

Puun kuoriliuotteen käytön arviointi soratien pölynsidonnassa

Tiehallinnon selvityksiä 40/2002



Puun kuoriliuotteen käytön arviointi soratien pölynsidonnassa

Tiehallinnon selvityksiä 40/2002

TIEHALLINTO
Savo-Karjalan tiepiiri

Kuopio 2002

Valokuvat: Petri Peltonen

ISSN 1457-9871
ISBN 951-726-922-6
TIEH 3200771

Savon Kopiokeskus Oy
Kuopio 2002

Julkaisua saatavana:
Tiehallinto, Savo-Karjalan tiepiiri
Telefaksi: 0204 22 5199
S-posti: savo-karjalan.tiepiiri@tiehallinto.fi

TIEHALLINTO
Savo-Karjalan tiepiiri
PL 1117
70101 KUOPIO
Puhelinvaihte 0204 2211

Petri Peltonen: Puun kuoriliuotteen käytön arviointi soratien pölynsidonnassa. Kuopio 2002. Tiehallinto, Savo-Karjalan tiepiiri. Tiehallinnon selvityksiä 40/2002. 48s. + liitt. 4 s. ISSN 1457-9871, ISBN 951-726-922-6, TIEH 3200771.

Asiasanat: Soratie, pölyntorjunta, pölynsidonta-aineet, sivutuotteet, koetiet

Aiheluokka: 70 Tien ja tien rakenteiden hoito ja kunnostus

TIIVISTELMÄ

Projektissa tutkittiin laboratoriossa ja kentällä valvotuin ympäristökokein puun kuoriliuotteen (Zedivap-haihduttamon konsentraatti) kelpoisuutta soratiemassan sidosaineeksi pölynsidonnassa. Samalla haluttiin tietoa siitä, voidaanko kuoriliuotteella korvata tavallista kalsiumkloridia, jonka kloridipäästöistä on haittaa pohjavesille. Tutkimuksessa tarkasteltiin myös sorateiden pölynsidonnan kirjallisuutta. Taustakirjallisuus osoitti, että vastaavaa puun kuoriliuotetta ei ole aikaisemmin tutkittu pölynsidonnassa.

Kuoriliuotteen koostumustiedot saatiin tuottajalta (Stora Enso Varkauden tehdas). Kuoriliuotteen väri on tumman ruskea ja sitä muodostuu puun kuoren pesuliuksena. Prosessissa liuotteesta haihdutetaan vettä, jolloin sitä voidaan polttaa. Loppuosa liuotteesta kiertää tehtaan suljetussa vesikierrossa. Puun kuoren muodostamaa mikrohienoa kiintoainesta liuotteessa on 20 %. Loput liuotteesta on vettä ja veteen liuenneita erilaisia kemikaaleja kuten vaahdonestoaineita, polymeeria, natriumhydroksidia ja ravinneureaa.

Laboratoriotutkimuksia tehtiin aluksi kuoriliuotteesta ja bitumista valmistetulla emulsiosideaineella. Kuoriliuotteeseen oli mahdollista emulgoida 30 p-% bitumia. Stabiilia soratiemassaa saatiin, kun emulsion jäännösosideaineen määrä kiviaineksesta oli noin 3,0 p-%. Kuoriliuotteella käsitelty soratien kiviaines stabiloitui laboratorion tiivistyskokeissa melko hyvin. Soratien pölynsidontakokeessa kentällä kuoriliuotetta käytettiin sellaisenaan ruiskuttaen ja sekoittaen sitä soratien pinnan murskesoraan. Ennakkokoe kuoriliuotteen ruiskutusmäärästä tehtiin Varkaudessa (Miiluniemi), suljetulla tehdasalueella toukokuussa 2001. Koekohteeksi valittiin samoin toukokuussa 2001 toteutettu Länsi-Saamaisen paikallistie (soratie) Leppävirralla. Länsi-Saamaisten kenttäkokeen koeosuudet olivat seuraavat: *osuuus 1A*: 1-kertainen (noin 1,3 kg/m²) ruiskutus kuoriliuotteella tankkiautosta, *osuuus 2B*: 2-kertainen ruiskutus, *osuuus 3*: vertailu; kalsiumkloridisuolaa liuksena noin 1100 kg/km ja *osuuus 4*: yhdistelmä: 1-kertainen ruiskutus kuoriliuotteella + hiutalemaista CaCl₂-suolaa noin 250 kg/km.

Koeosuuksien kunnan arvioinnin perusteella myöhään syksyllä 2001 lievästi parhaiten toiminut oli koeosuuus 3 eli normaali suolaosuuus. Varsinaisista kuoriliuotteella käsitellyistä osuuksista oli koe 2B lievästi parempi kuin koe 1A. Arvio perustui osuuksittain laskettujen reikien, uranmuodostuksen ja irtosoran määriin pölyävyyden muutoksia määritettäessä. Kuoriliuotetta sisältäneet koeosuudet olivat pinnaltaan lievästi kovempia, vähemmän elastisia ja päällystemäisempiä kuin vertailusuolaosuuus. Seurannan perusteella reikiä muodostui enemmän päällystemäisimpiin kuoriliuotetta sisältäneisiin osuuksiin 1A ja 2B. Yhdistelmäosuuden 4 seurannan perusteella suolan käyttö yhdessä kuoriliuotteen kanssa antoi lievästi paremman tuloksen kuin kuoriliuote yksinään. Kuoriliuotetta olisi täten mahdollisessa käytössä lisättävissä ainakin pienennettyyn suolalisäykseen yhdistäen, jos myös kokonaisratkaisu näin osoittautuisi ympäristöllisesti paremmaksi ratkaisuksi kuin pelkkä suolaus.

Alueelle pystytetyn pohjaveden laadun seurantapisteestä otetuista vesinäytteistä tutkittiin raskasmetallit. Pohjaveden ottopisteen kloridin lähtöarvo ennen kenttäkoetta keväällä 2001 oli erittäin korkea, 84 mg/l. Kaivovedessä sallitaan kloridia 100 mg/kg. Kevään 2002 seurannassa kloridin määrä oli enää 25 mg/l. Pohjaveden laadun seurannassa lievä alkulisäys kevään 2001 ja syksyn 2001 määritysten välillä esiintyi sulfaatin ja sinkin määrissä. Periaatteessa sekä sinkki että sulfaatti voivat olla peräisin myös kuoriliuotteesta. Molempien määrä oli kuitenkin kevään 2002 määrityksissä taas pienentynyt. Kohteen pohjaveden laatuun kuoriliuotteen käytöllä ei ollut täten sanottavaa vaikutusta.

