

MTT RAPORTTI 155

Ferix-3 -saostuskokeet Nuutajärven valuma-alueella 2012 ja 2013

Aaro Närvänen ja Risto Uusitalo



**Ferix-3 saostuskokeet Nuutajärven
valuma-alueella 2012 ja 2013**

Aaro Närvänen ja Risto Uusitalo

ISBN: 978-952-487-555-4
ISSN 1798-6419
URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-555-4>
<http://www.mtt.fi/mtraportti/pdf/mtraportti155.pdf>
Copyright: MTT
Kirjoittajat: Aaro Närvänen ja Risto Uusitalo
Julkaisija ja kustantaja: MTT Jokioinen
Julkaisuvuosi: 2014
Kannen kuva: Aaro Närvänen

Ferix-3 saostuskokeet Nuutajärven valuma-alueella 2012 ja 2013

Aaro Närvänen ja Risto Uusitalo

MTT/Kasvintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen

Tiivistelmä

Tässä raportissa kuvataan Nuutajärven alueella tehtyä koesarjaa, jossa kevätkuivunna sidottiin veteen liuen-
nutta fosforia kemikaalilisäyksen avulla. Ojavesien kemikaalikäsittelyn tarkoitus oli sitoa tämä leville välittö-
mästi käyttökelpoinen liennut fosfori sellaiseen muotoon, että fosforin käyttökelpoisuus levien näkökulmasta
on vähäinen.

Kemikaalin annostelu tehtiin käyttäen MTT:ssä kehitettyä annostelijaa, joka toimii ilman sähköä ja voidaan
siten sijoittaa lähes minne tahansa. Keksinnön rakennusohjeet löytyvät tämän raportin liitteestä 3. Fosforinsito-
jana käytettiin rauta(III)sulfaattia (ferrisulfaatti), joka on yleisesti jätevedenpuhdistamoilla ja vesilaitoksilla
käytettävä saostuskemikaali. Rautasulfaatti hajoaa vedessä rauta- ja sulfaatti-ioneiksi, ja rauta reagoi edelleen
veden kanssa muodostaen pääasiassa rautahydroksideja. Rautahydroksideilla on voimakas taipumus pidättää
liuenut fosforia.

Ferrisulfaattia annosteltiin keväällä 2012 kymmeneen ja seuraavana keväänä 11 Nuutajärven laskevaan ojaan.
Ojat, joihin kemikaalilisäykset tehtiin, valittiin aiemman kartoituksen perusteella. Ojien valuma-alueet vaihte-
livat muutamasta aarista yli 100 hehtaarin aloihin ja siten niiden kautta kulki hyvin vaihtelevia määriä valuma-
vettä, minkä lisäksi veden fosforipitoisuudet vaihtelivat laajalla skaalalla.

Kokeiden teko ainoastaan kevätkuivunna aikana perusteltiin sillä, että kevätkuivunna muodostaa useimmissa
kohteissa suuren osan koko vuoden kuivunna. Ympärivuotinen annostelu olisi myös käynyt työlääksi järven
suojeluyhdistykselle, joka hoiti annostelulaitteistojen käytön.

Ensimmäisenä keväänä mitattu liuenneen fosforin poistoteho oli 44 % ja toisena keväänä se nousi 77 %:iin.
Poistettuina fosforikiloina näiden tehojen arvioitiin vastaavan noin 9 ja 20 kg:n fosforimääriä. Käytettyä kemi-
kaalikiiloa kohden sidottu fosforin määrä oli 2-3 grammaa.

Kemikaalikustannukseksi muutettuna rautaan sidottu fosforikiilo tuli kaikkien kohteiden keskiarvona maksa-
maan noin 110-180 euroa. Yksittäisissä kohteissa fosforikilon sitomisen kustannus vaihteli alle 20 eurosta 460
euroon. Alhaisimmat kustannukset olivat kohteissa, joiden valuma-alue oli pieni ja liuenneen fosforin pitoisuus
ojavedessä suuri.

Ferrisulfaatin annostelu vaatii säännöllistä silmälläpitoa. Kemikaali paakkuuntui ajoittain, mikä johti annoste-
lun keskeytymiseen. Toisaalta ojaan lumen ja jään vuoksi padottunut vesi aiheutti kemikaalin yliannostuksia,
minkä seurauksena veden happamuus (pH) laski hyvin alhaiselle tasolle.

Tutkimuksen johtopäätöksenä toteamme, että ferrisulfaattikäsittely on parhaimmillaan hyvin tehokas menetel-
mä liuenneen fosforin muuttamiseen leville huonosti käyttökelpoiseen muotoon. Kustannukset ja riskit haitalli-
sista vaikutuksista vesistöihin (mm. hapen kuorma) voidaan pitää alhaisena, jos käsittelyyn otetaan vain sellai-
set kohteet joissa liuenneen fosforin pitoisuus on korkea ja joissa käsittely voidaan toteuttaa lähellä kuormituk-
sen alkulähdettä. Suurissa ojissa, joissa liuenneen fosforin pitoisuus on alhainen ja vesimäärä suuri, ferrisulfaa-
tin annostelu on kuitenkin hyvin kallista.

Avainsanat:

Fosfori, rautasulfaatti, Ferix, rehevöityminen, vesienpuhdistus, kuormitusalueet

Phosphate stripping by ferric sulphate in ditches of lake Nuutajärvi catchment

Aaro Närvänen and Risto Uusitalo

MTT Agrifood Research Finland, Plant Production Research, FI-31600 Jokioinen

Abstract

In this report we describe a field test series in which phosphate (*viz.* dissolved phosphorus), that is the phosphorus form directly utilized by freshwater algae, was converted into a sparsely algal-available form by ferric sulphate application in ditch water during spring floods of 2012 and 2013. Administration of the chemical was arranged by using a dispenser developed by the first author at MTT Agrifood Research Finland. The invention runs without electricity and can thus be flexibly placed on a desired site. The chemical used, granular ferric sulphate, is widely used in wastewater treatment plants and waterworks as a stripping chemical. It is highly water-soluble and decomposes into Fe^{3+} and SO_4^{2-} ions. In water, the iron will form hydroxides that have a high affinity towards phosphate.

In 2012 the treatment was carried out at ten ditches and in 2013 at eleven ditches of variable sizes and catchments areas (0.2 to more than 100 ha) by lake Nuutajärvi, SW Finland. Dissolved P concentrations in ditch water at these sites varied between 0.02 and 1.4 mg/l. Because the spring flood during and right after snowmelt makes a major proportion of the annual flow and phosphate load, the treatment applied during some weeks in spring could make a difference in the algae-fuelling load to the lake Nuutajärvi.

During the first spring the chemical application converted 44% of the dissolved P into iron-associated form, and the percentage rose to 77% during the following spring. These figures were assessed to correspond to about 9 and 20 kg of P masses. For a kilogram of chemical applied, about 2-3 grams of P was converted into a less algal-available form.

Calculation to chemical costs yielded an average of EUR 110-180 for a converted kilogram of P, but the cost was highly variable, from less than EUR 20 to about 460, between the different sites. The lowest cost was associated with sites that had the highest dissolved P concentrations and small catchment areas.

Application of ferric sulphate requires regular oversight. The chemical may clump in the dispenser in damp weather if there is no flow into a ditch. The following flow event does not necessarily dissolve these clumps, interrupting dosing as a result. Conversely, snow and ice may obstruct flow over the v-notch weir of the dispenser installation which may lead to high overdose as ferric sulphate continuously dissolves in dammed water. The result will be acidified water; the lowest pH reading in such an event was less than 3 during our tests.

As a conclusion of this study, we found that treatment of ditch water with ferric sulphate is at best highly efficient and cost-effective mean of converting dissolved P into a sparsely algal-available form. The costs and risks (e.g., acidic load) can be minimized by only constructing the dispensers in ditches that have high dissolved phosphorus concentrations and small catchment areas, i.e., in small critical source areas. For larger streams with dilute phosphate concentrations the ferric sulphate method is a cost-prohibitive solution.

Keywords:

Phosphorus, ferric sulphate, eutrophication, mitigation, critical source areas

Alkusanat

Tässä raportissa kuvattu koesarja on osa MTT:n johtamaa 2010–2013 käynnissä ollutta, Euroopan Unionin Interreg IVA/Central Baltic -rahaston rahoittamaa Active Wetlands -hanketta. Nuutajärvellä tehtyjä kokeita rahoitti lisäksi Pirkanmaan ELY-keskus kustantamalla käytössä olleet annostelulaitteet ja kemikaalit. Kohteiden rakentamiseen ja kokeiden käytännön hoitoon osallistui tärkeällä talkootyöpanoksellaan Nuuta-, Ruta-, ja Kortejärven suojeluyhdistys. Kiitämme sydämellisesti mainittuja tahoja tämän työn mahdolliseksi tekemisestä. Yhtä lämmin kiitos kuuluu viljelijöille, joiden maille koekohteet rakennettiin.

Sisällysluettelo

1 Johdanto.....	7
1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet.....	7
2 Aineisto ja menetelmät.....	8
2.1 Testausjaksot ja -kohteet.....	8
2.2 Koejärjestelyt.....	10
2.2.1 Laitteisto ja kemikaali.....	10
2.2.2 Näytteenotto ja seuranta.....	13
2.2.3 Koejärjestelyjen muutokset 2013.....	13
3 Tulokset ja tuloksen tarkastelu.....	15
3.1 Vuoden 2012 tulosten tarkastelu.....	15
3.2 Vuoden 2013 tulosten tarkastelu.....	15
3.3 Muita havaintoja.....	17
3.4 Kustannukset ja talkootyöaika.....	17
4 Yhteenveto.....	18
5 Kirjallisuus.....	19
Liitteet.....	20

1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Vesistöihin päätyvän liukoisen fosforin määrä kasvoi jatkuvasti 1950-luvulta 2000-luvun alkuun saakka peltojen viljavuusfosforipitoisuuksien noustessa ja haja-asutuksen jätevesikuormituksen kasvaessa. Sen jälkeen fosforikuorman kasvu on taittunut, mutta esimerkiksi jokivesistöjen seurantatutkimusten mukaan fosforikuormat eivät ole vielä kääntyneet selkeään laskuun muualla kuin Perämereen laskevissa joissa (Rankinen ym. 2014). Karjatalouden keskittyminen ja hevostalouden kasvu on lisännyt paikoin etenkin pienten valuma-alueiden ja latvavesien liukoisen fosforin kuormitusta.

