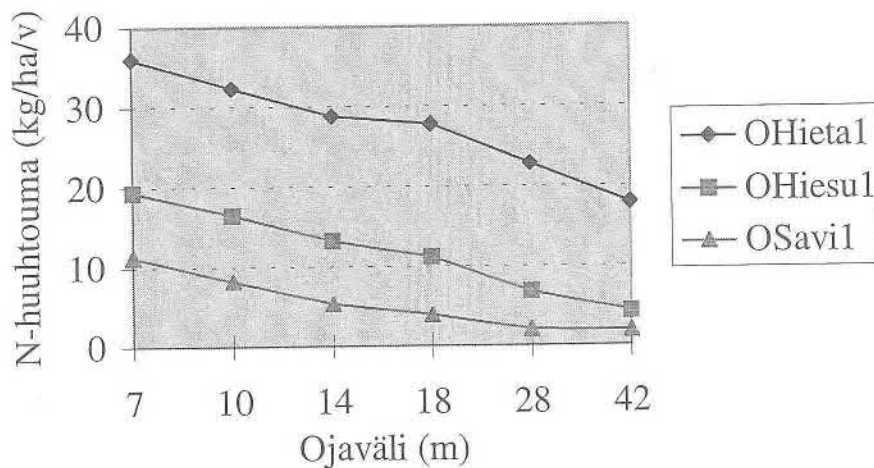
Typpi huuhtoutuu pääasiallisesti salaojavalunnan mukana liukoisessa muodossa (kuvat 4.11-4.12). Typpeä huuhtoutuu jonkin verran myös kiintoaineksen mukana pintavalunnan kautta, mutta laskentamalli ei pysty sitä laskemaan, koska se, miten paljon maa sisältää typpeä ennestään on epäselvää. Typpiosan tulokset esittävät näinollen huuhtouman vain salaojavalunnan osalta.

Typen huuhtouman määrä pintavalunnassa ei ole merkittävä hietamailla, koska tällöin kaikki typpi on liukoisessa muodossa. Typen huuhtouman merkitys pintavalunnan osalta koskeekin vain savimaita, joilla kiintoainekseen sitoutuneen typen määrää ei ole määritetty. Laskelmat eivät siis esitä koko typen huuhtoumaa silloin, kun kyseessä on suuri ojaväli ja savimaa, koska tällöin pintavaluntaa on paljon. Toisaalta, savimaille ei suositella eikä rakennetakaan suuria ojavälejä.

Laskelmien mukaan typen huuhtouma vaihtelee 1 - 43 kg/ha/v kaikkien vaihtoehtojen ollessa mukana. Tämä sisältää kaikki laskennassa käytetyt säätövaihtoehdot, ojavälit, ojasyvyydet, maalajit, viljakasvit ja alueet. Vaihtelu ei kuitenkaan ole noin suurta kun tarkastellaan maalajien sisällä tapahtuvia muutoksia. Lisäksi typen huuhtouman vaihteluväliä kasvattaa laskennassa mukana olevat kaikki ojavälit, joista osaa voidaan tarkastella pelkästään laskennallisesti, eli niillä ei ole realistista merkitystä, koska kaikki ojavälit eivät kaikille maalajeille. Tarkasteltaessa typen huuhtouman vähenemistä, voidaan merkittäväksi typen huuhtouman pienenemiseksi katsoa noin 5kg/ha/v.



Kuva 4.11 Keskimääräinen salaojavalunta eri maalajeilla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säaalue 1.



Kuva 4.12 Keskimääräinen typen huuhtouma salaojien kautta eri maalajeilla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säaalue 1.

4.2.2 Maalajin vaikutus typen huuhtoumaan

Tulosten mukaan typpeä huuhtoutuu eniten hietamailla. Typen huuhtouman arvojen havaittiin vaihtelevan hietamailla 11-43 kg/ha/v välillä riippuen viljakasvista, ojavälistä, alueesta sekä säätövaihtoehdosta. Hiesumailla typpeä huuhtoutuu tällöin 3-24 kg/ha/v. Vähäisin typen huuhtouma havaittiin olevan savimailla, jonka arvojen vaihteluksi saatiin 1-12 kg/ha/v. Edellisissä arvoissa on mukana kaikki laskennassa käytetyt laskentakombinaatiot. Tuloksiin vaikuttaa huomattavasti se, että hietamailla salaojavaluntaa on enemmän ja vastaavasti savimailla pintavalunnan osuus on

suurempi. Seuraavissa kappaleissa arvioidaan typen huuhtoumaa tarkemmin eri maalajeilla; ottaen myös huomioon eri maalajeille sopivat ojavälivaihtoehdot.

4.2.2.1 Typen huuhtouman vaihtelu

Typen huuhtouma vaihtelee eniten hietamailla ja vähiten savimailla. Hietamailla vaihtelua voi olla jopa 32 kg/ha/v, kun savimailla se on 13 kg/ha/v. Laskelmien mukaan vaihtelua typen huuhtouman arvoon aiheuttaa käytetty ojaväli. Ojavälillä näyttäisi olevan kuitenkin samansuuntainen vaikutus typen huuhtouman arvoon, oli kyseessä hieta-, hiesu- tai savimaa. Tulosten mukaan mitä suurempi ojaväli on, sitä vähemmän typpeä huuhtoutuu. Tämä johtuu mm. siitä, että laskentamallin mukaan salaojavalunnan ollessa korkea typen huuhtouma lisääntyy.

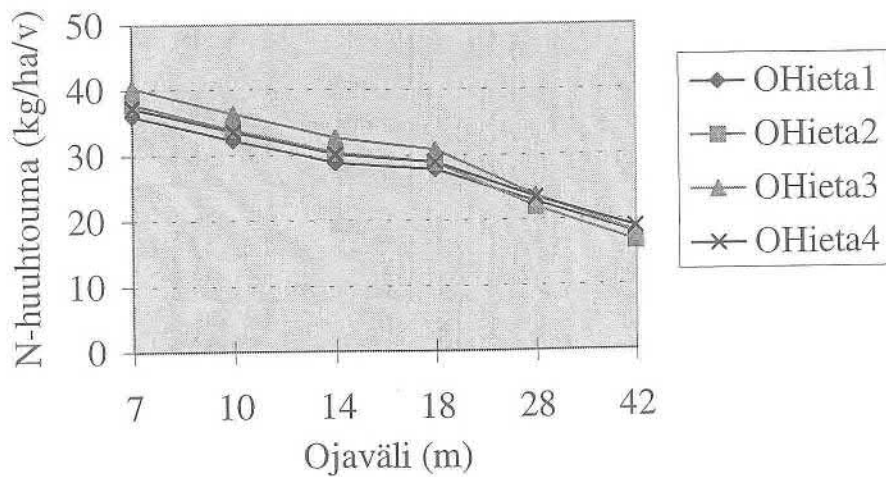
4.2.2.2 Typen huuhtouma hietamailla

Laskentatulosten (kuva 4.13) mukaan typen huuhtouma (viljakasvina ohra) on suurin ojavälin ollessa 7 m (35-40 kg/ha/v). Ojaväliä kasvatettaessa typen huuhtouma vähenee. Typen huuhtouma on vähäisintä ojavälin ollessa 42 m (16-19 kg/ha/v). Vähiten vaihtelua tapahtuu ojavälin vaihtuessa välillä 14-18 m (28-33 kg/ha/v) - (27-31 kg/ha/v); vain noin 1-2 kg/ha/v siirryttäessä 14 m:n ojavälistä 18 m:n ojaväliin.

Suunniteltaessa salaojitusta hietamaalle sopiva ojaväli on 18-20 m. Tarkasteltaessa kuvaa typen huuhtoumasta hietamaalla nähdään, että laskelmien perusteella typpeä huuhtoutuu ojavälin ollessa 18 m 28-31 kg/ha/v. Tulosten vaihtelun ojavälin sisällä aiheuttaa valittu sääalue.

Kuvan perusteella typen huuhtouma vähenee kun ojaväliä kasvatetaan. Tämä johtuu siitä, että tällöin salaojavalunnan osuus pienenee ja typpeä ei pääse huuhtoutumaan niin paljon valumavesien mukana ja näinollen typpeä jää maaperään kasvien käytettäväksi.

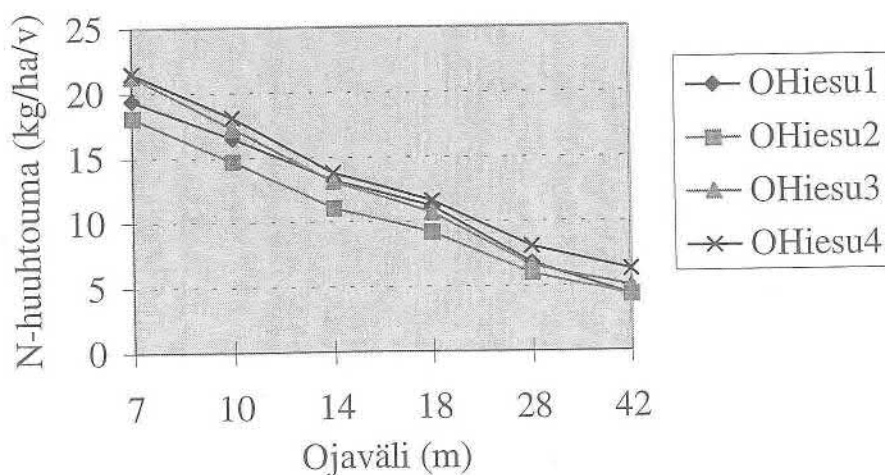
Toisaalta, kun salaojien välit ovat erittäin suuria, niin pintavalunnan osuus kasvaa, varsinkin suurten sateiden vaikutuksesta. Tällöin valumavedet eivät päädy salaojiin ja typpeä huuhtoutuu pintavalunnan mukana pois.



Kuva 4.13 Typen huuhtouma salaojien kautta hietamailla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälueet 1-4.

4.2.2.3 Typen huuhtouma hiesumailla

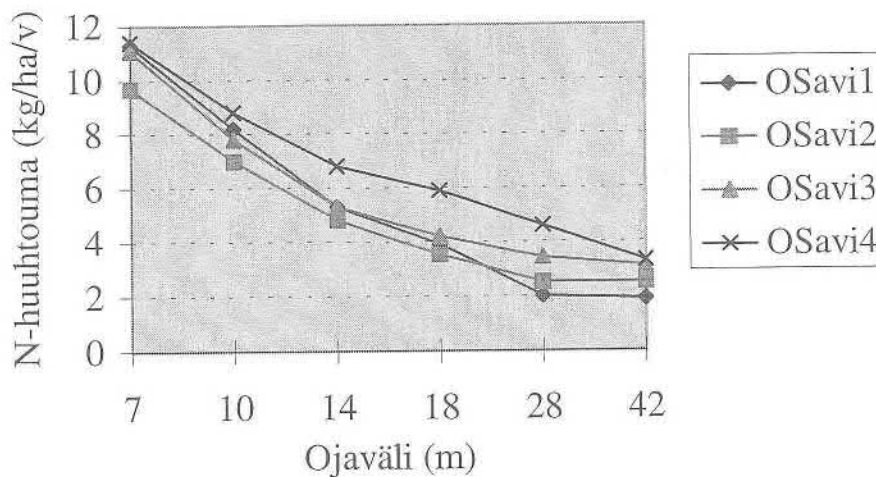
Tulosten (kuva 4.14) mukaan typen huuhtouma on suurin ojavälin ollessa 7 m (16-22 kg/ha/v). Ojaväliä kasvatettaessa typen huuhtouma vähenee. Typen huuhtouma on vähäisintä ojavälin ollessa 42 m (4-6 kg/ha/v). Ojavälin ollessa sopiva hiesumaalle, eli 14-18 m, huuhtouman arvoksi saadaan (11-14 kg/ha/v) - (9-12 kg/ha/v). Tällä välillä typen huuhtouman vaihtelu ei ole kovin suurta; vain noin 2 kg/ha/v siirryttäessä 14 m:n ojavälistä 18 m:n ojaväliin.



Kuva 4.14 Typen huuhtouma salaojien kautta hiesumailla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälueet 1-4.

4.2.2.4 Typen huuhtouma savimailla

Savimailla (kuva 4.15) typen huuhtouma on laskentatulosten mukaan suurin ojavälin ollessa 7 m (9-11 kg/ha/v). Ojaväliä kasvatettaessa typen huuhtouma vähenee. Typen huuhtouma on vähäisintä ojavälin ollessa 42 m (2-3 kg/ha/v). Ojavälin ollessa savimaalle sopiva, eli 14 m, huuhtouman arvoksi saadaan (5-7 kg/ha/v).

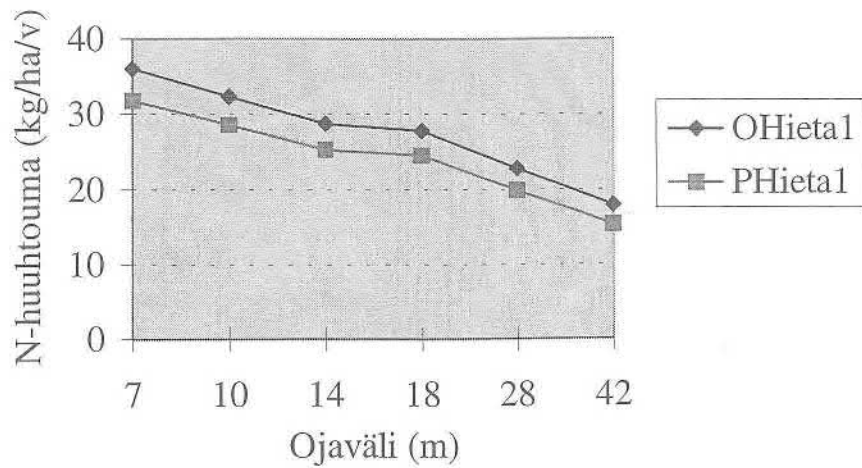


Kuva 4.15 Typen huuhtouma salaojien kautta savimailla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälalueet 1-4.

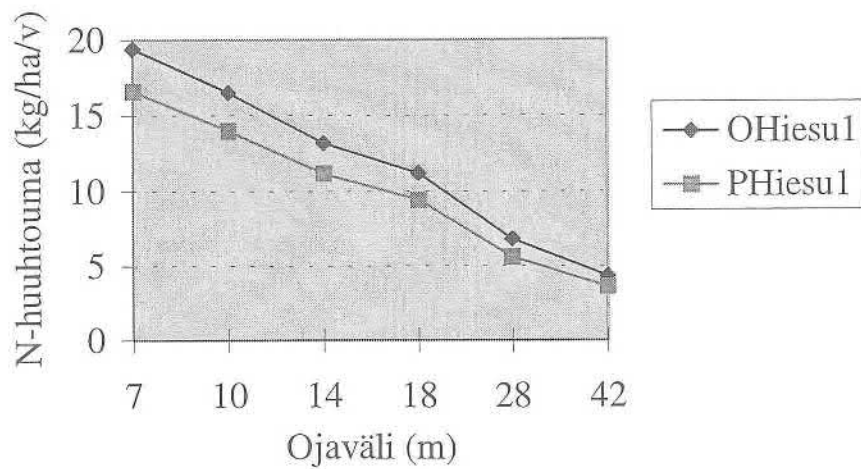
4.2.3 Typen huuhtouma viljakasvista riippuen

Tulosten perusteella kaikilla laskelmissa käytetyillä ilmastoalueilla ja maalajeilla typpeä huuhtoutuu enemmän ohralla kuin perunalla (kuva 4.16). Ohralla typen huuhtouma vaihtelee 2-40 kg/ha/v, kun perunalla typen huuhtouma jää välille 1-35 kg/ha/v. Typen huuhtouma jää ohralla suuremmaksi, koska peruna käyttää enemmän typpeä kasvuprosessissaan.

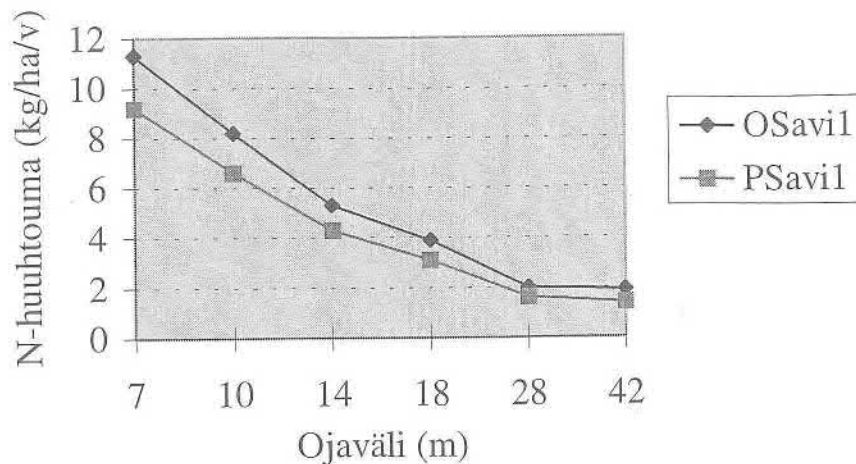
Tarkasteltaessa typen huuhtouman maksimiarvoja (kuvat 4.16-4.18) näyttäisi siltä, että typpeä huuhtoutuu enemmän ohralla kuin perunalla erityisesti silloin, kun kysessä on hietamaa. Tällöin ohran huuhtouman maksimiarvo voi olla jopa noin 6 kg/ha/v suurempi kuin perunalla. Pienimmillään ohran ja perunan ero on silloin, kun kyseessä on savimaa. Tällöinkin ohran maksimiarvo saa jopa 2 kg/ha/v suuremman arvon kuin sama laskentakombinaatio perunalle.



Kuva 4.16 Typen huuhtouma salaojien kautta viljakasvista riippuen. Maalaji hieta. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvit ohra (O) ja peruna (P). Sääalue 1.



Kuva 4.17 Typen huuhtouma salaojien kautta viljakasvista riippuen. Maalaji hiesu. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvit ohra (O) ja peruna (P). Sääalue 1.



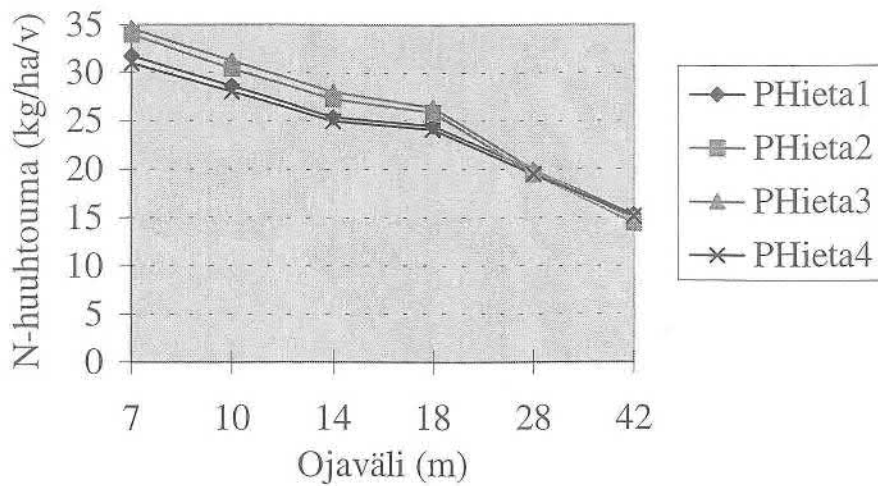
Kuva 4.18 Typen huuhtouma salaojien kautta viljakasvista riippuen. Maalaji savi. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvit ohra (O) ja peruna (P). Säälue 1.