Kun kuoriliuotetta sidottiin ennen käyttöä bitumiemulsioon, oli tämän käyttö tehdyn hollantilaisen diffuusiotestin perusteella laboratoriossa tiivistetyssä massassa mahdollista, koska diffuusiotestin raja-arvot saatujen tulosten perusteella sallisivat tiivistetyn kuoriliuotemassakerroksen käytön kosteissakin olosuhteissa. Kuoriliuotteen ympäristöllisen sopivuuden tarkastelua hankaloitti kuitenkin liuoksen sisältämät melko monet eri yhdisteet, jolloin välttämättä kaikkia ainesosia ei tarkasteltu. Puun kuoriliuotteen raskasmetallien ja anionisten, maaperää ja vettä mahdollisesti pilaavien aineiden määrä oli laboratorion ennakkokokeissa kuitenkin pieni. Kuoriliuotteen muista kemikaaleista selvitettiin mineraaliöljyn, fenolin, urean, kloridin ja vesiliukoisen polymeerisen aineen määrällistä ympäristövaikutusta. Kentältä otetuissa soratiemassanäytteissä (seurantajakso 1 v) esiintyi seurattuja epäpuhtauksia arviolta alle sallittujen keskimääräisten maaperän raja-arvojen, vrt. SAMASE-selvitykset. Mitattua polymeerista, vesiliukoista epäpuhtautta oli kuoriliuotteessa alle 50 µg/l. Kuoriliuotteen polymeerinen aines on nykyisen tuotetiedon perusteella biohajoavaa, mutta sen hajoamisesta maaperässä on toistaiseksi vain melko vähän tietoa.

Koetien rakentamisen yhteydessä paikalliset asukkaat huomauttivat jonkin verran kuoriliuotteen lietteisestä hajusta ja tarttuvuudesta auton renkaisiin. Kuoriliuote on kuitenkin vesiliukoista ja irtoaa vesipesussa. Kuoriliuote on vähän emäksistä. Korroosiota ei kuitenkaan lähemmin selvitetty tässä tutkimuksessa. Lisätutkimuksin voitaisiin varmistua, että kuoriliuotteen ainesosat eivät jää hajoamatta ja, että ne ovat käyttäjäturvallisia. Kuoriliuotteen hyötykäyttöönottoa tienrakennuksessa tulisi harkita luontaisesti tiiviissä ja vähän vettä läpäisevässä käyttökohteessa. Kuoriliuotteen hyvistä ominaisuuksista tulisi hyödyntää stabiloivat ominaisuudet. Näihin tarkoituksiin konsentraatti soveltunee paremmin, koska stabiloidut kohteet ovat jo myös luonnostaan paremmin eristettyjä kuin soratien pölynsidonta.

Petri Peltonen: Puun kuoriliuotteen käytön arviointi soratien pölynsidonnassa [Evaluation of use of wood debarking solution in dust binding of gravel roads] Kuopio 2002. Finnish Road Administration. Finnra Reports 40/2002. 48 p. + app. 4 p. ISSN 1457-9871, ISBN 951-726-922-6, TIEH 3200771.

Keywords: gravel roads, dust binding, wood debarking water solution

SUMMARY

In the project it was researched in laboratory and in field, by the controlled environmental tests, the suitability of the wood debarking solution (concentrate from the Zedivap™ MVR-evaporator) for the dust binding of gravel roads. Knowledge was wanted on how the concentrate could behave as the substitute for normal calciumdichloride (CaCl_2) that is harmful for ground waters. Background literature on dust binding of gravel roads was also surveyed. Studies from this debarking concentrate has not been done before.

Producer of the wood debarking solution (Stora Enso Mills in Varkaus town) gave the consistency of the concentrate. Color of concentrate is dark-brown and the solution originates from the washing of wood bark. The water is evaporated and the concentrate can also be burned during the process. Rest of the water concentrate is circulated in the closed water circulation system of the factory. The micro sized solid bark consistency in concentrate is about 20 % by weight. Rest of the concentrate consists of water- soluble different chemicals like antifoaming compounds, polymer matter, sodiumhydroxide and technical urea.

Laboratory research was at first carried out from the emulsified binder that consisted of the debarking solution and bitumen. It was possible to emulgate bitumen, 30 % by weight, into the wood debarking solution (concentrate). It was obtained rather stabile gravel road mass where the rest bitumen amount of emulsion binder was about 3 % by the weight of aggregate. In the field test on the gravel road named Länsi-Saamainen, near the community of Leppävirta, the concentrate was used by spraying it directly to surface of the gravel road aggregate. The amount of the debarking solution in spraying was adjusted in pre-study in the closed Varkaus Mill area on the Miiluniemi road. Both field experiments were carried out in spring of year 2001 and were followed-up in this research for one year into the summer of year 2002. The test sections in Länsi-Saamainen field test were as follows: *test 1 A*: one-time spraying (about of $1,3 \text{ kg/m}^2$) from lorry tank, *2B*: two-time spraying, *3: reference* with normal dust binding (addition of CaCl_2 as water solution about of 1100 kg/km) and *section 4*: one-time spraying plus decreased addition of solid CaCl_2 about of 250 kg/km .

The best section, based on the condition of the test sections late in autumn in 2001, was evaluated to be the section 3: normal salt binding reference. From sections 1A and 2B a little bit better was the section 2B. Comparison of the sections was based on the amount of wholes, evenness (ruts) and on loose gravel materials (dustiness). The amount of wholes was highest on the debarking solution sections 1A and 2B because the concentrate made the gravel road surfaces too hard, less elastic and too pavement-like. Results on section 4, by addition of both debarking solution and decreased salting together, were rather good and showed that the debarking solution could partially be suited as the substitute for the normal salting.

The changes in heavy metal contents of the ground water by the side of the gravel road on section 2B were followed-up three times during the test. The contents of chloride in ground water was before the field test in spring 2001 very high, 84 mg/l. Allowed amount in well water is 100 mg/l. In spring 2002 the corresponding value, however, decreased to the level 25 mg/l. In two first water measurements the amounts of zinc (Zn) and sulphate (SO_4^{2-}) was increased. In theory, these two compounds could be originated from the debarking solution. In spring 2002, the amount of these compounds was, however, again decreased. All measurements were lower than the limit values for the ground waters. Any influences were thus not caused by the use of concentrate into the quality of ground water.