Ylikuormittuneissa järvissä sedimenttiin varastoitunutta fosforia voi myös vapautua veteen hapettomilta pohjan alueilta tai esimerkiksi ylitiheän särkikalakannan vaikutuksesta. Vaikka järvien sisäisessä kiertämisessä oleva fosfori voi pitää yllä alkuun päässyttä rehevöitynyttä tilaa pitkän aikaa, on rehevöityneiden järvi-tilan parantamisen edellytyksenä aina valuma-alueelta tulevan fosforikuorman voimakas pienentäminen. Ulkoisen kuormituksen leikkaamiseksi tarvitaan laskeutusaltaita ja kosteikkoja tehokkaampia keinoja. Vedessä liuenneessa muodossa esiintyvän fosforin kuorma on ensimmäiseksi saatava vähenemään, koska liennut fosfori on se fosforin muoto jota levät ja perustuottajat käyttävät kasvuun ja lisääntymiseen (Ekholm ja Krogerus 2003).

Active wetlands -hankkeessa selvitettiin erilaisia kemiallisia fosforin saostuksen ja sidonnan mahdollisuuksia laskeutusaltaiden ja kosteikkojen yhteydessä (Uusitalo ym. 2013). Osana tätä hanketta toteutettiin keväällä 2012 ja 2013 Urjalassa sijaitsevan Nuutajärven valuma-alueen ojissa fosforin saostus ferrisulfatin avulla.

Nuutajärven alueella tehdyillä saostuksilla pyrittiin sitomaan liukoinen fosfori raudan avulla hienojakoiseksi kiintoaineksi, joka laskeutuu tässä tapauksessa ojien ja järven pohjalle. Rautaan sitoutunut fosfori ei ole leville käyttökelpoisessa muodossa, joten sen muodostuminen vähentää levien kasvua järvessä ja ravinteiden kulkeutumista edelleen alajuoksun vesistöihin.

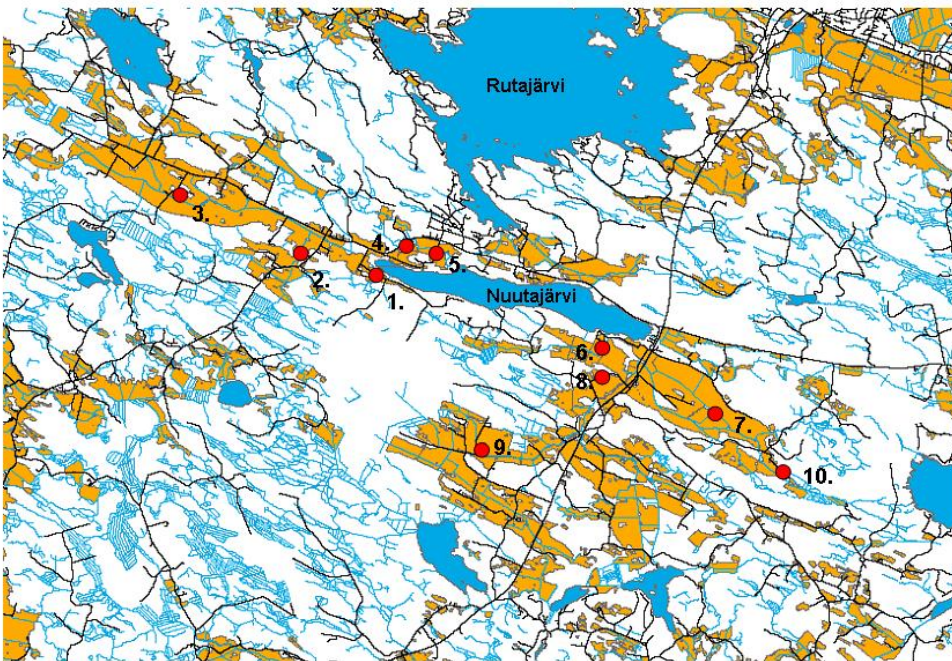
Saostuskokeet toteutettiin yhteistyössä Pirkanmaan ELY-keskuksen, Nuuta-, Ruta-, ja Kortejärven suojeluyhdistyksen sekä MTT:n yhteistyönä. Pirkanmaan ELY-keskus rahoitti annostelulaitteiden ja kemikaalin hankinnat. Suojeluyhdistys hankki maanomistajien luvat ja rakensi talkootyönä annosteluasemat sekä huolehti kemikaalin jakelusta ja lisäyksistä annostelijoihin. MTT vastasi annostelupaikkojen sijoittamisesta ja suunnittelusta. Seurannasta vastasi ojavesien analysoinnin osalta MTT, järviveden laadun seurannasta vastaavat Pirkanmaan ELY ja suojeluyhdistys tekivät kesän 2012 aikana näkösyvyysmittauksia.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Testausjaksot ja -kohteet

Testausjaksoina olivat kevät 2012 ja 2013. Pelkän kevätvalunnan käsittelyyn päädyttiin sen vuoksi, että suuri osa vuotuisesta fosfaattikuormituksesta tulee järveen kevätvalunnan mukana. Käsittelemällä ainoastaan kevätvalunta annostelijoiden huoltoon ja seurantaan tarvittava aika ja työmäärä eivät myöskään muodostu kohtuuttoman suuriksi. Kevätvalunta on olennainen Nuutajärven kesäaikaisen vedenlaadun kannalta, koska viipymä järvestä on lyhyt, noin 7 kk. Nuutajärven liukoisen fosforin kuormitus järven vesihehtaaria kohti on noin kymmenkertainen verrattuna alapuolisen Rutajärven kuormitukseen. Nuutajärven on ollut viimeisen kymmenen vuoden aikana useina kesinä runsaita sinileväkukintoja.

Nuutajärven valuma-alueita ja kuormitusta selvitettiin MTT:n toimesta 2000-luvun alussa (Närvänen ym. 2003). Kemikaalin annostelupaikkoja valittaessa käytettiin hyväksi tämän selvityksen tietoja. Annostelijoita asennettiin erikokoisiin ojiin ympäri valuma-alueita (Kuvat 1 ja 2) ja eri kuormitustasoa ja maankäyttöä edustaviin ojiin (Taulukot 1 ja 2). Annostelupaikat sijoitettiin Nuutajärven laskevien pääuomien sivuhaaroihin.

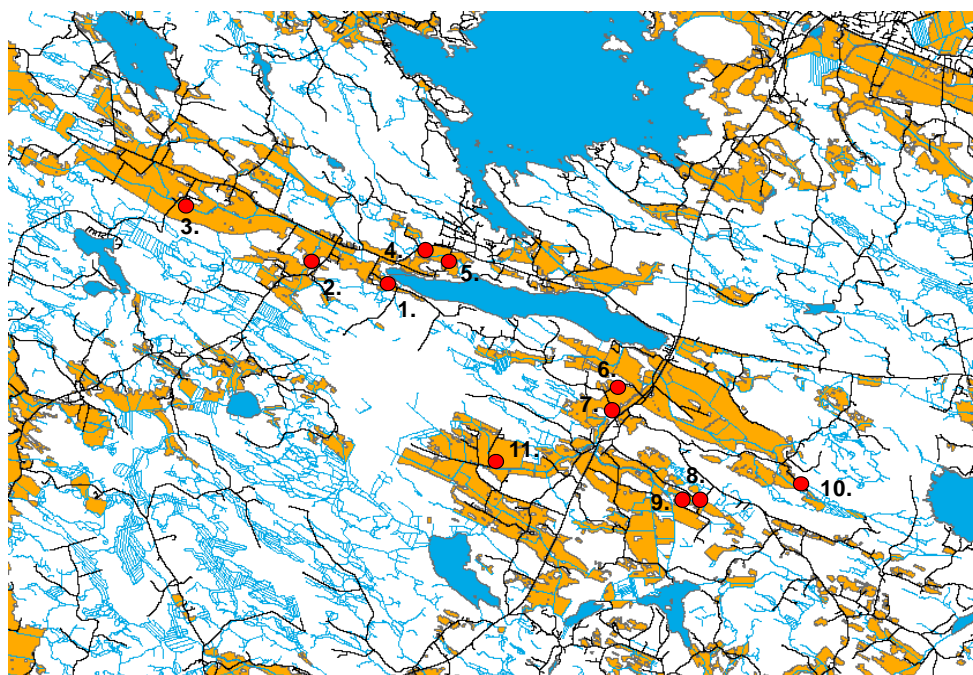


Kuva 1. Ferrisulfaatin annostelupaikkojen sijainti 2012.

Taulukko 1. Kevään 2012 kokeisiin valittujen annostelupaikkojen tietoja.

