

Salaojan ympärysaineiden toiminta koerakenteessa

Loppuraportti



Tielaitoksen
selvityksiä

9/1996

Kuopio 1996

Tuotannon
palvelukeskus

Tielaitoksen selvityksiä
9/1996

Kauko Kujala, Jukka Palko

**Salaojan ympärysaineiden toiminta
koerakenteessa**

Loppuraportti

Tielaitos
Tuotannon palvelukeskus

Kuopio 1996

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-187-X

Offsetpaino L.Tuovinen Ky
Kuopio 1996

Tätä julkaisua on saatavana
tuotannon palvelukeskuksen Kuopion yksiköstä

Tielaitos
Kirkkokatu 1
PL 1117
70 101 KUOPIO
Puhelin (971) 580 3644
Faksi (971) 580 3645

Avainsanat tierakenteen kuivatus, rautasaostuma, salaojan ympärysaineet

TIIVISTELMÄ

Runsaasti rautaa sisältävillä alueilla tierakenteen ojituksen toimivuutta haittaa voimakas rautasaostumamuodostus, joka tukkii salaojaputkistoja. Erityisen hankala tilanne voi olla kohteissa, joissa veden rautapitoisuus on korkea ja veden virtaukset ovat suuria. Rautasaostuman syntymisen edellytyksenä on rihmamaisten rautabakteereiden kasvu, koska bakteeririhmat toimivat tehokkaasti kemiallisesti saostuneen raudan ja muun kiintoaineksen sitojana putkessa. Rautasaostuman estämiskeinoina on käytetty yleisesti vedenalaista salaojitusta ja erilaisia ympärysaineita. Tämä loppuraportti on kolmas osaraportti tutkimussarjasta, jossa on pyritty etsimään ja testaamaan uusia ympärysaineita tierakenteen salaojien rautasaostumisen estämiseen. Tässä tutkimusraportissa esitetään kahden koekohteen (Jepuan ja Oulun Pateniemen alikulut) seurantatulokset 1-2 vuoden ajalta ja tulosten pohjalta esitetään johtopäätöksiä ja jatkotutkimustarpeita rautasaostumaongelman poistamiseksi.

Pateniemen alikulun koekohteessa, jossa valumaveden rautapitoisuudet olivat erittäin korkeat (keskimäärin 100 mg/l), tutkittiin ympärysaineina ferrokromikuonaa, masuunihiekkaa ja savi-kalkki seosta suhteessa salaojasoraan kahden vuoden ajan. Koekohteen kaltevuudet olivat kuitenkin niin suuret, että kuivatusvesiä oli riittävästi vain alimmassa salaojituksessa, jossa tutkittiin ferrokromikuonaa. Tulokset osoittivat, että ferrokromikuona ei pystynyt salaojasoraa paremmin estämään raudan muodostumista. Redoxmittausten perusteella voitiin kuitenkin todeta, että savi-kalkki ympärysaineessa olosuhteet olivat koko seurannan ajan epäedulliset rautabakteerien kasvuille toisin kuin salaojasorassa, ferrokromikuonassa ja osittain myös masuunihiekassa.

Jepuan alikulun koekohteessa, jossa valumaveden rautapitoisuus oli keskimäärin 20 mg/l, tutkittiin masuunihiekkaa ja savi-kalkki seosta suhteessa salaojasoraan. Lisäksi tutkittiin ESS-drän salaojaputken toimivuutta suhteessa Veto-Tupla putken toimivuuteen. Savi-kalkki ympärysaine tukki salaojaputken. Tähän todettiin olevan syynä kalkin epätasainen sekoittuminen saveen, jolloin materiaalin hienoaineksen määrä oli korkea. Muut salaojarakenteet toimivat moitteettomasti. Koska seurantajakso oli vain vuosi, rautasaostuman määrät salaojaputkissa jäivät pieneksi. Kuitenkin sekä masuunihiekka että salaojasorakokeissa havaittiin rihmamaisten rautabakteereiden muodostumista putken suulla. Tämä viittaa siihen, että masuunihiekan emäksisyys ei myöskään olisi riittävä estämään rautabakteerien kasvua.

Savi-kalkki materiaali todettiin kemiallisilta ominaisuuksiltaan ainoaksi ympärysainemateriaaliksi, joka pystyy estämään tehokkaasti rihmamaisten rautabakteereiden kasvun salaojaputkessa. Tämän vuoksi sen toimivuutta ympärysaineena olisi syytä kokeilla edelleen. Tällöin olisi kuitenkin varmistettava sen toimivuus huolehtimalla materiaalin tasalaatuisuudesta ja sijoittamalla erillinen suodatinsorakerros putken ja ympärysaineen väliin. Ferrokromikuonan toimivuutta Pateniemen koekohteessa ja masuunihiekan sekä ESS-drän putken toimivuutta Jepuan koekohteessa on syytä seurata edelleen.

ESIPUHE

Vuosina 1992 -1995 on tielaitoksen tuotannon palvelukeskuksen Kuopion yksikössä ollut käynnissä salaojien toimintaan liittyvä projekti, jonka tavoitteena on ollut tutkia rautasaostuman ehkäisyä vaihtelevissa salaojitusolosuhteissa ja erityisesti rautapitoisilla pohjavesialueilla.

Kehityshanke on toteutettu yhteistyössä Vaasan ja Oulun tiepiirien, Oulun yliopiston Geotekniikan laboratorion ja konsultin (Envitop Oy) kanssa. Tutkimuksen rahoituksesta ovat vastanneet tielaitoksen keskushallinto (yhtymähallinto) sekä Vaasan ja Oulun tiepiirit. Tutkimushanke on ollut kolmivaiheinen ja se on sisältänyt kirjallisuusselvityksen, laboratoriotestaukset ja koerakentamisen. Projektin tuotoksina on syntynyt diplomityö, kaksi väli-raporttia ja tämä loppuraportti.

Projektia on johtanut DI Hannu Autio tuotannon palvelukeskuksesta, loppuraportin ovat kirjoittaneet TkT Kauko Kujala ja FT Jukka Palko. Koerakenteiden seurannan (redox, lämpötila, suotoveden pH) ja vesinäytteiden oton on tehnyt DI Kaarlo Peteri.

Kuopiossa tammikuussa 1996

Tielaitos
Tuotannon palvelukeskus
Kuopion yksikkö

SISÄLTÖ

Sisältö

Tiivistelmä

Esipuhe

Sisältö

1	Johdanto	9
2	Menetelmät	11
2.1	Rakennekokeet	11
2.2	Ympärysaineet	12
2.3	Koerakenteiden instrumentointi ja seuranta	15
3	Tulokset	17
3.1	Ympärysaineiden lämpötila	17
3.2	Ojitusten fysikaalis-kemialliset ominaisuudet	17
3.3	Salaojien toimivuus	22
3.4	Ympärysaineiden kosteuspitoisuus	24
3.5	Ympärysaineiden hydraulinen johtavuus ja raekoko	24
3.6	Saostuman määrän arviointi	25
3.7	Mitoitusperusteet	26
3.8	Vaihtoehtojen kustannusvertailu	26
4	Johtopäätökset	27
5	Jatkotoimenpiteet	29
6	Yhteenveto toimenpiteistä salaojaston rautasostuman estämisessä	30
	Kirjallisuus	
	Liitteet	
1	Laholaisen leikkauksen koejärjestelyt Oulun Pateniemessä	
2	Jepuan alikulun kuivatussuunnitelma ja suunnitellut koerakenteet	

JOHDANTO

1 JOHDANTO

Toimivat kuivatusrakenteet ovat tien rakenteen ja liikenneturvallisuuden kestävyys edellytyksiä. Kosteustila vaikuttaa rakennemateriaalien lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksiin sekä maapohjan routivuuteen. Tiealueen syväkuivatus toteutetaan yleensä salaojituksella, joka johtaa veden rakennekerroksista pois tierakenteen ulkopuolelle. Salaojien toimivuuden edellytyksenä on, että sen rakenne kykenee ottamaan virtaavan veden vastaan. Salaojien toimivuutta on pyritty kehittämään ottamalla käyttöön uusia putkirakenteita ja putken ympärysaineita.

Ympärysaineen tehtävänä on koota ympäröivä vesi putkeen ja samalla estää maapartikkelien pääsy sinne. Ympärysaineena käytetään yleisesti salaojasoraa, joka on todettu useammassa tapauksessa hyväksi materiaaliksi tähän tarkoitukseen. Ongelmia voi kuitenkin ilmetä, jos vesi sisältää runsaasti liukoista rautaa, joka läpäisee salaojasora -ympärysaineen. Tällöin rauta joutuessaan hapellisiin olosuhteisiin lähellä salaojaputken pintaa tai salaojaputkessa saostuu ja tukkii putken.

Suomen pääasiassa happamista maalajeista muodostuva maaperä sisältää runsaasti rautaa. Etenkin rannikkoalueiden liejusavialueilla rauta on sedimentissä sulfidirikinä, joka kuivatuksen seurauksena pääsee vapautumaan syvemmistä maakerroksista. Pohjanlahden rannikkoalueilla on yleistä, että salaojitus tukkeutuu jo yhden toimintavuoden jälkeen ellei sitä toistuvasti huuhdella. Tämän vuoksi salaojaputkiston huuhtelu on yleinen kunnossapitotoimenpide näillä alueilla. Sama ongelma on myös todettu peltosalaojituksessa. Rautatukkeuman muodostumisnopeus näyttäisi kuitenkin olevan suorassa suhteessa sekä veden liukoiseen rautapitoisuuteen että ojaston kautta kulkeneeseen vesimäärään. Tämän vuoksi tierakenteen kuivatuksessa, etenkin alikulkujen kohdalla, rautatukkeutumisoongelmat ovat suurempia peltosalaojitukseen verrattuna.

Rauta saostuu kahdella eri tavalla. Kemiallinen saostuma ei yleensä yksin aiheuta ongelmia, koska kemiallisesti saostuneet rautapartikkelit joko huuhtoutuvat suoraan salaojaputken kautta vesistöön kiinnittymättä putken seinämään. Sen sijaan mikrobiologisesti saostunut rauta kiinnittyy tehokkaasti rihmamaisten rautabakteerien vaikutuksesta putken seinämiin. Kemiallisesti sitoutunut rauta ja vedessä olevat pienet maapartikkelit sitoutuvat tällöin tehokkaasti bakteerikasvustoon, jolloin ns. okrasaostuman muodostuminen estää hyvin nopeasti veden virtauksen putkessa. Ympärysaineen valinnalla on tärkeä merkitys salaojarakenteessa rautatukkeutumisen estämisessä. Sen toiminta voi olla kaksitahoinen. Ympärysaineella pyritään joko pitämään maaperässä oleva rauta liukoisessa muodossa, jolloin se ei pääse saostumaan putkessa tai sillä pyritään saostamaan rauta ennen sen joutumista salaojaputkeen. Liukoisena rauta voidaan pitää vain jos salaojaputket

mista salaojaputkeen. Liukoisena rauta voidaan pitää vain jos salaojaputket ovat koko ajan veden alla, ts. salaojiin ei pääse ilmaa missään vaiheessa. Uusilla, voimakkaasti emäksisillä ympärysaineilla puolestaan voidaan estää tukkeutumista edistävien haitallisten rihmamaisten rautabakteerien muodostuminen putkessa.

