

LANNOITUKSEN JA KUIVATUSTOIMENPITEIDEN VAIKUTUS MAA- JA POHJAVEDEN LAATUUN

Pertti Vakkilainen ja Maija Paasonen-Kivekäs
Teknillinen korkeakoulu,
vesitalouden laboratorio

Tiivistelmä

Peltoalueilta tulevien ravinnehuuhtoumien vähentäminen on mahdollista säätämällä maan kosteustilaa. Alustavien tutkimustulosten mukaan erityisesti säätösalaajitusta voitaisiin käyttää myös Suomen olosuhteissa ravinnehuuhtoumien vähentämiseen. Tässä työssä pohjavesikastelun ja säätöajituksen vaikutusta typpihuuhtoumiin tutkittiin tietokonemallilla tehdyillä teoreettisilla laskelmilla. Projektin kokeellinen osa keskittyi typen fraktioiden mittaamiseen maa-kasvi-ilmakehä- systeemissä TKK:n lysimetrikentällä. Lisäksi tutkittiin laboratorio-olosuhteissa typen mineralisaatiota eri maalajeissa ja kosteustiloissa. Havaintotuloksia käytetään hyväksi typen kiertoa kuvaavan simulointimallin testauksessa ja parametrien estimoinnissa. Säätöajituksen toiminnan arviointi edellyttää kokeellista tutkimusta erityyppisissä olosuhteissa mm. maalajien, kosteusolojen ja viljelykasvien osalta, jotta sekä typpi- että fosforihuutoumien vähenemisestä saataisiin realistinen kuva. Projektissa selvitettiin myös eri menetelmien käyttökelpoisuutta fosforikuormituksen arvioinnissa.

Tutkimuksen tausta, tavoitteet ja toteutus

Tutkimusprojektin tavoitteena oli arvioida ravinteiden/lannoitteiden huuhtoutumista maaperästä pinta- ja pohjavesiin sekä selvittää vesiensuojellisesti edullisia maankuivatusratkaisuja kokeellisin ja teoreettisin menetelmin /1/. Tutkimuksessa keskityttiin typen esiintymiseen maa-kasvi-ilma - kehäsystemissä ja sen huuhtoutumiseen maaprofiilista pinta- ja pohjavesiin. Peltoalueilta tulevan fosforikuormituksen osalta selvitettiin eri menetelmien soveltuvuutta huuhtoumien arviointiin /2/. Lannoitetason vaikutusta typpihuuhtoumiin tutkittiin kokeellisesti TKK:n lysimetrikentällä /6, 7, 8, 9 ja 10/. Ravinnekuormituksen vähentämistoimenpiteenä tarkasteltiin säätöajituksen ja pohjavesikastelun toimintaa ja soveltuvuutta Suomen olosuhteissa /4 ja 5/. Tutkimuksessa käytettiin hyväksi matemaattista mallintamista maavesivirtauksen, typen kulkeutumisen ja kasvien kasvun simuloinnissa. Mallien avulla arvioitiin eri kuivatustoimenpiteiden vaikutusta peltoalueilta huuhtoutuviin typpimääriin ja satoon.

Hankkeen lähtökohtana oli Yhdysvalloissa (North Carolina State University) saadut tutkimustulokset. Niiden perusteella säätelällä maan vesipitoisuutta pohjavesikastelun tai säätöajituksen avulla ravinnehuuhtoumat vähenivät selvästi satotason kärsimättä tai kasvaessa. Säätösalaajituksessa pellon pohjavedenpintaa säädellään kuivatus- tai kastelutarpeesta riippuen yksinkertaisten settipatojen avulla, jotka rakennetaan imuojien laskuojaan. Keväällä pohjavedenpinta on laskettava kylvötoita varten. Kasvukaudella pohjaveden pintaa pidetään korkeammalla kuin tavanomaisesti salaajitetulla pellolla. Sadonkorjuuta varten pelto jälleen kuivataan, minkä jälkeen syysvalumat estetään padotuksella. Tavoitteena on lisätä haihduntaa ja ajoittaa purkautuvat vesimäärät siten, että veden laatu on ympäristön kannalta paras mahdollinen.

Pohjavesikastelussa (padotus kastelussa) salaojaputkistoon pumpataan vettä ulkopuolisesta lähteestä kokoojaojan kautta ja nostetaan pohjavedenpinnan tasoa pellolla. Ko. menetelmiä voidaan käyttää myös avo-ojitetulla pellolla. Tällöin systeemin reagointi säätelytoimenpiteisiin on hitaampaa kuin salojitetulla pellolla.