Kohde	Valuma-alue, ha	Kuormituksen lähde	Arvioitu Ferixin kulutus/jakso
1	< 5ha peltoa + metsää	Navetta, jaloittelutarhat	200 kg/kevät
2	50 ha peltoa + metsää	Navetta, jaloittelutarhat	>1000kg/kevät
3	n. 1 ha	Navetta-alue	300 kg/v
4	< 10 ha	Navetan kuormitusta	600 kg/v
5	< 5 ha	Navetta, jaloittelutarhat	400 kg/v
6	n. 50 ha	Peltoja	1000 kg/kevät
7	20 ha	Peltoja	500 kg/kevät
8	n. 5 ha	Hevostarhat	300 kg/kevät
9	> 100 ha	Peltoja 50 ha + metsää	1000 kg/kevät
10	0,2 ha	Hevostarhat	100 kg/v

Kahdessa kohteessa testattiin annostelun toimivuutta aiempia kokeiluja suuremmilla veden virtaamalla (yli 140 l/s). Vuonna 2012 kohteissa 2 ja 9 oli käytössä kahdella eri korkeuteen asennetut annosteluyksiköt. Samoissa annostelupaikoissa vaihdettiin normaalien annosteluyksiköiden (0,40 metrin pituiset verkkosuppilot) tilalle annostelija, joka oli varustettu yhdellä metrin mittaisella verkkosuppilolla. Syksyllä 2012 siirrettiin kolme annostelijaa eri paikkaan ja rakennettiin yksi annostelija lisää.



Kuva 2. Ferrisulfaatin annostelupaikkojen sijainti 2013.

Taulukko 2. Kevään 2013 kokeisiin valittujen annostelupaikkojen tietoja.

Kohde	Valuma-alue, ha	Kuormituksen lähde
1	25 ha, peltoa < 5 ha	Navetta, jaloittelutarhat
2	250 ha, peltoa 50 ha	Navetta, jaloittelutarhat
3	n. 1 ha	Navetta-alue
4	140 ha	Metsää
5	2 ha	Navetta-alue
6	5 ha	Hevostarhat, asunto
7	6 ha	Peltoa, hevostarhoja
8	60 ha	Peltoa, hevostarhoja
9	27 ha	Peltoa, hevostarhoja
10	0,2 ha	Hevostarhat
11	90 ha	Peltoa 35 ha

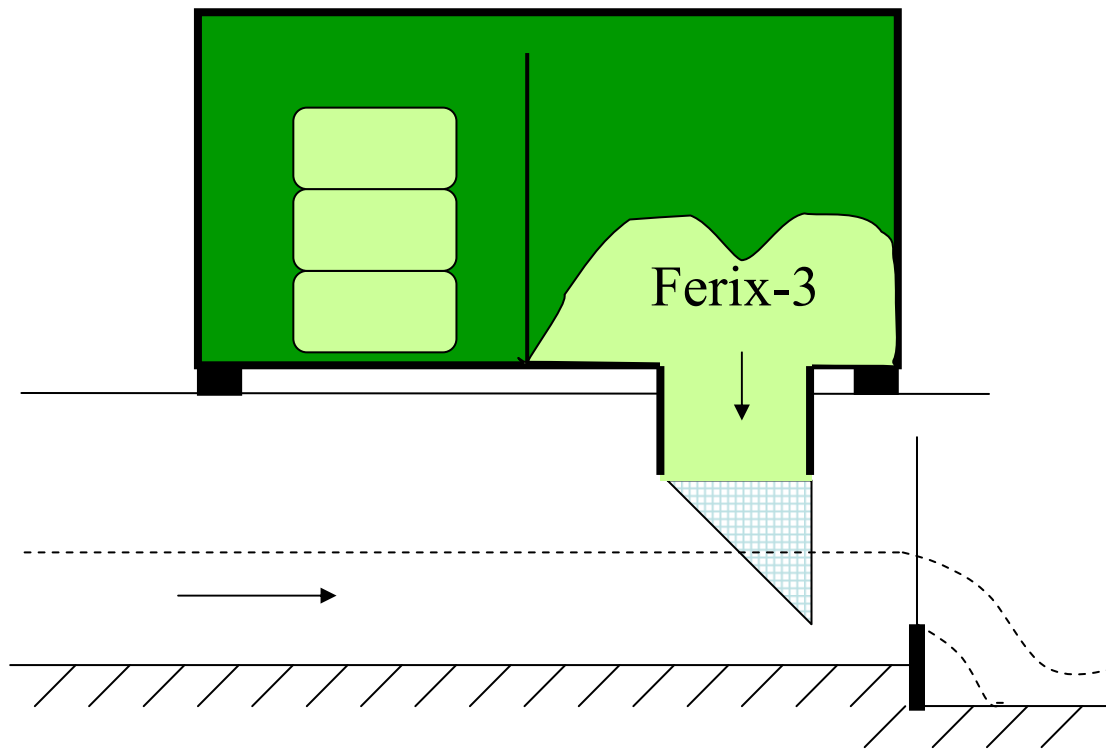
2.2 Koejärjestelyt

2.2.1 Laitteisto ja kemikaali

Käytettävä laitteisto on MTT:ssä kehitetty ns. Närvänen-tyyppin Ferix-annostelija, jonka rakenneosat ovat varastosäiliö, annostelusuppilo ja v-aukkopato (Kuva 3 ja liite 3). Rakeinen ferrisulfaatti liukenee annostelijan verkkosuppilosta virtaavaan ojaveteen. Varastosäiliöstä valuu suppiloon lisää kemikaalirakeita halkaisijaltaan 200 mm:n rumpuputken kautta.

Kemikaalin annostelusuhdetta voidaan säätää annostelijan yhteyteen ojaan rakennetun v-padon avulla. Yleensä v-padon avautumiskulman ollessa 120 astetta kemikaalin annostelusuhde veteen on noin 1:50 000 (1 kg kemikaalia/50 m³ vettä). Pientämällä avautumiskulmaa saadaan kemikaalia liukenemaan enemmän. Annostelupaikkoihin 2, 6 ja 9 ei ollut mahdollista rakentaa v-patoa ja kohteen 8 v-pato rakennettiin vasta kevään 2012 valunnan jälkeen.

Annostelijoita rakennettiin kolmen kokoisia (Kuvat 4–6). Hevostarhan (kohde 10) vesien käsittelyyn asennettiin yksi 150 litran säiliöllä varustettu annostelija. Kuusi annostelijaa varustettiin 350 litran säiliöllä ja kolme (vuonna 2013 neljä kpl) 600 litran säiliöllä. Suurimpien ojien annostelijat varustettiin kahdella annostelusuppilolla, jotka asennettiin eri korkeuteen. Pienissä kohteissa, joissa tiedettiin fosforipitoisuuksien olevan korkeita, käytettiin 60-90° v-patoa ja muissa ojissa padon avautumiskulma oli 120°.



Kuva 3. Närvänen-tyyppin annostelulaitteen periaatepiirros (pituusleikkaus). Tarkempi kuvaus ja annostelijan valmistusohjeet löytyvät liitteestä 3.



Kuva 4. Pienin annostelija (kohde 10) keväällä 2013.



Kuva 5. Keskikokoinen annostelija varustettuna v-padolla, jonka avautumiskulma on 90 astetta.



Kuva 6. Kahdella annostelusuppilolla varustettu suurin annostelija (Kohde 2).

Ferix-3 -kemikaali on vedenpuhdistukseen käytettävä rautasuola, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$. Sen kemikaaliluokitus on ”haitallinen”, ja liuetessaan se muodostaa hyvin happaman liuoksen. Kemikaalin käsittely edellyttää henkilösuojavarusteita. Nuutajärven ojissa käytettyä annostusta suuremmilla annostuksilla muodostuu runsaasti rautahydroksidisakkaa, joka voi kulkeutua pitkiäkin matkojen päähän virtauksen mukana. Sakka ei ole vaarallista, mutta voi runsaana esiintyessään aiheuttaa esteettistä haittaa.

2.2.2 Näytteenotto ja seuranta

Kaikki kevään 2012 vesinäytteet otettiin ojista kertänäytteinä. Vesinäytteistä määritettiin pH, sähkönjohtavuus, liuennut fosfori (SFS 3025 sov.), kokonaisfosfori (SFS 3026 sov.), ammoniumtyppi (SFS 3032 sov.), nitraattityppi (SFS 3030 sov.), kokonaistyyppi (SFS 3031 sov.), liuennut rauta ja liuennut rikki (ICP-AES laitteella). Ojaveden virtaama mitattiin näytteenotto- ja seurantakäytien yhteydessä mittapadolla virtaaman ilmoittavan mittaviivaimen avulla.

Ferrisulfaatin annostelua seurattiin pitämällä kirjaa lisäystä ja kuluneesta kemikaalimäärästä sekä saostukseen tulevan ja lähtevän veden pH:sta. Veden pH mitattiin kentällä Hanna pHep-taskumittarilla. Veden pH:n tarkkailun avulla liiaksi happamoittava yliannostelu voidaan näin todeta välittömästi. Huippuvalunnan aikana seurantakäyntejä pyrittiin tekemään suurimmilla ojilla kerran päivässä, muilla kohteilla muutaman päivän välein.

2.2.3 Koejärjestelyjen muutokset 2013

Vuoden 2013 annostelua varten tehtiin järjestelyihin seuraavat muutokset:

- kohteen 4 annostelija siirrettiin Väkkäräntien varteen (kohde 7)
- kohteen 6 annostelija siirrettiin Purutien varteen (kohde 8)
- kohteen 7 annostelija siirrettiin Ollikaisen ohi tulevaan ojaan (kohde 9)
- Nuutajärventien varteen (Ojanperä) rakennettiin uusi annostelija (kohde 4)
- kohteen 8 numero vuonna 2013 on kohde 6 ja kohteen 9 tunniste muuttui kohteeksi 11
- kohteissa 2 ja 6 vesinäytteet otettiin automaattisilla näytteenottimilla
- kohteessa 2 virtaaman seuranta toteutettiin ojaveden pinnankorkeudesta riistakameran ottamien kuvien avulla



Kuva 7. Nuutajärventien varrelle rakennettu uusi kohde varustettiin paremmalla annostelusäiliöllä, jonka kannen välistä sadevesi ei päässyt säiliöön.



Kuva 8. Kaksi annostelusuppiloa korvattiin yhdellä pitkällä annostelusuppilolla 2013. Taustalla näkyy koivun runkoon ripustettu riistakamera.