If the concentrate is planned to be used as compacted to the gravel mix with bitumen emulsion the Dutch diffusion test that was carried out in laboratory gave the results, based on that, the concentrate could be utilized in wet conditions. The study of the environmental suitability of concentrate for gravel roads was rather difficult because concentrate consist of rather many water-soluble compounds. In laboratory measurements the amounts of heavy metals and anionic impurities in concentrate was low. The environmental influences of compounds like mineral oil, phenol, urea, chloride and some water soluble polymer matter in concentrate were also researched. Meaning of the possible other compounds was not studied. In field mass samples (follow-up time 1 year) the amounts of the studied compounds were commonly less than the limit values for these impurities in earth obtained in the Finnish research on contaminated earths (SAMASE-project). In debarking solution the harmful water soluble polymeric amount was only of 50 $\mu\text{g/l}$. The polymer matter is presented to be biodegraded. There is not, however, results enough on the real degradation in earth and the environmental effects are still unspecified.

Local inhabitants made, during the construction of field tests, some remarks on the smell of debarking solution and remarks on adhesion of concentrate to the car tires. Debarking solution is, however, water soluble and can be washed out. Debarking solution is a little bit basic material. Corrosion of the concentrate was not, however, researched in this project. In connection of utilization of the debarking solution it is better to have more results on the degradation of the impurities and that the concentrate is technically also user-friendly. The usage of debarking solution is best to plan in stabilized places because these pavement structures prevent better the leaching than the dust surfacing.

When planning the further use for debarking solution the good stabilizing capacity of debarking solution should be taken into account. For this purposes the debarking solution could even suite better because these areas are better protected than the dust binding on gravel roads.

ESIPUHE

Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen Yhdyskuntatekniikassa (01.01.2001 lähtien VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka) on tutkittu aikaisemmin vain vähän puunjalostuksen sivutuotteiden sopivuutta pölynsidontaan. Puun kuoriliuotteen (Zedivap-haihduttamon konsentraatti) veden haihduttamista konsentraatin polttamiseksi tutkittiin Tekesin CACTUS -tutkimusohjelmassa, johon myös VTT osallistui. Soratien pinnan pölynsidonnassa puun kuoriliuotteen käyttömahdollisuuksia ei ole aikaisemmin tutkittu. Tutkimuksia on kylläkin tehty esim. kelirikkoisen soratientien savistabiloinnista ja Tielaitos on tutkinut pölynsidontaa käytännössä omissa tutkimuksissaan erittäin paljon.

Puunjalostusteollisuuden intressinä on ollut kehittää konsentraatin polton oheen myös materiaalitekniisiä hyödyntämisuotoja. Jos konsentraatin määrää pystyttäisiin vähentämään sellun suljetussa kemikaalikierrossa niin, että osavirta konsentraatista voitaisiin ohjata materiaaliseen hyötykäyttöön soodakattilapolton sijasta, olisi tästä yritykselle selvää etua. Konsentraatin soratiesovellutusten projektin käynnistämiseksi päätettiin syksyllä 1999. Yhteistyöhön osallistuivat teollisuus, Tekes, Tielaitos (nykyisin Tiehallinto ja Tieliikelaitos) ja VTT. Projektin vaiheiksi sovittiin taustakirjallisuuden tarkastelu, laboratoriokokeet ja soveltavat, ympäristövaikutukset huomioivat soratiekokeet. Kenttäkokeet toteutettiin projektissa keväällä 2001. Projekti tuli päättyä koetien seurannan jälkeen kesäkuussa 2002.

Tutkimuksen etenemistä on seurannut johtoryhmä, johon ovat osallistuneet:

- *Kauko Hellstén* Stora Enso Fine Papers Oy Varkauden tehdas, puheenjohtaja
- *Raimo Kuronen* Stora Enso Fine Papers Oy Varkauden tehdas (puheenjohtaja 19.04.2002 lähtien)
- *Harri Avelin* Stora Enso Fine Papers Oy Varkauden tehdas
- *Heikki Monto* Varenso Oy Varkaus
- *Risto Kiljala* TEKES Teknologiayksikkö Jyväskylä (v. 2000 loppuun asti)
- *Asko Pöyhönen* Tiehallinto, Savo-Karjalan tiepiiri Kuopio
- *Juhani Kohonen* Tiehallinto, Savo-Karjalan tiepiiri Kuopio
- *Petri Kettunen* Tieliikelaitos Leppävirta
- *Mikko Puttonen* Tieliikelaitos Jyväskylä
- *Rainer Gartz* StoraEnso Kotka (pöytäkirjaseuranta)
- *Petri Peltonen* VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, sihteeri.

Varkauden tehtaiden teknisenä yhteyshenkilönä on toiminut Harri Avelin. Tiehallinnon koetieyhteyshenkilönä on toiminut Juhani Kohonen. Tieliikelaitoksesta kenttäkokeen kuntoseurannan on tehnyt Petri Kettunen. Hän on projektin ohessa valmistellut aiheesta myös insinööriyötään. Julkaisun on kirjoittanut Petri Peltonen ja sen on viimeistellyt Tiehallinnon Savo-Karjalan tiepiiri. Johtoryhmä on kommentoinut julkaisun ennen painatusta.

Kuopio, kesäkuu 2002

Tiehallinto Savo-Karjalan tiepiiri

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	10
2	PUUN KUORILIUOTTEEN ALKUPERÄ JA KOOSTUMUS	11
2.1	Puun kuoriliuotteen alkuaineet	12
2.2	Puun kuoriliuotteen sisältämät muut yhdisteet	13
2.3	Puun kuoren liuotuksen parantamiseksi lisättävät kemikaalit	13
3	PÖLYNSIDONNAN KIRJALLISUUSKATSAUS	14
3.1	Pölynsidonta-aineiden käyttö Suomessa	14
3.1.1	Kalsiumkloridi	14
3.1.2	Magnesiumkloridi ja muut aineet	15
3.1.3	Bitumiemulsiot	15
3.2	Pölynsidontamateriaalien käytöstä USA:ssa	15
3.2.1	Pölynsidonta-aineet	15
3.2.2	Pölynsidonnan kenttäkokemukset	16
3.3	Pölynsidonnasta Australiassa	17
4	LABORATORIOKOKKEET	18
4.1	Bitumisen emulsion koostumuksen suunnittelu puun kuoriliuotteesta	18
4.2	Massan suhteitus puun kuoriliuotteesta valmistetulla bitumisella emulsiolla	18
4.3	Halkaisuvetolujuuksien vertailu	20
4.4	Puristuslujuuksien vertailu	22
4.5	Puristuslujuuksien lisämäärytykset hienommalla massalla	23
4.6	Yhteenveto puun kuoriliuotteen vaikutuksesta soratiemassan stabiloitumiseen	23
4.7	Pölynsidontakyvyn arviointi	24
5	KENTTÄKOKKEET	26
5.1	Tavoitteet	26
5.2	Puun kuoriliuotteen lisäsmäärän säätö Miiluniemen esikokeessa	26
5.3	Länsi-Saamaisten kenttäkoe	28
5.4	Koetien rakentamisen vaiheet	28
5.5	VTT:n Länsi-Saamaisissa tekemä kuntoseuranta	29
5.5.1	Vertailuosuuden seuranta	29
5.5.2	Puun kuoriliuotteen ja suolan käytön yhdistelmäosuus	30
5.5.3	Yksinkertaisen käsittelyn osuus puun kuoriliuotteella	30
5.5.4	Kaksinkertaisen käsittelyn osuus puun kuoriliuotteella	32
5.5.5	Koetieseurannan antaman kuvainformaation yhteenveto	33