Perinteisesti ympärysaineena käytetyn salaojasoran ongelmana on se, että se ei pysty estämään rihmamaisten rautabakteerien muodostumista putkessa. Käytännössä se edesauttaa bakteerien muodostumista parantamalla hapetusolosuhteita putken ulkopinnassa ja pitämällä raudan liukoisessa muodossa mahdollisimman kauan ennen sen joutumista salaojaputkeen. Salaojasora- ympärysaineella varustetun salaojan, jonka pH on alle 7,0, nopea tukkeutuminen on ilmeistä, jos liukoisen raudan pitoisuus maassa ylittää pitoisuuden 6 mg/l.

Lievästi emäksiset ympärysaineet voivat pienentää okranmuodostusta estämällä rihmamaisten bakteerien toimintaa. Tällaisilla ympärysaineilla, joilla pH saadaan nostettua välille 7,0 - 9,0 okranmuodostumisherkkyys pienenee siten, että nopeaan tukkeutumiseen vaadittava rautapitoisuus on 10 - 15 mg/l pH:sta riippuen. Vasta sellaiset ympärysaineet, jotka pystyvät pitämään pH:n salaojaputkessa välillä 9,0 - 12,0 voivat todellisuudessa estää rihmamaisten rautabakteerien ja samalla okran muodostumisen salaojaputkessa. Tähän tarkoitukseen Oy Nordkalk Ab on kehittänyt Fostop-kalkkisuodinmateriaalin, jota käytetään salaojakaivannon täyttömateriaalina tehostamaan ojitusta ja pienentämään pelloita huuhtoutuvan fosforin ja happamuuden määrää (Palko & Weppling 1992).

Rautasaostuman muodostumisherkkyiden tutkiminen on ollut vähäistä, koska perustieto on puuttunut todellisista okranmuodostukseen vaikuttavista tekijöistä ja sen syntymekanismista. Tielaitoksen tuotannon palvelukeskuksen Kuopion kehitysyksikkö ryhtyi selvittämään tätä puutetta perustamalla työryhmän, jonka tehtävänä on ollut tutkia uusia vaihtoehtoja ongelman ratkaisemiseksi. Ensimmäisessä vaiheessa koottiin olemassaolevasta kirjallisuudesta ja käytännön kokemuksesta tieto raudanmuodostumisen mekanismeista ja niihin vaikuttavista olosuhdetekijöistä. Tältä pohjalta laadittiin laboratoriokoesuunnitelma uusien ympärysainevaihtoehtojen testaamiseksi (Tielaitos, Kuopion tuotantotekninen kehitysyksikkö 1992). Toisessa vaiheessa tutkittiin laboratoriossa erilaisten salaojaympärysaineiden vaikutusta raudan saostumiseen (Peteri et al. 1994). Kolmannessa vaiheessa tutkitaan näiden ympärysaineiden toimivuutta käytännön koerakenteessa. Tämän raportin tarkoituksena on esittää salaojan toimivuuden kannalta keskeiset seurantatulokset kahdesta koekohteesta Oulun ja Vaasan tiepiirien alueella. Raportin johtopäätöksissä esitetään suosituksia tierakenteen suunnittelijoille, rakentajille ja kunnossapitäjille ja tuodaan esille jatkotutkimustarpeet ongelman poistamiseksi.

2 MENETELMÄT

2.1 Rakennekokeet

Rakennekokeiden tarkoituksena oli tutkia rautasaostuman muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä ja olosuhteita eri ympäräysaineissa *in situ*. Salaojien okranmuodostus on pitkäkestoinen prosessi ja aiheutuu useiden samanaikaisesti vaikuttavien tekijöiden summasta. Muodostumiseen liittyviä kaikkia tekijöitä ja olosuhteita ei voida näin ollen ottaa huomioon laboratorioolosuhteissa. Lisäksi virhemahdollisuudet ovat suuret käsiteltäessä pieniä vesi- ja maamääriä. Ongelmaa on pyritty ratkaisemaan sekä rakenteellisin toimenpitein salaojaputken rakennetta kehittämällä että erilaisilla ympäräysainevaihtoehdoilla. Ympäräysaineiden toimivuuden selvittämiseksi rakennettiin koerakenteet Oulun Pateniemeen (ns. Laholaisen leikkaus) ja Jepuulle.

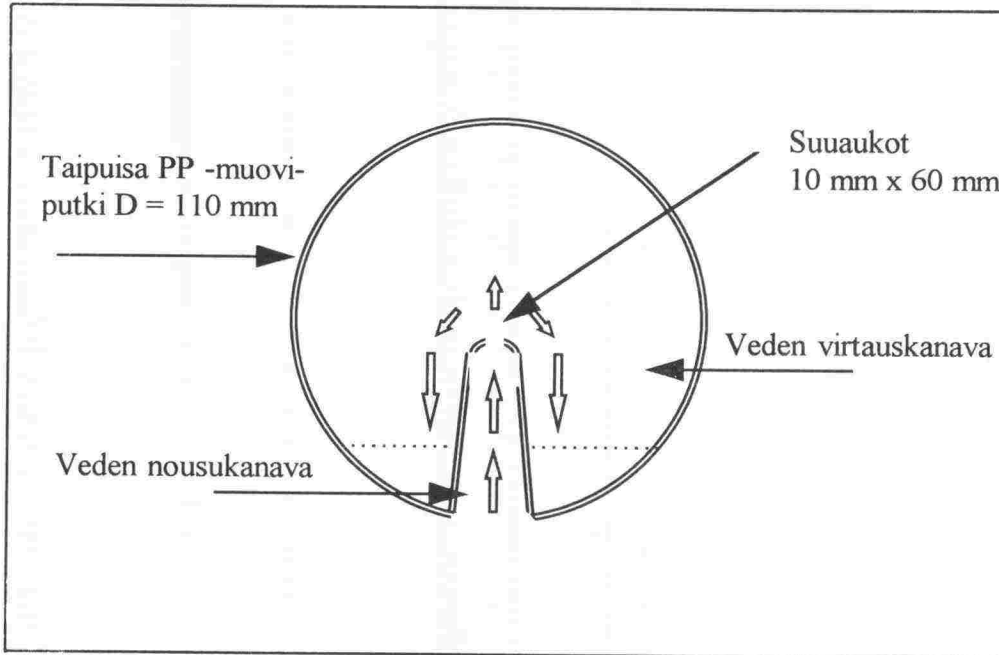
Oulun Pateniemeen rakennettiin rautatien alikulkuun koerakenne, joka muodostuu kahdesta rinnakkaisesta tien ulkoluiskan salaojalinjasta. Koerakenteissa käytettiin neljää erilaista ympäräysainetta siten, että salaojasora oli vuorotellen tien vastakkaisella puolella vertailuympäräysaineena ferrokromikuonalle, masuunihiekalle ja savi-kalkkiseokselle. Tutkittavia salaojarakenteita oli täten yhteensä 6 kpl, kolme rakennetta tien molemmin puolin. Koejaksojen pituus vaihteli 30...48 m:n välillä.

Koejärjestelyt tehtiin siten, että kukin kaivoväli on oma kokonaisuutensa ja erillään muista kaivoista tulevasta suotovesistä (*liite 1*). Salaojalinjan viereen rakennettiin kokoojalinja, johon johdettiin salaojalinjastoon suotautuvat vedet. Koealueella salaojaputkena käytettiin kuivatussuunnitelman mukaista muovista Veto-Tupla -salaojaputkea, jonka halkaisija oli 117/100 mm. Kokoojaputkisto tehtiin samankokoisesta umpinaisesta muoviputkesta, joka peitettiin myös ympäräysaineella. Ympäräysainekerroksen paksuus oli noin 50 cm ja ympäräysaineen määrä noin 0,5 m³/salaojametri.

Jepuan koerakennuskohde sijaitsee Mt 739:llä (Jepua - Lassfolk) Seinäjoki-Kokkola -radan alikulussa. Kohteessa tutkittiin neljän eri koerakenteen toimintaa. Koerakenteissa käytettiin neljää eri ympäräysainetta siten, että salaojasora oli vuorotellen tien vastakkaisella puolella vertailuympäräysaineena masuunihiekalle, savi-kalkkiseokselle sekä ESS -drän salaojaputkelle (Liite 2). Rakenteet tehtiin siten, että tutkittavalla ympäräysaineella suojattu salaojalinja toimi omana rakenteenaan. Salaojaputkena käytettiin kuivatussuunnitelman mukaista halkaisijaltaan 117/100 mm Veto-Tupla -putkea sekä ESS -drän -putkea.

ESS -drän putki muodostuu putken alapuolelta sisäänkäännetystä nousukanavasta, johon virtaava vesi nousee purkautuen kanavassa olevien reikien kautta varsinaisiin putken virtauskanaviin (*kuva 2*). Tällöin raskas

kiintoaines ei pääse nousevan veden virtauksen mukana putken suuaukoihin jolloin putki ei tukkeudu niin helposti kuin tavallinen salaojaputki.



Kuva 1. ESS -drän salaojaputken rakenne ja toimintaperiaate.

2.2 Ympärysaineet

Pateniemen Laholaisen alikulun salaojaympärysaineina käytettiin masuunihiekkaa, ferrokromikuonaa ja saven ja poltetun kalkin seosta. Jokaisen ympärysainekokeen vertailuympärysaineena oli salaojasora (kuva 2). Rakeisuudeltaan ympärysaineet täyttivät Tielaitoksen teiden suunnitteluohjeiden mukaiset rakeisuusvaatimukset (Peteri 1994).

Jepuan alikulun salaojaympärysaineina käytettiin masuunihiekkaa sekä saven ja kalkin seosta (kuva 3). Vertailurakenteissa sekä ESS -drän salaojaputken ympärysaineena käytettiin salaojasoraa.

Masuunihiekka on terästeollisuudessa sivutuotteena syntyvä huokoinen hyvin vettäjohtava rakeinen materiaali, jonka raekoko on < 4 mm. Masuunihiekka koostuu piin, kalsiumin, alumiinin ja magnesiumin oksideista (taulukko 1). Masuunihiekkarakeet ovat teräsvärsäisiä ja osin neulamaisia.

Ferrokromikuona on terästeollisuuden sivutuote, jota muodostuu ferrokromin valmistuksen yhteydessä sulatettaessa kromimalmia, koksia ja kuonanmuodostajia. Rakeisuudeltaan se vastaa masuunihiekkaa. Ferrokromikuonan pääkomponentit ovat pii-, magnesium- ja alumiinioksidit. Lisäksi

MENETELMÄT

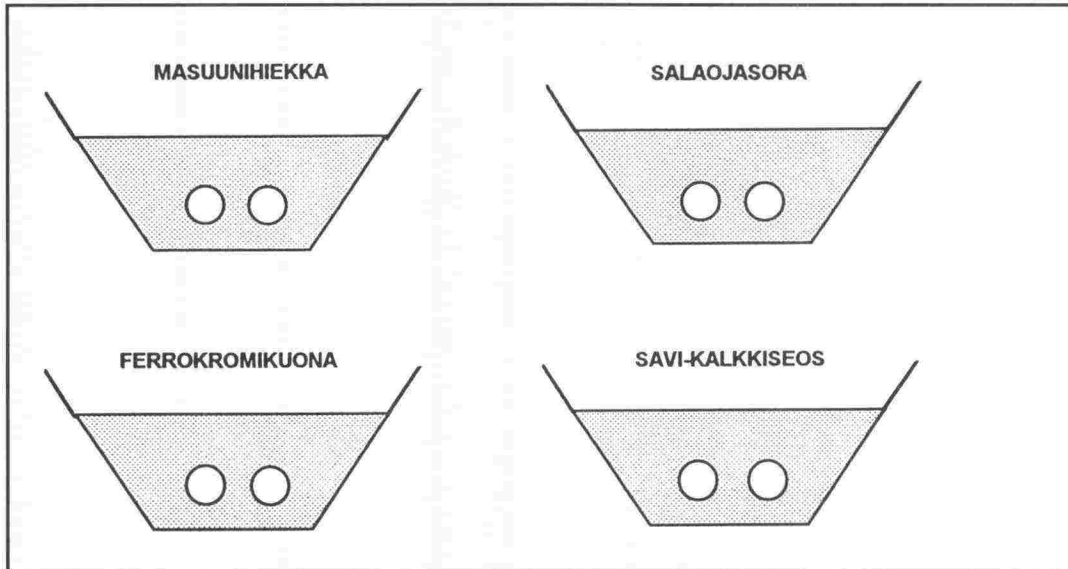
materiaali sisältää pieniä määriä kalsium-, kromi- ja rautaoksideoja. Masuunihiekasta poiketen ferrokromikuona sisältää vähän kalsiumia, jolloin sillä ei ole hydraulisia sitoutumisominaisuuksia (taulukko 1).