Kuva 9. Riistakameran ottama kuva kohteen 2 ojaveden pinnankorkeudesta. Musta kanisteriin kerättiin kokoomänäytettä ajastimella toimivan pumpun avulla.

3 Tulokset ja tuloksen tarkastelu

3.1 Vuoden 2012 tulosten tarkastelu

Saostustulokset vuodelta 2012 on esitetty taulukkona liitteessä 1. Ojavesien käsitellyn vesimäärän määrittäminen jäi 2012 epätarkaksi, koska virtaama mitattiin ainoastaan näytteenoton yhteydessä. Käsitelty vesimäärä laskettiin olettaen, että mittauksen välillä virtaaman muutos olisi tapahtunut suoraviivaisesti, mikä ei kuitenkaan vastaa todellisuutta.

Saostettu fosforimäärä laskettiin annostelupaikan ylä- ja alapuolelta otetuista näytteistä määritetyn keskimääräisen liukoisen fosforin pitoisuuden muutoksen ja ojassa käsittelyjaksolla virranneen vesimäärän avulla. Kullakin ojalla teoreettisesti tarvittava ferrisulfaattimäärä laskettiin kaavasta:

$$19,113 \times a^{-0,5659} \times b \times c,$$

jossa a on ojaveden liukoisen P:n pitoisuus (mg/l), b on 100/kemikaalin rauta % (Ferix-3:lla 100/20 = 5) ja c on ojan liukoisen P:n kuormitus (kg). Kaava perustuu aiempien kokeiden tuloksiin.

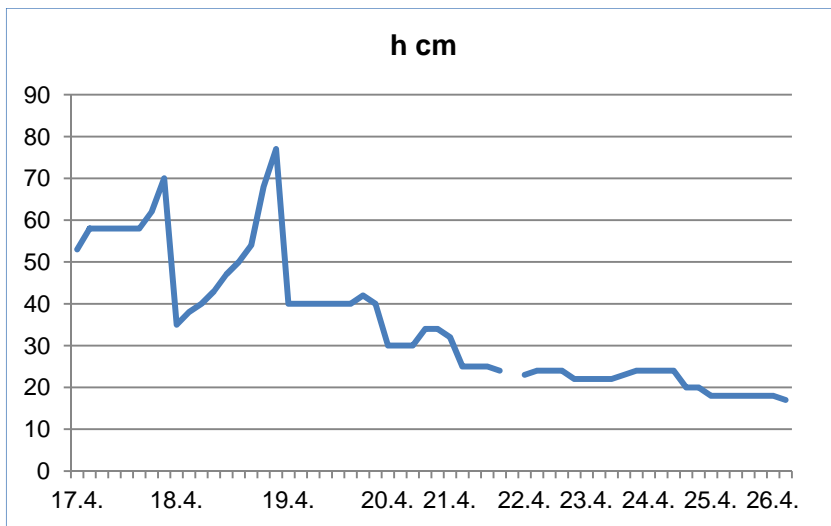
Kevät 2012 oli Nuutajärven seudulla vesistöjen kannalta hyvä. Sulaminen tapahtui rauhallisesti melko pitkän ajan kuluessa. Valunnassa oli kaksi lyhyttä huippua, ensimmäisen osuessa suuremmissa ojissa viikolle 13 ja toisen viikon 15 ja 16 vaihteeseen. Pienten valuma-alueiden ojissa alkukevään valunta virtasi hiljalleen lumen seassa tai sen alla.

Kevään 2012 valunnassa arvioitiin kulkeneen noin 19 kg liuennutta fosforia ja siitä saatiin sidottua rautaan reilu 9 kg, kun mitattu keskimääräinen liuenneen fosforin poisto oli 42 %. Kaikkiaan ferrisulfaattia annosteltiin ojavesiin 4850 kg. Keskimäärin yhden kilon annosteltua kemikaalia arvioitiin näin ollen sitonneen noin 2 grammaa liuennutta fosforia.

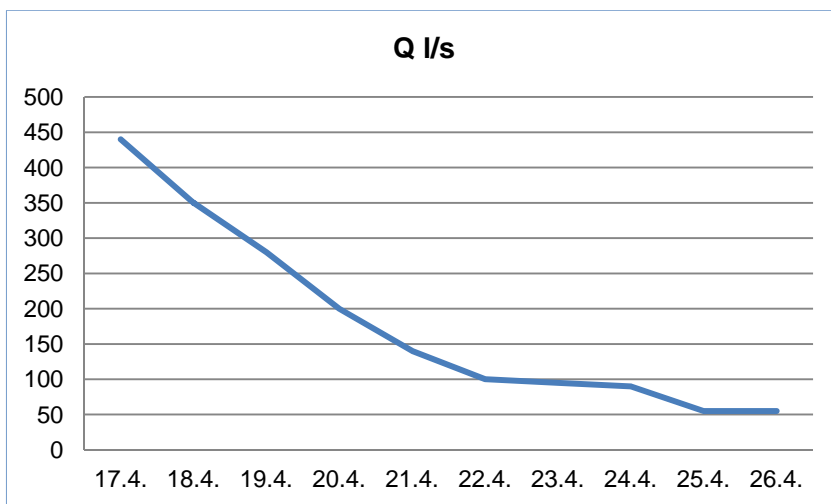
3.2 Vuoden 2013 tulosten tarkastelu

Kevät 2013 oli sulamisvaiheen osalta myöhäinen ja nopea. Käsitelty vesimäärä oli noin kolmanneksen suurempi kuin 2012 keväällä ja ojavesien liukoisen fosforin keskimääräinen pitoisuus oli 5 % korkeampi kevään 2012 vesiin verrattuna. Kevään 2013 valunnan mukana ojissa kulki arviolta 26,5 kg liuennutta fosforia, josta laskettiin saadun sidottua rautaan 20 kg. Määritetty keskimääräinen saostusteho oli noin 77 %. Näin ollen yhdellä kilolla kemikaalia arvioitiin sidotun noin 3 g liuennutta fosforia. Yhteenvedo vuoden 2013 tuloksista löytyy liitteestä 2.

Kolmen annostelijan siirto uusiin paikkoihin helpotti huomattavasti annostelijoiden seuranta ja täyttöä. Pitkä verkkosuppilo toimi molemmissa kohteissa hyvin. Kohteen 2 seurannan perusteella annostelusuhde veden pinnankorkeuden ollessa 70 cm oli 1:60 000. Tämän mukaan annostelu on ollut riittävää jopa 1000 l/s virtaamalla v-padon avautumiskulman ollessa 120°. Automaattisten näytteenottimien ja riistakameralla toteutetun virtaamaseurannan vuoksi kevään 2013 näytteenotto helpottui ja tulosten luotettavuus parani huomattavasti.



Kuva 10. Ojaveden pinnankorkeuden vaihtelu kohteessa 2.



Kuva 11. Veden virtaama vuorokauden keskiarvoina kohteessa 2.

Kevään 2012 ja kevään 2013 tulosten vertailu

	2012	2013
• Annostelupaikkoja	10 kpl	11 kpl
• Ferix-3 käyttömäärä	4850 kg	6340 kg
• Käsitelty vesimäärä	300 000 m ³	390 000 m ³
• Ferixiä annosteltiin keskimäärin	16 g/m ³	16 g/m ³
• Saostettu fosforimäärä/annostelupaikka	0,9 kg	1,9 kg (0,14-7,9 kg)
• Saostettu fosforimäärä yhteensä	9,3 kg	20,4 kg
• 1 kg Ferixiä saosti fosforia keskimäärin	1,9 g	3,2 g
• Saostamattomien ojavesien pH:n vaihtelu	5,7-7,7	5,9-7,4
• Saostettujen vesien pH:n vaihtelu	2,6-7,3	3,0-7,4

Kohteissa, joissa kevään aikana käsitelty vesimäärä oli yli 2000 m³, saostuksesta aiheutuva keskimääräinen pH-muutos oli 6,6:sta 5,6:een. Pienemmissä ojissa vastaava muutos oli 7,0:sta 5,4:ään. Kuitenkin, kuten yllä esitetyistä pH:n vaihteluväleistä näkyy, ajoittain käsitellyn veden pH laski selvästi liian happamaksi. Pääsyyinä näihin yliannostuksiin oli veden padottuminen v-padon yläpuolelle lumen ja jään vaikutuksesta. Tavoitteena oli annostelu, jonka vaikutus pH-lukuun olisi noin 0,5 yksikön lasku. Padottune-

seen veteen kuitenkin liukeni kemikaalia runsaasti tavoitemäärää enemmän ja happamuus lisääntyi voimakkaasti kemikaalin liuetessa veteen.

3.3 Muita havaintoja

Muiksi havainnoiksi olemme kirjanneet tähän lähinnä käytössä ilmi tulleita ongelmia. Näistä osa on korjattavissa laitteistoa muokkaamalla, mutta osa liittyy kemikaalin ominaisuuksiin eikä niiden mukauttaminen käytettyyn saostuslaitteistoon ja toimintaympäristöön ole helppoa.