5.6	Tieliikelaitoksen työnaikainen valvonta ja kuntoseuranta	34
5.7	Koetien kunnan seurantayhteenveto keväällä 2002	35
6	YMPÄRISTÖKELPOISUUS	36
6.1	Ympäristökelpoisuuden analysointimenetelmät	36
6.2	Puun kuoriliuotteen raskasmetallit	37
6.3	Tiivistetystä näytteestä liukenevien aineiden määrittäminen	38
6.4	Koetieltä otettujen näytteiden ympäristöseuranta	39
6.4.1	Massanäytteistä määritetyt pitoisuudet	39
6.5	Koetien pohjaveden ottopisteen pystyttäminen	40
6.5.1	Pohjaveden koostumuksen seuranta	41
6.6	Ympäristökelpoisuuden yhteenveto	42
7	YHTEENVETO	44
8	JATKOTUTKIMUSEHDOTUKSET	45
9	VIITTEET	46
10	LIITTEET	48

1 JOHDANTO

Suomen yleisistä teistä 37 % eli noin 27 700 km on sorateita /1/, /2/. Savo-Karjalan tiepiirissä mm. on hyvin laaja soratieverkosto. Sorateiden liikennesuorite on noin 5 % yleisten teiden liikennesuoritteesta. Yleisten teiden kunnossapidon kustannuksista noin 14 % kuluu sorateiden hoitoon. Vuonna 1993 käytettiin varoja sorateiden hoitoon ja kunnostukseen 244 milj. mk eli 8352 mk/km. Hoitotyön osuus oli 244 milj. mk ja kunnostuksen osuus 106 milj. mk.

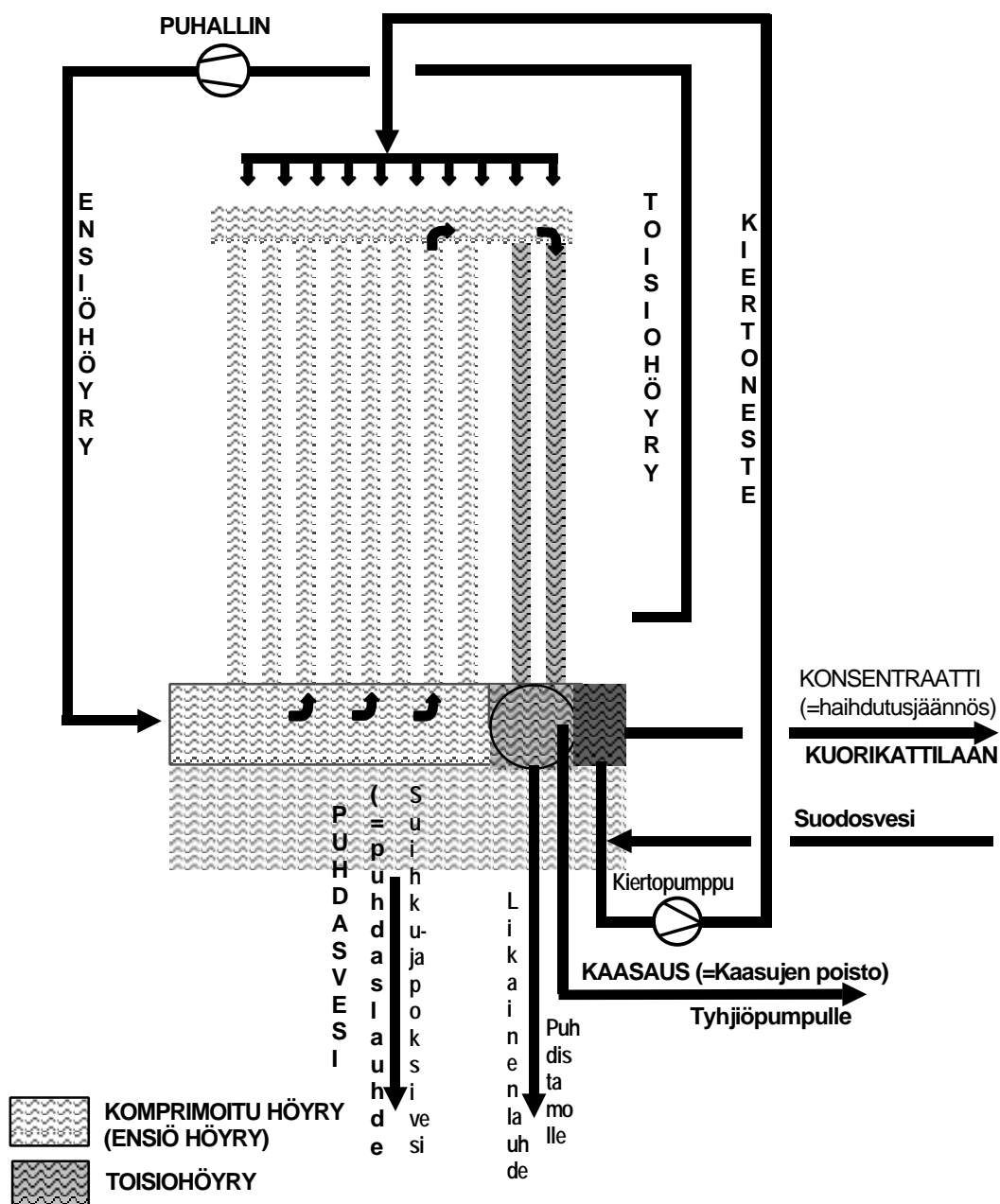
Kunnossapitomenetelmillä soratien pinta pidetään tasaisena, kiinteänä ja pölyämättömänä. Näin lisätään ajomukavuutta, vähennetään vierimisvastusta ja säästetään ajoneuvon polttoainekustannuksissa. Sorateiden kulutuskerroksen kunnossapito jakaantuu hoitomuotoihin kuten taseaus, muokkaus ja pölynsidonta. Pintakelirikon aikainen soratien hoitotyö on usein erilaista muokkaushöyläystä. Keväisessä pölynsidonnassa suolan levityksen jälkeen kulutuskerros sekoitetaan ja viimeistellään tiehöylällä. Tarvittaessa tie kastellaan, jotta suola liukenee paremmin kulutuskerrokseen. Liikenne ja suolaus tiivistävät pinnan.