Useiden tutkimusten mukaan perinteinen salaojitus vähentää pintavalumia ja siten fosforin huuhtoumia, mutta lisää huomattavasti liukoisen typen huuhtoutumista avo-ojitukseen verrattuna. Yhdysvalloissa tehtyjen tutkimusten mukaan käytettäessä säättöjitystä huuhtoutuvan kokonaistypen määrä väheni jopa 45 % perinteiseen salaojitukseen verrattuna. Huuhtoumat pienenevät myös avo-ojitukseen verrattuna. Ravinnepäästöjen pieneminen perustuu erityisesti kokonaisvaluman vähenemiseen sekä valumiin oikeaan ajoittumiseen ja denitrifikaation lisääntymiseen. Ko. tutkimusten mukaan padotusta käytettäessä fosforihuuhtoumat pienenevät jopa 40 % salaojitukseen verrattuna. Tämä perustuu pääasiassa siihen, että säädellyissä ojissa vesi viipyy pidemmän aikaa kuin perinteisissä ojissa. Tällöin salaojien kautta kulkeutunut kiintoaines laskeutuu ojan pohjalle eikä kuormita vesistöä.

Pohjavesikastelun ja säättösalaojituksen toimintaa tarkasteltiin peltomittakaavassa havaintoaineiston ja simulointimallin avulla /4/. Menetelmien toimintaa arvioitiin sadon määrän ja laadun sekä ravinnehuuhtoumien perusteella. Eri kuivatus(kastelu) vaihtoehtojen taloudellisuutta vertailtiin katetuottoa käyttäen. Mittaukset suoritettiin Pohjois-Pohjanmaalla sijaitsevalla perunaviljelyksellä, jossa pohjavesikastelu oli käytössä avo-ojitetulla pellolla. Havaintoja oli käytettävissä mm. sadon määrästä ja laadusta sekä maan kosteudesta ja pohjavedenpinnan korkeudesta. Pellolta huuhtoutuvista vesimääristä ja ravinnepitoisuuksista ei ollut käytettävissä mittaustuloksia.

Lisäksi tehtiin teoreettisia laskelmia, joissa tarkasteltiin pohjavesikastelun ja säättösalaojituksen vaikutusta typpihuuhtoumiin eri maalajeissa /5/. Typpimalli perustui yksittäisten prosessien kuvaukseen, jossa typpivarastoja tarkasteltiin ajan ja paikan suhteen muodostetuilla osittaisdifferentiaaliyhtälöillä /3/. Laskelmien vaatimat lähtötiedot, mm. maalajien hydrauliset ominaisuudet ja prosessiparametrit, saatiin kirjallisuudesta.

TKK:n lysimetrikentällä suoritettujen kokeiden tavoitteena oli tuottaa havaintoaineistoa typen kiertoa kuvaavan osamallin rakenteen analysointiin ja parametrien estimointiin. Tämän vuoksi tutkimus tehtiin koeruuduissa (lysimetreissä), joissa systeemi oli mahdollisimman rajattu, homogeeninen ja ympäristöolosuhteiltaan tunnettu. Lisäksi lysimetrejä voitiin helposti manipuloida esim. kastelemalla ja/tai padottamalla pohjavedenpinnan korkeutta. Tutkitut profiilit koostuivat runsaasti orgaanista ainesta sisältävästä maakerroksesta ja pohjamaasta, joka oli hietaa tai savea. Lannoitemäärä vaihteli vuosittain 100–500 g N / lysimetri (100–500 kg N ha⁻¹). Koejärjestelyt on kuvattu yksityiskohtaisesti julkaisuissa /7/, /8/, ja /10/. Typen yksittäisistä prosesseista tutkittiin lähemmin mineralisaatiota ja kosteuden vaikutusta mineralisaatioon. Kokeet suoritettiin koekentän maalajeilla laboratorio-olosuhteissa /11/.

Mallinnettaessa typen kulkeutumista maaperässä on ratkaistava ensin veden virtaus vedellä kyllästymättömässä vyöhykkeessä (maavesimalli). Tutkimusprojektissa selvitettiin optimaalista koesuunnittelua maavesimallin parametrien estimoimiseksi ja identifioimiseksi yhteistyössä MAVERO-projektin "Maatalouden aiheuttaman kuormituksen ja sen vaikutusten optimaalinen mittaaminen" kanssa. Tutkimuksen tulokset on raportoitu ko. projektin yhteydessä.

Erosion ja fosforikuormituksen laskentatapojen käyttökelpoisuutta selvitettiin käyttämällä hyväksi havaintoaineistoa, joka oli kerätty Siuntiossa sijaitsevalta koalueelta vuosina 1977–1978. Pintavalunta erotettiin valuntakäyrästä logaritmi-menetelmällä sekä sadannasta ja sulannasta käyränumeromenetelmällä. Eroosio

laskettiin USLE-yhtälöllä (the Universal Soil Loss Equation) ja fosforikuormitus kuormitusfunktioita käyttäen /2/.