Taulukko 1. Masuunihiekan ja ferrokromikuonan koostumus.

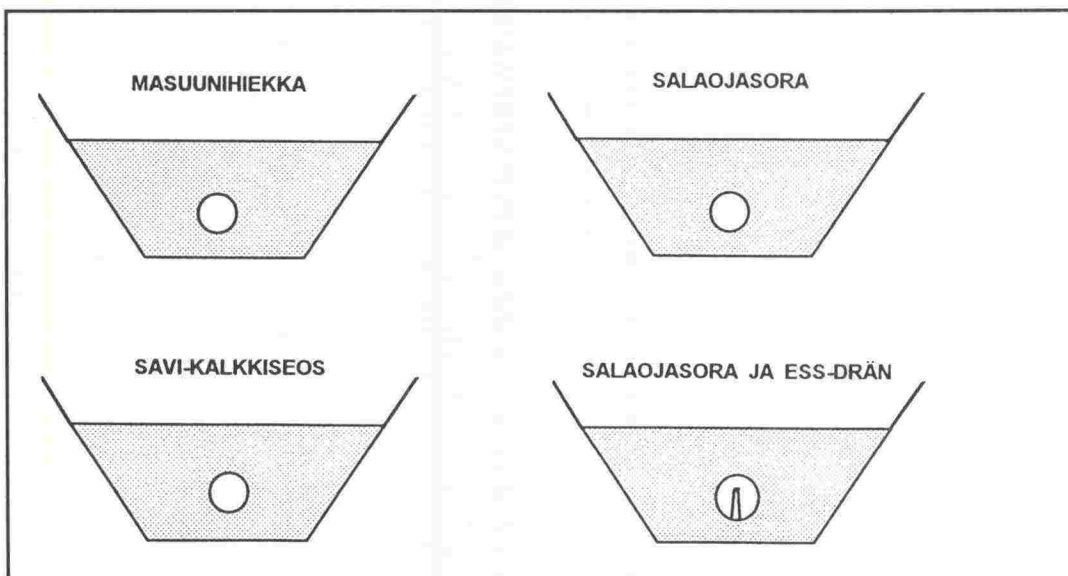
Koostumus	Masuunihiekka	Ferrokromikuona
CaO	37,6	2...6
MgO	11,5	25...27
SiO ₂	36,0	27...29
Al ₂ O ₃	8,3	25...28
K ₂ O	0,8	
Mn	0,3	
Cr		5...7
Fe	0,3	2...4
S	1,5	

Savi-kalkki ympärysaine valmistetaan sekoittamalla 5 % poltettua kalkkia saveen rumpusekoittimella. Kalkin sisältämien kalsiumionien vaikutuksesta savipartikkelit asettuvat toisiaan lähemmäksi tiiviiksi pakkauksiksi eli aggregaateiksi. Mekaaninen sekoittaminen tehostaa tätä prosessia. Seos on rakeinen ja voimakkaasti emäksinen tuote.

Savi-kalkki seos toimitettiin koekohteisiin valmiiksi sekoitettuna suursäkeissä Nakkilasta. Toimitettu savi-kalkki seos oli poikkeuksellisesti sekoitettu kaivinkoneella.



Kuva 2. Oulun Pateniemen salaojakoerakenteissa käytetyt ympärysaineet.



Kuva 3. Jepuan salaojakoerakenteissa käytetyt ympärysaineet.

2.3 Koekohteiden instrumentointi ja seuranta

Koerakenteen toimivuutta tutkittiin ympärysaineisiin asennettujen mittausantureiden avulla ja seuraamalla salaojaputkissa virtaavan veden laatua ja määrää. Ympärysaineisiin asennettiin hapetus-pelkistystilaa mittaavat elektrodit, lämpötila-anturit sekä tilavuusvesipitoisuutta mittaavat kosteusanturit (kuva 4).

Koerakenteen hapetus-pelkistyspotentiaalia mitattiin platinaelektrodilla (Ingold Pt N6707). Elektrodiin liitettiin erillinen elektrolyyttisäiliö, jonka avulla voitiin lisätä elektrolyyttiliuoksen pitkäikäisyyttä. Elektrodit asennettiin salaojanympärysaineeseen salaojaputken ympärysaineen keskikohdalle siten, että elektrodin kärki oli noin 40...50 mm:n etäisyydellä salaojaputken pinnasta. Mittaus suoritettiin Knick Portamess 751 Calimatic-mittarilla, jonka mittaustarkkuus on 0,05 mV.

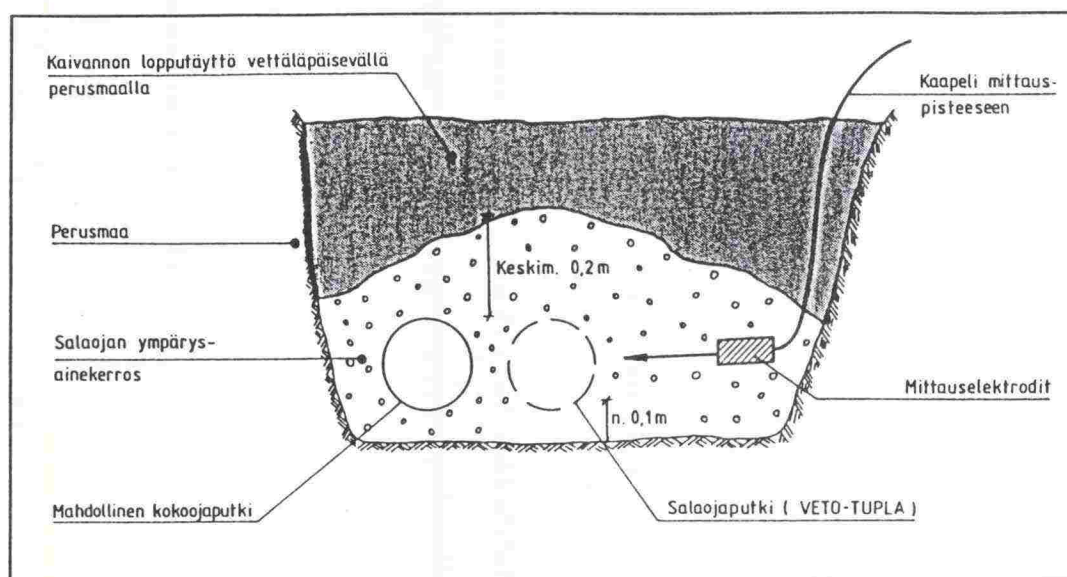
Ympärysaineiden lämpötilaa mitattiin Beamex TC 305 tarkkuuslämpömittarilla nelijohdin-mittauksena. Lämpötila-anturina käytettiin platinavastusanturia (Pt-100). Lämpötila-anturit asennettiin ympärysaineeseen salaojaputken ympärysaineen keskikohdalle siten, että anturien kärkiosa oli noin 40...50 mm:n etäisyydellä salaojaputkesta.

Ympärysaineiden kosteuspitoisuutta mitattiin TDR-laitteistolla (Tektronix 1502 B), joka perustuu dielektrisyysvakion mittaukseen. Mittauslaitteisto koostuu lähettimestä, vastaanottimesta ja oskilloskoopinäytöstä. Laite lähettää jatkuvaa nopean nousuajan omaavaa askeljännitettä laitteeseen liitettyyn siirtolinjaan (koaksiaalikaapeliin) ja mittaa takaisin heijastuvaa jännitettä kulkuajan funktiona. Maaperän kosteuden mittaaminen menetelmällä perustuu siihen, että siirtolinjan päähän asetetaan kaksi yhdensuuntaista metallisauvaa, joiden välissä oleva maa-aines toimii väliaineena. Menetelmällä määritetään se aika mikä jännitepulssilla menee, kun se kulkee metallisauvojen matkan. Mitatun ajan perusteella voidaan laskea maa-aineksen dielektrisyysvakio. Maaperän vesipitoisuuden ja dielektrisyysvälin välillä on voimakas riippuvuus, joten vesipitoisuus voidaan määrittää mitatusta dielektrisyysvakioista. Koska veden dielektrisyysvakio (81) on 16 - kertainen useimpien maalajien dielektrisyysvakioihin verrattuna, määräytyy maaperän dielektrisyysvakio pääasiassa maan vesipitoisuuden perusteella. Menetelmän käyttö on viime vuosina yleistynyt maaperän kosteuden mittauksessa.

Mittausantureina käytettiin kahta yhdensuuntaista terässauvaa, joiden pituus oli $L = 150$ mm, k/k 60 mm ja halkaisija $D = 8$ mm. Koerakenteen mittausanturit asennettiin salaojan ympärysaineeseen salaojaputken keski-kohtaan siten, että anturien kärkiosa tuli noin 40...50 mm:n etäisyydelle salaojaputken pinnasta. Anturien keskinäinen etäisyys oli noin 0,5 m.

Pateniemen Laholaisen koerakennuskohteessa kaikki mittausanturit asennettiin rakennusaikana syksyllä 1993. Anturit asennettiin kolmeen poikkileikkaukseen, joissa ympärysaineina olivat salaojasora, ferrokromikuona ja savi-kalkki -seos. Jepuan kohteessa anturit asennettiin jälkeinpäin syksyllä 1994 kahteen salaojasorarakenteeseen ja masuunihiekkarakenteeseen. Savi-kalkki -seokseen instrumentointia ei voitu tehdä, koska vedenvirtaus ympärysainekerroksen päällä oli liian voimakasta.

Lämpötilaa, redoxpotentiaalia ja vesipitoisuutta mitattiin molemmissa koekohteissa kevään ja syksyn aikana, jolloin vedenvirtauksen salaojissa oletettiin olevan voimakkainta.