Soratien kulutuskerros on soramursketta, kalliomursketta tai lisääntyvissä määrin morenimursketta. Kulutuspintaa sidostetaan lisäämällä tähän mm. savea tai kivituhkaa. Pölyä sidotaan erilaisin pölynsidontakemikaalein, joista yleisin on kalsiumkloridi. Sorateiden kuntotavoitteet perustuvat sorateiden kuntoluokitukseen, jossa muuttujina ovat soratien pinnan tasaisuus, sitoutuneisuus ja pölyäminen. Pinnan laatua ja tasaisuutta voivat kuvata mm. reiät, urat, halkeamat ja routavauriot. Sitoutuneisuus käsittää pinnan pehmenemisen ja irtoaineksen muodostuksen. Soratien pinnan materiaalien ennakkosuhteitus pinnan laadun onnistumisen suunnittelemiseksi ennakkoon on tärkeitä. Soratien kulutuskerroksen suurin sallittu raekoko on 16 mm. Hienoainesta, jonka raekoko on alle 0,074 mm on soratien pinnassa noin 10 - 16 %. Tutkimuksen ne osiot, joissa jatkossa käsitellään soratien pintausta SOP16, käsittelevät Zedivap-lietteen soveltuvuutta sorateiden pinnan pölynsidontaan, jota tämä julkaisu pääosin käsittelee.

Laboratoriossa tutkittiin myös bitumipohjaisen emulsiosideaineen valmistamista puun kuoriliuotteesta (Zedivap-konsentraatti) alustavasti mahdollisiin stabilointikohteisiin. Ne osiot laboratoriokokeista, joissa käsitellään tätä kantavan kerroksen stabiloitimahdollisuutta koskevat lähinnä massalla ABK25 ja puunkuoriliuote-emulsiolla saatuja tuloksia. Laboratoriotutkimuksissa selvitettiin täten puunkuoriliuotteen soveltamista käyttöön alustavasti kolmen-tyyppisessä mahdollisessa käyttömuodossa, jotka ovat soratien pintausta ja pölynsidonta, kelirikkoisen soratien kunnostus ja bitumiemulsiostabilointi. Varsinainen kenttäkoe tehtiin soratien pölynsidonnasta. Ennen koetietoimintaan siirtymistä tutkittiin laboratoriossa myös konsentraatin koostumusta ja vaikutuksia ympäristön kannalta. Julkaisu sisältää kirjallisuuden taustatiedot ja laboratoriossa määritetyt rakenteelliset ja ympäristölliset esikoetulokset. Näiden perusteella esitetään aiheesta julkaisussa keskitetysti soratien pölynsidonnan sovellutusten osio. Muita käyttömuotoja selvitetään mahdollisesti myöhemmin.

2 PUUN KUORILIUOTTEEN ALKUPERÄ JA KOOSTUMUS

Tutkimuksen puun kuoriliuote on toiselta nimeltään ns. Zedivap-konsentraattia, joka on peräisin Stora Enson Varkauden tehtailta, kuva 1.



Kuva 1. ZedivapTM MVR-haihduttamo, josta konsentraatti (puunkuoriliuote) on tutkimuksessa peräisin ja kiertää suljetussa kierrossa /1/.

Liute, joka on puun kuoren pesukonsentraattia sisältää mikrohienoa kuoriainesta 20 %. Vedessä on liuenneena eräitä liuotusta parantavia kemikaaleja. Konsentraatin väri on tumman ruskea. Kuvan 1 kaaviossa esitetään konsentraatista jätevesikäsitteilyyn ja muuhun kiertoon prosessissa syötettävät jakeet. Konsentraatti jaetaan kirkkaaseen ja likaiseen fraktioon. Kirkkaan fraktion kemiallinen hapenkulutus on vain noin 700 mg/l (COD), jolloin sitä voidaan käyttää kierrossa edelleen prosessivetenä. Kemiallinen hapenkulutus kuvaa tuotteen vaikutusta ympäristöön ja happea vedessä kuluttavaa vaikutusta ja on sitä parempi mitä pienempi ko. lukuarvo (COD) on. Likaantuneen konsentraatin COD-arvo on yli 4000 mg/l ja konsentraattia on puhdistettava jäteveden käsittelylaitoksessa, jotta sen kemiallinen hapenkulutus luonnossa ei kasvaisi liian suureksi.

Kierrosta saatavan konsentraatin kuiva-aineen määrä on lopulta noin 20 - 25 %. Loput konsentraatista on vettä ja muita kemikaaleja. Havupuiden kuoren liuottamiseksi veden liuotuskykyä tehostetaan lisäten pesuvetaan eri kemikaaleja, jotka tekevät konsentraatin koostumuksesta melko heterogeenisen liuoksen. Konsentraattiin joutuvaa pesuvettä on käytetty prosessissa mm. puiden jään poistoon urean lisäyksen avulla, puun pinnan pesuun ja kemikaalein vahvistettuna kuoren liuottamiseen. Puunkuoriliute eli kiintoainekseltaan noin 20 - 25 % Zedivap-konsentraatti on nykyprosessissa jatkuvassa suljetussa kierrossa ja sen pääasiallisena hyödyntämismuotona on polttaminen konsentroituna soodakattilassa.

2.1 Puun kuoriliuotteen alkuaineet

Pesuveteen kontaminoituu lisättyjen kemikaalien ohella myös puun kuoren orgaanisperäisiä yhdisteitä. Puun parkista liuenut orgaaninen aines voidaan pääosin jakaa kahteen ryhmään; helposti biohajoavat, haihtuvat yhdisteet ja näitä pysyvämmät ei-haihtuvat yhdisteet. Nykyinen puun kuoriliute on ympäristöystävällisempää, koska siinä on pystytty mm. fosforin kuormitusta jätevedenpuhdistamolla vähentämään alkuperäiseen nähden 90 %. Kun kuorimoprosessille mitattiin aluksi fosforikuormitus 30 kg/d (talviarvo), on nykyinen vertailuarvo enää tasolla 1,6 kg/d. Kuorimon jätevesikonsentraatissa on tyypillisen analyysin /3/ perusteella tämän kiintoaineksesta määritettynä 61,5 - 62,2 % orgaanisia aineita ja hehkuttaen (575°C) määritettynä tuhkaa 37,8 - 38,5 %. Kuorimoveden kemiallinen hapen kulutus, COD (Cremenetelmä) on suuruusluokkaa 28 000-31 000 mg/l. Konsentraatissa olevan kuiva-aineen alkuaineanalyysi on taulukossa 1.