4.2.4 Säälueen vaikutus typen huuhtoumaan

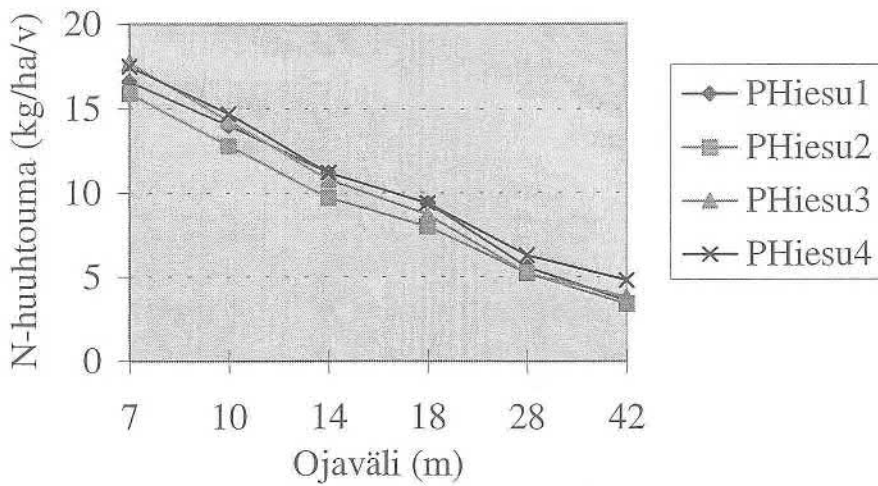
Typen huuhtoumien arvot eivät vaihtele suuresti eri säälueiden välillä. Laskelmien mukaan typen huuhtouma kuitenkin hieman kasvaa siirryttäessä etelästä pohjoiseen. Typen huuhtouma vaihtelee eri ilmastoalueilla eniten hiedalla. Typen huuhtouman maksimi-arvo saa hiedalla arvot 36-40 kg/ha/v (kuva 4.13), jolloin suurin vaihtelu ilmastoalueiden välillä on noin 4 kg/ha/v. Vähiten vaihtelua eri ilmastoalueiden välillä tapahtuu savella, jolla typen huuhtouman maksimi-arvo saa arvot 10-11 kg/ha/v (kuva 4.15), jolloin vaihteluksi jää vain noin 2 kg/ha/v. Hiesumaalla typen huuhtouma vaihtelee eri ilmastoalueiden välillä 19-22 kg/ha/v (kuva 4.14), jolloin maksimihuuhtouman arvo vaihtelee suurimmillaan noin 3 kg/ha/v.

Tarkasteltaessa myös typen huuhtouman minimiarvoja tuloksista nähdään, että nekin kasvavat siirryttäessä etelästä pohjoiseen. Hiedalla minimiarvot vaihtelevat 17-19 kg/ha/v, hiesulla 4-6 kg/ha/v ja savella 2-3 kg/ha/v (kuvat 4.13-4.15). Näinollen typen huuhtouma vaihtelee eri ilmastoalueiden välillä erittäin paljon kun laskennassa on mukana kaikki ojavälit. Tällöin vaihteluksi saadaan hiedalla 17-40 kg/ha/v, hiesulla 4-22 kg/ha/v ja savella 2-11 kg/ha/v.

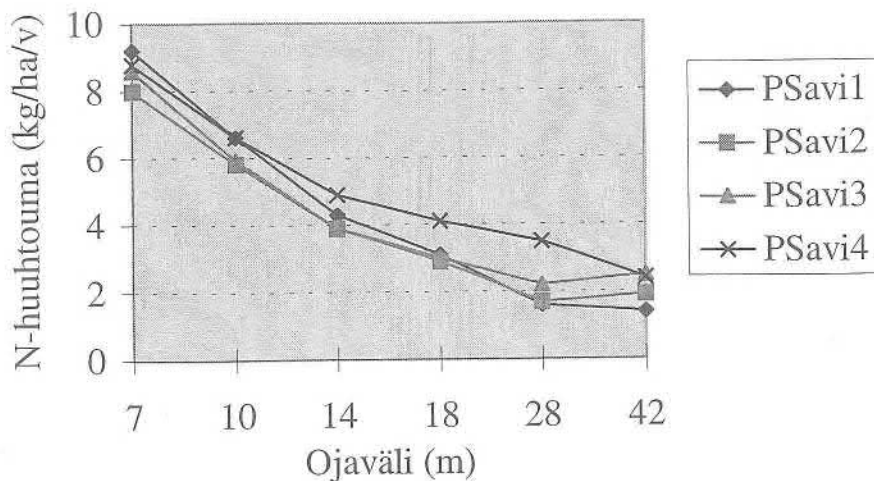
Edelliset arvot on saatu, kun laskennassa on käytetty viljakasvina ohraa. Peruna (kuvat 4.19-4.21) käyttäytyy samansuuntaisesti, mutta typen huuhtoumien arvot jäävät hiukan pienemmiksi.



Kuva 4.19 Typen huuhtouma salaojien kautta eri sääalueilla. Maalaji hieta. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi peruna. Sääalueet 1-4.



Kuva 4.20 Typen huuhtouma salaojien kautta eri sääalueilla. Maalaji hiesu. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi peruna. Sääalueet 1-4.



Kuva 4.21 Typen huuhtouma salaojien kautta eri sääalueilla. Maalaji savi. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi peruna. Sääalueet 1-4.

4.2.5 Säätoimenpiteiden vaikutus typen huuhtoumaan

Tarkasteltaessa typen huuhtoumaa eri säätoimenpiteiden välillä havaitaan, että säätoimenpiteillä on eniten vaikutusta typen huuhtouman vähenemiseen silloin kun kyseessä on hieta- tai hiesumaa. Savimaalla säädöllä ei saada aikaan niin suuria typen huuhtouman muutoksia. Säätoimenpiteet tai pohjavesikastelu ei sovi savimaalle.

Hieta- ja hiesumaalla säätoimenpiteet näyttäisivät vaikuttavan eniten, kun tarkastellaan ojavälejä 7m, 10m, 14m ja 18m. Tulosten mukaan vain alueella 1 vaihtelua saadaan aikaiseksi myös suuremmilla ojaväleillä.

Mallissa säätoimenpiteiden rajaantuessa välille 15.5 - 31.8, eli kasvukauden, se ei ota laskelmissaan huomioon kasvukauden ulkopuolella tapahtuvia säätoimenpiteitä. Tämä saattaa olla yksi syy siihen, miksi tuloksien perusteella säädöllä ei näyttäisi olevan huomattavaa vaikutusta huuhtoumiin. Suurimpien valuntojen esiintyessä keväällä ja syksyllä, mallissa pitäisi olla mukana myös kasvukauden ulkoinen säätoimenpide. Erityisesti kasvukauden jälkeen tapahtuva mahdollinen säätoimenpiteiden vaikutus huuhtoumiin olisi lisätutkimuksen arvoinen. Toisaalta, viljelijät toimivat niin; laittavat säädön päälle kesäkuun puolen välin aikoihin ja sulkevat sen elokuun lopulla kasvukauden päättyttyä. Keväällä säätöä ei voi käyttää, koska maan pitää olla olosuhteiltaan sopivaa kevättöihin ja kylvöön.

Mallin laskelmat perustuvat 15 vuoden sadanta-aineistoon, eivätkä siten ota huomioon, että todellisuudessa erilaisina vuosina käytetään erilaisia säätoimenpiteitä.

Malli edustaa siten ”passiivista” viljelijää. Esimerkiksi sateisina vuosina padot voivat tulvia yli. Hoitamalla säätötoimenpiteet tarkoituksenmukaisesti voidaan huuhtoumien vähenemiseen vaikuttaa paremmin.

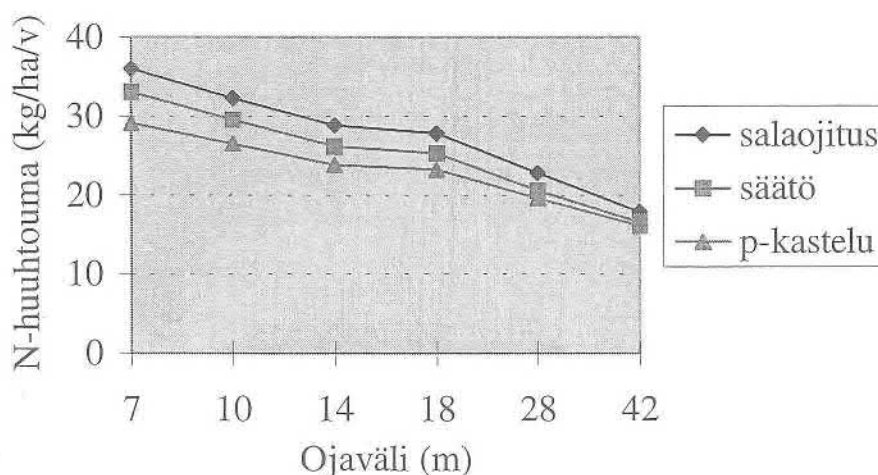
4.2.5.1 Säätötoimenpiteistä aiheutuva typen huuhtouman väheneminen

Säätötoimenpiteiden vaikutuksia kuvaavia kaavioita katseltaessa havaitaan, että yleisesti ottaen säätötoimenpiteet vaikuttavat enemmän typpihuuhtoumiin silloin kuin kyseessä on pienet ojavälit. Hyöty vähenee siirryttäessä suuriin ojaväleihin.

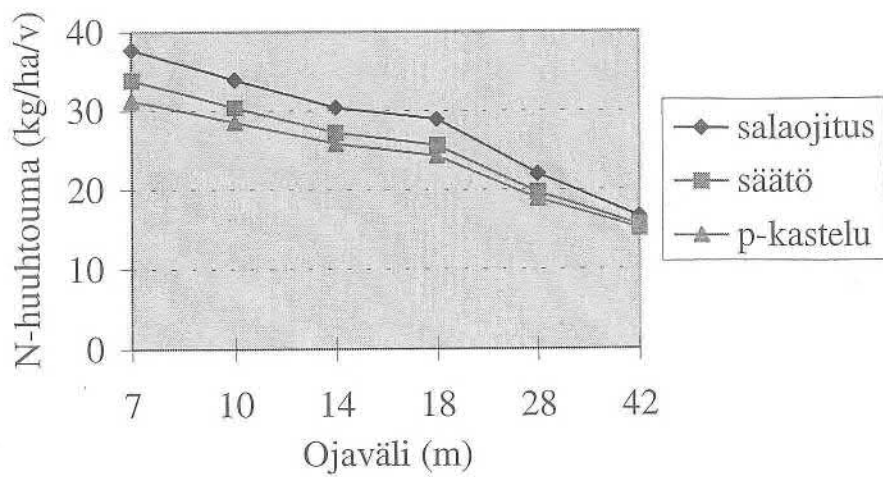
Tarkasteltaessa hietamaan tuloksia ojavälillä 18 m (kuvat 4.22-4.25), havaitaan, että siirryttäessä tavallisesta salaojituksesta säätöojitukseen saavutetaan noin 10 %:n (2,5 kg/ha/v) typpihuuhtouman väheneminen. Saman verran typpihuuhtouma vähenee siirryttäessä säätöojituksesta pohjavesikasteluun. Siirryttäessä tavallisesta salaojitukselta pohjavesikasteluun laskelmien mukaan typpihuuhtouma vähenee noin 18 %.

Alueellisesti tarkasteltaessa erot eivät ole kovin suuria, mutta siirryttäessä tavallisesta salaojitukselta säätösalojitukseseen hyöty vähenee etelästä pohjoiseen. Sääalueella 3 ja 4 pohjavesikastelulla ei näyttäisi olevan niin paljon vaikutusta typpihuuhtoumaan. Kuitenkin myös sääalueella 3 ja 4 saavutetaan tulosten mukaan noin 10 %:n

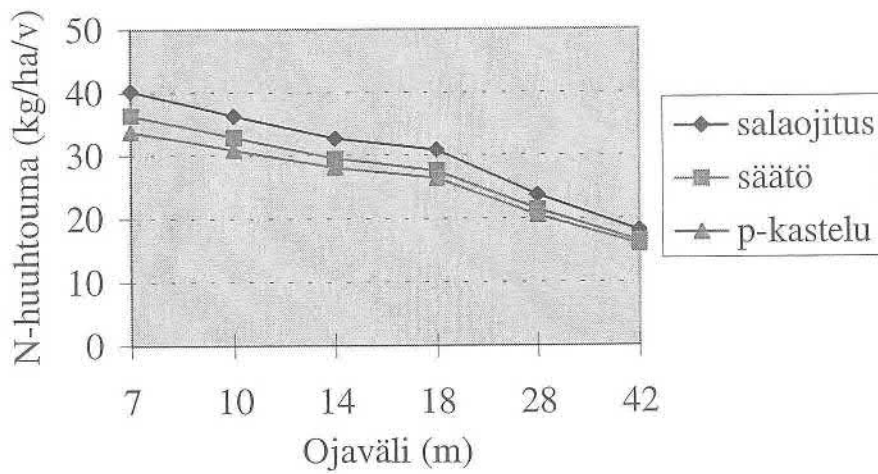
(3 kg/ha/v) typpihuuhtouman väheneminen käytettäessä säätösalojitusta verrattuna tavalliseen salaojitukseen.



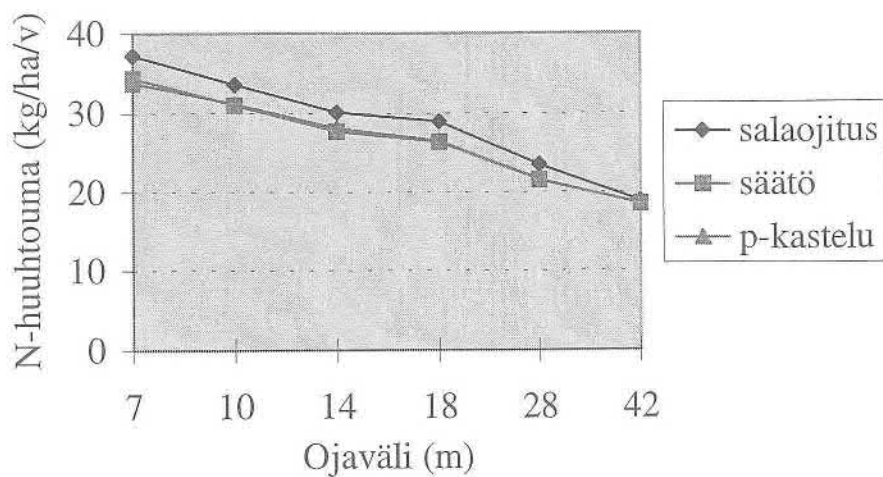
Kuva 4.22 Typen huuhtouma salaojien kautta eri säätövaihtoehdoilla. Maalaji hietä. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Sääalue 1.



Kuva 4.23 Typen huuhtouma salaojien kautta eri säätövaihtoehtoilla. Maalaji hieta. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 2.

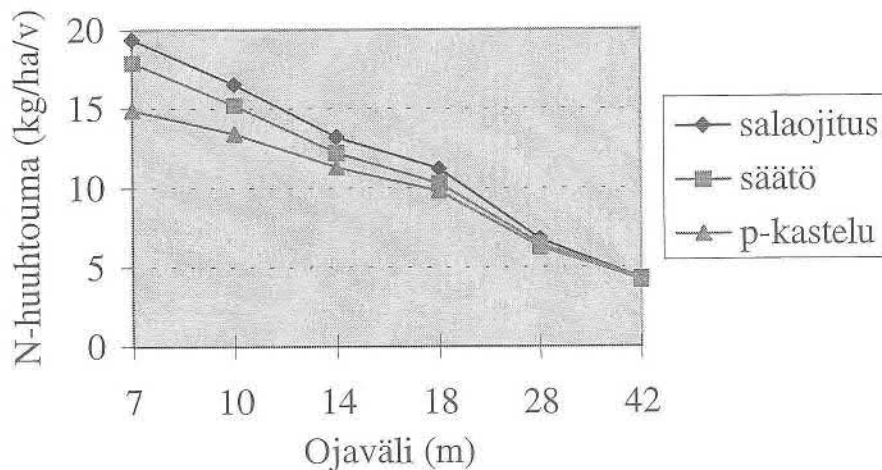


Kuva 4.24 Typen huuhtouma salaojien kautta eri säätövaihtoehtoilla. Maalaji hieta. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 3.

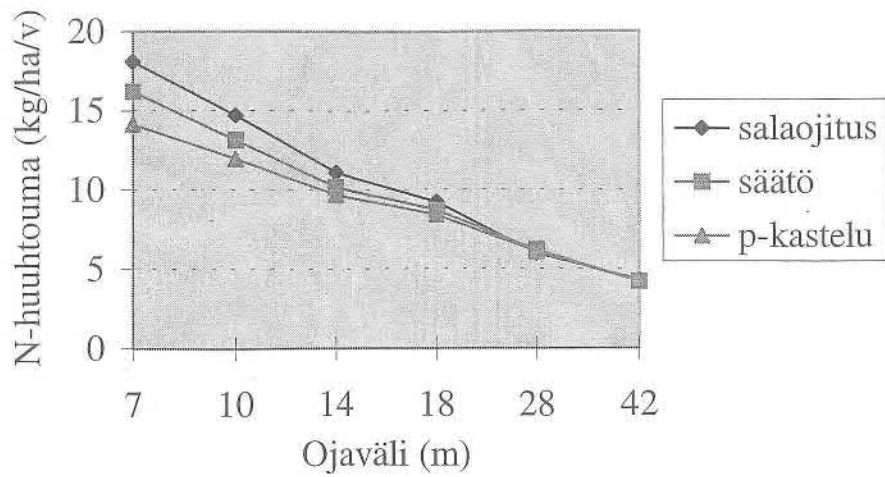


Kuva 4.25 Typen huuhtouma salaojien kautta eri säätovaihtoehdoilla. Maalaji hieta. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 4.