Kuva 4. Kaaviokuva salaojarakenteiden instrumentointi

3 TULOKSET

3.1 Ympärysaineiden lämpötila

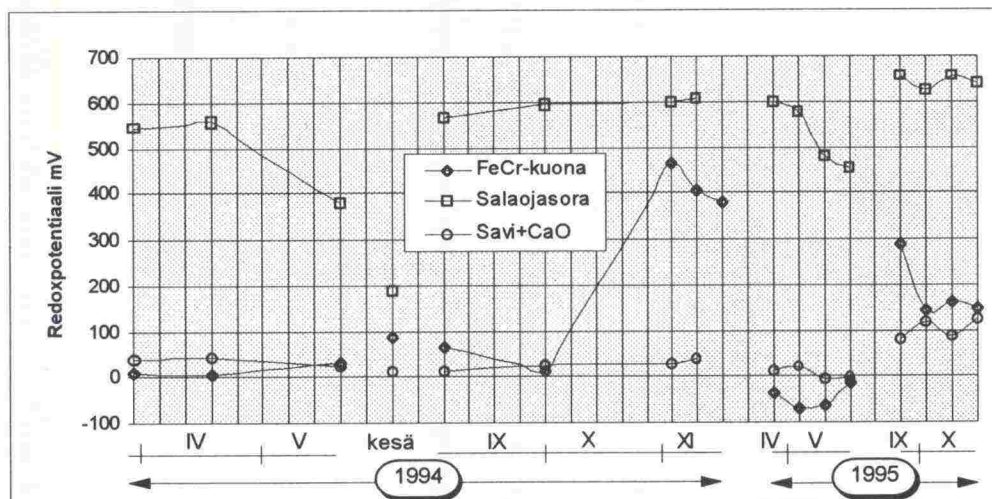
Pateniemen Laholaisen koekohteessa lämpötila vaihteli mittausjaksolla 0,2 °C ja 11,1 °C:n välillä. Alimmat mitatut lämpötilat olivat keväällä ja korkeimmat lämpötilat loppukesällä. Jepuan koekohteessa lämpötilat olivat jonkin verran korkeammat kuin Pateniemen kohteessa (maksimilämpötila 13,0 °C). Koerakenteiden välillä ei todettu merkittäviä lämpötilavaihteluja. Koekohteiden lämpötila oli koko ajan otollinen rihmamaisten rautabakteereiden kasvulle. *Gallionella ferruginea* -bakteerin kasvu on aktiivisimmillaan +5 - + 25 °C:n välillä (Hallbeck & Pedersen 1990).

3.2 Ojitusten fysikaalis-kemialliset ominaisuudet

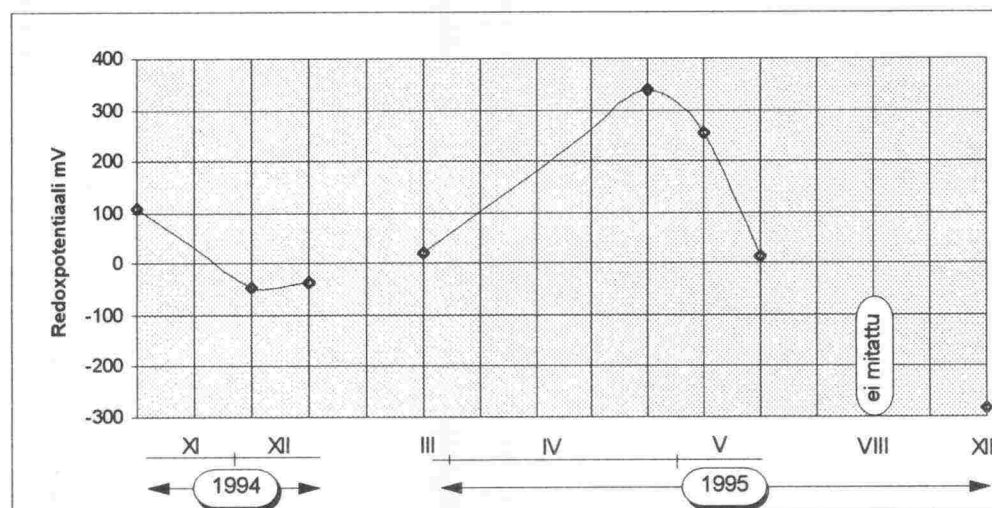
Raudan saostuminen salaojaputkessa voidaan estää vain, jos rihmamaisten rautabakteerien kasvu voidaan estää pitämällä veden redoxpotentiaali koko ajan tason + 200 mV alapuolella (Hallbeck & Pedersen 1990). Tähän voidaan päästä kahdella eri tavalla; joko pitämällä salaojaputki koko ajan veden alla hapettomassa tilassa tai laskemalla redoxpotentiaali kemiallisesti riittävän alas.

Pateniemen Laholaisen alikulun salaojituksen soraympärysaine on ollut lähes koko ajan hapellisissa olosuhteissa (redoxpotentiaali > + 200 mV, kuva 5), jolloin voidaan olettaa, että olosuhteet ovat olleet otolliset rihmamaisten rautabakteerien kasvulle. Jepuan alikulun soraympärysaineen redoxpotentiaali oli huomattavasti Pateniemen vastaavia arvoja alhaisempi (vaihtelu - 250 - +350 mV), mikä osoittaa, että salaojaputket ovat olleet osan aikaa hapettomassa, vedellä kyllästyneessä tilassa (kuva 5). Redoxpotentiaalin nousu arvon +200 mV yläpuolelle keväällä 1995 on kuitenkin mahdollistanut rautabakteereiden kasvun.

Savi-kalkki ympärysaineella redoxpotentiaali on ollut koko seurannan ajan arvojen 0 ja +110 mV välissä, ferrikromi ympärysaineen redoxolosuhteet vaihtelivat taas arvojen -50 - +450 mV:n välissä (kuva 5). Redoxpotentiaali-seurantatulosten perusteella voidaan todeta, että savi-kalkki ojassa rihmamaisten rautabakteereiden kasvu ei ole ollut mahdollista. Sen sijaan ferrokromikuonaympärysaineessa rautabakteerien kasvu on voinut olla mahdollista.



Kuva 5. Redoxpotentiaalın muuttuminen Pateniemen Laholaisen allikulun ympäräysainetäytöissä vuosina 1994 ja 1995. Täytöt: ferrokromikuona (FeCr), sora ja savi + CaO.

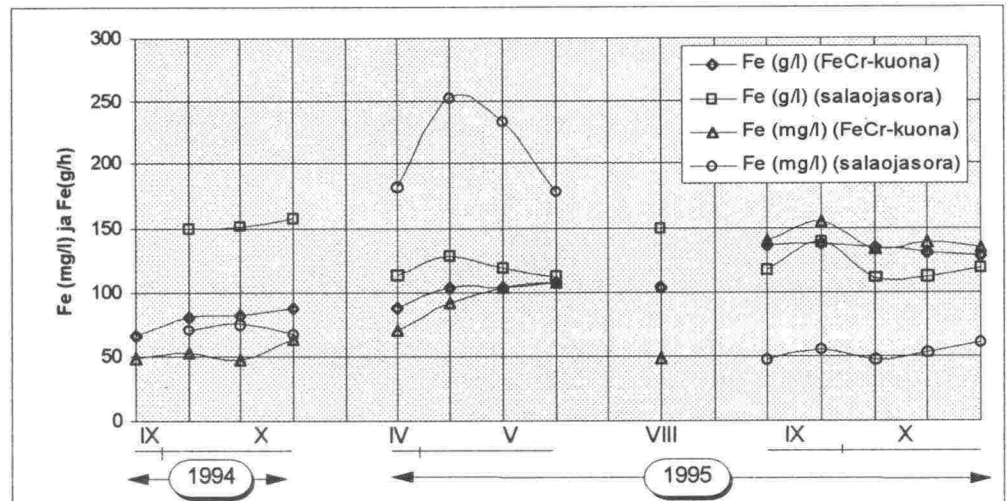


Kuva 6. Redoxpotentiaalın muuttuminen Jepuan allikulun salaojituksen ympäräysaineessa vuosina 1994 ja 1995. Salaojan täytötmateriaalina sora.

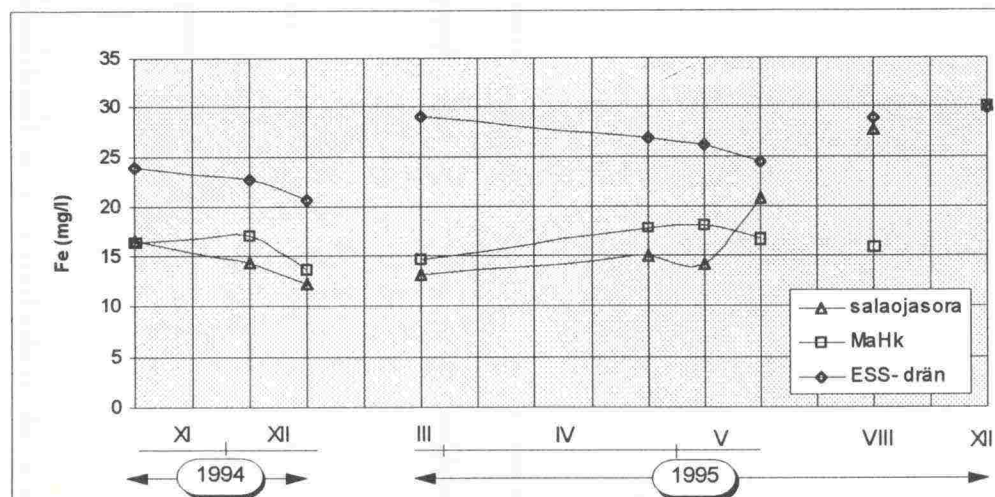
TULOKSET

Pateniemen Laholaisen alikulun salaojavesien kokonaisrautapitoisuudet vaihtelivat arvojen 70 ja 160 mg/l välillä (kuva 7). Salaojasoraympärysaineella pitoisuudet olivat hieman korkeammat ferrokromikuonaan verrattuna, noin vuosi käyttöönoton jälkeen rautapitoisuudet olivat kummankin ojassa samansuuruisia. Ferrokromikuonan pH oli keskimäärin yhden yksikön salaojasoran pH:ta suurempi.

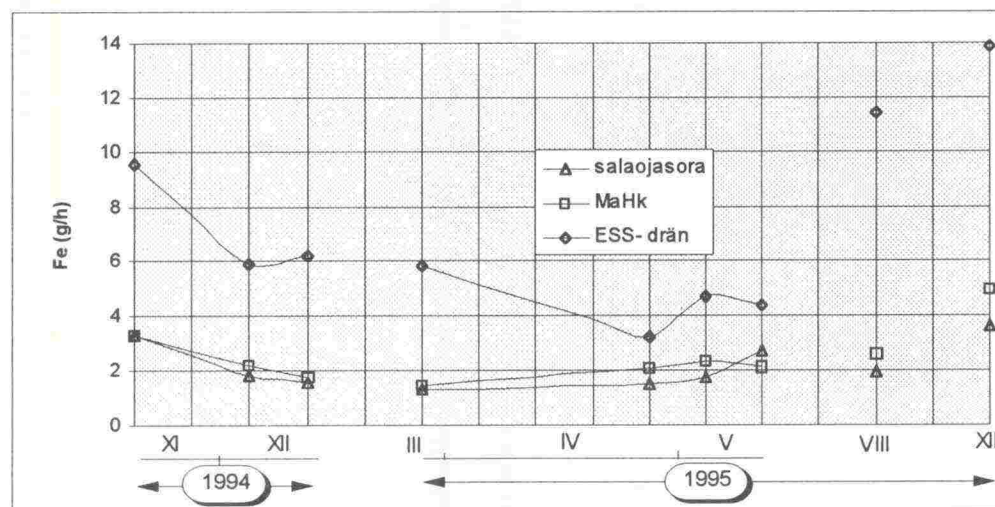
Rautapitoisuus Jepuan alikulun salaojavesissä oli keskimäärin 5 kertaa alhaisempi kuin Pateniemen alikulun salaojavesissä. Soraympärysaineella varustetun salaojan valumavesien rautapitoisuus olivat keskimäärin 18 mg/l, masuunihiekan 18,8 mg/l ja ESS-drän salaojalla varustetun salaojasoran 25,8 mg/l (kuva 8). Koska Jepuan kohteen kemiallinen kuivatustila on heikompi kuin Pateniemen kohteessa (redoxpotentiaalitaso alhaisempi) ja kokonaisrautakuormitus vain 4 % Pateniemen kohteen rautakuormituksista (4,0 g/h vs. 105,6 g/h, kuvat 7 ja 9) niin salaojien tukkeutumisherkkyden voidaan olettaa olevan Jepuan kohteessa myös huomattavasti pienemmän.