Tulokset

Säätöojituksen soveltuvuutta arvioitaessa tärkein edellytys on maan hydraulinen johtavuus. Sen arvon on oltava vähintään $0,5 \text{ md}^{-1}$, jotta salaojituksella saataisiin riittävä kuivatus- ja kastelutehokkuus. Tämän perusteella säätöojitukseen soveltuisivat parhaiten hiekka-, hieta- ja karkeimmat hiesumaat. Aitosaven hydraulinen johtavuus on säätöojitukseen liian pieni. Koska hydraulisen johtavuuden arvot ovat puhtaille lajitteille määritettyjä, voivat eräät savimaat kuitenkin soveltua säätöojitukseen. Muita säätöojituksen toimivuuteen liittyviä tekijöitä ovat pellon tasaisuus (pieni kaltevuus $< 1 \%$) ja luonnollinen pohjavedenpinnan korkeus. Maalajien perusteella karkeasti arvioiden Suomen peltomaista n. 40 % on sellaisia, joilla voitaisiin käyttää ojitusta kuivatus- ja kastelutarkoituksiin. Savi- ja moreenimaiden (yht. n. 40 %) osalta vaaditaan erityisesti tarkempia selvityksiä /4/.

Teoreettisten mallitarkastelujen perusteella typpihuuhtoumat pienenevät siirryttäessä pohjavesikasteluun ja säätöojitukseen. Vähennyksen suuruus vaihteli maalajin ja maan kosteusolojen mukaan /5/. Kuivissa olosuhteissa huuhtoutuminen on luonnostaan pientä, ja se voidaan lähes kokonaan eliminoida säätöojituksen avulla. Laskelmien mukaan, jotka perustuivat peltojen maalajikoostumukseen ja simulointituloksiin, pelkästään säätöojitusta käyttämällä kokonaistypikuormitusta voitaisiin vähentää keskimäärin noin 40 % perinteisesti salojitetuun peltoon verrattuna /4 ja 5/. Lysimetrikentän koejärjestelyissä vertailukelpoisimmat havainnot tehtiin kahdesta hietaruudusta, joissa maaprofiilien rakenne ja kasvipeite olivat lähes yhteneväiset koejaksolla 1989–1991. Ruuduista toinen oli lannoittamaton ja toista oli lannoitettu 100, 250 ja 400 g N / lysimetri (10 m^2) eri kasvukausilla. Pienimmillä lannoitemäärillä ei ollut havaittavissa eroja typpihuuhtoumissa eri vuosina lannoittamattomaan ruutuun nähden. Lannoitemäärällä 400 g N/ lysimetri erot huuhtoumissa olivat selvästi havaittavissa kasvukaudesta lähtien, mutta ne johtuivat ainakin lokakuulle 1991 saakka ennen kaikkea eroista läpihuuhtoutuneissa vesimäärissä. Lannoituksen vaikutus näkyi selvästi kaikissa kokeissa maaprofiilin mineraalityypen määrässä kesän alussa, mutta myöhemmin erot yleensä tasoittuivat. Kasveihin sitoutunut typpi määrä oli noin 40–50 % suurempi lannoitetussa hietaruudussa kuin lannoittamattomissa vuosina 1990–1991. Tulosten perusteella voidaan olettaa, että suuri osa lannoitteesta jää hyödyntämättä ainakin ensimmäisen kasvukauden aikana.

Laboratoriokokeissa typen mineralisaatio vaihteli huomattavasti maalajin ja kosteuden mukaan. Mineralisaatio- ja nitrifikaatioprosessia simuloitiin ensimmäisen kertaluokan kinetiikalla /11/. Tuloksia voidaan käyttää hyväksi arvioitaessa ko. prosessikertoimia typen kiertoa kuvaavassa mallissa, jota sovelletaan myöhemmin lysimetrikentän olosuhteisiin.

Eri menetelmillä lasketut fosforikuormitukset poikkesivat selvästi sekä toisistaan että havaintoarvoista. Esimerkiksi menetelmällä, jossa pintavalunta arvioitiin nk. käyränumeromenetelmällä ja fosforihuuhtouma USLE-yhtälöä ja kuormitusfunktioita käyttäen, saadut tulokset olivat noin 50 – 90 % pienempiä kuin mittausten perusteella lasketut fosforikuormitukset /2/.

Johtopäätökset

Tutkimuksessa saatujen alustavien tulosten perusteella säätöojituksen käyttö ravinnehuuhtoumien vähentämiseksi on lupaava menetelmä myös Suomen olosuhteissa. Säättösalaojitusta käyttämällä kuormituksen vähentäminen olisi mahdollista ilman suurta taloudellista panostusta.