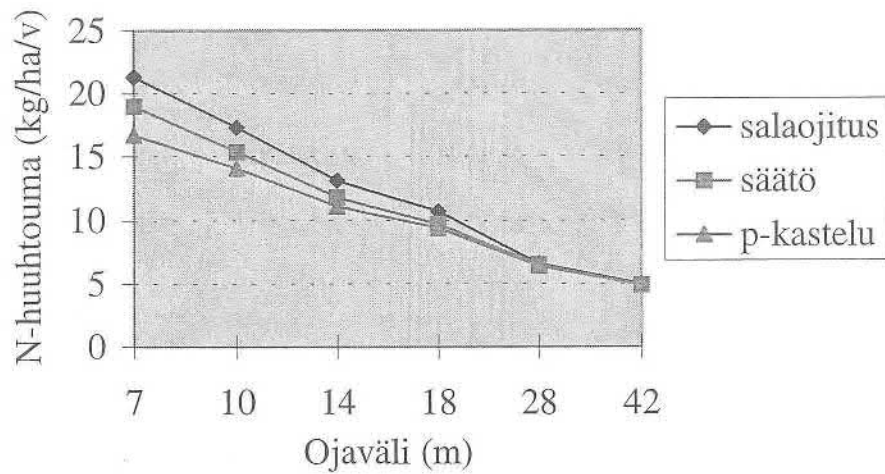
Hiesumaalla (kuvat 4.26-4.29) säätoimenpiteillä typen huuhtouma vähenee noin 8% (1 kg/ha/v/säätovaihtoehdo). Alueelliset erot ovat pieniä, pienempiä vielä kuin hietamaalla. Tässä tarkasteluojavälinä on käytetty 14 - 18 m.



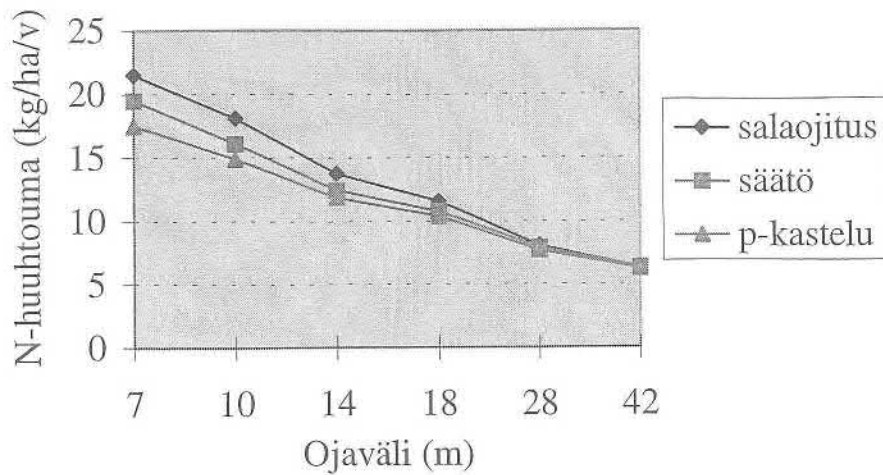
Kuva 4.26 Typen huuhtouma salaojien kautta eri säätovaihtoehdoilla. Maalaji hiesu. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 1.



Kuva 4.27 Typen huuhtouma salaojien kautta eri säätvaihtoehtoilla. Maalaji hiesu. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 2.

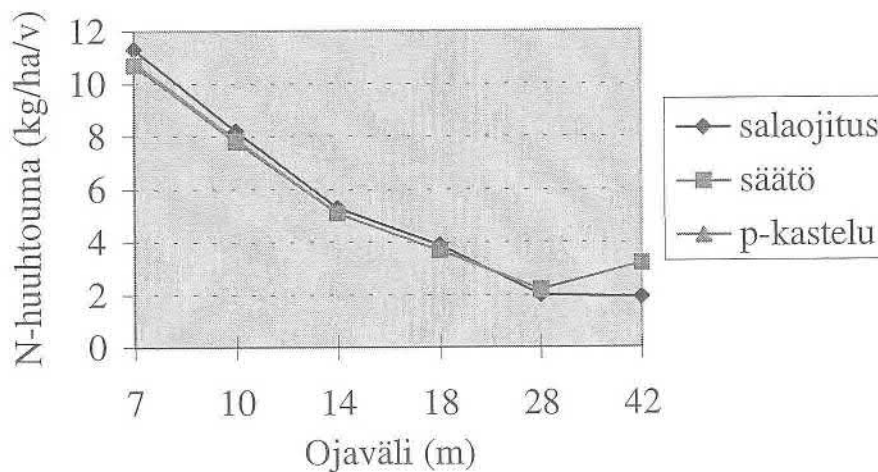


Kuva 4.28 Typen huuhtouma salaojien kautta eri säätvaihtoehtoilla. Maalaji hiesu. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 3.

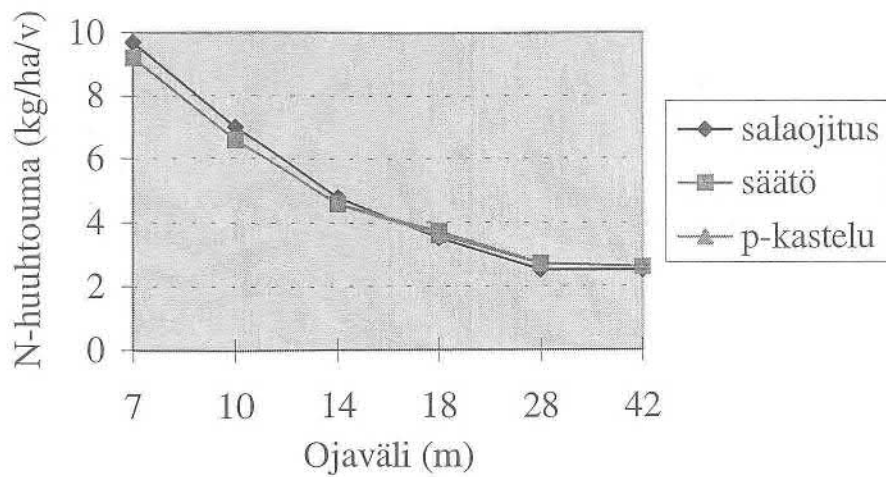


Kuva 4.29 Typen huuhtouma salaojien kautta eri säätövaihtoehdoilla. Maalaji hiesu. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Sääalue 4.

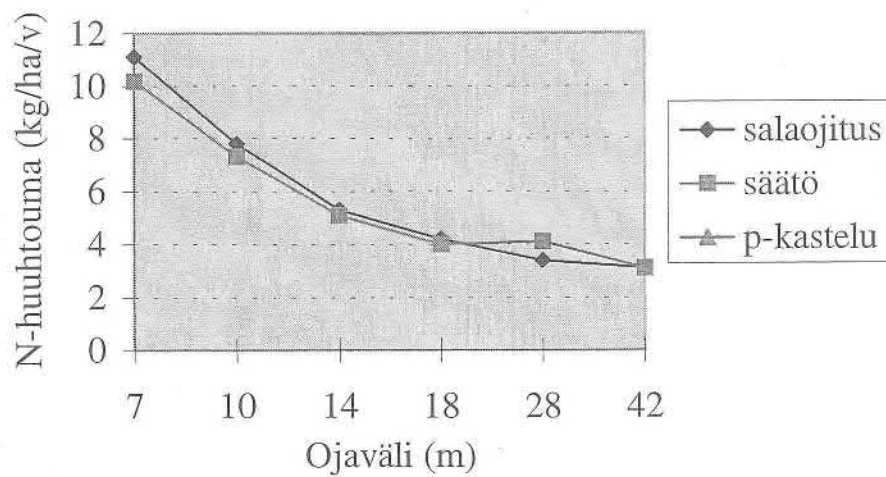
Puhtaille savimaalle säättöjitus tai pohjavesikastelu ei sovi savimaan huonon vedenläpäisevyyden takia. Tämä voidaan myös nähdä kuvista 4.30-4.33. Tulokset on kuitenkin laskettu myös savimaalle koska tuloksia voidaan tarkastella myös niin, että arvioidaan esim. hiesuisen savimaan käyttäytymistä.



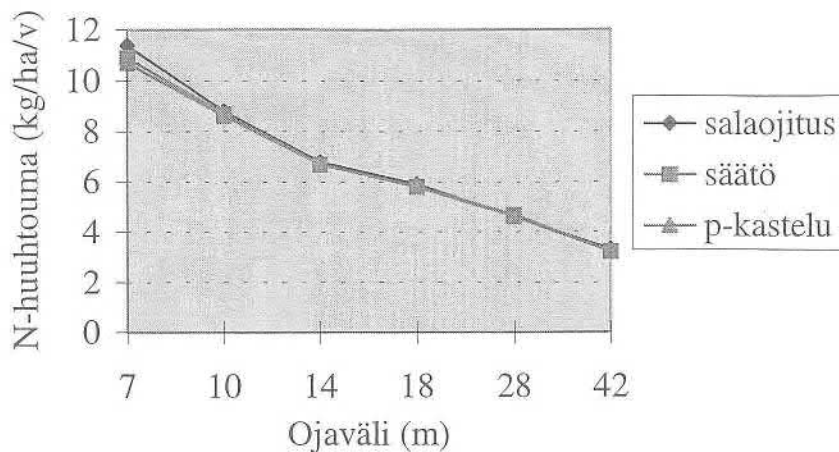
Kuva 4.30 Typen huuhtouma salaojien kautta eri säätövaihtoehdoilla. Maalaji savi. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Sääalue 1.



Kuva 4.31 Typen huuhtouma salaojien kautta eri säätövaihtoehdoilla. Maalaji savi. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 2.



Kuva 4.32 Typen huuhtouma salaojien kautta eri säätövaihtoehdoilla. Maalaji savi. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 3.

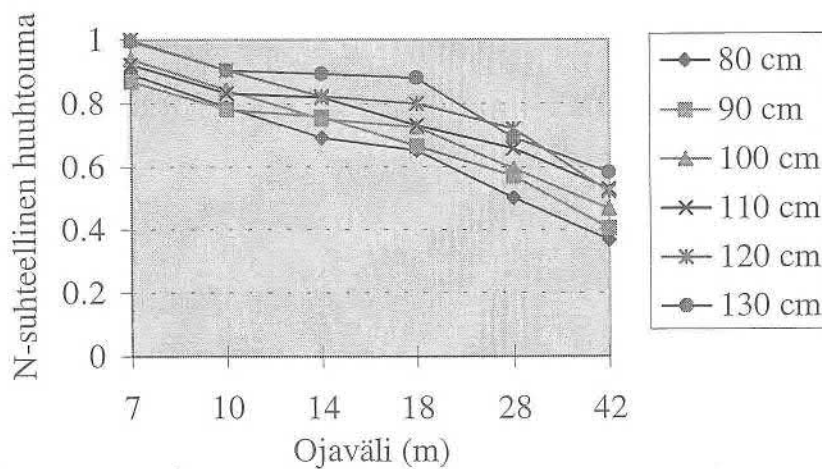


Kuva 4.33 Typen huuhtouma salaojien kautta eri säätövaihtoehdoilla. Maalaji savi. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säaalue 4.

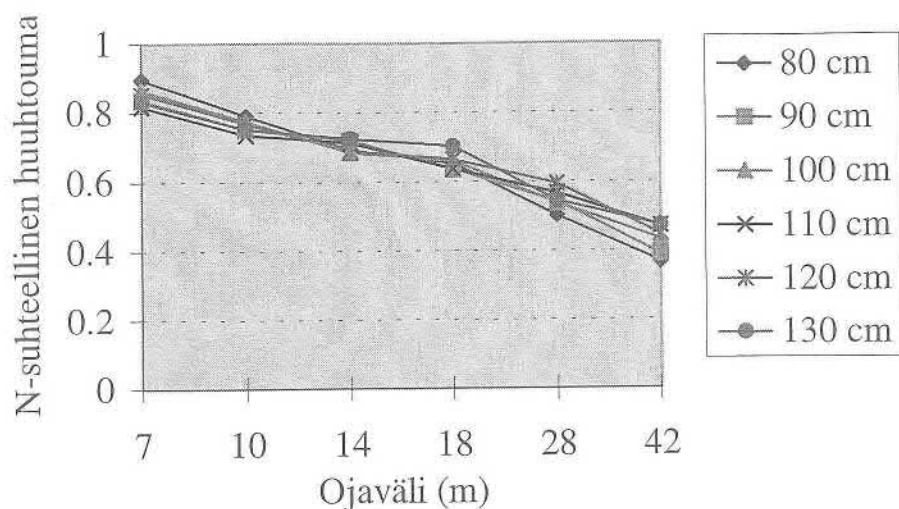
4.2.6 Ojasyvyyden vaikutus typen huuhtoumaan

Tuloksien mukaan hiedalla (kuvat 4.34-4.36) ojasyvyys vaikuttaa typpihiuhtoumaan eniten silloin kun kyseessä on tavallinen salaojitus. Tällöin typpihiuhtouman muutokseksi laskelmissa saatiin noin 26% (8 kg/ha/v) (ojavälillä 18 m). Säätosalaojituksen tai pohjavesikastelun typpihiuhtoumiin ojasyvyydellä ei näyttäisi olevan huomattavaa vaikutusta.

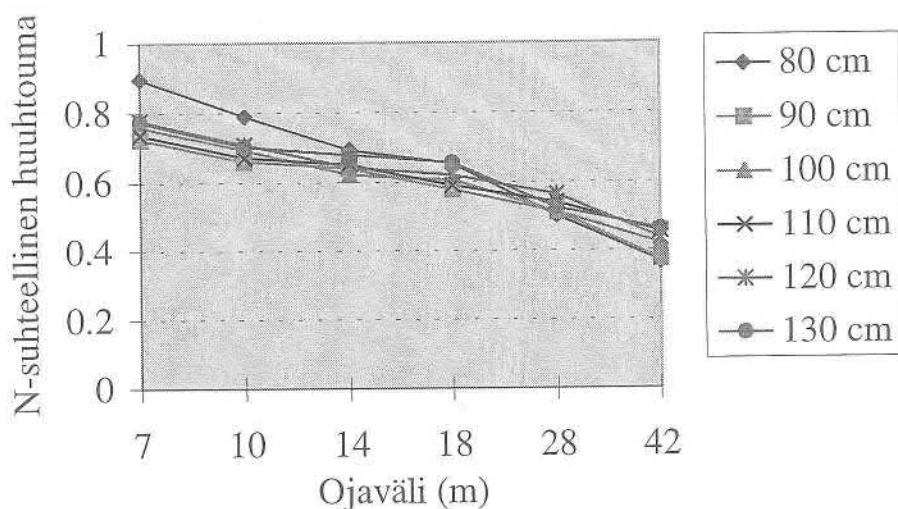
Kaikilla maalajeilla pienin huuhtouma saavutetaan silloin kun ojasyvyys on pieni (80 cm) ja suurin silloin kun ojasyvyys on suuri (130 cm). Ojasyvyydellä näyttäisi laskentatulosten mukaan olevan huomattava vaikutus typpihiuhtoumiin kun kyseessä on tavallinen salaojitus.



Kuva 4.34 Typen suhteellinen huuhtouma salaojien kautta eri ojasyvyyksillä. Maalaji hietä. Tavallinen salaojitus. Säaalue 1. Viljakasvi ohra. 1,0 vastaa tavallisen salaojituksen maksimiarvoa typen huuhtoumalle; 38 kg/ha/v.



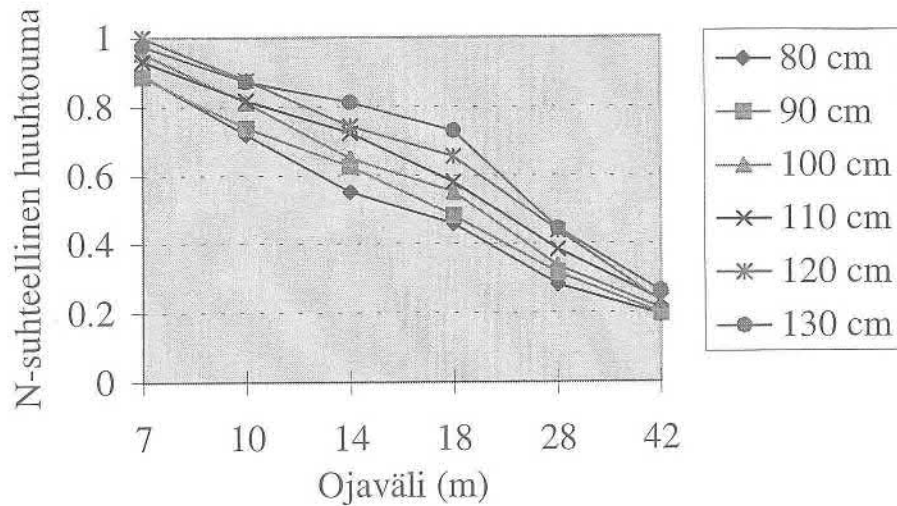
Kuva 4.35 Typen suhteellinen huuhtouma salaojien kautta eri ojasyvyyksillä. Maalaji hieta. Säätösalaajitus. Sääalue 1. Viljakasvi ohra. 1,0 vastaa tavallisen salaajituksen maksimiarvoa typen huuhtoumalle; 38 kg/ha/v.



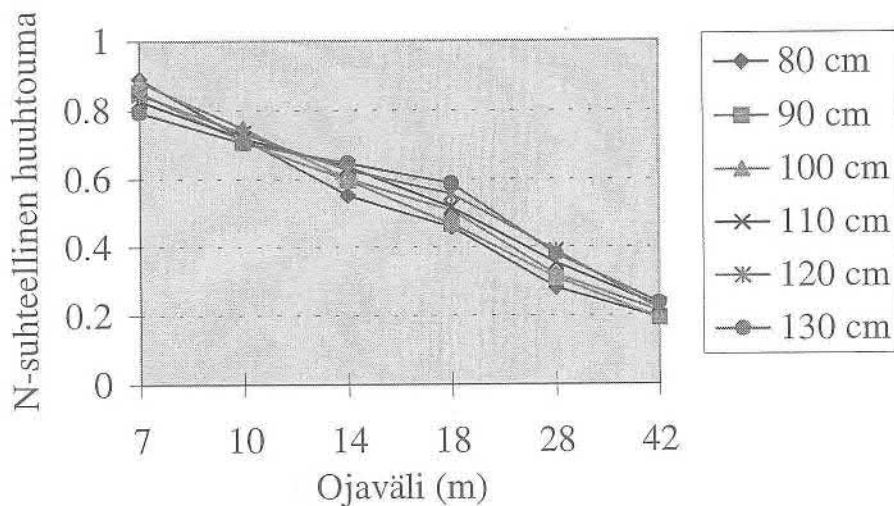
Kuva 4.36 Typen suhteellinen huuhtouma salaojien kautta eri ojasyvyyksillä. Maalaji hieta. Pohjavesikastelu. Sääalue 1. Viljakasvi ohra. 1,0 vastaa tavallisen salaajituksen maksimiarvoa typen huuhtoumalle; 38 kg/ha/v.