Kuva 7. Salaojavesien rautapitoisuuden (mg/l) ja kokonaisrautakuormituksen (g/h) muuttuminen Pateniemen Laholaisen alikulun salaojavesissä vuosina 1994 ja 1995. Täytöt: ferrokromikuona (Fe-Cr) ja sora.



Kuva 8. Salaojaveden rautapitoisuuden (mg/l) muuttuminen Jepuan alikulussa. Ympärysaineet: sora, masuunihiekka (MaHk), sora ja ESS-drain salaojaputki.



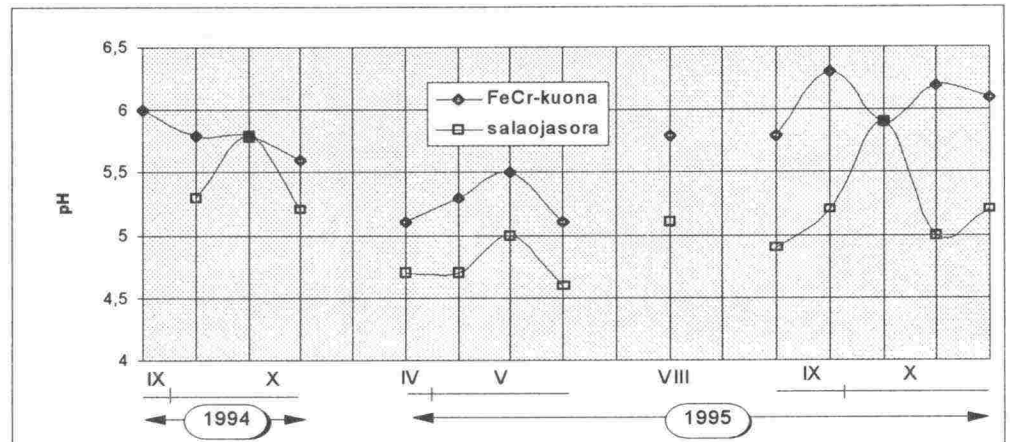
Kuva 9. Salaojaveden kokonaisrautakuormituksen (g/h) muuttuminen Jepuan alikulun salaojavesissä. Ympärysaineet: sora, masuunihiekka (MaHk) ja sora ESS-Drain salaojaputkella.

Pateniemen Laholaisen alikulussa soraa ympärysaineena käytetyn salaojan valumaveden pH vaihteli arvojen 4,6 - 5,8 välillä (keskiarvo 5,1). Ferrokromikuonasalaojan pH oli selvästi korkeampi vaihdellen arvojen 5,1 - 6,3 välillä (keskiarvo 5,7, kuva 20).

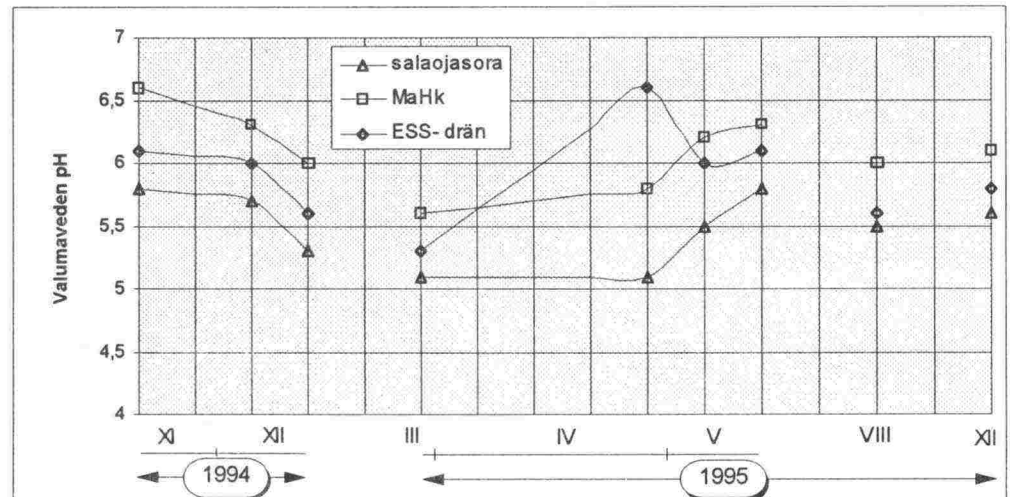
Salaojan ympärysaineen toiminta koerakenteessa, loppuraportti

TULOKSET

Jepuan alikulussa sorasalaojan pH vaihteli arvojen 5,1 ja 5,8 välillä (keskiarvo 5,49). Vastaavasti masuunihiekka -salaojan valumavesien pitoisuudet vaihtelivat arvojen 5.6 ja 6.6 välillä (keskiarvo 6,1) ja ESS-drän sora-salaojan pH arvojen 5,4 ja 6,6 välillä (keskiarvo 5,9, Kuva 21). Jepuan suhteellisen korkea pH johtuu siitä, että salaojavedet eivät pääse hapettumaan yhtä tehokkaasti kuin Pateniemen kohteessa. Pateniemen kohteen rautapitoisuudet ovat lisäksi Jepuan kohteen rautapitoisuuksia korkeammat, jolloin raudan saostuminen on voinut laskea pH:ta.



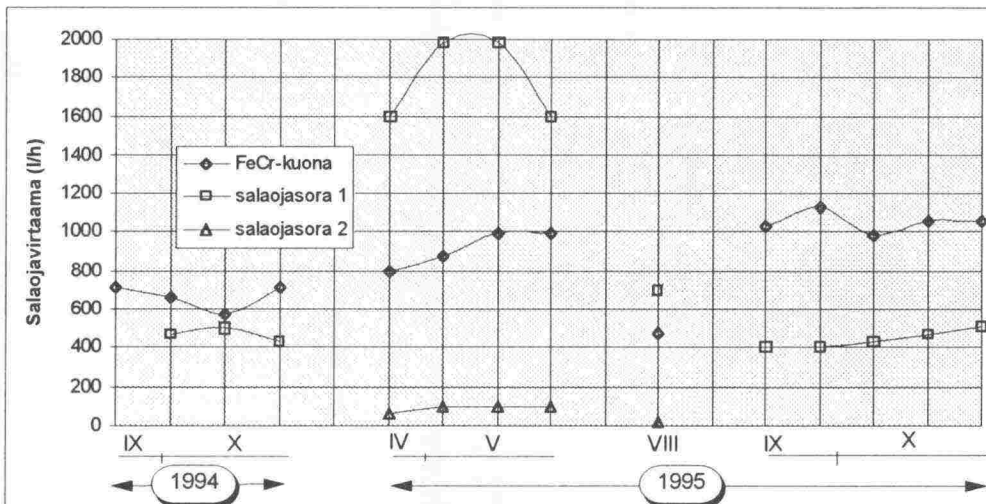
Kuva 10. Valumaveden pH:n muuttuminen Pateniemen Laholaisen alikulun salaojissa vuosina 1994 ja 1995. Salaojaympärysaineet: ferrokromikuona (FeCr) ja sora.



Kuva 11. Valumaveden pH:n muuttuminen Jepuan alikulun salaojissa vuosina 1994 ja 1995. Salaojaympärysaineet: sora, masuunihiekka (MaHk) ja sora ESS-drän salaojaputkella.

3.3 Salaojien toimivuus

Pateniemen Laholaisen leikkauksessa salaojien, jotka sisälsivät ympäräysaineina ferrokromikuonaa ja soraa, virtaamat olivat keskimäärin 800 l/h, so-rasalaojien virtaamavaihtelu (400 - 2000 l/h) oli kuitenkin selvästi suurempi kuin ferrokromisalaojassa (600 - 1100, kuva 22). Nämä kaksi salaojitusta olivat rinnakkaiskokeita, jotka sijaitsivat leikkauksessa alimpana. Virtaamien perusteella voidaan todeta, että noin vuoden jälkeen salaojissa, joiden ympäräysaineena käytettiin ferrokromikuonaa virtaamat olivat yli kaksin kertaisia salaojasoraan verrattuna. Toinen salaojasora ympäräysainekoe sijaitsi koe-kohteessa edellisiä korkeammalla, jolloin sen valumat olivat edellistä selvästi pienemmät (vaihtelu 16 - 100 l/h) ja valumia havaittiin hyvin lyhyellä ajanjaksolla keväällä 1995 (kuva 22). Tämän kokeen rinnakkais-salaojituksessa, jossa ympäräysaineena käytettiin poltetun kalkin ja saven seosta, ei havaittu tutkittuina aikoina valumia. Koska nämä salaojituskokeet sijaitsivat niin ylhäällä, että valumavesien määrä oli pieni, salaojien valunta-seurannan perusteella ei ole voitu tehdä johtopäätöksiä vertailtavien menetelmän toimivuudesta.



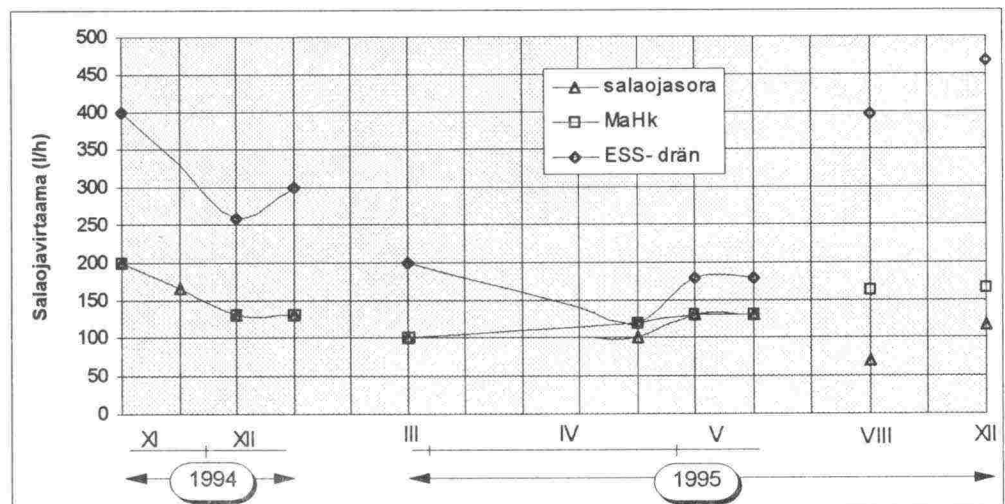
Kuva 12. Pateniemen Laholaisen alikulun salaojien hetkelliset virtaama-arvot (l/h). FeCr = ferrokromiympäräysaine, sora 1 = so-raympäräysaine alemmassa koe-kohteessa, sora 2 = so-raympäräysaine ylemmässä koe-kohteessa

Vastaavasti Jepuan koe-kohteessa kahden so-raympäräysainekokeen (sora ja ESS-drän) ja masuunihiekkakokeen virtaamat olivat toisiinsa nähden samaa suuruusluokkaa, vaikkakin ESS-drän ojan virtaamat olivat ajoittain muita

TULOKSET

korkeammat (kuva 23). Sen sijaan savi-kalkki ympärysaineojassa ei havaittu mitattavia virtaamia. Nämä koekohteet olivat toisiinsa nähden samalla korkeustasolla, joten on oletettavaa, että savi-kalkkiympärysaine on tukkeutunut. Salaojan tukkeutumista vahvistavat myös havainnot ojan ympäristön vettymisestä ja se, että koekohteen kuivatusvedet näyttävät virtaavan tien alta viereiseen kaivoon.