Taulukko 1. Zedivap-konsentraatin kuiva-aineen alkuaineanalyysi /3/.

Alkuaine	C	H	O	N	S	Cl	Na	K	Ca	Si	Al
%	48,4	5,4	40,3	0,5	0,7	1,1	1,2	1,3	1,1	< 0,1	< 0,1
Alkuaine	Mn	Zn	Cu	Cr	Cd	Ni	Pb	As	Hg		
mg/kg	814	209	7	3	< 1	21	2	< 1	< 1		

2.2 Puun kuoriliuotteen sisältämät muut yhdisteet

Puun kuiva-aineesta on 10 - 15 % kuorta /4a/. Kuori voidaan jakaa seuraaviin jakeisiin: kuituaines, korkkisolut ja hienojakoinen puusoluaines. Havupuun kuori on rakenteeltaan hyvin heterogeenista. Kuoren kemiallinen koostumus on lisäksi monimutkainen. Kuoresta saadaan erilaisia uuteaineita 30 - 40 % kuiva-aineesta.

Tyypillisiä puun kuoresta veteen osin liukenevia aineita (15 - 20 % kuiva-aineesta) ovat erilaiset hiilihydraatit, sokerit, ja polysakkaridit kuten pektiini ja polyuronihapot sekä tanniini /4a/. Pekiini koostuu sokereista kuten galaktosista ja arabinoosista. Kuusen ja männyn kuoresta polysakkarideja on 10 - 12 % /3/. Kuoren sisältämistä kivennäisaineista tärkeimmät ovat N, P, Ca, K, Mg, Mn, Fe, Cu ja B. Tuhkaa kuoresta saadaan 2 - 5 %.

Tanniiniryhmän luonnonmukaisia parkkiaineita /4b/ on havupuun kuoressa. Tanniinit koostuvat:

- puun sokereista,
- gallushaposta ja
- tanniinit sisältävät lisäksi melko paljon fenolisia hydroksyyliyhmiä.

Tanniinien rakennetta ei täysin tunneta /5/. Tanniinit voivat joko hydrolysoitua tai kondensoitua. Tanniinit hajoavat hydrolyyttisesti. Hydrolysoituvien tanniinien rakenneosia ovat parkkihappo ja ellagihappo. Tanniinifraktio hapettuu helposti ja antaa siksi vesiuutteelle ruskean värin. Vesiuute sisältää myös pieniä määriä yksinkertaisia fenoleja (salisiini, koniferiini). Fenolisten komponenttien vaikutuksesta pieneliöihin ja kasvustoon tiedetään jo suhteellisen paljon, vaikka ohjeavot luonnossa ovat epäselviä /5/. Eräitä orgaanisia fenoleita kuten kloorifenolit pidetään tunnustetusti luonnolle haitallisina.

Veteen liukenematta jäävissä kuorihiukkasissa on paljon ns. kuoren ligniiniä. Ligniinin aines koostuu lähinnä suurimolekyylisistä fenolisista hapoista ja näissä on runsaasti karboksyyli- ja metoksyyliryhmiä. Tanniinien ja kuorimoveteen lisättävien kemikaalien välisistä hydrofiilisista reaktiotuotteista, lähinnä kuoresta tällöin alkoholiin, hiilivetyihin ja emäkseen liukenevista aineista ei ole tarkkaa tietoa. Lähinnä nämä yhdisteet voivat olla pienissä pitoisuuksissa joitain pitkäketjuisia hiilivetyjä, alkoholeja, rasvahappoja, terpeenejä, steroleja ja fenoleja /5/.

2.3 Puun kuoren liuotuksen parantamiseksi lisättävät kemikaalit

Kuorimoveteen syötettäviä kemikaaleja Varkauden tehtailla ovat seuraavat:

- 15 % NaOH-liuos (natriumhydroksidi)
- Polymeeri Winfloc D 325
- Vaahdonestoaineet Tensidef 212 ja Tensidef 930
- Ravinneurea

Zedivap-konsentraatti ja kiertovesi ovat emäksisiä vesiliuoksia. Natriumhydroksidi, NaOH on biologisesti hajoavaa. Ympäristövaikutukset riippuvat pH-tekijöistä. Runsas vesi neutraloi ja hydrolysoi tuotteen vaikutuksia ympäristössä hyvin. Suoria NaOH - päästöjä ei kuitenkaan vesistöihin sallita.

Winfloc-polymeeri on kemiallisesti akryyliamidin ja natriumakrylaatin muodostama suurimolekyylinen kopolymeeri. Anionisena polymeerina tämä jauhemainen granulaatti on täydellisesti veteen liukeneva eikä sisällä kloorihiilivetyjä. Polymeeri on tyypillinen vedenpuhdistusaine puunjalostuksessa. Polymeeriä käytetään kuorimoveden selkeyttämiseen kuivauksessa. Polymeeri puhdistaa veden kiintoaineista flokkaamalla eli kiinnittää veden kiinteät ainesosat itseensä, jolloin polymeeri edistää lietteen kuivausta. Anionisilla polyakryyliamideilla ei ole varsinaisesti osoitettu systemaattista toksista vaikutusta vesielioihin tai mikro-organismeihin (tieto perustuu tuote-esitteeseen). Biokeräytyminen ei ole ilmeisesti myöskään mahdollista, koska tuote liukenee veteen. UV-valon ja fotolyysin vaikutuksesta polymeeriketjut pilkkoutuvat ja nämä ovat edelleen otollisia mikrobiologiselle hajoamiselle. Akryyliamidia on kuitenkin varsinkin elintarviketeollisuudessa veteen liunneena ja tunnelityön kalotaisessa kiinteytysruiskutuksessa pidetty ympäristölle ja terveydelle haitallisena aineena ja sen hajoamisesta maaperässä on vain vähän tietoa. Talousveden raja-arvo akryyliamidille on pieni, 1 µg/l.