- Lumi saattaa nostaa veden pintaa pienissä ojissa sulamisvaiheen alussa jolloin annostelu nousee liian suureksi. Tuloksena on veden pH:n lasku tavoitetason alle.
- Pienissä ojissa, joissa virtaus ei vaihtele paljoa, kemikaali holvaa usein kapeaan suppilon kärkeen. Toisaalta hetkellinen vedenpinnan voimakas nousu voi johtaa annosteluputkessa olevan kemikaalin nopeaan kastumiseen ja holvaamiseen annosteluputken sisään.
- Kauan suppilossa paikoillaan ollut Ferix-3 paakkuuntuu kostealla ilmalla eikä lähde valumaan suppilon kärkeen pienen virtaaman aikana. Ylivuotinen uudelleen säkitetty kemikaali holvasi selvästi uutta kemikaalia herkemmin.
- Vihreiden hiekka- ja jäteastioiden kannet eivät ole tarpeeksi tiiviitä. Tuulisella ilmalla saattaa sadevettä päästä kannen raosta astian sisäpuolelle, jolloin ferrisulfaatti paakkuuntuu astian pohjalle. Tämä ongelma koskee enemmän ympärivuotista annostelua kuin lyhyttä kevätjaksoa, jonka jälkeen astiat tyhjennetään kemikaalista. Syksyllä 2012 rakennettu annostelija, jossa käytettiin Sandi 600 -hiekkastiaa, osoittautui aiempia vesitiiviimmäksi ja matalan etureunan vuoksi helpommin täytettäväksi kuin tilavuudeltaan samankokoiset jäteastiat.
- Kemikaalikulutuksen ennakoinnin vaikeus aiheuttaa katkoja annostelussa. Virtauksen nopean loppumisen vuoksi suuriin annostelulaatikoihin jäi annostelun loputtua paljon takaisin säkkeihin otettavaa Ferixiä.
- Pienissä korkean kuormituksen ojissa (esim. navettojen lähellä) voi liukoisen fosforin pitoisuusvaihtelu olla suurta. Jos kemikaalin annostelu on säädetty riittäväksi korkeiden pitoisuuksien aikaan, saattaa tapahtua runsasta yliannostelua matalien pitoisuuksien aikana. Pitoisuuksien ollessa korkeimmillaan saattaa tarvittava annostus nousta jopa kilogrammaan kuutiota kohti. Laskeutusallas tasaisi näissä tapauksissa veden laatua ja saostettu fosfori olisi mahdollista poistaa altaasta, joskin laskeutumiseen vaadittava virtauksen rajoittaminen huippuvalunnan aikana on ojasysteemeissä hankalaa.

3.4 Kustannukset ja talkootyöaika

Annostelulaitteiden tarvikkekustannukset (ALV 0 %):

Puutavara ja tarvikkeet 430 €

Annostelijat 13 kpl 1170 €

Patotarvikkeet 104 €

Kemikaaliastiat paikalleen toimitettuna 2304 €

Yhteensä 4008 €

Annostelijoiden alustojen rakentaminen talkootyönä **64,5 h**

Kemikaalikustannukset: 0,27 €/kg +kuljetus 0,08 €/kg = **0,35 €/kg**

Kevään 2012 kemikaalikustannukset: 0,35 €/kg x 4850 kg = **1696 €**

Kevään 2013 kemikaalikustannukset: 0,35 €/kg x 6340 kg = **2219 €**

Kemikaalikustannus 2012 saostettua fosforikiloa kohti: 0,35€/kg x 522 kg = **183 €**

Kemikaalikustannus 2013 saostettua fosforikiloa kohti: 0,35€/kg x 313 kg = **110 €**

4 Yhteenveto

Annostelijoiden paikoista päätettäessä kannattaa ensin tarkastella pitoisuuksia ja vasta sen jälkeen ainevirtaamia. Laimeista vesistä fosforin saostaminen tulee kustannuksiltaan suuremmiksi kuin korkean fosforipitoisuuden vesistä. Optimaalinen annostelupaikka olisi valumaveteen korkean fosforipitoisuuden tuottavan alueen välittömässä läheisyydessä. Näin lisätyllä kemikaalikelillä saadaan leikattua mahdollisimman paljon kuormaa, samalla kun riskejä (kuten yliannostuksesta johtuvan happamuuden vaikutuksia) voidaan vähentää.

Hankkeessa tavoitteena ollut annostelijan kehittäminen aiempaa suuremmille virtaamille onnistui kevään 2013 tulosten perusteella. Kahdessa annosteluyksikössä vuonna 2012 esiin tulleita holvaamisongelmia ei ollut pitkän verkkosuppilon versiossa ja annostelusuhde oli riittävä myös suurilla virtaamilla.

Saostetun fosforin kustannukset jäivät keväällä 2013 selvästi ensimmäistä ”harjoitteluvuotta” pienemmiksi. Vaikka saostettu fosforimäärä oli keväällä 2013 noin kaksinkertainen edelliseen kevääseen verrattuna, oli Nuutajärven kesällä runsaasti levää. Annostelun jatkon päätöksiä varten tulisi selvittää:

- Onko järven suuri fosforikuormitus pääosin ulkoista vai vapautuuko vanhaa kuormitusta sedimenteistä runsain määrin.
- Pitäisikö kemikaalin annostelu muuttua ympärivuotiseksi, koska järviveden talviajan fosfaattipitoisuus on ollut viime vuosina Pirkanmaan ELY-keskuksen seurannan mukaan keskimäärin 40 µg/l.
- Mahdollisuudet rakentaa pahimpien pistemäisten kuormituspaikkojen yhteyteen talteenotto- tai puhdistamoaltaat.

5 Kirjallisuus

Ekholm, P. ja K. Krogerus. 2003. Determining algal-available phosphorus of differing origin: routine phosphorus analyses versus algal assays. *Hydrobiologia* 492: 29–42.

Närvänen, A., N. Puronummi ja H. Jansson. 2003. Vesistökuormituskartoitus Etelä-Pirkanmaan alueella. MTT:n selvityksiä 41.

Rankinen, K., P. Ekholm, J. E. Cano Bernal ja H. Keinänen. 2014. Ainevirtaamat valuma-alueilla ja niihin vaikuttavat tekijät. ss.231–240. *Teoksessa*: Aakkula, J. ja J. Leppänen (toim.): *Maatalouden ympäristötuen vaikuttavuuden seurantatutkimus (MYTVAS 3) - Loppuraportti*. Maa- ja metsätalousministeriö 3/2014.

Uusitalo, R., A. Närvänen, K. Rasa, ym. 2013. Active Wetlands – the use of chemical amendments to intercept phosphate runoffs in agricultural catchments: Final report of the Active Wetlands Interreg IVA project. MTT Raportti 92.

Liite 1.

Yhteenvedo kevään 2012 annosteluista Nuutajärven valuma-alueella

Varastotilanne ja kevään käyttömäärä 21.5.2012

Laatikoissa jäljellä n. 390 kg ja varastoissa 1920 kg Ferixiä
Käytetty yhteensä 4850 kg

Annostelupaikka	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Yhteensä
Ferix käyttömäärä, kg	550	940	120	80	320	620	680	260	1200	80	4850
Vesimäärä, m ³	12000	152000	700	?	1200	32000	64500	3810	48000	300	300000
Keskim. annostelusuhde	1:53000	n. 1:150000	1:6000	?	1:4000	1:52000	1:95000	1:15000	1:40000	1:4000	
Annostelu, g/m ³	45,8	6,2	171,4		266,7	19,4	10,5	68,2	25,0	266,7	16,2
Liukoisen P:n määrä, g	684	6540	959		943	672	1550	2810	1730	79	15967
Saostettu P, g	492	2736	725		704	672	1032	2019	912	0 - 60	9292
Liuk. P poistuma, %	28,1	58,2	24,5		25,3	0,0	33,4	28,1	47,3		42
Saostettu P, g/ Ferix, kg	0,89	2,91	6,04		2,20	1,08	1,52	7,77	0,76		1,9
Teor. 1 P kg:n saost. tarvittava Ferix, kg	488	574	80		110	863	799	110	635	204	
Teoriassa tarvittava Ferix, kg	334	3752	77		104	580	1237	309	1097	16	7505

Kaikkien näytteiden keskiarvoista lasketut tulokset

Sameus NTU	tuleva	33	61	90	128	89	67	160	44	86	975
	lähtevä	79	73	87	?	104		318	62	112	2100
pH	tuleva	6,9	6,6	6,8	6,8	7,5	6,8	7,0	6,9	6,4	6,6
	lähtevä	4,7	6,2	6,4	?	5,5	4,00	3,1	6,7	5,8	2,6
Liuk. P, mg/l	tuleva	0,057	0,043	1,37	0,048	0,786	0,021	0,024	0,737	0,036	0,264
	lähtevä	0,016	0,025	0,335	?	0,199	0,000	0,008	0,207	0,017	0,264

Yhteenvedo kevään 2013 annosteluista Nuutajärvellä**Varastotilanne ja kevään käyttömäärä**

Ferixiä laatiikoissa jäljellä n. 200 kg. Varastoissa 2700 kg. Hävikkiä 2012-2013 (kostunutta) yht. n. 200 kg
Kevään aikana käytetty yhteensä 6340 kg

Annostelupaikka	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	Yht./Keskim.
Ferix käyttömäärä	kg	215	1400	120	1200	130	210	640	125	20	2240	6340
Vesimäärä	m ³	10000	68000	500	120300	200	7100	43000	8200	800	130000	390000
Saostettu P	g	820	6890	220	1320	7870	160	650	140	280	1860	20420
Liuk. P poistuma	%	77,7	71,6	72,2	52,5	82,2	90,6	63,8	77,9	100	63,2	77,1
Kekim. Q	l/s	11	181	0,5	115	5,9	1,4	45	8,6			
Annostelu	g/m ³	21,5	20,6	240,0	10,0	200,0	110,5	14,9	15,2	25,0	17,2	16,3
Keskim. annostelusuhde		1:46500	1:48600	1:6250	1:100000	1:55600	1:9000	67200	1:65600	1:40000	1:58000	1:61500
pH	tuleva	6,75	6,5	6,8	6,8	7,2	6,7	6,5	6,7	7,1	5,9	
	lähtevä	5,35	5,35	7,4	6,4	6,5	4,1	5,9	4,4	3	5,3	
Liuk. P, mg/l	tuleva	0,106	0,141	0,644	0,021	1,348	0,096	0,024	0,023	0,356	0,023	
	lähtevä	0,024	0,040	0,179	0,010	0,240	0,009	0,009	0,005	0,000	0,008	