On oletettavaa, että savi-kalkki ympärysaine on tiivistynyt salaojaputken ympärille, jolloin putken reiät ovat tukkeutuneet. Savi-kalkki ympärysainetta on käytetty maataloussalaojituksessa yleisesti salaojakaivannon täyttömateriaalina. Savi-kalkki salaojituksissa käytetään kuitenkin soraa tai suodatin-kangasta putken ympärillä, jolloin savi-kalkki ei pääse tukkimaan putkea. Näissä sovellutuksissa ei ole aiemmin todettu salaojan tukkeutumista. Koekohteissa käytetty savi-kalkkiseos oli sekoitettu traktorikaivurilla, jolloin sen sekoittuminen jäi epätasaiseksi. Maatalousovellutuksissa sekoitusta on tehty tähän varta vasten tehdyllä koneella. Aiempien kokemusten perusteella on todettu, että jos kalkki ei ole reagoinut maapartikkeleiden kanssa ennen sen joutumistaan veden kanssa tekemisiin, se voi tukkia suodattimia. Toisaalta alikuluissa salaojaan virtaavan veden virtausnopeus on oleellisesti suurempi kuin pelto-ojituksessa, mikä voi osaltaan vaikuttaa ympärysainemassan tiivistymiseen ja vedenjohtokyvyn heikkenemiseen.



Kuva 13. Jepuan alikulun salaojien hetkelliset virtaamat (l/h). sora = soraympärysaine, MaHk = masuunihiekkaympärysaine, ESS-drän = soraympärysaine ESS-drän salaojaputkella.

3.4 Ympärysaineiden kosteuspitoisuus

Ympärysaineiden kosteuspitoisuudet poikkesivat merkittävästi toisistaan. Pateniemen Laholaisen koekohteessa salaojasoran kosteuspitoisuus vaihteli 18,2 ja 24,9 % välillä, ferrokromikuonan ja savi-kalkki seoksen tilavuus-vesipitoisuudet olivat merkittävästi salaojasoran vesipitoisuuksia suuremmat, vaihtelu 46 - 50 %. Jepuan koekohteessa salaojasoran kosteuspitoisuus vaihteli välillä 28,8 -30,3 % ja masuunihiekan vastaavasti 41,3 - 43,6 %. Suurimmat kosteuspitoisuudet havaittiin kevätjakson aikana.

Salaojasoran alhaisempi vesipitoisuus johtuu materiaalin kuona- ja savi-kalkkituotteita huonommasta kyvystä pidättää vettä itseensä (Peteri 1993). Kaikissa mittauskohteissa havaittiin suurempia vesipitoisuuksia kuin mitä materiaali täysin kyllästytneenä pidättää. Tämä voi johtua joko salaojaputken riittämättömästä vedenvastaanottokyvystä tai ympärysainemateriaaliin muodostuneesta veden löyhdyttämästä tilasta.

3.5 Ympärysaineiden hydraulinen johtavuus ja raekoko

Laboratoriossa määritetty vedenjohtavuus, jolla kuvataan materiaalin kykyä johtaa vettä, oli kaikilla käytetyillä ympärysaineilla suuruudeltaan $1,0 - 3,1 \cdot 10^{-2}$ m/s (taulukko 2). Suurimmat vedenjohtavuudet olivat kuonatuotteilla, vaikkakin kaikki tutkitut materiaalit olivat vedenjohtavuudeltaan salaojasoran vertaisia ympärysaineita.

Taulukko 2. Laboratoriossa määritetyt vedenjohtavuudet erilaisille ympärysaineille.

Ympärysaine	Vedenläpäisevyys m/s
Salaojasora	$1,0 \cdot 10^{-2}$
Masuunihiekka	$1,9 \cdot 10^{-1}$
Ferrokromikuona	$1,6 \cdot 10^{-1}$
Savi-kalkki -seos	$1,1 \cdot 10^{-2}$

Tielaitoksen teiden suunnittelua koskevissa ohjeissa on esitetty salaojasoran rakeisuuden ohjealueet (Tielaitos 1993). Ohjeiden mukaan hienoaineksen (< 0.074 mm) määrä pohjavesiä keräävissä salaojissa saa olla enintään 3 %. Pateniemen koekohteen savi -kalkkiseoksen vastaava hienoainespitoisuus oli laboratoriokokeiden perusteella riittävä ($< 0,1$ %), mutta koerakenteeseen toimitetussa seoksessa tämän hienoainesfraktion pitoisuus oli 8 % (taulukko 3). Tämä osoittaa, että koerakenteeseen tilatun ympärysainemateriaalin laatu ei vastannut odotuksia ja oli syynä ojituksen tukkeutumiseen.

TULOKSET

Taulukko 3. Raekokojakautuman < 0,074 mm osuus eri ympärysaineissa laboratorikokeissa ja Pateniemen koekohteessa.

Ympärysaine/kohde	Raekokojakauman <0,074 mm osuus
Salaojasora/Laboratorio	< 0,1 %
Salaojasora/Pateniemi	0,1 %
Savi-kalkki/Laboratorio	0,2 %
Savi-kalkki/Pateniemi	8,0 %

3.6 Saostuman määrän arviointi

Pateniemen Laholaisen koekohteen alemmat salaojaputket (ympärysaineet ferrokromikuona ja sora), joissa valumamäärät olivat suurimmat, olivat videotutkimuksen perusteella noin kaksi vuotta asennuksen jälkeen paksun rautasakan peittämiä. Putkien suut olivat lähes kokonaan saostuman peitossa, 1-5 m:n matkalta noin 1/3 putkesta oli saostumaa ja saostuman määrä pieneni putken yläpäästä kohden. Ferrokromi- ja soraympärysaineojitusten välillä ei havaittu merkittäviä eroja saostuman määrissä. Mikroskooppitarkastelun perusteella voitiin todeta, että kummassakin ojassa saostuma sisälsi runsaasti sekä kemiallisesti saostunutta rautaa että rautabakteeririhmastoja. Jotta salaojien toiminta voitiin taata jatkossa ne huuhdeltiin videokuvauksen jälkeen.

Pateniemen Laholaisen koekohteen ylemmissä salaojituksissa saostumien määrät olivat vähäisiä, koska vesimäärät olivat myös vähäisiä. Salaojissa, joissa käytettiin soraa ympärysaineena oli vain hieman rautasakkaa, savi-kalkki ympärysaineojassa ei havaittu rautasaostumia lainkaan. Sen sijaan näissä salaojaputkessa havaittiin kiteytyynyttä kalkkia etenkin putkien sisäpinnan reikien kohdalla.

Salaojasoraa ja masuunihiekkaa ympärysaineina käytetyissä Jepuan koekohteen salaojituksissa noin vuosi ojituksen jälkeen havaittiin selvä rautasaostuma noin 2 - 3 m salaojaputken suusta sisälle päin, ylemmäksi mentäessä rautasaostuman määrä väheni merkittävästi. Eri koeojissa ei havaittu eroja rautasaostuman määrissä. ESS-drän salaojaputken kuntoa ei voitu sen rakenteen vuoksi tutkia videokuvauksella, vaikutti kuitenkin siltä, että raudanmuodostus putken suulla oli suuruudeltaan samaa luokkaa kuin vertailuojissa. Salaojaputkessa, jossa käytettiin ympärysaineena kalkki-savi seosta, ei todettu saostumamuodostusta.

3.7 Mitoitusperusteet

Salaojien rakenteet ja niiden rakentaminen on esitetty Tielaitoksen julkaisussa "Teiden suunnittelu IV - Tien rakenne 4. - Kuivatus". Julkaisussa on esitetty salaojan ympärästäytämateriaalin rakeisuusvaatimukset ja paksuudet, jonka ympäräysaineen tulee täyttää. Salaojaputkena käytetään tavallisesti halkaisijaltaan 100 mm:n putkea. Suurempaa halkaisijaa tai kahta putkea tarvitaan poikkeustilanteissa, esimerkiksi silloin kun on odotettavissa runsaita pohjavesivirtauksia. Varsinaista salaojaputken mitoitusta ohjeissa ei esitetä. Rautasaostuman vähentämiseen tähtäävinä keinoina esitetään mm. vedenalaisen salaojituksen käyttöä, salaojien määrän ja ympärästäytön määrän lisäämistä, salaojasoran korvaavista muilla täyttömateriaaleilla kuten sahanpurulla ja kuorijätteellä (ei sovellu vedenalaisiin ojituksiin) sekä tilavilla lietekaivoilla ja kaivovälien rajoittamisella 50...60 m:iin. Lisäksi salaojien huuhtelua suositellaan tehtäväksi riittävän usein lietekaivojen ja huuhteluhaarojen kautta. Ohjeissa ei kuitenkaan esitetä varsinaista mitoitusta rautasaostumaongelmien poistamiseen vaan toimenpiteet kohdistetaan salaojarakenteisiin ja kunnossapitotoimenpiteisiin.

Rautasaostuman aiheuttamien ongelmien ratkaiseminen suoraan mitoituksellisesti ei ole mahdollista. Tavanomaisissa pohjaolosuhteissa salaojaputken koko sekä ympäräysaineen vahvuus riittävät yleensä takaamaan tehokkaan kuivatuksen. Rautasaostuma-alueilla ensisijaisena ongelmana on salaojaputken kiinnittyvän rautabakteeririhmaston ja siihen saostuvan rautasakan putkivirtausta hidastava vaikutus sekä putkien reikien umpeenliimautuminen. Mitoituksen avulla ongelmaa ei voitane poistaa kokonaan. Sen sijaan mitoituksella voidaan vaikuttaa huuhtelutarpeeseen ja tätä kautta kunnossapitokustannuksiin, koska salaojaputkiston suurentaminen pidentäisi todennäköisesti jonkin verran huuhteluväliä. Perusongelmaa mitoituksella ei kuitenkaan missään tapauksessa voida poistaa.

3.8 Vaihtoehtojen kustannusvertailu

Rakennerratkaisujen kustannusvaihtoehtoja voidaan arvioida ympäräysmateriaalin materiaalikustannusten avulla. Salaojan rakennetta ympäräysaineen materiaalinemenekin osalta voidaan pitää kaikissa ympäräysainevaihtoehtoissa samansuuruisena. Ympäräysaineiden yksikkökustannukset Oulun alueella ovat seuraavat (taulukko 4):

JOHTOPÄÄTÖKSET

Taulukko 4. Salaojan ympärysmateriaalien yksikköhinnat Oulun alueella.

Ympärysaine	Yksikköhinta mk/t
Salaojasora	35
Masuunihiekka	50
Ferrokromikuona	35
Savi-kalkki -seos	160

Merkittävimmän osan ympärysaineen kustannuksista muodostavat kuljetuskustannukset. Masuunihiekkaan verrattuna ferrokromikuona on lähtöhinnaltaan noin 20 mk/t edullisempi. Savikalkki -seoksen hinnassa kalkin hinta kuljetuksineen on 30 mk/t (5 % kalkkipitoisuudella), sekoituksen osuus noin 20 mk/t ja loppuosa on kuljetuskustannuksia. Tällä hetkellä sekoitus tehdään Etelä -Suomessa, jolloin materiaalin hinta on Oulun alueella noin 160 mk/t. Sekoitus voidaan tehdä myös paikan päällä mikäli sopiva hienorakeinen maa on löydettävissä. Tällöin materiaalin hinta on noin 60 mk/t (Kyyrö 1995).