Lietteeseen joutuu prosessissa kahta vaahdonestoainetta Tensidef 212 ja Tensidef 930. Nämä ovat veteen liukenemattomia ja öljymäisiä nesteitä. Ainesosina Tensidef-tuotteissa ovat amidivaha, oksoalkoholi ja siloksaani-, mineraali- ja risiiniöljyt. Tensidef-yhdisteet estävät vaahto-ongelmaa ja parantavat suotautuvuutta erityisesti ruskeamassan pesussa. Tensidef 212 on silikonilla tehostettua mineraaliöljypohjaista vaahdonestoainetta selluprosessia varten. Tuotteiden mineraaliöljyn vuoksi niiden biologinen hajoavuus on osin estynyt. Ravinneureaa (EU nro 2003155, tekn. laatu) käytetään prosessissa talvikaudella kujettimien sulatukseen. Kemialliselta koostumukseltaan urea on karbamidia, joka on biologisesti hajoava yhdiste. Urean käyttö puun kuoriliuotteessa on hyvin pientä. Runsas käyttö urealla aiheuttaa liian suuria tyyppipäästöjä ja rehevöittää luontoa liikaa. Tutkimuksen koetiellä soratiemassasta seurattiin ympäristöarvoina puun kuoriliuotteelle ilmoitettujen haitta-aineiden määrää etenkin fenolin, mineraaliöljyjen, akryyliamidin, urean ja kloridin osalta.

3 PÖLYNSIDONNAN KIRJALLISUUSKATSAUS

3.1 Pölynsidonta-aineiden käyttö Suomessa

3.1.1 Kalsiumkloridi

Kalsiumkloridia (CaCl_2) valmistetaan kalkkikivestä ja suolahaposta. Kemiallisen prosessin tuloksena syntyvän hiutalesuolan CaCl_2 -pitoisuus on 77 - 80 %. Vesiliuoksena käyttäen väkevyys on maksimissaan 32 - 42 %. Yleinen suolauksen konsentraatio talvella on 42 %.

Liuos haetaan suoraan tehtaalta Kotkasta. Kalsiumkloridi liukenee hyvin veteen ja imee pölynsidonnassa kosteutta niin, että tien pinta säilyy pitkään kosteana. Kevään ensimmäinen pölynsidonta tehdään yleensä sekoitus-suolauksena muokkaushöyläyksen yhteydessä heti pintakelirikon loputtua. Koska ulkoiset ja rakenteelliset ominaisuudet soratiellä vaihtelevat, suola-

taan tiestöä usein tiekohtaisen suolaussuunnitelman mukaan. Tien leveyden ja vuorokausiliikenteen perusteella kevään pölynsidonnassa käytettävät hiutalesuolamäärät vaihtelevat välillä 0,7 - 2,5 t/km /2/. Pölynsidonnassa sorateilla käytettävät suolamäärät ovat nykykontrollissa harvoin liian suuria. Suolat muodostavat kuitenkin ympäristöllisesti tarkkailtavan, veden laatuun etenkin aroilla pohjavesialueilla vaikuttavan tekijän. Tällöin suolan käytön yhteydessä vaaditaan myös pohjaveden suojausta tien kohdalla.

3.1.2 Magnesiumkloridi ja muut aineet

Pölynsidonnassa on kalsiumkloridin ohella kokeiltu vähäisessä määrin magnesiumkloridia. Tämä on hygroskooppinen aine, jonka suolapitoisuus on noin 50 %. Tiekilometria kohti magnesiumkloridia tarvitaan 10 % kalsiumkloridia enemmän. Kalsiumkloridi on ollut Pohjoismaissa yleisin pölynsidontamateriaali. Etelä-Suomessa puutteena tämän käytössä on ollut lyhyt vaikutusaika. Tällöin pölynsidonta on jouduttu epäedullisina kesinä tekemään kahteen kertaan. Tämän perusteella on haettu vaihtoehtoisia pölynsidontamateriaaleja. Bitumiemulsion ja magnesiumkloridin ohella muita kokeiltuja pölynsidontamateriaaleja Suomessa ovat olleet sulfiittilipeä, kipsi, merivesi ja alumiinin sulatuksen EA-suola.

3.1.3 Bitumiemulsiot

Pölynsidonta bitumiemulsiolla Pohjoismaissa sai alkunsa Ruotsissa v. 1988. Vuodesta 1993 lähtien bitumiemulsiota on kokeiltu soratien pintauksiin myös Suomessa melko monissa koekohteissa /6/, /7/, /8/. Bitumiemulsio on eräs tapa saada bitumi kylmäkäsiteltävässä muodossa tiepäällysteen kuten soratien sidosaineeksi. Bitumiemulsio määritellään kahden toisiinsa liukenemattoman nesteen; veden ja kuumen, pisaroituneen bitumin seokseksi. Bitumiemulsio valmistetaan emulsion valmistuslaitteessa. Kuuma bitumi sekoituu voimakkaassa sekoituksessa pieniksi pisaroiksi veteen. Vesifaasi happamoidaan tavallisesti suolahapolla. Emulsioon lisätään eri amiinivalmisteita emulgaattoreiksi. Tämän tarkoituksena on stabiloida emulsiota. Ilman emulgaattoria bitumipisarat yhtyisivät uudelleen, vesi erottuisi ja emulsiosta tulisi epähomogeenista. Toistaiseksi kokeissa ei ole kuitenkaan onnistuttu niin hyvin, että pölynsidonta sorateilla bitumiemulsiolla olisi vakiintunut. Parhaalta ovat vaikuttaneet melko pienellä bitumin määrällä (jopa < 2 %) tehdyt kokeilut. Koska hyvin hienon soratien pinta voi vaatia tavallista notkeamman emulsion, tulisi paremmin pölynsidontaan soveltuvan bitumiemulsion kehitystyötä jatkaa edelleen.

3.2 Pölynsidontamateriaalien käytöstä USA:ssa

3.2.1 Pölynsidonta-aineet

Päällystämättömien sorateiden pölyävyyden kontrolloinnissa on ollut käytössä viitteen /9/ mukaan seuraavat aineet:

- lignosulfonaatti
- kloridit (kalsium ja magnesium)
- synteettiset polymeeriemulsiot

- savilisäaineet.