Tässä yhteydessä säätöojituksen ja pohjavesikastelun vaikutuksia typpihuuhtoumiin tarkasteltiin tietokonemallin avulla. Tulosten luotettavuutta ei pystytty arvioimaan havaintoaineiston puuttuessa. Säättösalaojituksen toimivuutta olisi tarkasteltava kokeellisesti eri maalajeissa ja kosteusoloissa sekä eri viljelykasveilla peltoalueella, jotta sekä typpi- että fosforihuuhtoumien vähenemisestä saataisiin realistinen kuva. Koska systeemiin sisältyy suuri määrä erilaisia tekijöitä, ei kaikkien vaihtoehtojen mittaaminen ole mahdollista, vaan matemaattista mallintamista hyväksi käyttäen pyritään simuloimaan erilaisia olosuhteita ja eri tekijöiden osuutta huuhtoumien synnyssä. Tällöin tulosten arvioinnissa on otettava huomioon myös mallin luotettavuus.

Typen käyttäytymistä maa-kasvi-ilmakehäsystemissä kuvaavat prosessimallit edellyttävät runsaasti lähtötietoja mm. maaperätekijöistä ja hydrometeorologisista olosuhteista, minkä vuoksi niiden soveltaminen ja käyttökelpoisuuden arviointi on työlästä. Mallien output-muuttujina ovat typpimäärät maaperässä, kasvustossa ja läpihuuhtoutuneessa vedessä. Vaikeimmin mitattavissa näistä on maaperässä oleva liukoinen typpi (nitraatti ja ammonium), joka huuhtoutuu maaveden mukana. Näihin tuloksiin sisältyy todennäköisesti myös eniten satunnaisuutta ja epävarmuutta maaperän rakenteesta johtuen.

Pintavalunnan määritysmenetelmien ja fosforin kuormitusfunktioiden testaus osoitti, että käytettyjen menetelmien antamat tulokset ovat epäluotettavia. Osa menetelmistä perustuu olosuhteisiin ja ilmiöihin, jotka eivät päde Suomessa. Tällöin niiden käyttö fosforikuormituksen arviointiin on kyseenalaista.

Kirjallisuus

Tutkimusprojektista ilmestyneet/ilmestyvät julkaisut:

- /1/ Paasonen-Kivekäs, M. ja Vakkilainen, P. 1989. Salaojitus ja pohjaveden laatu. Vesitalous 1/1989, ss. 21 - 25.
- /2/ Tiainen, I. 1990. Eroosio ja fosforin kulkeutuminen pelloilta. Diplomityö (loppuosa). Teknillinen korkeakoulu, rakennus- ja maanmittaustekniikanosasto, vesitalouden laboratorio. ss. 68 - 84.
- /3/ Karvonen, T., Paasonen-Kivekäs, M. ja Vakkilainen, P. 1990. Nitrogen movement, transformations and uptake by plant roots. Teknillinen korkeakoulu, rakennus- ja maanmittaustekniikanosasto, vesitalouden laboratorio. 21 s.
- /4/ Ahonen, J. 1991. Säättöojituksen ja pohjavesikastelun käyttö ja soveltuvuus Suomessa. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, rakennus- ja maanmittaustekniikanosasto, vesitalouden laboratorio. 63 s.
- /5/ Ahonen, J. 1991. Säättöojituksen ja pohjavesikastelun maalajikohtaiset vaikutukset

sadonmuodostukseen ja typpihuuhtoumiin. Erikoistyöraportti. Teknillinen korkeakoulu, rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto, vesitalouden laboratorio. 19 s.

- /6/ Bärlund, I. ja Paasonen-Kivekäs, M. 1991. Lysimeter experiments on soil nitrogen. Poster esitys NPo-konferenssissa 13.-15.5.1991, Helsingör Tanska.
- /7/ Paasonen-Kivekäs, M., Bärlund, I. ja Peltola, A. 1992. Koejärjestelyt ja mittaustulokset TKK:n lysimetrikentällä 1989-1990. Teknillinen korkeakoulu. Julkaistaan vesitalouden laboratorion monistesarjassa 1992.
- /8/ Bärlund, I. 1992. Koejärjestelyt ja mittaustulokset TKK:n lysimetrikentällä 1990-1991. Teknillinen korkeakoulu. Julkaistaan vesitalouden laboratorion monistesarjassa 1992.
- /9/ Bärlund, I. 1992. Typen fraktiot maaperässä ja kasvustossa - lysimetrikokeet. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto, vesitalouden laboratorio.
- /10/ Paasonen-Kivekäs, M. ja Joki, P. 1992. Koejärjestelyt ja mittaustulokset TKK:n lysimetrikentällä 1991-1992. Teknillinen korkeakoulu. Julkaistaan vesitalouden laboratorion monistesarjassa 1992.
- /11/ Rankinen, K. 1992. Kosteuden vaikutus typen mineralisaatioon maaperässä. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto, vesitalouden laboratorio.