Hiesulla (ojaväli 14-18 m) (kuvat 4.37-4.39) tulokset osoittavat, että ojasyvyys vaikuttaa eniten silloin kun kyseessä on tavallinen salaajitus. Tällöin muutos typpihuuhtoumassa voi olla jopa noin 35 % (6 kg/ha/v). Säätösalaajituksessa ojasyvyys näyttäisi vaikuttavan puolta vähemmän typpihuuhtoumiin. Pohjavesikastelun kohdalla kuvasta voidaan nähdä, että 14 m:n kohdalla

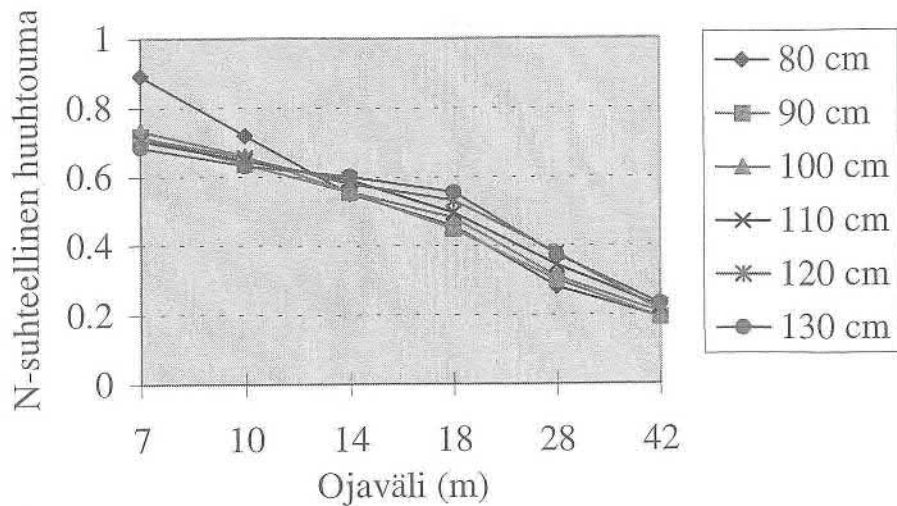
ojasyvyydellä ei näyttäisi olevan vaikutusta, mutta 18 m:n ojaleveydellä typpihuuhtouma vaihtelee noin 3 kg/ha/v.



Kuva 4.37 Typen suhteellinen huuhtouma salaojien kautta eri ojasyvyyksillä. Maalaji hiesu. Tavallinen salaojitus. Säälalue 1. Viljakasvi ohra. 1,0 vastaa tavallisen salaojituksen maksimiarvoa typen huuhtoumalle; 20 kg/ha/v.

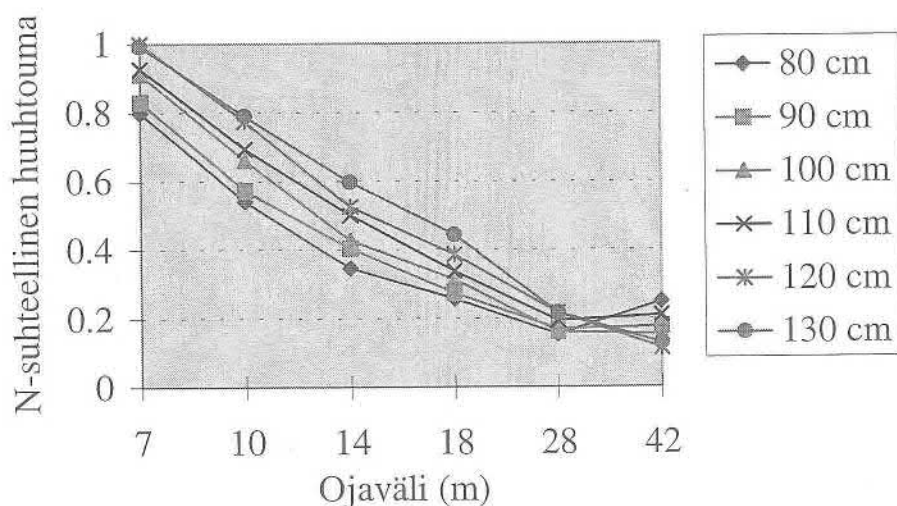


Kuva 4.38 Typen suhteellinen huuhtouma salaojien kautta eri ojasyvyyksillä. Maalaji hiesu. Säätösalojitus. Säälalue 1. Viljakasvi ohra. 1,0 vastaa tavallisen salaojituksen maksimiarvoa typen huuhtoumalle; 20 kg/ha/v.

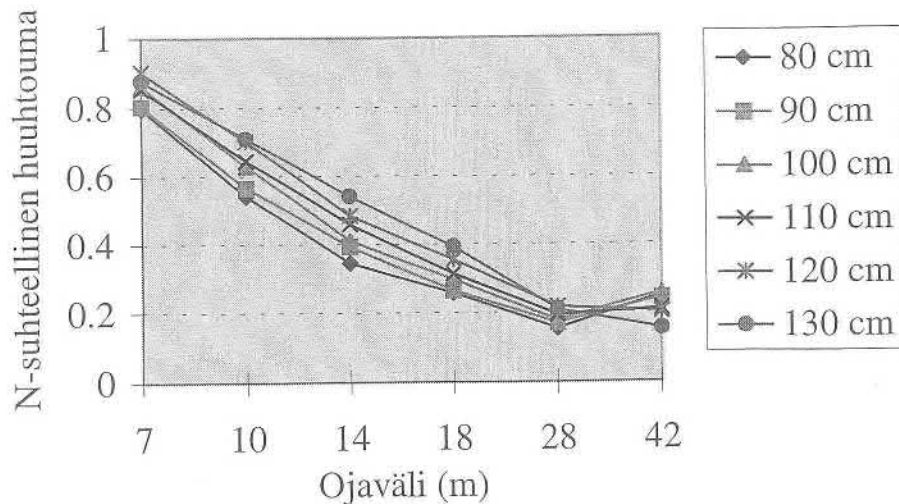


Kuva 4.39 Typen suhteellinen huuhtouma salaojien kautta eri ojasyvyyksillä. Maalaji hiesu. Pohjavesikastelu. Säaalue 1. Viljakasvi ohra. 1,0 vastaa tavallisen salaojituksen maksimiarvoa typen huuhtoumalle; 20 kg/ha/v.

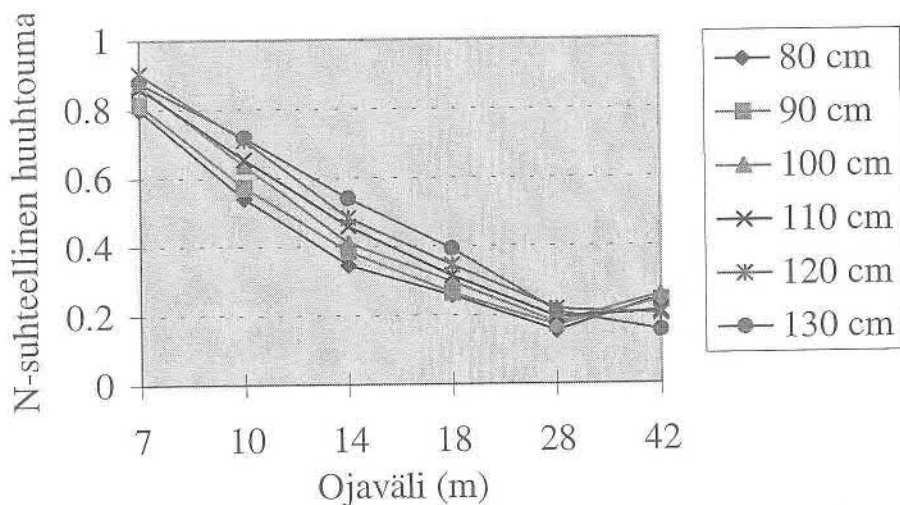
Tuloksiin on laskettu myös savimaille vertailut siitä, miten ojasyvyys näyttäisi vaikuttavan eri säätövaihtoehdoilla typen huuhtoumaan, vaikka säätösalaajitus tai pohjavesikastelu ei sovellukaan puhtaille savimaille. Kuvista 4.40-4.42 voidaan nähdä, että tulosten mukaan ojasyvyydellä (ojaleveydellä 14 m) näyttäisi olevan samansuuntainen vaikutus 36-41% (2- 3 kg/ha/v) oli sitten kyseessä mikä tahansa ojitusvaihtoehto.



Kuva 4.40 Typen suhteellinen huuhtouma salaojien kautta eri ojasyvyyksillä. Maalaji savi. Tavallinen salaajitus. Säaalue 1. Viljakasvi ohra. 1,0 vastaa tavallisen salaojituksen maksimiarvoa typen huuhtoumalle; 12 kg/ha/v.



Kuva 4.41 Typen suhteellinen huuhtouma salaojien kautta eri ojasyvyyksillä. Maalaji savi. Säätösalaajitus. Säälue 1. Viljakasvi ohra. 1,0 vastaa tavallisen salaajituksen maksimiarvoa typen huuhtoumalle; 12 kg/ha/v.



Kuva 4.42 Typen suhteellinen huuhtouma salaojien kautta eri ojasyvyyksillä. Maalaji savi. Pohjavesikastelu. Säälue 1. Viljakasvi ohra. 1,0 vastaa tavallisen salaajituksen maksimiarvoa typen huuhtoumalle; 12 kg/ha/v.

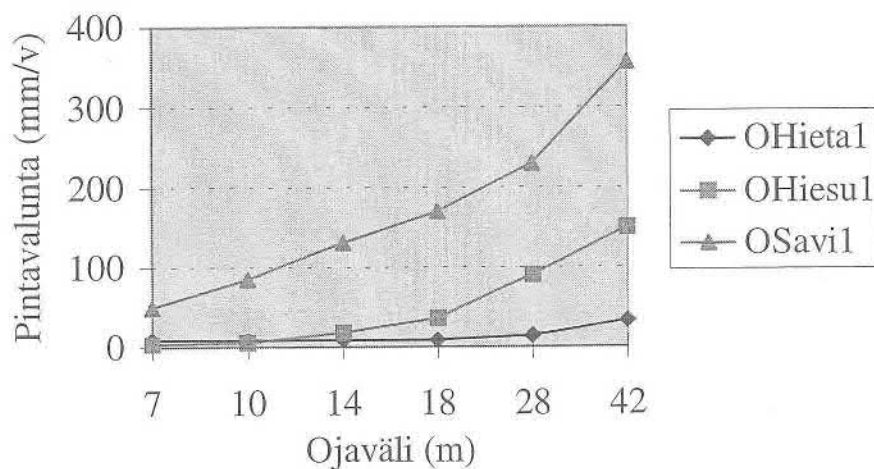
4.3 Fosforiosan tulokset

4.3.1 Yleistä fosforin huuhtouman laskemisesta käytetyssä laskentamallissa

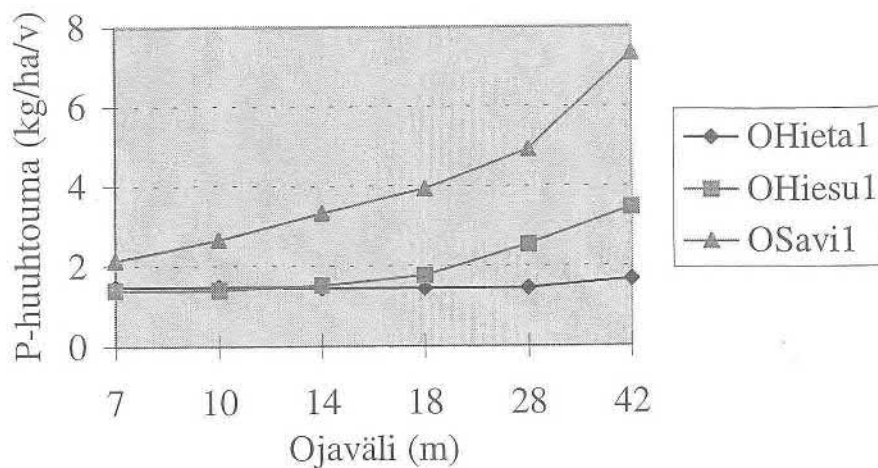
Fosforiosan tuloksia tarkasteltaessa keskitytään painottamaan eri "käsittelyjen" eroja, eikä tarkastelemaan niinkään laskennallisesti saatuja fosforikuormituksen absoluuttisia määriä. Tämä johtuu siitä, että laskennassa käytetty kaava on

empiirinen; kaavan sisältämät salaojavalunnan ja pintavalunnan fosforikonsentraatiot on arvioitu, eli ohjelma itse ei laske niitä. Laskennassa käytettiin fosforikonsentraation arvoina salaojavalunnalle 0,5 mg/l ja pintavalunnalle 2,0 mg/l.

Typhen huuhtoutuessa pääasiassa liukoisessa muodossa, fosfori taasen kiinnittyy maahiukkasen pinnalle ja täten huuhtoutuu pääasiassa pintavalunnan ja sitä kautta eroosion kautta pelloilta. Kun pintavaluntaa on paljon, fosforia huuhtoutuu enemmän (kuvat 4.43-4.44).



Kuva 4.43 Pintavalunta eri maalajeilla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 1.

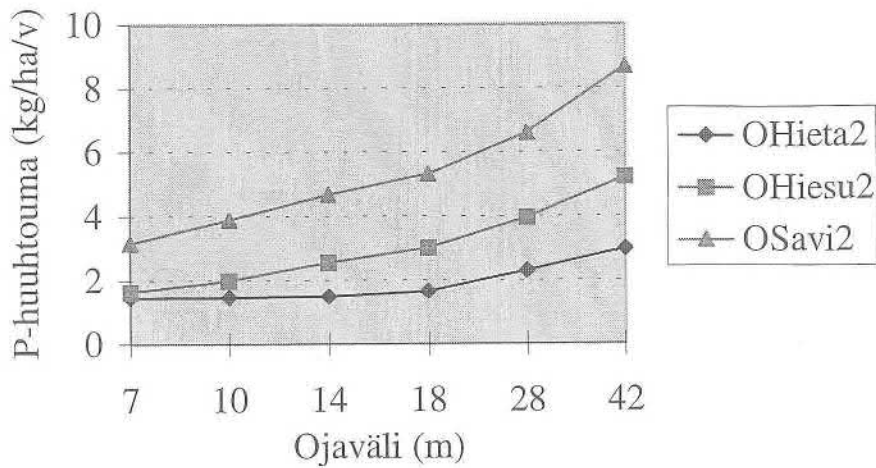


Kuva 4.44 Fosforin huuhtouma eri maalajeilla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säaalue 1.

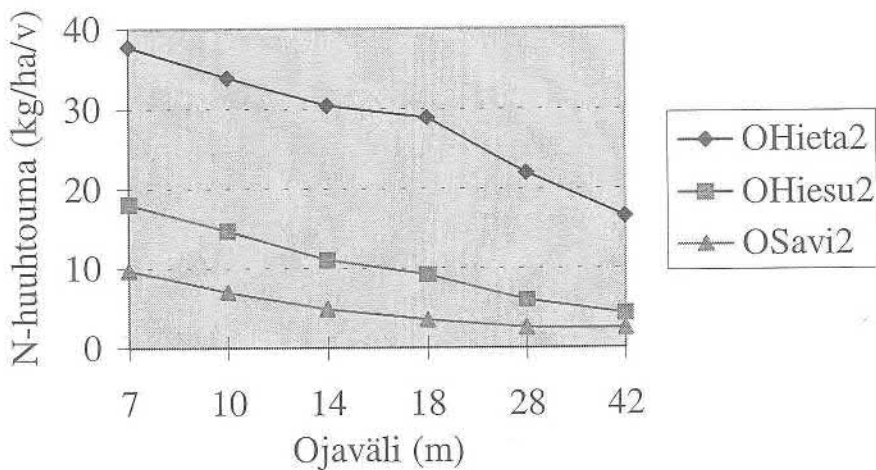
4.3.2 Fosforin ja typen huuhtouman suhde laskentamallissa

Tuloksien perusteella typen ja fosforin huuhtoumien käyrät käyttäytyvät päinvastaisesti; silloin, kun typen huuhtouma on ojavälistä riippuen pienenee, niin fosforin huuhtouma kasvaa (kuvat 4.45-4.46). Tämä aiheuttaa ongelmia typen ja fosforin yhteisen optimin määrittämiselle. Toisaalta, tuloksia tarkastellessa täytyy muistaa, että laskentaohjelma ei osaa laskea typen huuhtouman arvoa pintavalunnassa.

Kuvista 4.45-4.46 nähdään lisäksi, että kun maalajeista esimerkiksi savelle saadaan suurin fosforihuuhtouma, niin vastaavasti typpihuuhtoumaksi saadaan savelle pienimmät arvot.



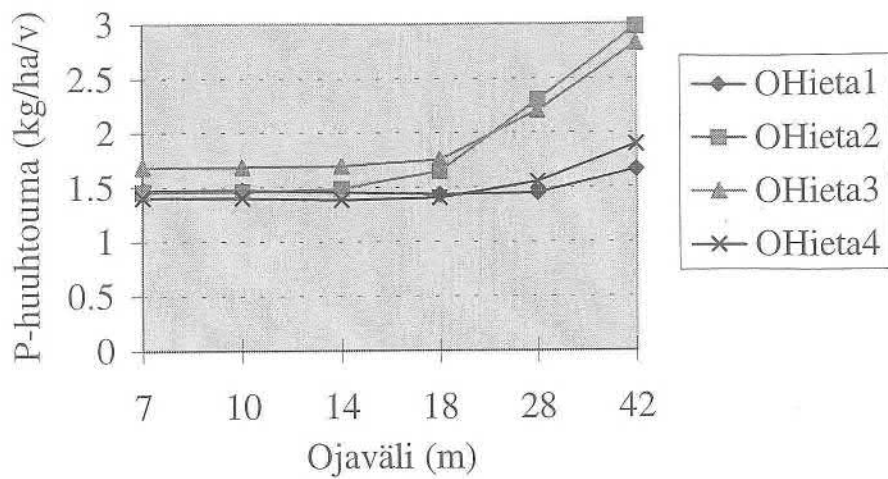
Kuva 4.45 Fosforin huuhtouma eri maalajeilla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Säälue 2. Viljakasvi ohra.