Ympärysainekustannukset rautasaostuma-alueella ovat vähäisiä verrattuna salaojien kunnossapidosta aiheutuviin ylläpitokustannuksiin. Ylläpitokustannukset Oulun tiepiirin alueella on arvioitu olevan noin 4300 mk/pumppaamo/vuosi (Luttinen 1995). Rautasaostumien huuhtelusta aiheutuvat kokonaisvuosikustannukset Oulun tiepiirin alueella ovat näin noin 100 000 mk (22 pumppaamo). Ympärysaineen valinta rautasaostumalle riskialttiissa kohteissa pelkästään materiaalikustannusten perusteella on tämän takia harvoin määräävä.

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Salaojarakenteen saostumisriskiä tutkittiin koerakenteen lämpötilan, kosteuden ja hapetus-pelkistyspotentiaalin sekä kuivatusvesien määrän ja laadun mittauksilla kahdessa eri koekohteessa Vaasan ja Oulun tiepiirien alueilla. Ympärysaineiden toimivuutta tutkittiin vertaamalla edellämainittuja ominaisuuksia rinnakkaiskokeissa käytetyn salaojasora -ympärysaineen vastaaviin ominaisuuksiin.

Salaojarakenteen todettiin pysyvän sulana koko vuoden. Ympärysaineen lämpötila oli yli +5 °C noin puolet ajasta, jolloin myös rihmamaisten rautabakteerien kasvu on ollut aktiivista ja okranmuodostus on ollut suotuisaa.

Pateniemen Laholaisen koekohteessa salaojavesien rautapitoisuus oli erityisen korkea (keskimäärin 100 mg/l), jolloin voimakas okran muodostuminen on ollut mahdollista myös runsaan kemiallisen saostumisen vuoksi. Vaikka Jepuan kohteen rautapitoisuus oli huomattavasti Oulun kohdetta alhaisempi (keskimäärin 15 mg/l) se on kuitenkin täysin riittävä runsaaseen okranmuodostukseen.

Tutkituilla ympärysainevaihtoehdoille ei voida täysin poistaa rautatukkeutumisongelmaa. Erityisesti salaojasoralla hapetus-pelkistys potentiaali on ollut pitkän aikaa korkea, jolloin rautabakteerien muodostus on ollut otollista. Myös kuonamateriaaleilla hapetus-pelkistys potentiaali on ollut otollinen rihmamaisen rautabakteerin muodostumiselle. Ferrokromi- ja masuunikuonaympärysaineissa rautabakteerien elinolosuhteet ovat kuitenkin heikommät kuin salaojasoraympärysaineella. Ferrokromikuonaympäryaineella hapetus-pelkistyspotentiaali oli seurannan puitteissa vain hetkellisesti otollinen rautabakteerien syntymiselle ja sen todettiin säilyvän pitkällä aikavälillä savi-kalkkiseokselle ominaisella alhaisella tasolla.

Kalkki-savi seos näytti estävän tehokkaasti raudan saostumista. Näistä koikeista saadut tulokset eivät kuitenkaan ole suoraan sovellettavissa käytäntöön ojan puutteellisen vedenläpäisevyyden takia.

Oulun Pateniemen koekohteen alemmissa kuivatusojissa (vertailu soran ja ferrokromikuonan kanssa) virtaamat olivat seurannan aikana suuret (noin 800 l/h), jolloin myös raudan muodostuminen putkissa oli niin voimakasta, että ne olivat kiireellisen huuhtelun tarpeessa noin kahden vuoden käytön jälkeen. Ympärysaineiden okranmuodostuksen estokyvyissä ei havaittu merkittävää eroa. Koekohteen ylemmissä kuivatusojissa (sora vs. savikalkki ja sora vs. masuunikuona) virtaamat olivat niin pieniä, että ojitusten toimivuutta ja rautasaostumariskiä ei voitu vertailla.

Jepuan koekohteessa koejärjestelyt oli sijoitettu kummankin puolen alikulua, jolloin kokeiden valumat olivat paremmin vertailukelpoisia toisiinsa nähden. Sora- ja masuunihiekka ympärysainekokeissa, joissa käytettiin Veto-Tupla putkea, salaojavalunta oli seurannan aikana tasaista (noin 150 l/h). Sen sijaan soraympärysaineella ja ESS-drän putkella virtaama vaihteli välillä 150 - 450 l/h. Tämä tulos näyttäisi viittaavan siihen, että Veto-Tupla putket ovat mitoitettu kohteeseen liian pieniksi ja ESS-drän putki johtaa tehokkaammin kuivatusvedet ympärysaineesta. Reilun vuoden seurannan perusteella ei voitu havaita eroja eri ojitusten rautasaostumien muodostuksissa. Sen sijaan Jepuan kohteessa voitiin selvästi todeta, että savi-kalkki ympärysaine oli tukkinut salaojaputken. Koekohteesta tehty rakeisuustutkimus osoitti, että ympärysaineen hienojakoisten aineosien (raekoko <0,074mm) osuus oli 8 %, mikä toisin kuin samasta materiaalista laboratorikokeissa saatu tulos ylittää Tielaitoksen salaojan ympärysaineelle aset-

JATKOTOIMENPITEET

taman enimmäisraja-arvon. Tähän katsotaan olevan syynä kalkin epätasainen sekoittaminen maan kanssa, jolloin reagoimaton kalkkiaines on saanut aikaan salaojaputkinen reikien tukkeutumisen. Tukkeutuminen oltaisiin voitu mahdollisesti estää käyttämällä erillistä suodatinmateriaalia (esim. sora) putken ja ympärysaineen välissä tai sekoittamalla kalkki ja savi keskenään riittävän hyvin. Videokuvauksen perustella todettiin, että savi-kalkki ympärysaineen käyttö estää raudan saostumisen salaojaputkeen.

Ympärysaineiden kosteuspitoisuuden vaihtelu koekohteissa oli vähäinen ja kosteuspitoisuudet olivat kaikilla ympärysaineilla erittäin suuret materiaalien vedenpidätyskykyyn verrattuna. Korkeiden kosteuspitoisuuksien perusteella näyttäisi siltä, että salaoja ei kykene poistamaan riittävän nopeasti ympärysaineeseen kerääntynyttä vettä. Tämän vuoksi erityisesti alikulkujen ojitusten yhteydessä olisi syytä tarkentaa ojitusten mitoitusperusteita.

5 JATKOTOIMENPITEET

Rautasaostumien muodostumisherkkyuden tutkiminen ja menetelmien kehittäminen rautasaostuman estämiseksi salaojaputkessa on koostunut kolmesta peräkkäisestä vaiheesta. Ensimmäisessä vaiheessa koottiin kirjallisuudesta ja käytännön kokemuksista tieto raudanmuodostuksen mekanismeista ja niihin vaikuttavista olosuhdetekijöistä. Tämän selvityksen pohjalta päädyttiin etsimään okranmuodostuksen estämiseen ratkaisua erilaisista uusista ympärysaineista. Toisessa vaiheessa testattiin laboratoriossa erilaisia salaojan ympärysaineita okranmuodostuksen estossa. Laboratoriokoekiden perusteella valittiin lupaavimmat ympärysaineet täysimittakaavaisiin koerakennuskohteisiin. Kolmannessa vaiheessa seurattiin ympärysaineiden toimivuutta kahdessa erityyppisessä ojituskohteessa Jepualla ja Oulun Patentiemessä.

Keskeiseksi päämääräksi salaojaston okranmuodostuksen estämisessä on muodostunut erilaisten emäksisten ympärysaineiden käytön testaaminen. Näillä emäksisillä aineilla pyritään estämään rihmamaisten rautabakteereiden kasvu putkistossa. Erikoisesti savi-kalkki seoksen ja erilaisten kuonien käyttö ympärysaineina on antanut suurimpia toiveita ongelman ratkaisulle. Tältä osin projektin jatkotoimenpiteiksi ehdotetaan seuraavaa:

- Savi-kalkki ympärysainekoe tulisi uusissa erillisissä koerakennuskohteissa. Koerakenteen teossa huolehditaan siitä, että kalkki on sekoitettu saveen Fostop -kalkkisuodinojakoneella. Kalkin tasainen sekoittuminen ympärysaineessa testataan ennen sen käyttöönottoa. Lisäksi ympärysainekoerakenteeseen tulisi lisätä salaojaputken ja savi-kalkki seoksen väliin salaojasoraa 20...30 cm:n paksuinen kerros varmistamaan, että ympärysaineesta mahdollisesti irtoava hienoaines ei missään tapauksessa tuki putkea. Vertailukoerakenteena käytettäisiin normaalia sorasalaojarakennetta. Samalla selvitetään dynaamisen kuormituksen vaikutusta rakenteiden tiivistyvyyteen ja vedenjohtavuuteen.

YHTEENVETO TOIMENPITEISTÄ RAUTASOSTUMAN ESTÄMISESSÄ

- Pateniemen Laholaisen alikulun koekohteen salaojasora-ferrokromikuona ympärysainekokeen salaojien kuntoa tulisi seurata videokuvaamalla putket kahden vuoden välein. Tästä saadaan lisätietoa ferrokromikuonan toimivuudesta ympärysaainerakenteessa.
- Jepuan alikulun koekohteen salaojasora-masuunihiekka ympärysainekokeen ja Veto-Tupla-ESS-drän salaojaputkikokeen salaojien kuntoa tulisi seurata videokuvaamalla putket kahden vuoden välein. Tästä seurannasta saadaan arvokasta tietoa masuunihiekan toimivuudesta ympärysaaineena ja ESS-drän salaojaputken tukkeutumisherkkyydestä.

6 YHTEENVETO TOIMENPITEISTÄ SALAOJASTON RAUTASAOSTUMAN ESTÄMISEKSI

- POHJAMAAN RAUTASAOSTUMARISKIN TUNNISTAMINEN
 1. Pohjaveden pinnan yläpuolisissa kerroksissa on havaittavissa selviä ruostekerroksia
 2. Pohjaveden pinnan alapuolisissa kerroksissa on havaittavissa tummanharmaa tai pikimusta kerrostuma joka vaalenee muutamassa päivässä joutuessaan ilman kanssa tekemisiin
 3. Saostumariski voidaan varmimmin arvioida tutkimalla valumavesiä
 4. Saostumariski on olemassa kun valumavesien rautapitoisuus on suurempi kuin 1 mg/l
- TOIMENPITEET SALAOJASTON TUKKEUTUMISEN VÄHENTÄMISEKSI
 1. Valitaan sopiva salaojaputki (esim. ESS-drän)
 2. Suunnitellaan asennettavaksi salaojaputket mahdollisimman haittomiin olosuhteisiin (pohjaveden pinnan alapuolelle)
 3. Käytetään tilanteeseen sopivaa ympärysaainetta
 4. Salaojaputkistoja huuhdellaan säännöllisesti
- YMPÄRYSAINEIDEN TOIMINTA
 1. Ympärysaaineilla voidaan hidastaa salaojaputken tukkeutumista joko saostamalla rauta ympärysaaineeseen tai pitämällä se liukoisessa muodossa, lisäksi niillä voidaan estää putkia tukkivien rihmamaisten rautabakteerien kasvua
 2. Voimakkaasti emäksiset ympärysaaineet (kalkki-saviseos, kuonat) ovat tehokkaita raudan saastaisia ja rautabakteereiden kasvun estäjiä

KIRJALLISUUS

Hallbeck, L & Pedersen, K. (1990). Culture parameters regulating stalk formation and growth rate of *Gallionella ferruginea*. *Journal of General Microbiology* 136:1675-1680.