Ferix-3 annostelun periaate, annostelijan rakentaminen ja hoito



Aaro Närvänen, Risto Uusitalo ja Kimmo Rasa

21.11.2012



European Union



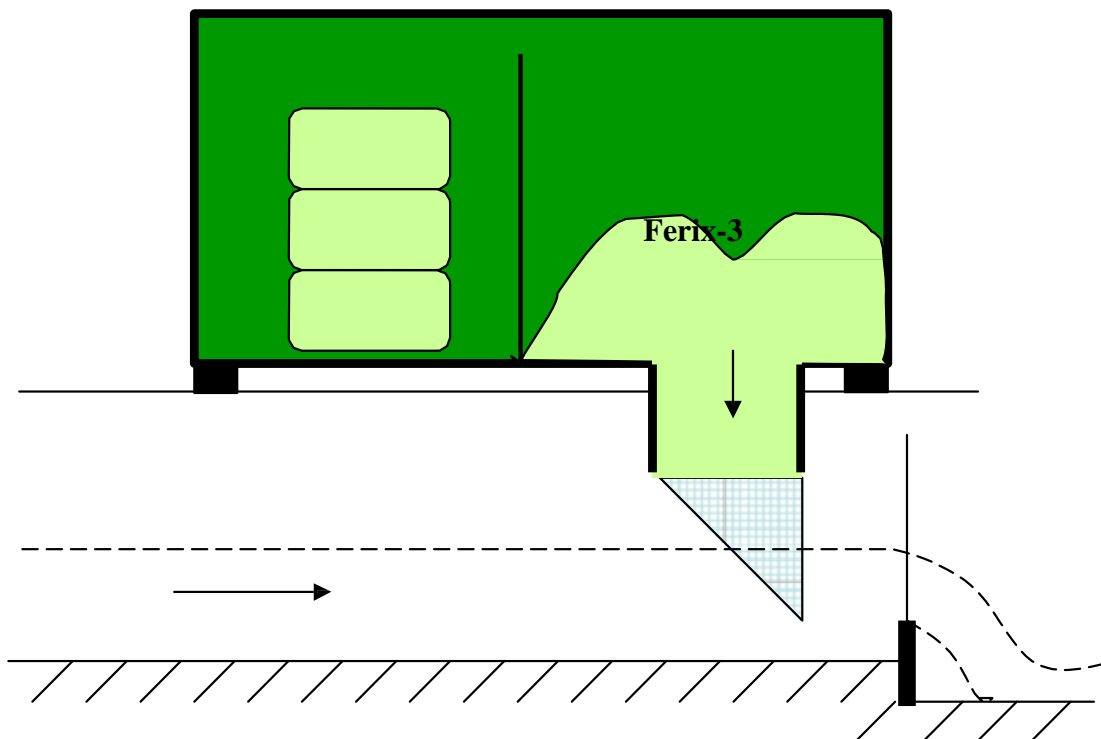
Annostelun periaate

Ojavesien kemikaloinnin suunnittelu kannattaa aloittaa selvittämällä yhteistyössä maanomistajan kanssa sopiva annostelijan sijoituspaikka ja ojan liukaisen fosforin kuormitus. Annostelupaikan alapuolella ojassa on oltava riittävästi viettoa, jotta voidaan tehdä virtauksen mukaan pinnankorkeutta säättävä v-aukkopato.

Käsiteltävän vesimäärän ja suunnitellun kemikaalin vuotuisen käyttömäärän arvioinnin jälkeen selvitetään ympäristöviranomaisten (ELY) kanta asiaan ja tarvittaessa hankitaan luvat esimerkiksi purkuvesistön osakaskunnilta.

Ferix-3 annostelija rakenneosat ovat varastosäiliö, annosteluyksikkö (= kauluksella varustettu D 200 mm putki + verkkosuppilo + ruostumaton kiinnityspanta) ja v-aukkopato. Varastosäiliöstä kemikaalirakeita valuu putken kautta verkkosuppiloon, josta rakeinen ferrisulfaatti liukenee virtaavaan ojaveteen. Kemikaalin annostelusuhdetta voidaan säätää annostelijan yhteyteen ojaan rakennettun v-padon avulla. Yleensä v-padon avautumiskulman ollessa 120 astetta kemikaalin annostelusuhde veteen on noin 1:50 000. Pienentämällä avautumiskulmaa saadaan kemikaalia liukenemaan enemmän. Suurella annostuksella (1:10 000) saostunut liete on yleensä nopeasti laskeutuvaa, mutta pH saattaa laskea liian alas.

Huom! Pieneen vesimäärään liuetessaan Ferix-3 on hyvin hapanta ja syövyttävää. Varastoinnissa ja käsittelyssä tulee toimia käyttöturvallisuustiedotteen mukaan ja käyttää tarvittavia suojaimia.



Tarvittavat lähtötiedot

- Ojan viettävyys (veden pitää päästä purkautumaan vapaasti v-padosta ja v-padon alakulman nostaminen esim. 15 cm ojan pohjan yläpuolelle ei saa aiheuttaa ongelmia yläjuoksulle.)
- Valuma-alueen koko. Mallin mukainen annostelusuppilo toimii enimmillään noin 200 l/s virtaamalla. Yli 100 hehtaarin valuma-alueilla annostelujärjestelmän mitoitus ja rakentaminen vaatii huolellisen suunnittelun ja erityyppisen annostelijan.
- Liukoisen fosforin kuormitus (jos ei ole analysoitu, arvioidaan peltojen P-tason, karja- ja hevostalouden ja asutuksen määrän perusteella)
- Maalaji annostelupisteessä ja ojan alajuoksulla (kemikaalia ei saa päästä pohjaveteen).



Suuntaa antavia mitoitustaulukoita alustavaa suunnittelua varten

Annostelu 1:50 000

Valuma-alueen koko	Kevätvalunta	Ferixin kulutus	Kokonaisvalunta	Ferixin kulutus
ha	m ³	kg	m ³	kg
1	1 000	20	3 000	60
10	10 000	200	30 000	600
50	50 000	500	150 000	1 500
100	100 000	1 000	300 000	3 000

Ojan virtaama	Ferixin kulutus
l/s	kg/d
1	1,7
10	17
50	86
200	346

Annostelu 1:30 000

Valuma-alueen koko	Kevätvalunta	Ferixin kulutus	Kokonaisvalunta	Ferixin kulutus
ha	m ³	kg	m ³	kg
1	1 000	33	3 000	100
10	10 000	333	30 000	1 000
50	50 000	1 660	150 000	5 000
100	100 000	3 330	300 000	10 000

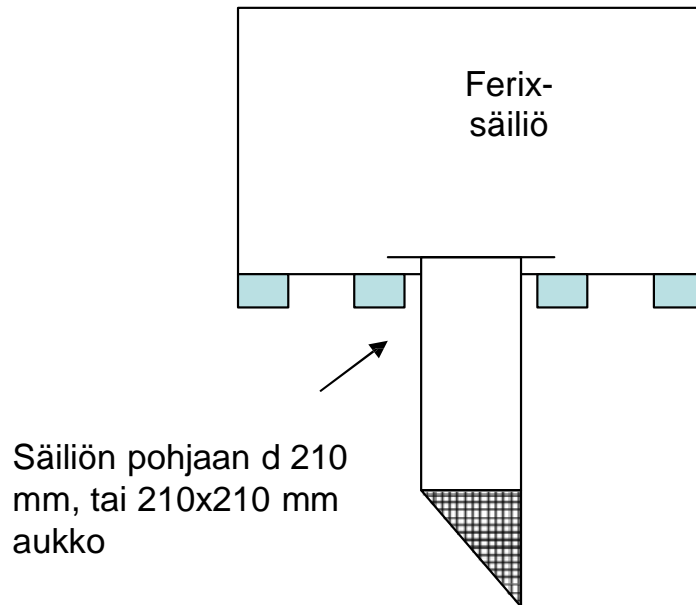
Ojan virtaama	Ferixin kulutus
l/s	kg/d
1	2,9
10	29
50	144
200	576

Valunnan määrät voivat vaihdella paljon eri vuosina ja valuma-alueen ominaisuuksista johtuen.

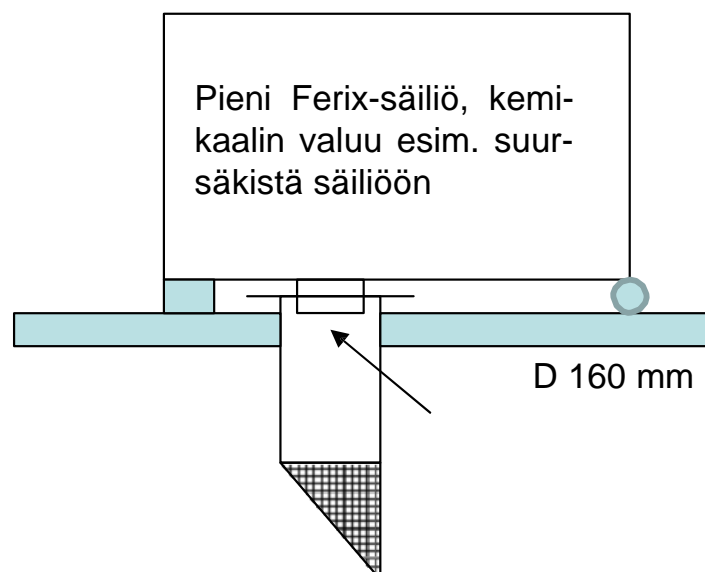
Sopivaa annosteluastian kokoa voi arvioida ojan maksimivirtaaman perusteella.