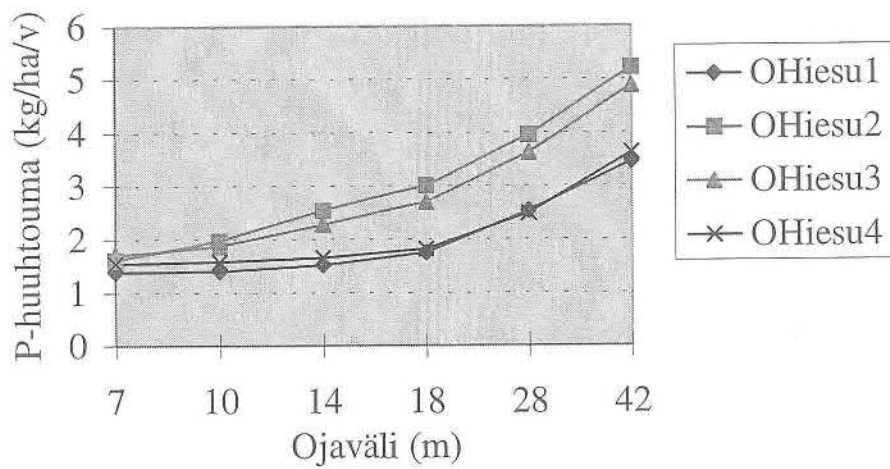
Kuva 4.46 Typen huuhtouma eri maalajeilla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Säälue 2. Viljakasvi ohra.

4.3.3 Maalajin vaikutus fosforin huuhtoumaan

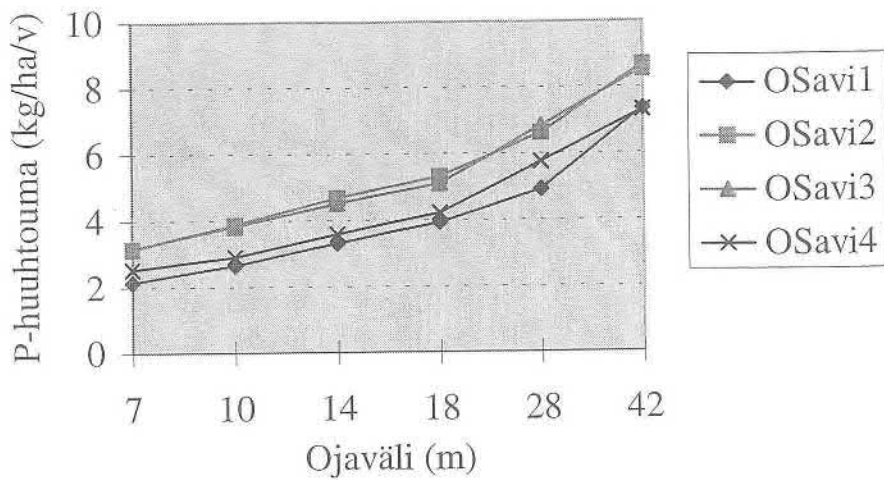
Tuloksien mukaan fosforihuuhtoumaa esiintyy eniten savella. Vähiten fosforia huuhtoutuu hiedalla. Kuvien perusteella voidaan arvioida, että fosforia huuhtoutuu hietamailta (ojavälillä 18 m) noin 1,5 kg/ha/v (kuva 4.47), hiesumailta (ojavälillä 14-18 m) noin 1,5 - 3 kg/ha/v (kuva 4.48) ja savimailta (ojavälillä 14 m) 3 - 4,5 kg/ha/v (kuva 4.49).



Kuva 4.47 Fosforin huuhtouma hietamailla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälueet 1-4.



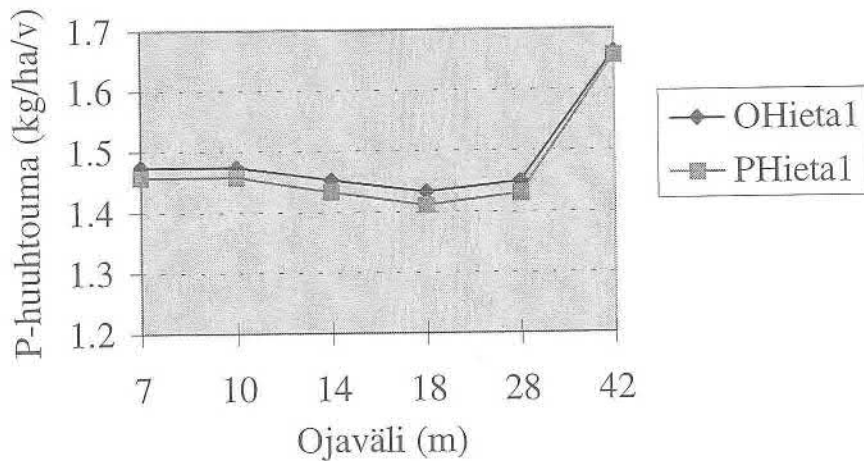
Kuva 4.48 Fosforin huuhtouma hiesumailla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälueet 1-4.



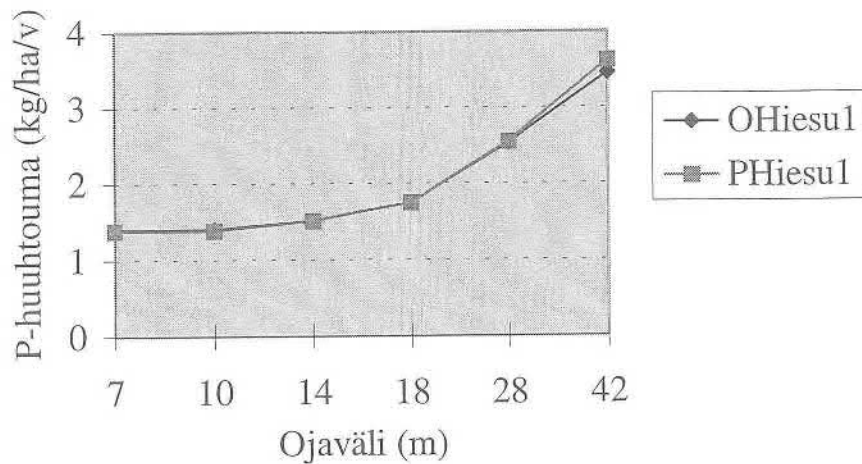
Kuva 4.49 Fosforin huuhtouma savimailla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Sääalueet 1-4.

4.3.4 Viljakasvin vaikutus fosforin huuhtoumaan

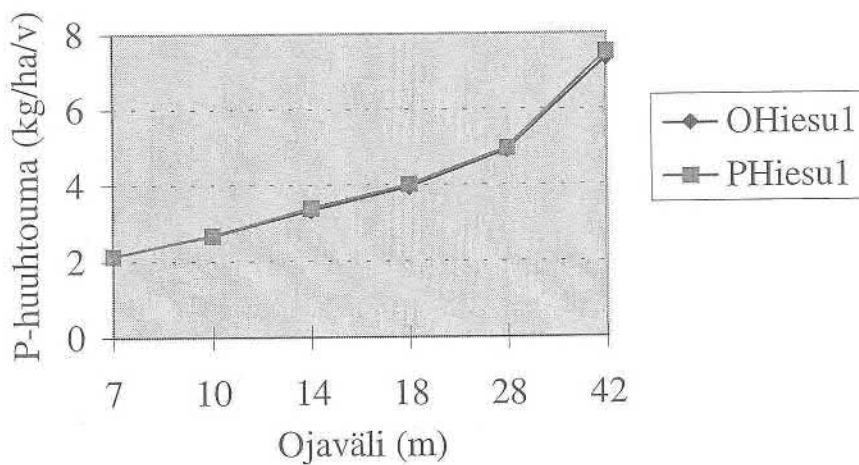
Tuloksien perusteella viljakasvilla ei näyttäisi olevan olennaista vaikutusta fosforin huuhtoumaan on kyseessä hieta-, hiesu,- tai savimaa (kuvat 4.50-4.52).



Kuva 4.50 Fosforin huuhtouma viljakasvista riippuen. Maalaji hieta. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Sääalue 1. Viljakasvit ohra (O) ja peruna (P).



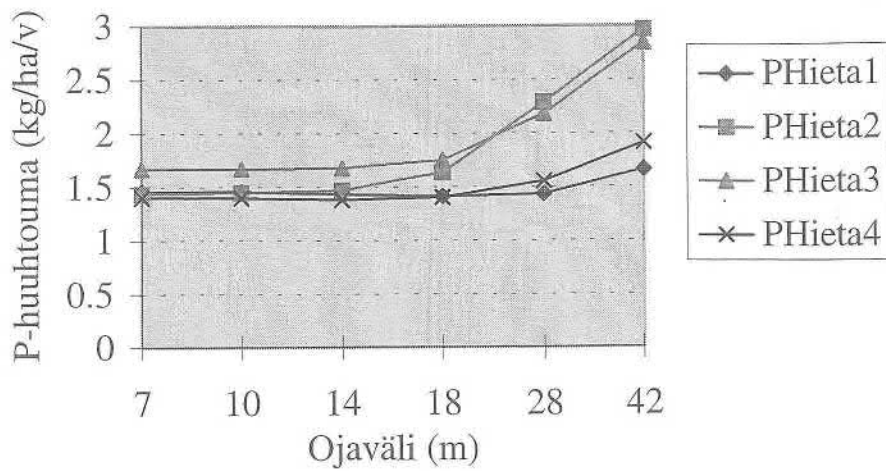
Kuva 4.51 Fosforin huuhtouma viljakasvista riippuen. Maalaji hiesu. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Säaalue 1. Viljakasvit ohra (O) ja peruna (P).



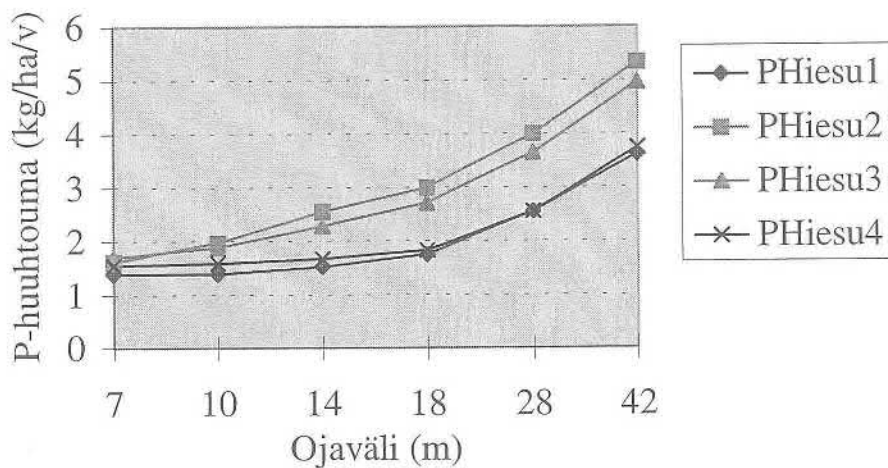
Kuva 4.52 Fosforin huuhtouma viljakasvista riippuen. Maalaji savi. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Säaalue 1. Viljakasvit ohra (O) ja peruna (P).

4.3.5 Säaalueen vaikutus fosforin huuhtoumaan

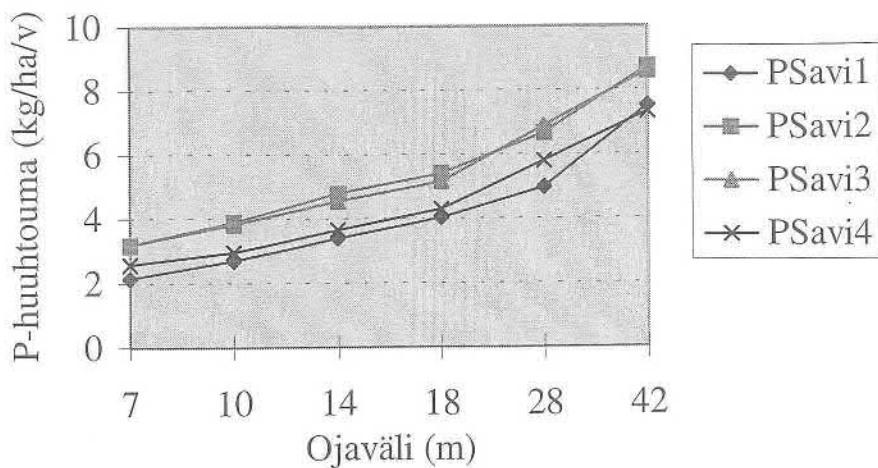
Laskentatuloksien mukaan säaalue vaikuttaa jonkin verran fosforin huuhtoutumiseen. Hietamaalla (ojavälillä 18 m) vaihtelua eri säaalueiden välillä esiintyi suurimmillaan noin 0,5 kg/ha/v ja sekä hiesu- (ojavälillä 14 - 18 m) että savimaalla (ojavälillä 14 m) suurimmillaan noin 1 kg/ha/v. Säaalueiden aiheuttamat erot eri maalajeilla on esitetty kuvissa 4.53-4.55.



Kuva 4.53 Fosforin huuhtouma eri sääalueilla. Maalaji hieta. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi peruna. Sääalueet 1-4.



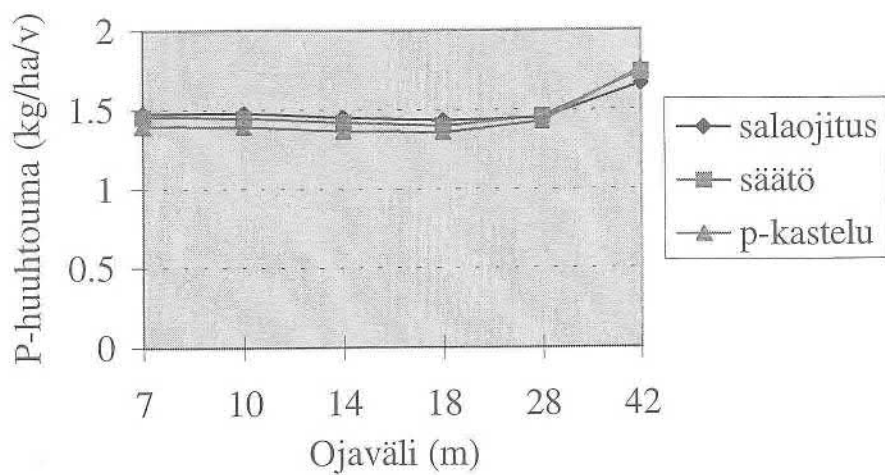
Kuva 4.54 Fosforin huuhtouma eri sääalueilla. Maalaji hiesu. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi peruna. Sääalueet 1-4.



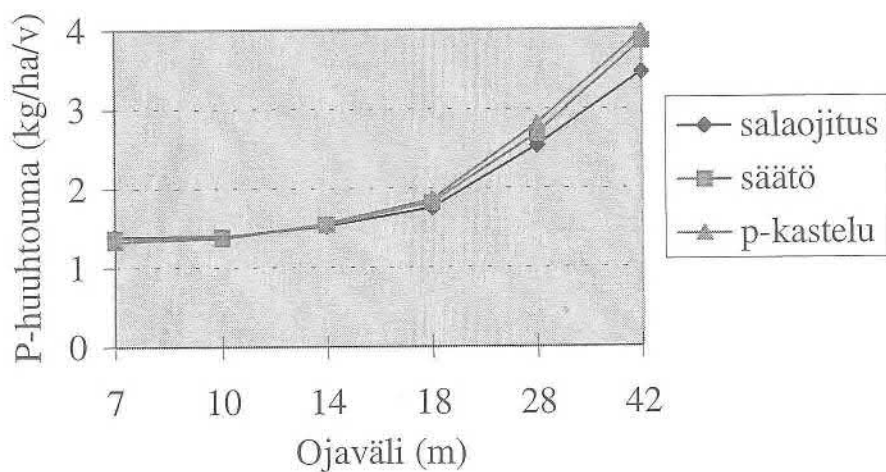
Kuva 4.55 Fosforin huuhtouma eri sääalueilla. Maalaji savi. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi peruna. Sääalueet 1-4.

4.3.6 Sääövaihtoehdon vaikutus fosforin huuhtoumaan

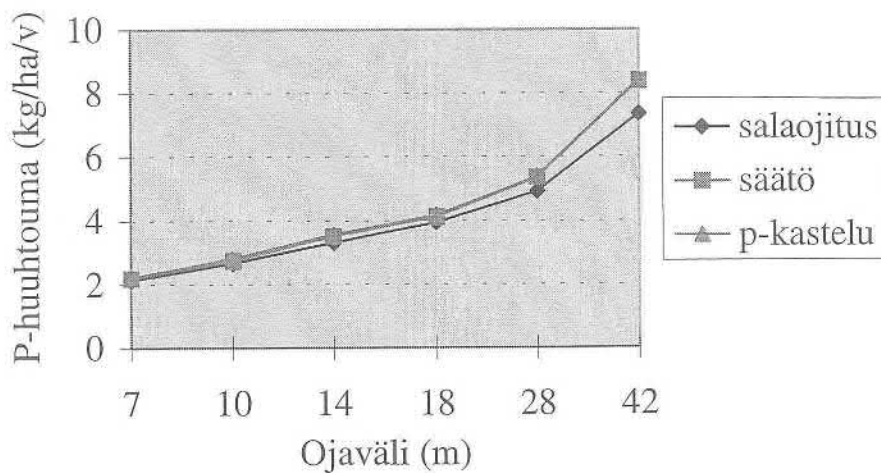
Sääövaihtoehdo vaikuttaa fosforin huuhtoumaan. Laskentatulosten mukaan fosforin huuhtouma hietamaalla vähenee siirryttäessä tavallisesta salaojituksesta sääövaihtokseen (3%) tai pohjavesikasteluun (5%). Hiesu- ja savimailla puolestaan sääövaihtokseen tai pohjavesikasteluun siirtyminen lisää fosforin huuhtoumaa. Tällöin fosforin huuhtouma lisääntyi tulosten mukaan hiesumaalla 3-4% ja savimaalla 6-8%. Tämä laskentatulos johtuu siitä, että laskettaessa fosforin huuhtoumaa, on fosforin konsentraatiot arvioitu kaavaan valmiiksi. Tosiasiassa sääövaihtoksella voisi olla vaikutusta fosforin huuhtoumaan sitä vähentävästi, koska tällöin fosforille jää enemmän aikaa kiinnittyä maahiukkasiin. Laskennassa olisi ehkä ollut tarkoituksenmukaista käyttää eri salaojavalunnan fosforikonsentraatioiden arvoja eri sääövaihtoehdoja laskettaessa. Pintavalunta ei muutu sääövaihtomenpiteiden mukaan, mutta veden viipymään maaprofiilissa se vaikuttaa jos sääövaihtomenpiteet on hoidettu oikein.



Kuva 4.56 Fosforin huuhtouma eri säätövaihtoehdoilla. Maalaji hieta. Ojasyvyys 100 cm. Säälue 1. Viljakasvi ohra.



Kuva 4.57 P-huuhtouma eri säätövaihtoehdoilla. Maalaji hiesu. Ojasyvyys 100 cm. Säälue 1. Viljakasvi ohra.



Kuva 4.58 Fosforin huuhtouma eri säätövaihtoehdoilla. Maalaji savi. Ojasyvyys 100 cm. Säälue 1. Viljakasvi ohra.