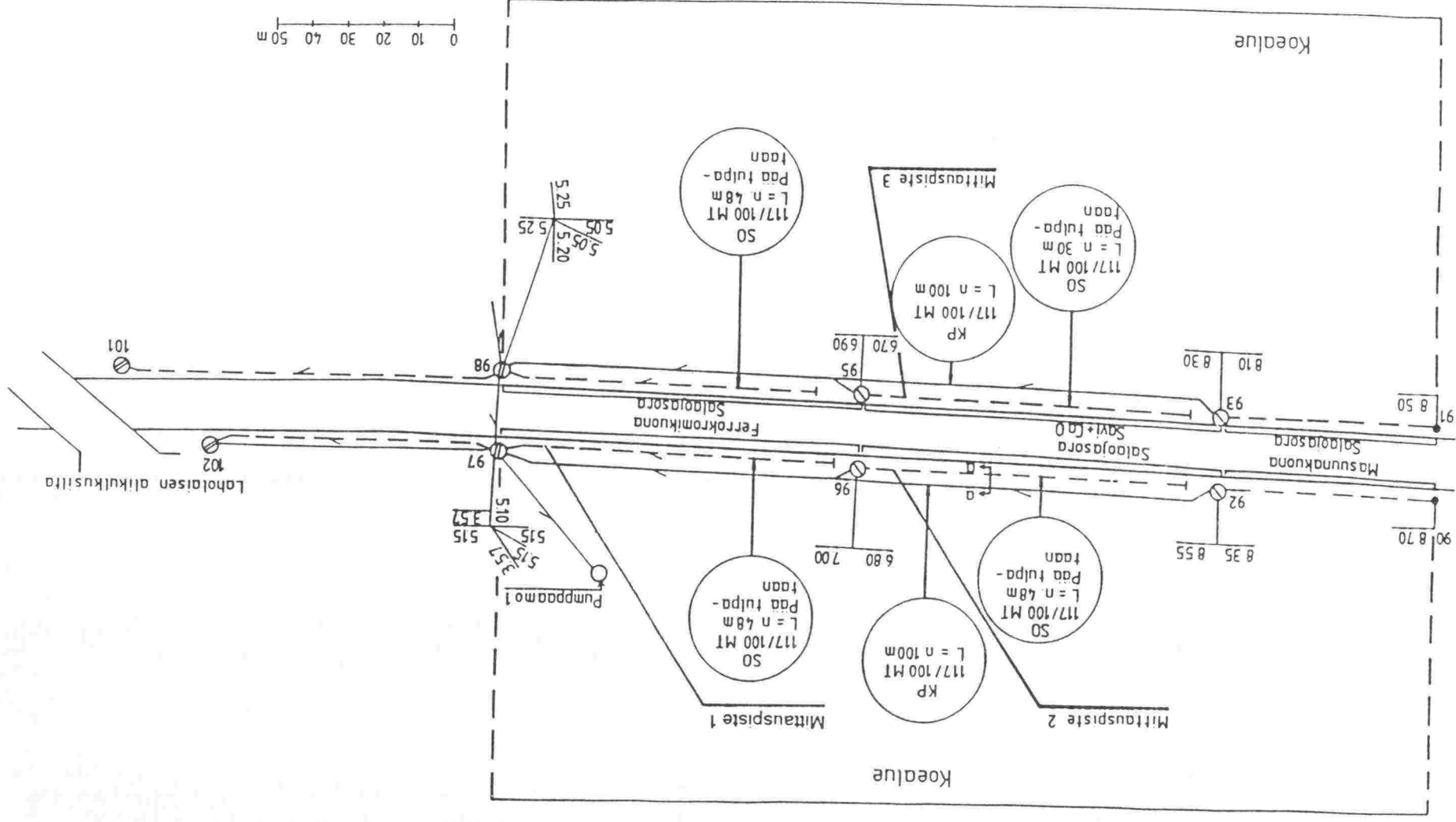
Kyyrö (1995). Suullinen tiedonanto.

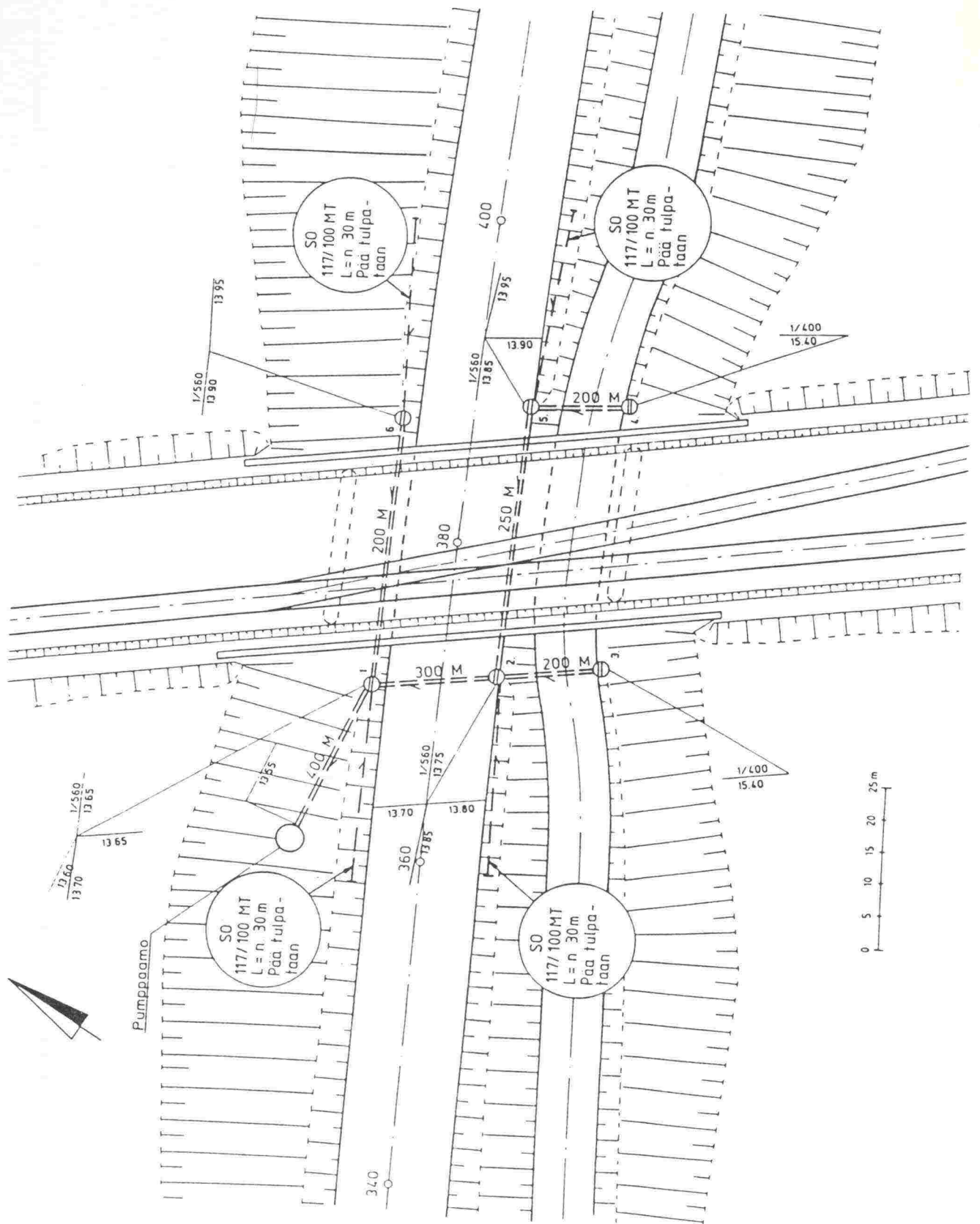
Peteri, K., Salaojan ympärysaineiden vaikutus okrasaostumien syntyyn. Diplomityö, Oulun yliopisto 1993. 87 s + 35 liitettä

Palko, J. & Wepling, K. (1994) Kalkin ja rikinpoistotuotteen käyttö savi-
maan vedenläpäisevyyden parantamisessa ja ravinteiden pidättämisessä.
Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja Nro 580. 29 pp.

Peteri, K., Kujala, K. & Palko, J., Salaojan ympärysaineen vaikutus raudan saostumisessa. Tielaitoksen selvityksiä 4/1994. Kuopio 1994. Tuotannon palvelukeskus. 31 s.

Laholaisen leikkauksen koejärjestelyt Oulun Patentimessä





TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 79/1995 Geotekniikan informaatiojulkaisuja: Tieleikkausten pohjatutkimukset. TIEL 3200354
- 80/1995 Liikennejärjestelmän kehittämisen yhteiskuntataloudellinen perusta.. TIEL 3200355
- 81/1995 Bitumiemulsion murtumisajan määrittäminen. TIEL 3200356
- 82/1995 PAB-V -tutkimukset 1995. TIEL 3200357
- 83/1995 Ympäristö tiepiirin toiminnassa. TIEL 3200358
- 84/1995 Soratien tasaisuuden ja pinnan kiinteyden vaikutukset ajokustannuksiin. TIEL 3200359
- 85/1995 Valo-ohjatun liittymän välityskyky. TIEL 3200360
- 86/1995 Valtatien 4:n Järvenpää-Mäntsälä-välin muuttuvan reittiopastusjärjestelmän vaikutukset. TIEL 3200361
- 87/1995 Moottoriväylien rinnakkaistiet; Esiselvitys alemman tieverkon ominaisuuksista ja suunnitteluperiaateista moottoriväylän liikennekäytävässä. TIEL 3200362
- 88/1995 Remixer-stabilointi. TIEL 3200363
- 89/1995 Lauttapaikkojen palvelutaso. TIEL 3200364
- 90/1995 Lossin ohjauksoyhtä korvaavat laitteistot. TIEL 3200365
- 91/1995 Heinolan ohikulkutien seurantatutkimus. TIEL 3200366
- 92/1995 Voidaanko henkilöautoliikennettä vähentää? TIEL 3200367
- 93/1995 PTM-auton mittaaman megakorkeuden soveltuvuus päällysteen tasaisuuden arviointiin. TIEL 3200368
- 94/1995 Stabiloidun maamassan leikkauslujuuden ja CPT-kairauksen välinen riippuvuus. TIEL 3200369
- 1/1996 Muuttuvien kelivaroituserkkien vaikutus ajonopeuksiin, aikaväleihin ja kuljettajien käsityksiin. TIEL 3200370
- 2/1996 Kestävä kehitys tiensuunnittelussa. TIEL 3200371
- 3/1996 Yleisten teiden ympäristön tila - luonto. TIEL 3200372
- 4/1996 Liittymien muutostoimenpiteiden vaikutus liikennekäyttäytymiseen - pyöräteiden ylityskohdat. TIEL 3200373
- 5/1996 Uudenmaan tiepiirin liikenteen hallintakeskuksen tehtävä ja toiminnot. TIEL 3200374
- 6/1996 Tuotannon laatu-, päälly- ja routarakenteet. TIEL 3200375
- 7/1996 Terminaaliivoituksen periaatteet. TIEL 3200376
- 8/1996 Yleisten teiden ympäristön tila - taajamat. TIEL 3200377