Ferix-3-annostelyksikön asennusvaihtoehdot

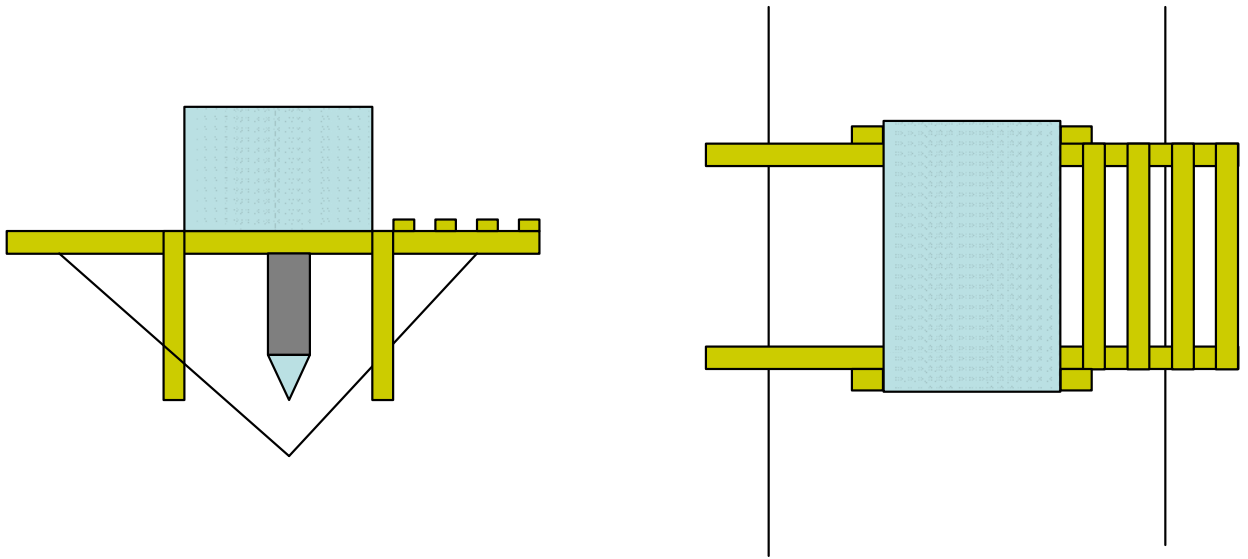
1. Asennus säiliön sisäkautta



2. Asennus säiliön alle (ei suositella)



Esimerkki astian kannatinrakenteista

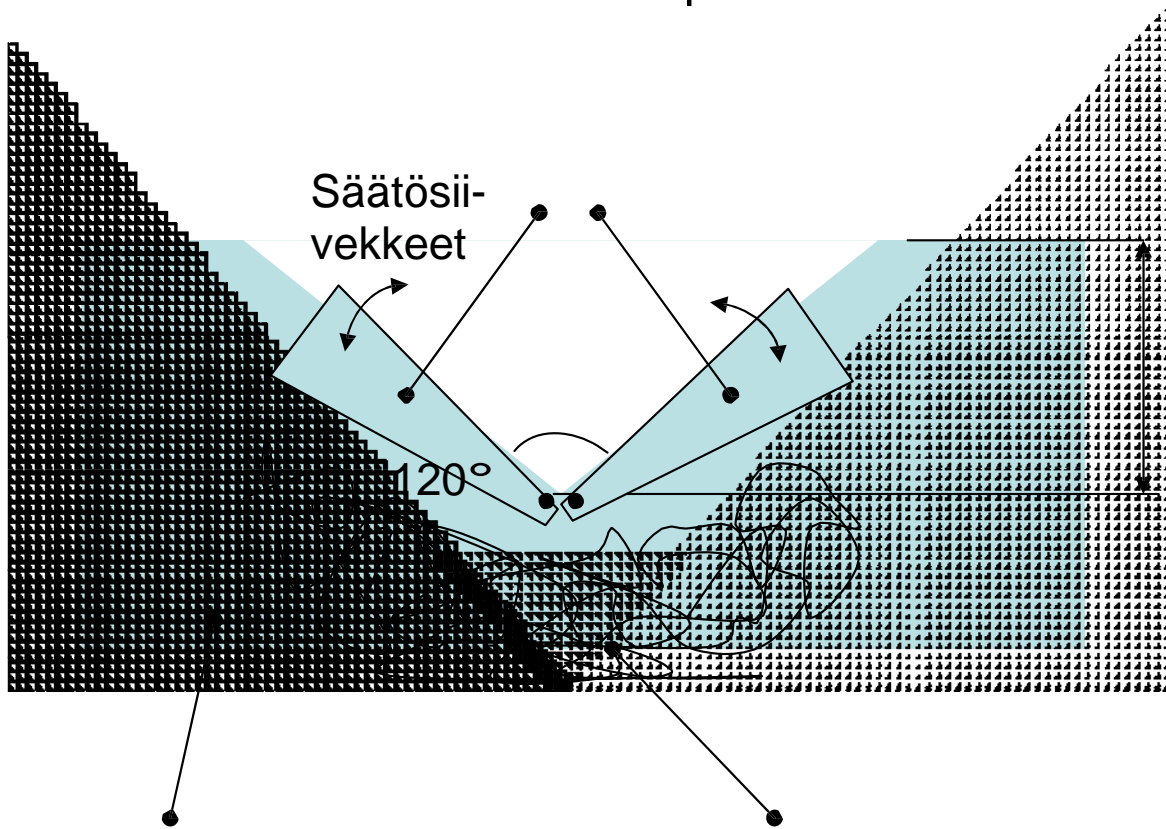


Annostelijan kannatinrakenteet joudutaan suunnittelemaan tapauskohtaisesti ojan ja kulkuväylien mukaan.

Varastosäiliöksi soveltuu lukittava kannellinen muoviastia tai filmivanerilaatikko. Ympäri vuotisessa käytössä säiliön tulisi olla mahdollisimman tiivis, ettei kemikaalirakeisiin pääse kosteutta.

Säädettävä v-pato

400 mm

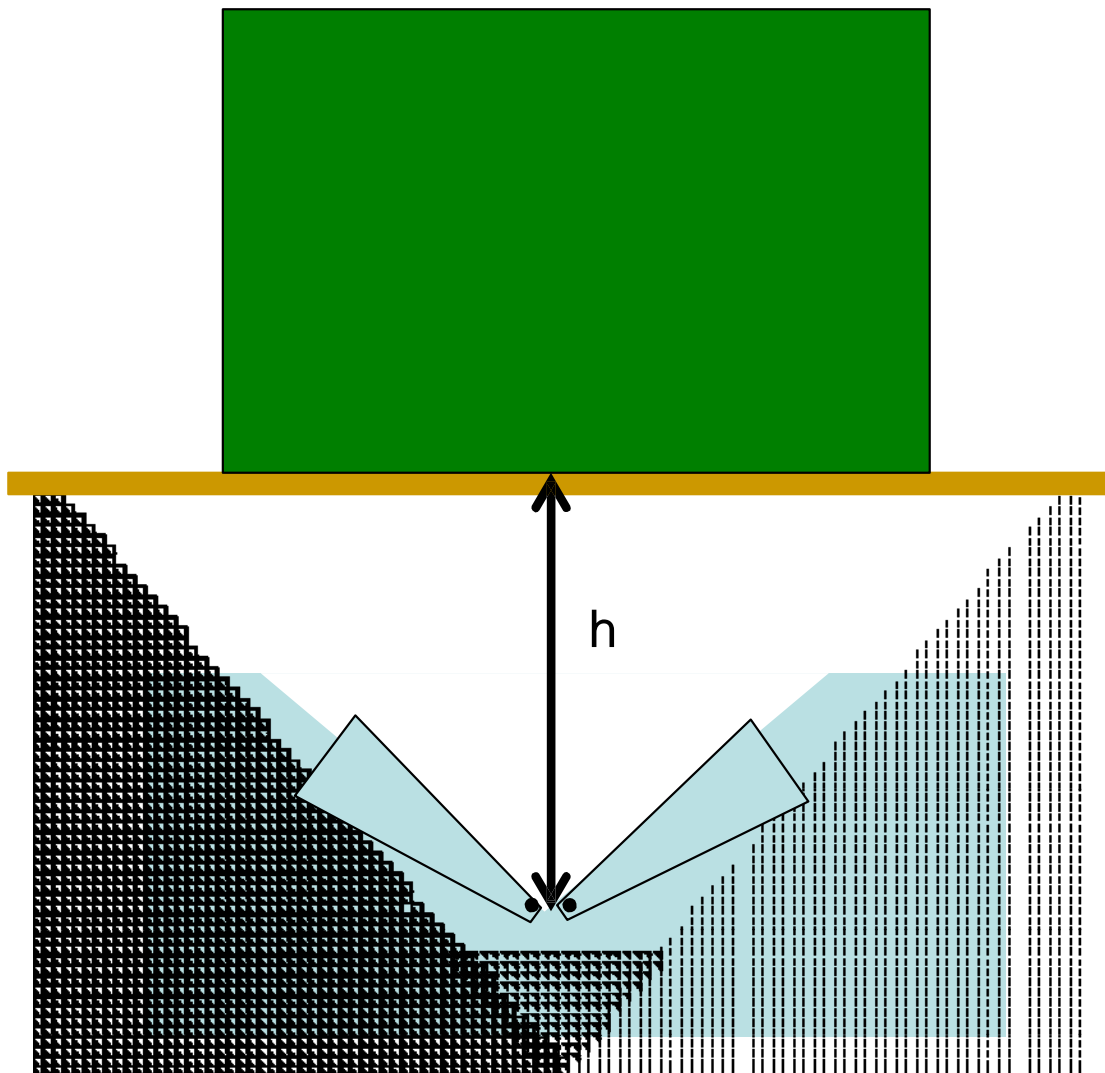


Filmivaneri- tai teräslevy, jossa
120 °v-aukko.

Kiveys tai muu
erosiosuojaus

Hevostarhojen ja navetta-alueiden vedet saattavat sisältää runsaasti sekä liukoisia että kiintoaineeseen sitoutuneita ravinteita ja siten vaatia suurempaa Ferix-annostelua. Näissä kohteissa voidaan v-pato tehdä 90 asteen avautumiskulmalla ilman säätösiivekkeitä. Säätösiivekkeet voidaan tarvittaessa lisätä jälkiasennuksena.