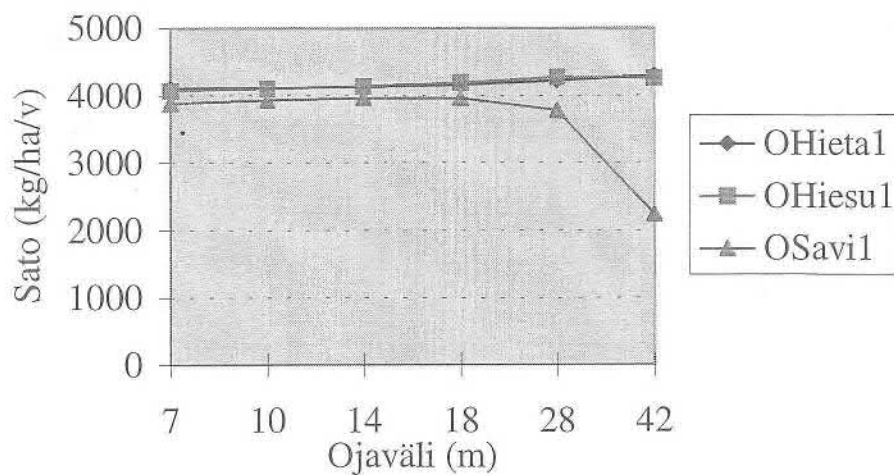
4.4 Sato-osan tulokset

4.4.1 Yleistä sadon laskemisesta käytetyssä laskentamallissa

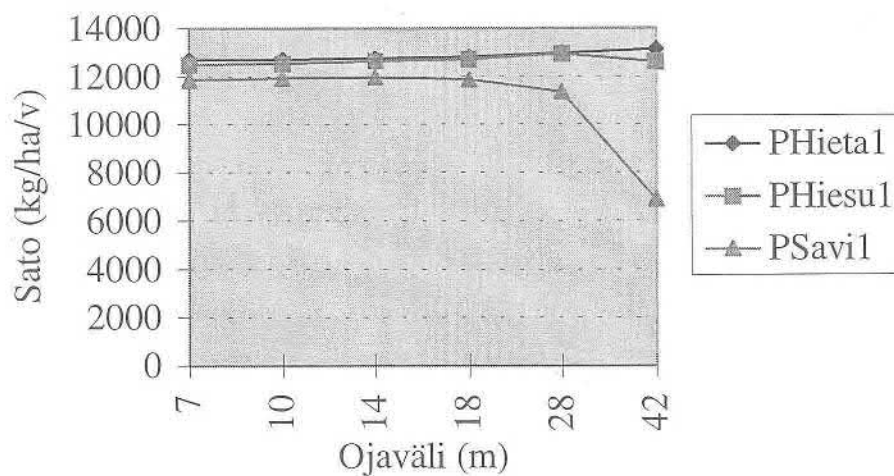
Sadon laskennassa tulokset esitetään kuiva-ainemäärinä. Todellinen sato on siten suurempi. Ohran kuiva-ainepitoisuus on noin 0,85 % ja perunan 0,25 %. Arvioitaessa satojen euromääräisiä arvoja voidaan laskennassa käyttää ohran tuottajahintana 0,12 e/kg ja perunan tuottajahintana 0,17 e/kg.

4.4.2 Maalajin vaikutus satoon

Tarkasteltaessa maalajin vaikutusta satoon (kuvat 4.59-4.60), tulokset osoittavat, että hietamaa soveltuu parhaiten niin ohran kuin perunan viljelyyn edellyttäen että kosteusolot ovat hyvät. Laskennassa käytetyssä aineistossa ei ollut mukana kovin kuivia jaksoja, joten tämä voi antaa liian positiivisen kuvan hietamaan tuloksista. Hietamaalla ohran maksimisadoksi saatiin 4300 kg/ha/v (säälue 1, tavallinen salaojitus), joka on noin 7 % (300 kg/ha/v) suurempi kuin savimaalla saavutettava sato. Kun otetaan huomioon ohran kuiva-ainepitoisuus, saadaan hietamaalle noin 50 kg/ha/v parempi sato. Perunan maksimisadoksi saatiin 13100 kg/ha/v (säälue 1, tavallinen salaojitus), joka on noin 9 % (1200 kg/ha/v) suurempi kuin savimaalla saavutettava maksimi. Todellinen sato on perunalla siis noin 3600 kg/ha/v suurempi hietamaalla kuin savimaalla kun kyseessä on tavallinen salaojitus. Tuloksien mukaan sadon vaihtelu maalajien välillä on samansuuntaista kaikilla laskennallisilla säälueilla.



Kuva 4.59 Sato eri maalajeilla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 1.



Kuva 4.60 Sato eri maalajeilla. Tavallinen salaojitus. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi peruna. Säälue 1.

4.4.3 Säälueen vaikutus satoon

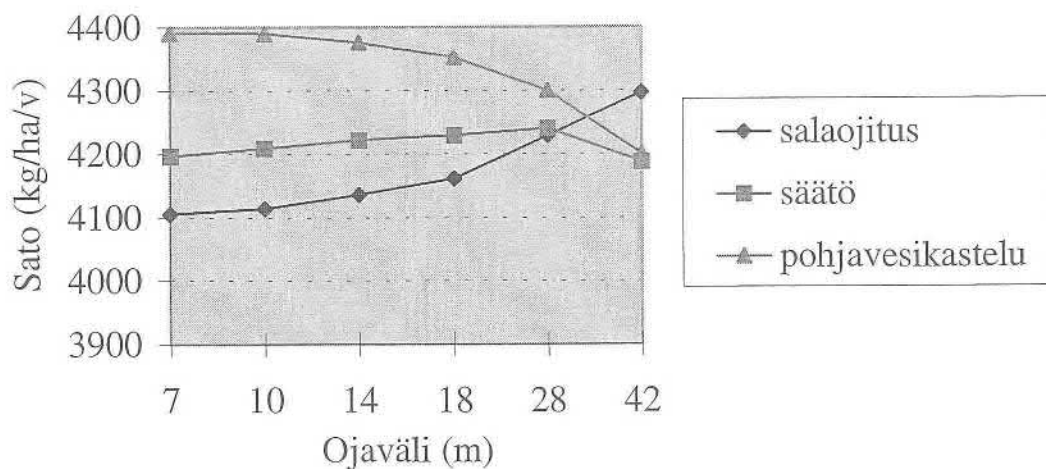
Tuloksien mukaan ohran sato kasvaa noin 45 % ja perunan noin 38 % siirryttäessä alueelta 4 alueelle 1 riippumatta maalajista. Tämä tarkoittaa, että ohrella sato on noin 1300 kg/ha/v suurempi alueella 1 kuin alueella 4. Vastaavasti perunalla sato on noin 3500 kg/ha/v suurempi eteläisellä ilmastoalueella.

4.4.4 Säätvaihtoehdon vaikutus satoon

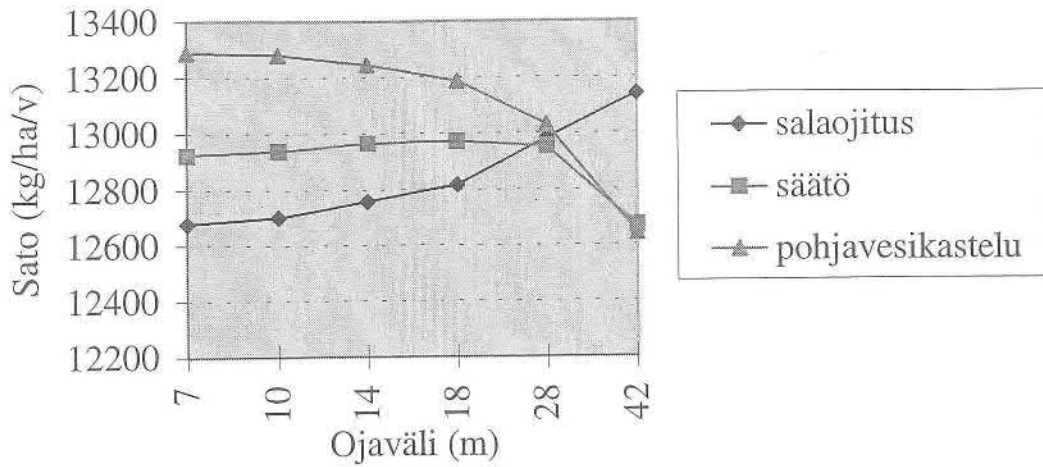
Tarkasteltaessa kuvaa 4.61, voidaan havaita, että siirryttäessä hietamaalla (ojavälillä 18 m) tavallisesta salaojituksesta säätsalaojitukseen ohran sato suurenee noin 2 % (70 kg/ha/v) ja perunan noin 1 % (160 kg/ha/v). Jos vastaavasti siirrytään tavallisesta salaojituksesta pohjavesikasteluun, saadaan ohralle noin 5 % (190 kg/ha/v) parempi sato ja perunalle noin 3 % (370 kg/ha/v). Tämä pätee ilmastoalueella 1. Kuva 4.62 esittää laskentatuloksen perunan osalta.

Sääalueilla 2-3 hietamaalla (kuvat 4.63-4.64) säätvaihtoehto vaikuttaa satoon yhä positiivisesti, mutta ei niin paljon kuin alueella 1. Sääalueella 4 (kuva 4.65) säätvaihtoehto ei näyttäisi vaikuttavan millään maalajilla.

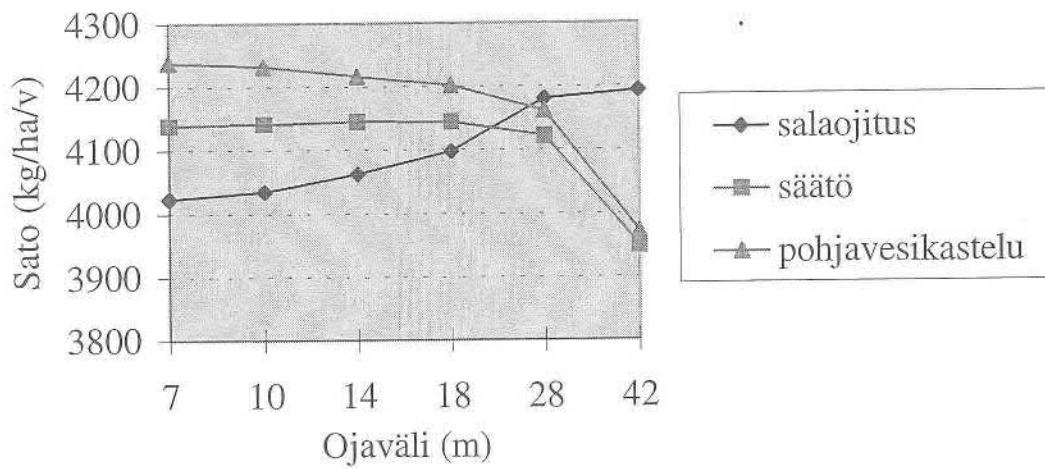
Hiesumaalla (ojavälillä 14 - 18m) salaojituksen muuttaminen säätsalaojitukseen tai pohjavesikasteluun ei vaikuta satoon sitä lisäävästi, vaan jopa huonontaa sitä (kuvat 4.66-4.70). Lisäksi voidaan jälleen havaita, että savimaalla säätsalaojitus tai pohjavesikastelu ei toimi; vaikutusta satoon ei ole (kuvat 4.71-4.75).



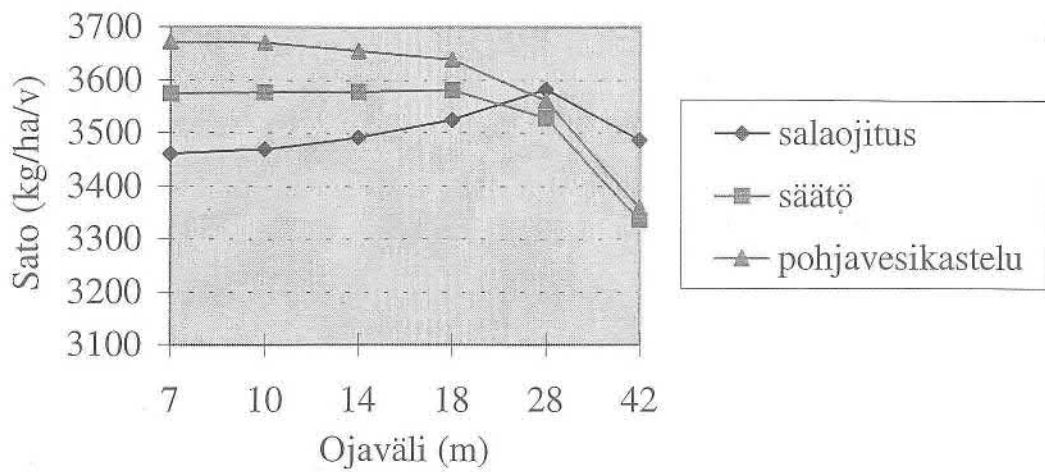
Kuva 4.61 Sato eri säätvaihtoehdoilla. Maalaji hieta. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Sääalue 1.



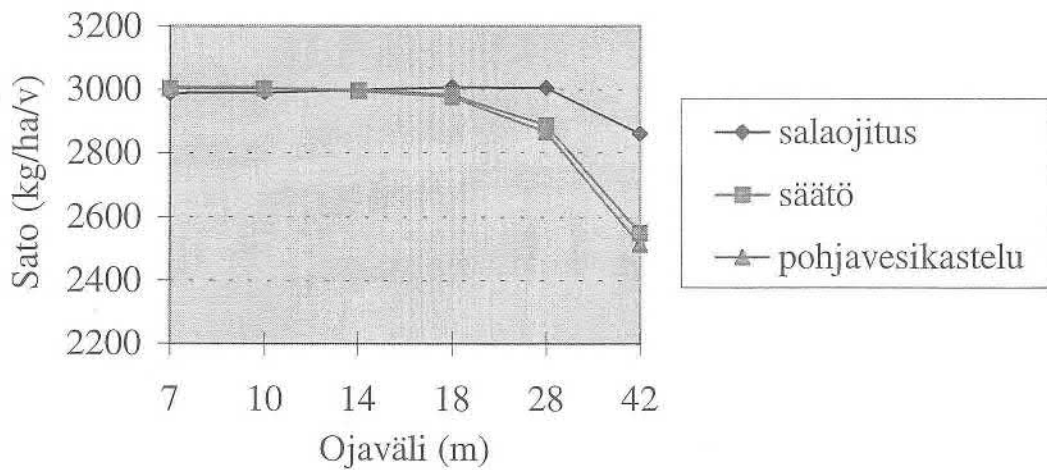
Kuva 4.62 Sato eri säätvaihtoehdoilla. Maalaji hieta. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi peruna. Säälue 1.



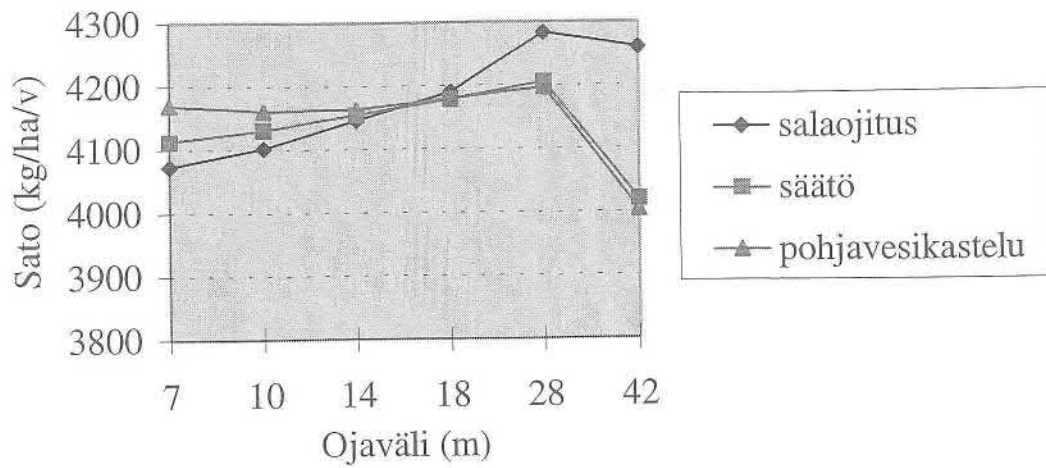
Kuva 4.63 Sato eri säätvaihtoehdoilla. Maalaji hieta. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 2.



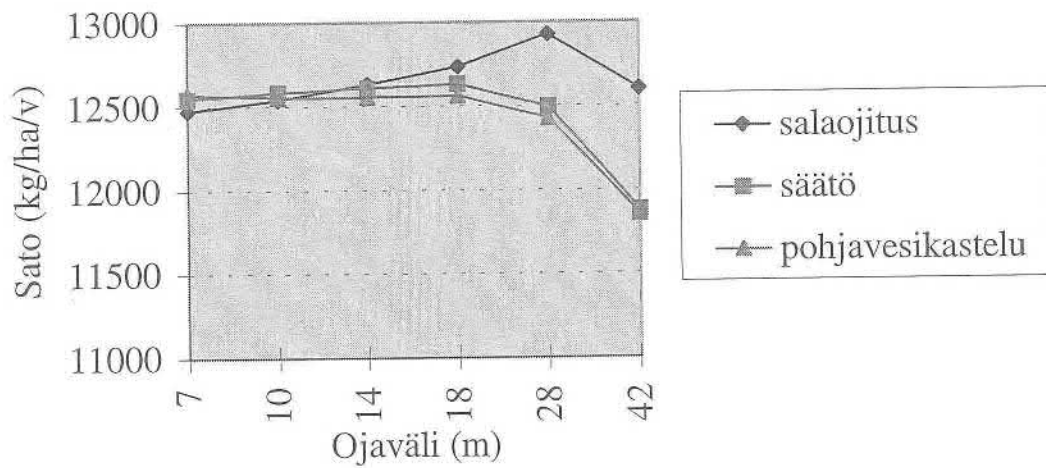
Kuva 4.64 Sato eri säätövaihtoehdoilla. Maalaji hieta. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 3.



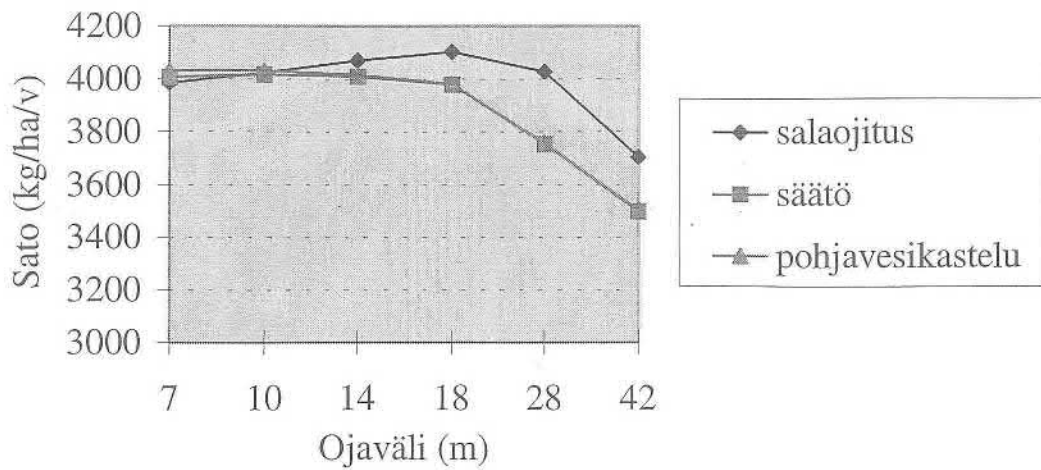
Kuva 4.65 Sato eri säätövaihtoehdoilla. Maalaji hieta. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 4.