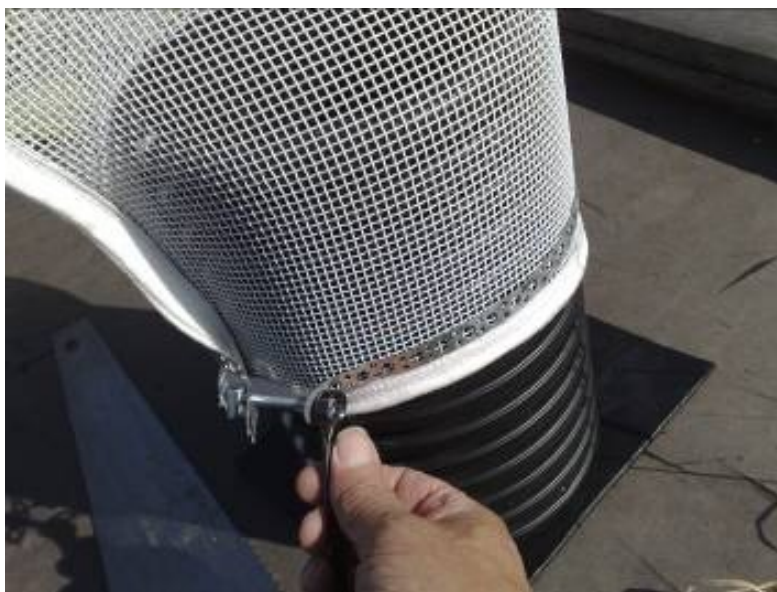
Annostelusuppilon asennus



Suppilon putkeen kiinnitystä varten tarvitaan tarkka etäisyys h annosteluastian pohjan sisäpinnasta v-aukon alakulmaan.

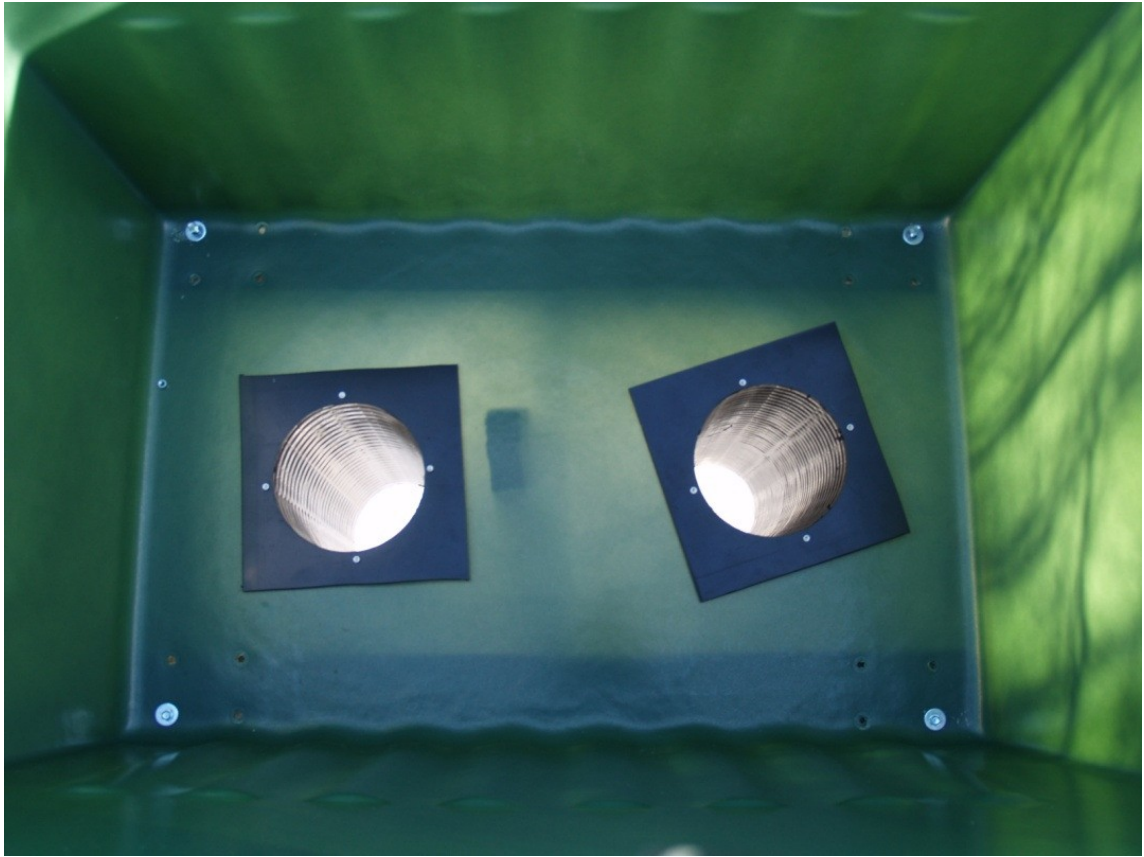


Putki lyhennetään tarvittaessa ennen paikoilleen asennusta niin, että putken alareuna on noin 30 cm padon alareunaa ylempänä ($h = 30\text{-}35\text{ cm}$).



Suppilo kiinnitetään annosteluputkeen kiristyspannalla siten, että verkkosuppilon kärki on etäisyydellä h putken kauluksesta.

Suppilon kiinnitys putkeen kannattaa varmistaa parilla kiristyspannan viereen kierretyllä ruuvilla, ettei suppilo pääse luistamaan pois paikaltaan.



Annosteluysikkö lasketaan varastoastian pohjassa olevaan reikään kauluksen varaan. Yli 200 l/s virtaamalla tarvitaan kaksi eri korkeudelle asennettua annosteluysikköä tai erilainen suurille vesimäärille mitoitettu verkkosuppilo.

Huom.

Ferix-3-rakeita ei kannata laittaa annosteliijaan suurta määrää, jos ojassa ei ole virtausta. Kosteilla ilmoilla rakeet saattavat paakkuuntua annosteluputkeen. Pehmeän paakun voi saada rikottua esim. muoviputkella rassaamalla.

Jos paakku jo on ehtinyt kovettua, on Ferix poistettava putken päältä ja putki nostettava puhdistettavaksi.

Jos käsitellään ainoastaan kevätvaluntaa, tulee annosteluastia ja annosteluysikkö saada kevään lopulla aivan tyhjäksi, ettei kemikaalirakeita jää paakkuuntumaan annosteliijaan. Kevään alussa kemikaalisäkkejä kannattaa avata annosteliijaan vasta sitten, kun vesi virtaa v-padosta ja ojassa vapaasti lumen tai jään padottamatta virtausta annostelijan kohdalla.

Ferix-3-annostelija käyttövalmiina



Annostelun seuranta

Annostelun tarkkailu kentällä on helpointa tehdä pH-mittauksilla ja ojan virtaamaa sekä kemikaalin kulutusta seuraamalla. Saostamattoman ja saostetun veden pH voidaan mitata kynämittarilla tai tarikoilla pH-liuskoilla. Liukoinen fosfori saostuu yleensä jo 0,5-1,0 pH-yksikön alenemalla. Jos käsittelemättömän ojaveden pH on esimerkiksi 6,8 voidaan saostetun veden pH:n tavoitearvoksi ottaa 6,0. Ojavesillä, joiden liukoisen fosforin pitoisuus on 100-200 mikrogrammaa litrassa, annostelusuhteen tavoitearvoksi voidaan ottaa 1:50 000 eli 1 kg/50 m³.

Jos oja ei purkaudu suoraan vesistöön vaan sekoittuu toiseen ojaveteen tai ojan virtaama on pieni, voidaan annostelua nostaa edellä mainitusta aiheuttamatta vesien eliöstölle merkittävää haittaa. Esimerkiksi hevostarhojen valumavesien saostuksessa, jos halutaan saada saostunut liete laskeutumaan tehokkaasti laskeutusaltaaseen, joudutaan annostelusuhte nostamaan noin 1:10 000 eli 1 kg/10 m³. Tällöin lähtevän veden pH voi laskea jopa lähelle neljää ja saostuvan lietteen tilavuusmäärä voi olla suuri. Jos pH laskee alle kolmen, fosfaatti muuttuu liukoiseksi ja osa kiintoaineeseen sitoutuneestakin fosforista saattaa liueta.



Esimerkkejä eri kokoisista annostelijoista



Annosteluastia 150 l



Annosteluastia 350 l



Annosteluastia 600 l, kahdella annosteluyksiköllä





Annosteluastia 600 l. Edellisiin verrattuna parempi kannen vesitiiviys. Suositeltavin versio etenkin ympärivuotisessa käytössä.

Tämän annostelijan tarvikkeiden kokonaiskustannukset olivat 560 € (ALV 0), rakentaminen toteutettiin talkootyönä. Annosteluyksikön osuus oli noin 90 € (valmistaja SisuTek).

Kemikaalikuljetuskustannus vaihtelee ostomäärästä ja kuljetuskustannuksista riippuen 400-600 € tonnilta (valmistaja Kemira Oyj, myynti Kemira Oy tai Algol Oy)

www-sivuja:

http://www.kemira.com/SiteCollectionDocuments/Solutions_Products/KW%20tuotteet/Ferix_3.pdf

<http://www.algolchemicals.fi/tuotelista?hakusana=&alue=10654421&tuote=10959177>

<http://www.borenv.net/BER/pdfs/ber13/ber13-265.pdf>

<http://www.sisutek.fi/>

MTT TEKEE TIETEESTÄ ELINVOIMAA

MTT RAPORTTI₁₅₅

www.mtt.fi/julkaisut

MTT Raportti -verkkojulkaisusarjassa julkaistaan maatalous- ja elintarviketutkimusta sekä maatalouden ympäristötutkimusta käsitteleviä tutkimusraportteja. Lukijoille tarjotaan tietoa MTT:n kaikilta tutkimusaloilta eli biologiasta, teknologiasta ja taloudesta.

MTT, 31600 Jokioinen.