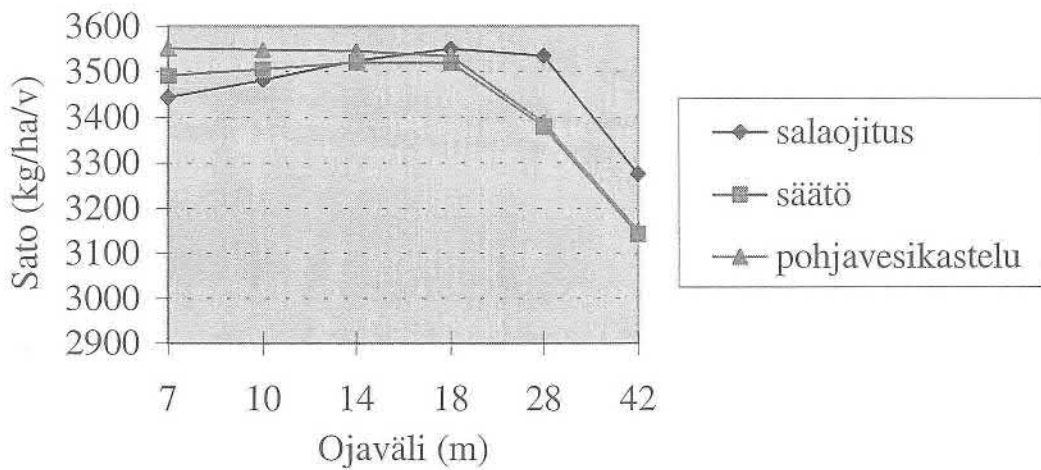
Kuva 4.66 Sato eri säätövaihtoehdoilla. Maalaji hiesu. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 1.



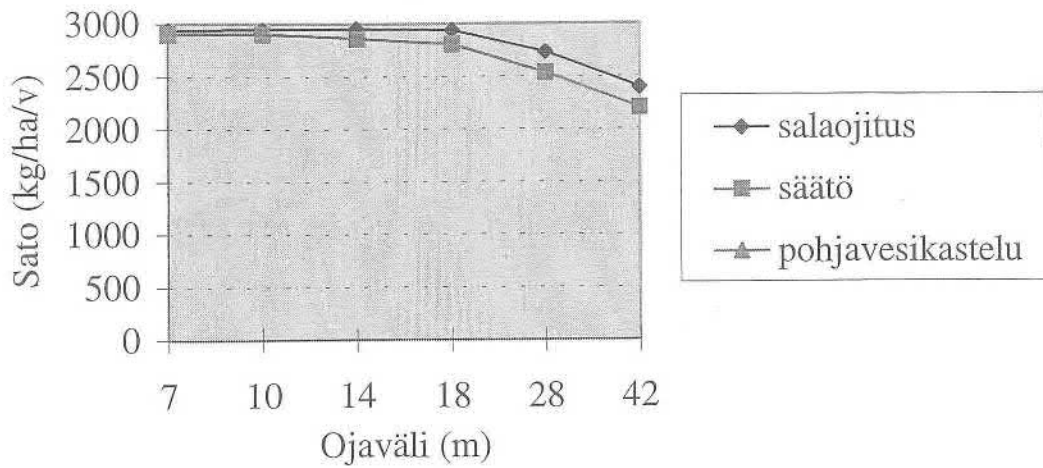
Kuva 4-67 Sato eri säätövaihtoehdoilla. Maalaji hiesu. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi peruna. Säälue 1.



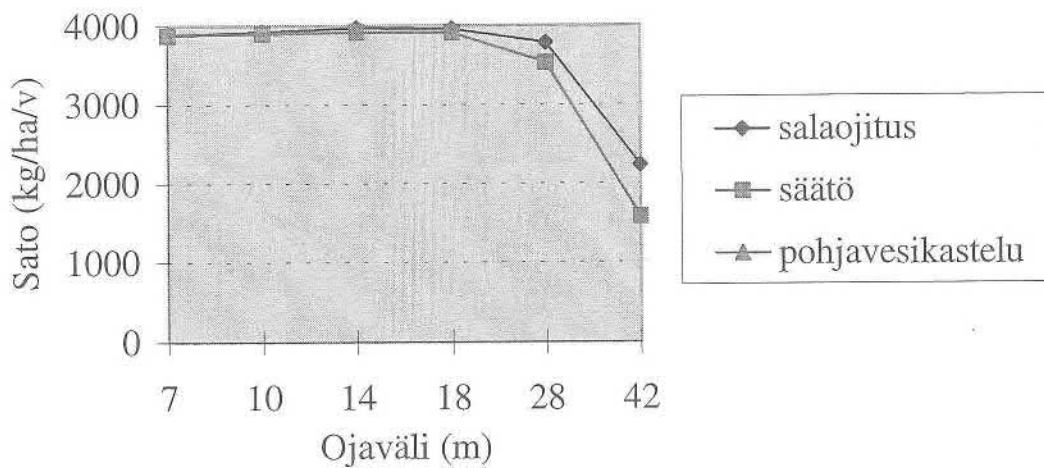
Kuva 4.68 Sato eri säätövaihtoehtoilla. Maalaji hiesu. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 2.



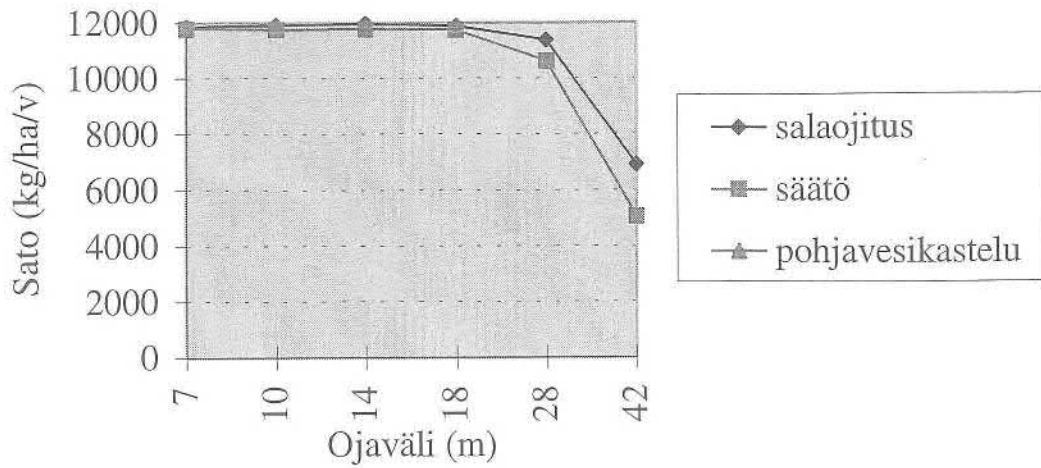
Kuva 4.69 Sato eri säätövaihtoehtoilla. Maalaji hiesu. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 3.



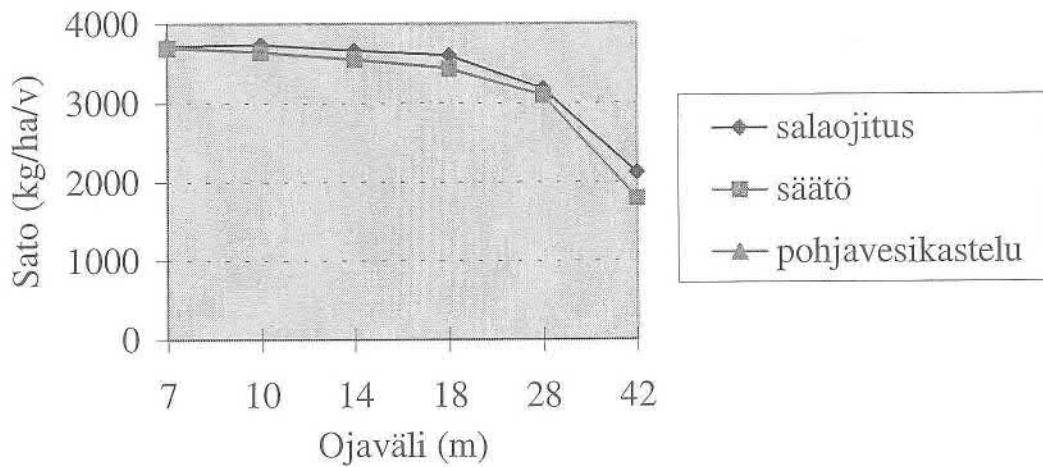
Kuva 4.70 Sato eri säätövaihtoehdoilla. Maalaji hiesu. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 4.



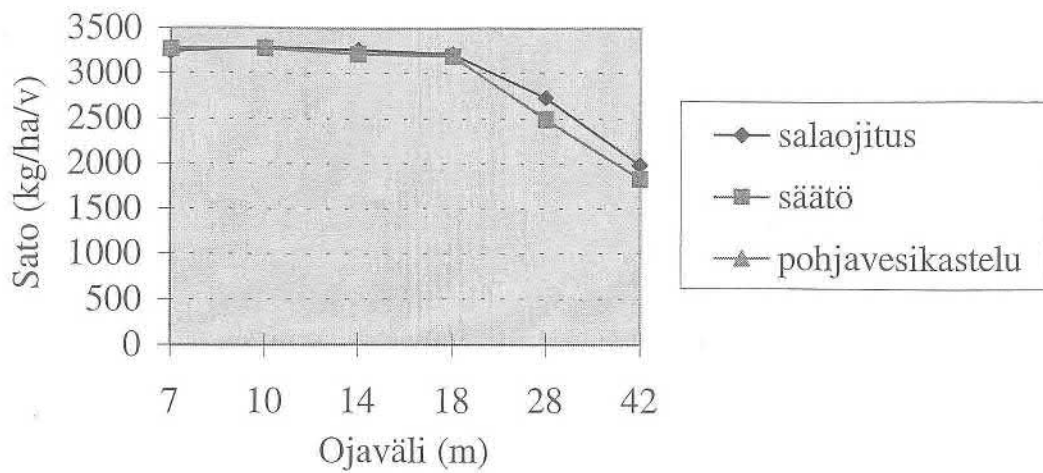
Kuva 4.71 Sato eri säätövaihtoehdoilla. Maalaji savi. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 1.



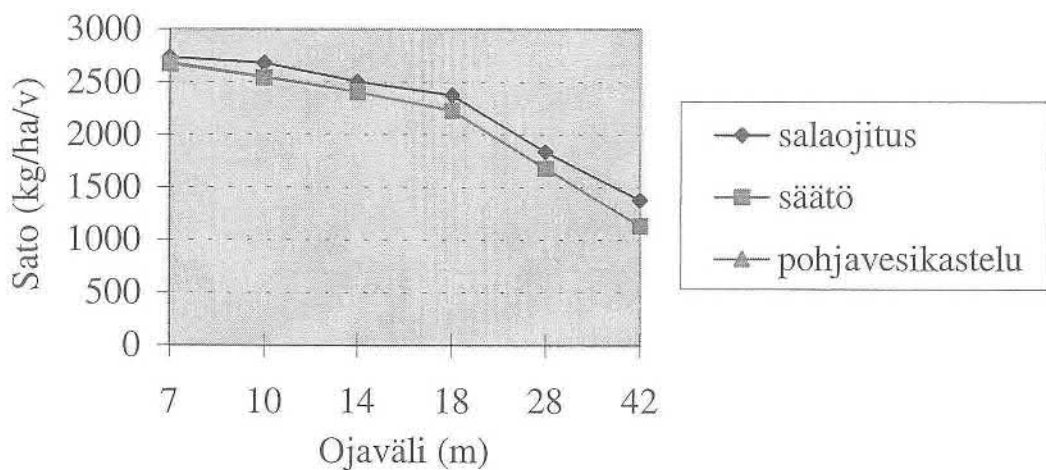
Kuva 4.72 Sato eri säätövaihtoehtoilla. Maalaji savi. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi peruna. Säälue 1.



Kuva 4.73 Sato eri säätövaihtoehtoilla. Maalaji savi. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 2.



Kuva 4.74 Sato eri säätövaihtoehtoilla. Maalaji savi. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 3.



Kuva 4.75 Sato eri säätövaihtoehtoilla. Maalaji savi. Ojasyvyys 100 cm. Viljakasvi ohra. Säälue 4.

5. JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Salaojitusta suunniteltaessa olisi tarkoituksenmukaista ottaa mahdolliset ympäristöhyödyt huomioon samalla kun satoa pyritään maksimoimaan. Johtopäätöksiä tehdessä on yritetty optimoida tilannetta, jossa kuormitus ympäristölle olisi vähäisempää, mutta taloudelliset vaikutukset sadon osalta eivät laskisi. Tarkastelun kohteeksi on valittu hietamaa ja sääalue 1.

Tuloksissa ei ole laskettu ojitusvaihtoehtojen kustannuksia saati yritetty arvioida ympäristöhyödyn euromääräistä arvoa. Arvioitaessa optimitilannetta taloudellisesta näkökulmasta, pitäisi pystyä määrittämään typen ja fosforin huuhtoumalle jokin euromääräinen arvo, jotta eri vaihtoehdot olisivat vertailukelpoisia keskenään.

Haataja (2000) on arvioinut typpihuuhtoumien vähenemisestä saatavaa hyötyä niin, että se arvotetaan käyttäen jätevedenpuhdistamon typenpoiston tehostamiskustannuksia, mutta tässä työssä samaista menetelmää ei ole käytetty. Ravinnehuuhtoumien vähenemisestä saavutettavaa hyötyä voisi arvioida lisäksi esimerkiksi säästöissä vesialueiden kunnostustoimenpiteissä tai vesialueiden virkistys- ja kalastusarvon nousuna. Jälkimmäistä on myös hyvin vaikea määrittää rahassa. Puhtaan luonnon merkitys kuitenkin kasvaa koko ajan.

Arvioitaessa sadon ja huuhtoumien optimia, on tarkasteltu mahdollisia eri ojavälvaihtoehtojen tai eri säätövaihtoehtojen vaikutuksia.

Typen ja sadon osalta tulokset perustuvat suoraan CROPWATN -mallin laskemiin arvoihin, mutta fosforin osalta tulokset on saatu käyttämällä hyväksi mallin laskemia salaoja- ja pintavalunnan arvoja samalla kun fosforin konsentraatiot niissä on arvioitu.

Tämä tarkoittaa sitä, että johtopäätöksiä tehdessä on lähdetty liikkeelle typen huuhtoumasta sen ollessa huuhtoumista oleellisin tulosten luotettavuuden kannalta.

Tuloksien mukaan typpeä huuhtoutuu eniten hieta- ja hiesumaalla. Huuhtouman suuruuteen vaikuttaa huomattavasti käytetty ojaväli; mitä suurempi ojaväli, sitä pienempi typen huuhtouma. Lisäksi typen huuhtoumaan voidaan vaikuttaa sitä vähentävästi käyttämällä säätösalaajitusta tai pohjavesikastelua tavallisen salaajituksen sijaan.

Ojavälin vaikutus

Tarkasteltaessa ohraa, tavallista salaajitusta, alueella 1; typen huuhtouma hietamaassa vähenee kun ojaväliä kasvatetaan. Siirryttäessä 18:sta metristä 23:een metriin typen huuhtouma vähenee noin 10 % (2,5 kg/ha/v), siirryttäessä 18:sta metristä 28:een metriin typen huuhtouma vähenee noin 20 % (5 kg/ha/v) ja

siirryttäessä 18:sta metristä 42:een metriin typen huuhtouma vähenisi laskelmien mukaan jopa 55 % (10 kg/ha/v). Todella suuria ojavälejä tarkasteltaessa täytyy ottaa huomioon tällöin lisääntynyt pintavalunnan määrä, jonka typpihuuhtouman arvoa laskentaohjelma ei ota huomioon.

Samaisessa tapauksessa ojavälin kasvattaminen lisää myös satoa. Siirryttäessä 18:sta metristä 23:een metriin sato lisääntyy noin 1 % (35 kg/ha/v), siirryttäessä 28:aan metriin sadonlisäys on noin 2 % (70 kg/ha/v) ja siirryttäessä 42:een metriin sato lisääntyy laskentamallin mukaan noin 3 % (140 kg/ha/v).

Ojaväli ei vaikuta fosforin huuhtoumaan merkittävästi siirryttäessä 18:sta metristä 23:een tai 28:aan metriin, mutta siirryttäessä 18:sta metristä 42:een metriin, fosforin huuhtouma lisääntyy noin 16 % (0,200 kg/ha/v)

Tarkasteltaessa ojavälin vaikutusta, voidaan siis todeta, että ojaväliä kasvattamalla (esimerkiksi 18 metristä 28:aan metriin) sillä on satoa lisäävä (2%) sekä typen huuhtoumaa (20%) vähentävä vaikutus. Lisäksi ojaväli ei vaikuta huomattavasti fosforin huuhtoumaan, muutoin kuin erittäin suurilla ojaväleillä.

Säätövaihtoehdon vaikutus

Tarkasteltaessa ohraa, alueella 1, maalajina hieta ja ojavälinä 18 m; havaitaan, että siirryttäessä tavallisesta salaojituksesta säätösalaajitukseen tai säätösalaajituksesta pohjavesikasteluun typen huuhtouma vähenee noin 10 % (2,5 kg/ha/v). Ero tavallisen salaojituksen ja pohjavesikastelun välillä on siis noin 20 % (5 kg/ha/v).

Kyseisessä tapauksessa fosforin huuhtouma puolestaan kasvaa noin 3 % (0.060 kg/ha/v) siirryttäessä säätösalaajitukseen tavallisesta salaojituksesta. Pohjavesikasteluun siirryttäessä fosforin huuhtouma kasvaa noin 6 % (0.100 kg/ha/v) verrattuna tavallisen salaojituksen fosforihuuhtoumaan.

Sadon osalta voidaan kyseisessä tapauksessa havaita, että säätösalaajituksen tai pohjavesikastelun käyttäminen lisää satoa. Säätösalaajituksella sadon lisäys on tulosten mukaan noin 2 % (70 kg/ha/v) ja pohjavesikastelulla noin 5 % (190 kg/ha/v).

Edellisen tarkastelun perustella säätösalaajituksella ja pohjavesikastelulla voidaan kyseisessä tapauksessa (maalaji hieta, viljakasvi ohra ja alue 1) positiivisesti vaikuttaa satoon (2-5%) ja typen huuhtoumaan sitä vähentävästi (noin 10%/säätövaihtoehto), mutta fosforin huuhtoumaa ne laskelmien mukaan lisäävät (3-6%).

6. YHTEENVETO

6.1 Työn tavoitteet, menetelmät ja aineisto

Maataloudesta tuleva typpi- ja fosforikuormitus muodostavat nykyään valtaosan vesistöjen ravinnekuormituksesta. Vesiensuojelun tavoiteohjelman mukaan kaikkien kuormittajien on vähennettävä päästöjään. Asianmukainen salaojituksen ylläpito ja salaojitustoiminnan kehittäminen ovat tulevaisuudessakin sekä peltoviljelyn kannattavuuden että vesiensuojelun kannalta tärkeää. Tämän työn tavoitteena on ollut tarkastella laskennallisesti pellon vesitaloudellisen säädön vaikutusta niin satoon kuin ravinnehuuhtoumiinkin. Sadon ja typen huuhtoumien osalta laskelmat on tehty CROPWATN -mallilla (Karvonen & Kleimola 1995; Kleimola & Karvonen 1996; Kleimola & al. 1996). Määritettäessä maaprofiilille fosforin huuhtoumaa (kaava 3.1), on se tässä työssä laskettu mallista saatavien salaojavalunnan ja pintavalunnan arvojen perusteella.

Mallilla on laskettu tuloksia eri säätövaihtoehtoille (tavallinen salaojitus, säätosalaojitus ja pohjavesikastelu), eri maalajeille (hieta, hiesu ja savi), eri viljakasveille (ohra ja peruna), eri laskennallisille sääalueille (4 sääaluetta) ja eri ojaväleille (7, 10, 14, 18, 28 ja 42 m) sekä eri ojasyvyyksille (80, 90, 100, 110, 120 ja 130 cm).

Laskelmien tuloksia esittäessä on suurimmaksi osaksi keskitytty ohran tuloksiin. Myös säätövaihtoehtojen ja ojasyvyyksien osalta tulosten määrää on rajattu. Salaojavalunnan, pintavalunnan, haihdunnan, typen ja fosforin huuhtouman sekä sadon tulokset on esitetty niiltä osin kuin ne vastaavat tavallisen salaojituksen arvoja ojasyvyydellä 100 cm. Säätövaihtoehtojen ja ojasyvyyksien vaikutuksia on tarkasteltu tuloksissa erikseen. Tarkasteltaessa tuloksia typen ja fosforin huuhtoumille sekä sadon osalta, täytyy ottaa huomioon, että tulokset perustuvat käytetyn laskentamallin laskemiin vesitaseosan tuloksiin.

6.2 Yhteenveto tuloksista

6.2.1 Typpiosan tulokset

Typpi huuhtoutuu pääasiallisesti salaojavalunnan mukana liukoisessa muodossa. Laskelmien mukaan typen huuhtouma vaihtelee 1-43 kg/ha/v kaikkien vaihtoehtojen ollessa mukana. Tämä sisältää kaikki laskennassa käytetyt säätövaihtoehdot, ojavälit, ojasyvyyydet, maalajit, viljakasvit ja alueet. Tulosten mukaan typpeä huuhtoutuu

eniten hietamailla. Typen huuhtouman arvojen havaittiin vaihtelevan hietamailla 11-43 kg/ha/v välillä riippuen viljakasvista, ojavälistä, alueesta sekä säätövaihtoehdosta. Hiesumailla typpeä huuhtoutuu tällöin 3-24 kg/ha/v. Vähäisin typen huuhtouma havaittiin olevan savimailla, jonka arvojen vaihteluksi saatiin 1-12 kg/ha/v.

Ojavälillä näyttäisi olevan kuitenkin samansuuntainen vaikutus typen huuhtouman arvoon, oli kyseessä hieta-, hiesu- tai savimaa. Tulosten mukaan mitä suurempi ojaväli on, sitä vähemmän typpeä huuhtoutuu. Tämä johtuu mm. siitä, että laskentamallin mukaan salaojavalunnan ollessa korkea typen huuhtouma lisääntyy. Toisaalta, salaojien välien ollessa erittäin suuria pintavalunnan osuus kasvaa, varsinkin suurten sateiden vaikutuksesta. Tällöin valumavedet eivät päädy salaojiin ja typpeä huuhtoutuu pintavalunnan mukana pois.

Laskelmien perusteella typpeä huuhtoutuu hietamaalla (ojaväli 18 m) 28-31 kg/ha/v, hiesumaalla (ojaväli 14-18 m) 10-13 kg/ha/v ja savimaalla (ojaväli 14 m) 5-7 kg/ha/v.

Tulosten vaihtelun ojavälin sisällä aiheuttaa valittu sääalue.

Tulosten perusteella kaikilla laskelmissa käytetyillä ilmastoalueilla ja maalajeilla typpeä huuhtoutuu enemmän ohralla kuin perunalla. Typen huuhtouma jää ohralla suuremmaksi, koska peruna käyttää enemmän typpeä kasvuprosessissaan.

Typen huuhtoumien arvot eivät vaihtele suuresti eri sääalueiden välillä.

Laskelmien mukaan typen huuhtouma kuitenkin hieman kasvaa siirryttäessä etelästä pohjoiseen. Typen huuhtouma vaihtelee eri ilmastoalueilla eniten hiedalla, jolloin suurin vaihtelu ilmastoalueiden välillä on noin 4 kg/ha/v. Vähiten vaihtelua eri ilmastoalueiden välillä tapahtuu savella, jolloin vaihteluksi jää vain noin 2 kg/ha/v. Hiesumaalla typen huuhtouman maksimiarvo vaihtelee eri ilmastoalueiden välillä suurimmillaan noin 3 kg/ha/v.

Tarkasteltaessa typen huuhtoumaa eri säätövaihtoehtojen välillä havaitaan, että säätötoimenpiteillä on eniten vaikutusta typen huuhtouman vähenemiseen silloin kun kyseessä on hieta- tai hiesumaa. Savimaalla säädöllä ei saada aikaan niin suuria typen huuhtouman muutoksia savimaan huonon vedenläpäisevyyden takia. Säätötoimenpiteiden vaikutuksia kuvaavia kaavioita katseltaessa havaitaan, että yleisesti ottaen säätötoimenpiteet vaikuttavat enemmän tyyppihuuhtoumiin silloin kuin kyseessä on pienet ojavälit. Hyöty vähenee siirryttäessä suuriin ojaväleihin.

Mallissa säätötoimenpiteiden rajaantuessa välille 15.5 - 31.8, eli kasvukauteen, se ei ota laskelmissaan huomioon kasvukauden ulkopuolella tapahtuvia säätötoimenpiteitä. Tämä saattaa olla yksi syy siihen, miksi tuloksien perusteella säädöllä ei näyttäisi olevan huomattavaa vaikutusta huuhtoumiin. Suurimpien

valuntojen esiintyessä keväällä ja syksyllä, mallissa pitäisi olla mukana myös kasvukauden ulkoinen säätö. Erityisesti kasvukauden jälkeen tapahtuva mahdollinen säätötoimenpiteiden vaikutus huuhtoumiin olisi lisätutkimuksen arvoinen.

Mallin laskelmat perustuvat 15 vuoden sadanta-aineistoon, eivätkä siten ota huomioon, että todellisuudessa erilaisina vuosina käytetään erilaisia säätötoimia. Malli edustaa siten ”passiivista” viljelijää. Esimerkiksi sateisina vuosina padot voivat tulvia yli. Hoitamalla säätötoimenpiteet tarkoituksenmukaisesti voidaan huuhtoumien vähenemiseen vaikuttaa paremmin.

Tarkasteltaessa hietamaan tuloksia ojavälillä 18 m, havaitaan, että siirryttäessä tavallisesta salaojituksesta säätöojitukseen saavutetaan noin 10 % :n (2,5 kg/ha/v) typpihuuhtouman väheneminen. Saman verran typpihuuhtouma vähenee siirryttäessä säätöojituksesta pohjavesikasteluun. Siirryttäessä tavallisesta salaojitukselta pohjavesikasteluun typpihuuhtouma vähenee laskelmien mukaan 18 %.

Alueellisesti tarkasteltaessa erot eivät ole kovin suuria, mutta siirryttäessä tavallisesta salaojitukselta säätösalojitukseseen hyöty vähenee etelästä pohjoiseen. Sääalueella 3 ja 4 pohjavesikastelulla ei näyttäisi olevan niin paljon vaikutusta typpihuuhtoumaan. Kuitenkin myös sääalueella 3 ja 4 saavutetaan tulosten mukaan noin 10 %:n (3 kg/ha/v) typpihuuhtouman väheneminen käytettäessä säätösalojitusta verrattuna tavalliseen salaojitukseseen. Hiesumaalla (ojaväli 14-18 m) säätötoimenpiteillä typen huuhtouma vähenee noin 8% (1 kg/ha/v/säätövaihtoehto). Alueelliset erot ovat pieniä, pienempiä vielä kuin hietamaalla.

Tuloksien mukaan ojasyvyys vaikuttaa typpihuuhtoumaan eniten silloin kun kyseessä on tavallinen salaojitus. Tällöin typpihuuhtouman muutokseksi saatiin noin -26 % (8 kg/ha/v) (hietä, ojaväli 18 m). Hiesulla ojasyvyys (ojaleveys 14-18 m) vaikutti noin -35% (6 kg/ha/v) ja savimaalla (ojaväli 14 m) noin -41 % (3 kg/ha/v). Säätösalojituksen tai pohjavesikastelun typpihuuhtoumiin ojasyvyydellä ei näyttäisi olevan huomattavaa vaikutusta. Ojasyvyydellä näyttäisi laskentatulosten mukaan olevan huomattava vaikutus typpihuuhtoumiin. Ojasyvyyden muutoksella aiheutunut mahdollinen typpihuuhtouman väheneminen olisi lisätutkimuksen arvoinen.

6.2.2 Fosforiosan tulokset

Fosforiosan tuloksia tarkasteltaessa keskitytään painottamaan eri ”käsittelyjen” eroja, eikä tarkastelemaan niinkään laskennallisesti saatuja fosforikuormituksen absoluuttisia määriä. Tämä johtuu siitä, että laskennassa käytetty kaava on empiirinen; kaavan sisältämät salaojavalunnan ja pintavalunnan fosforikonsentraatiot on arvioitu, eli ohjelma itse ei laske niitä. Laskennassa käytettiin fosforikonsentraation arvoina salaojavalunnalle 0,5 mg/l ja pintavalunnalle 2,0 mg/l.

Typen huuhtoutuessa pääasiassa liukoisessa muodossa, fosfori taasen kiinnittyy maahiukkaseen pinnalle ja täten huuhtoutuu pääasiassa pintavalunnan ja sitä kautta eroosion kautta pelloilta. Kun pintavaluntaa on paljon, fosforia huuhtoutuu enemmän

Tuloksien mukaan fosforihuuhtoumaa esiintyy eniten savella. Vähiten fosforia huuhtoutuu hiedalla. Kuvien perusteella voidaan arvioida, että fosforia huuhtoutuu hietamailta (ojavälillä 18 m) noin 1,5 kg/ha/v, hiesumailta (ojavälillä 14-18 m) noin 1,5-3 kg/ha/v ja savimailta (ojavälillä 14 m) 3-4,5 kg/ha/v. Tuloksien perusteella viljakasvilla ei näyttäisi olevan olennaista vaikutusta fosforin huuhtoumaan. Säälue vaikuttaa jonkin verran fosforin huuhtoutumiseen. Hietamaalla (ojavälillä 18 m) vaihtelua eri säälueiden välillä esiintyi suurimmillaan noin 0,5 kg/ha/v ja sekä hiesu- (ojavälillä 14-18 m) että savimaalla (ojavälillä 14 m) suurimmillaan noin 1 kg/ha/v.

Laskentatulosten mukaan fosforin huuhtouma hietamaalla vähenee siirryttäessä tavallisesta salaojitukselta säätöojitukseen (3%) tai pohjavesikasteluun (5%). Hiesu- ja savimailla puolestaan säätöojitukseen tai pohjavesikasteluun siirtyminen lisää fosforin huuhtoumaa. Tällöin fosforin huuhtouma lisääntyi tulosten mukaan hiesumaalla 3-4% ja savimaalla 6-8%. Tämä laskentatuloksista johtuu siitä, että laskettaessa fosforin huuhtoumaa, on fosforin konsentraatiot arvioitu kaavaan valmiiksi. Tosiasiassa säätöojituksella voisi olla vaikutusta fosforin huuhtoumaan sitä vähentävästi, koska tällöin fosforille jää enemmän aikaa kiinnittyä maahiukkasiin. Laskennassa olisi ehkä ollut tarkoituksenmukaista käyttää eri salaojavalunnan fosforikonsentraatioiden arvoja eri säätövaihtoehtoja laskettaessa. Pintavalunta ei muutu säätötoimenpiteiden mukaan, mutta veden viipymään maaprofiilissa se vaikuttaa jos säätötoimenpiteet on hoidettu oikein.

6.2.3 Sato-osan tulokset

Sadon laskennassa tulokset esitetään kuiva-ainemäärinä. Todellinen sato on siten suurempi. Ohran kuiva-ainepitoisuus on noin 0,85 % ja perunan 0,25 %

Tarkasteltaessa maalajin vaikutusta satoon tulokset osoittavat, että hietamaa soveltuu parhaiten niin ohran kuin perunan viljelyyn edellyttäen että kosteusolot ovat hyvät.

Hietamaalla ohran maksimisadoksi saatiin 4300 kg/ha/v (säälue 1, tavallinen salaojitus), joka on noin 7 % (300 kg/ha/v) suurempi kuin savimaalla saavutettava sato. Perunan maksimisadoksi saatiin 13100 kg/ha/v (säälue 1, tavallinen salaojitus), joka on noin 9 % (1200 kg/ha/v) suurempi kuin savimaalla saavutettava maksimi. Tuloksien mukaan sadon vaihtelu maalajien välillä on samansuuntaista kaikilla laskennallisilla ilmastoalueilla.

Tuloksien mukaan ohran sato (tavallinen salaojitus) kasvaa noin 45 % ja perunan noin 38 % siirryttäessä alueelta 4 alueelle 1 riippumatta maalajista. Siirryttäessä hietamaalla (ojaväli 18 m) tavallisesta salaojituksesta säätösalojitukseen ohran sato suurenee noin 2 % (70 kg/ha/v) ja perunan noin 1 % (160 kg/ha/v). Jos vastaavasti siirrytään tavallisesta salaojituksesta pohjavesikasteluun, saadaan ohralle noin 5 % (190 kg/ha/v) parempi sato ja perunalle noin 3 % (370 kg/ha/v). Tämä pätee ilmastoalueella 1. Sääalueilla 2-3 hietamaalla säätövaihtoehto vaikuttaa satoon yhä positiivisesti, mutta ei niin paljon kuin alueella 1. Sääalueella 4 säätövaihtoehto ei näyttäisi vaikuttavan millään maalajilla. Hiesumaalla (ojaväli 14-18m) salaojituksen muuttaminen säätösalojitukseen tai pohjavesikasteluun ei vaikuta satoon sitä lisäävästi, vaan jopa huonontaa sitä. Lisäksi voidaan jälleen havaita, että savimaalla säätösalojitus tai pohjavesikastelu ei toimi; vaikutusta satoon ei ole.

6.3 Ojavälin vaikutus esimerkkitaapauksessa

Salaojitusta suunniteltaessa olisi tarkoituksenmukaista ottaa mahdolliset ympäristöhyödyt huomioon samalla kun satoa pyritään maksimoimaan. Johtopäätöksiä tehdessä on yritetty optimoida tilannetta, jossa kuormitus ympäristölle olisi vähäisempää, mutta taloudelliset vaikutukset sadon osalta eivät laskisi. Tarkastelun kohteeksi on valittu hietamaa ja sääalue 1. Tuloksissa ei ole laskettu ojitusvaihtoehtojen kustannuksia saati yritetty arvioida ympäristöhyödyn euromääräistä arvoa. Arvioitaessa optimitilannetta taloudellisesta näkökulmasta, pitäisi pystyä määrittämään typen ja fosforin huuhtoumalle jokin euromääräinen arvo, jotta eri vaihtoehdot olisivat vertailukelpoisia keskenään.

Tarkasteltaessa ojavälin vaikutusta, todettiin, että ojaväliä kasvattamalla (esimerkiksi 18 metristä 28:aan metriin) sillä on satoa lisäävä (2%) sekä typen huuhtoumaa (20%) vähentävä vaikutus. Lisäksi ojaväli ei vaikuta huomattavasti fosforin huuhtoumaan, muutoin kuin erittäin suurilla ojaväleillä. Optimiojavälin määrittäminen kullekin maalajille, säätövaihtoehdolle, sääalueelle ja viljakasville ottaen huomioon sadon määrän sekä ympäristönäkökohdat edellyttäisi kustannus-hyötyanalyysin tekemistä, jossa määritettäisiin ympäristöhyödyille (typen ja fosforin huuhtouman väheneminen) euromääräinen arvo.

LÄHDELUETTELO

Ahonen, J. 1991. Säätoojituksen ja pohjavesikastelun käyttö ja soveltuvuus Suomessa. Diplomityö.

Haataja, K. 2000. Säätosalaojituksen ja salaojakastelun kustannukset ja hyödyt. Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos. Selvityksiä 5/2000.

Haataja, K. Peltola, J. 2001. Salaojituksen kannattavuus Suomessa. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. Selvityksiä 20/2001.

Karvonen, T. and Kleemola, J. 1995. CROPWATN: Prediction of water and nitrogen limited crop production. Modelling and Parameterization of the Soil-Plant-Atmosphere System: A Comparison of Potato Growth Models (Eds. Kabat, P., Marshall, B., van den Broek, B.J., Vos., J. and van Keulen, H.). Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands. S. 335-369.

Kleemola, J. and Karvonen, T. 1996. Modelling growth and nitrogen balance of barley under ambient and future conditions. Agr. and Food Sci. in Finland, Vol. 5(1996): 299-310.

Kleemola, J., Teittinen, M. and Karvonen, T. 1996. Modelling crop growth and biomass partitioning to shoots and roots in relation to nitrogen and water availability, using a maximisation principle. Model description and validation. Plant and Soil 185: 101-111.

Paasonen, M. 2000. Vesitalouden säädön vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote n:o 25. S. 8-39.

Peltovuori, T. 2000. Salaojavalunnan liukoisen fosforin pitoisuuteen vaikuttavia tekijöitä. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote n:o 25. S. 41-60.

Saavalainen, J. 1983. Salaojittajan käsikirja. Osa 1 B. Kuivatuksen perusteet.

Uusitalo, R. 2000. Vesitalouden säätely pelloilta pintavesiin joutuvan fosfori- ja kiintoainekuorman vähentämiskeinona. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote n:o 25. S. 61-74.