Lignosulfonaatilla tietä sidostettaessa on tärkeää esikastella tien pinta jo edellisenä iltana vedellä. Tällöin lignosulfonaatti, jota käytetään tien pinnan laadusta riippuen noin $2,26 \text{ l/m}^2$ penetroituu parhaiten. Pintakäsittely ulottuu yleensä 25 mm pintakerrokseen, mutta sitä voidaan tehostaa ulottaen käsittely 50 mm syvyyteen. Liikenteen vuoksi on tuotteen annettava riittävästi penetroitua pintaan. Jos pinta tiivistetään, käytetään tähän pneumaattista kumijyrää tai vedellä lastattua kuorma-autoa. Lignosulfonaattien jäämät tienpinnassa vaikuttavat edullisesti useita vuosia.

Kirjallisuudessa arvioitiin, että jos talvikausi käyttöalueella itsestään jo on hyvin kostea ja vähätuulinen ei kloridin lisäyksestä sinänsä ole suurta hyötyä. Magnesiumkloridin 30-prosenttista vesiliuosta ruiskutetaan noin $1,8 - 2,3 \text{ l/m}^2$. Kalsiumkloridin 38-prosenttista liuosta ruiskutetaan noin $1,3 - 1,6 \text{ l/m}^2$. Puhtailla (77 %) kalsiumkloridihiuksilla lisäysmäärä on noin $0,8 - 1,03 \text{ kg/m}^2$. Synteettisiin polymeeriemulsioihin kuuluvat akryyli- tai asetaattipolymeerit tai kopolymeerit. Näitä valmistetaan kalvo- ja maaliteollisuudelle. Tuotteista on jonkin verran kokemuksia soratien stabiloinnissa. Näille tuotteille suositellaan toistaiseksi kuitenkin varovaista käyttöönottoa ja ennakkotestejä pakkas-sula - ja kuiva-märkä -käyttäytymisestä tiivistenäytteillä. Testimenetelmäksi ehdotetaan standardia ASTM D 560. Mäntyöljyemulsioiden käyttöä koskevat samat huomautukset kuin synteettisiä emulsioita edellä.

Savilisäaineita (bentoniitti, natriummontmorilloniitti) käytetään $1,5 - 3 \%$ kiviaineksen kuivapainosta. Savilisäaineiden käytön etu on, että näillä liikenteen synnyttämä pöly nousee vain harvoin yli $0,9 \text{ m}$ korkeuteen. Savi sitoo samoin melko hyvin kivien irtoilua. Nämä edut ovat tekemässä tien savisidonnasta myös melko taloudellisen ratkaisun. Kun tienpinnassa on yli 15% alle $0,075 \text{ mm}$ hienoainesta, ja sademäärät sekä liikenne ovat korkeita, ei savoratie kestä vaurioitumatta. Modifioituja ja lisäaineistettuja bitumiemulsioita, hartsiemulsioita tai penetroituvia sivelyaineita, "primer-yhdisteet" on kehitetty rajoitetuissa pölynsidontakokeissa $1,4 - 4,53 \text{ l/m}^2$.

3.2.2 Pölynsidonnän kenttäkokemukset

Peter Bolander /9/ on esittänyt selvityksessään koosteen kemiallisista lisäaineista pölyävyyden kontrollointiin alemmalla tieverkolla USA:n Oregonin ja Washingtonin osavaltioissa. Tällä vuoristoseudulla on yhteensä $144\,900 \text{ km}$ päällystämättömiä teitä, joista $54\,700 \text{ km}$ on sorateitä.

Pitääkseen kunnossapitokustannukset mahdollisimman alhaisina, on alueellinen vuoristopalvelu USDA Forest Service, liikenneturvallisten syiden perusteella panostanut alueelle soveltuviin pölynsidontatuotteisiin ja tekniikoihin. Alueella eniten käytettyihin pölynsidontatuotteisiin kuuluvat: lignosulfonaatti, magnesiumkloridi ja kalsiumkloridi. Vuoden 1990 alusta lähtien lignosulfonaatit ovat kallistuneet. Tämän vuoksi alueella on kehitetty enemmän klorideita, synteettisiä polymeeriemulsioita, mäntyöljyemulsioita, stabiloituja kiviainespintauksia ja modifioituja bitumiemulsioita.

Ensimmäinen pölynsidontakoe tehtiin jo v. 1988 Washingtonin osavaltion lounaisosassa. Kokeessa verrattiin toisiinsa ammoniumlignosulfonaattia,

kalsiumkloridia, magnesiumkloridia ja erästä entsyymivalmistetta. Näistä arvioitiin alueelle parhaiten soveltuvaksi lignosulfonaatin. Vuonna 1991 tehtiin kenttäkoe Oregonin keskiosissa. Tuolloin verrattiin modifioituja bitumiemulsioita lignosulfonaattiin ja magnesiumkloridiin. Menestyksekkäin oli hartsilla modifioitu bitumiemulsio. Kaikki muut verratut tuotteet antoivat kuitenkin myös silmämääräisesti tyydyttävän pölynsidontatuloksen.

Laajimmat kenttäkokeet tehtiin Montanassa v. 1992. Tuolloin verrattiin toisiinsa seitsemää eri pölynsidontatuotetta. Kokeillut yhdisteet olivat seuraavat:

- Raakaöljyhartsiemulsio
- Akryylivinyliasettaatti-polymeeriemulsio
- Kopolymeeriemulsio
- Bitumiemulsio
- Magnesiumkloridi
- Mäntyöljypikiemulsio
- Kevyt mineraaliöljy.

Tuotteet ruiskutettiin tielle ja laimennettiin valmistajien antamien tietojen mukaan. Parhaiten menestyi magnesiumkloridi. Kaikilla käsitellyillä päällysteillä esiintyi kuitenkin kuoppia ja reikiintymistä. Bitumiemulsio-osuutta oli vaikea uudelleen käsitellä tiehöylällä. Höyläyksessä sekä magnesiumkloridi- että bitumiemulsio-osuudet kuitenkin pölynsiväivät vähiten.

3.3 Pölynsidonnasta Australiassa

Australiassa /10/ pidetään teiden pölyävyyttä laajana ongelmana maataloudessa ja kotitalouksissa teiden varsilla. Pöly on epäterveellistä hengitysilmassa, tieturvallisuus kärsii huonosta näkyvyydestä ja tiet vaurioituvat pölystä. Tiedot pölynsidontakemikaalien valinnasta perustuvat useita eri käyttäjämaita koskeneeseen laajaan kirjallisuuskatsaukseen /10/.

Pölynsidonnan kemikaalityypit olivat seuraavat:

- Kloridit ja suolat
- Lignosulfonaatit (Ca-, Na- ja NH₄-lignosulfonaatit)
- Sulfooitu raakaöljy, entsyymit
- Öljyt ja raakaöljypohjaiset sideaineet
- Mikrobiologiset sideaineet
- Polymeerit (polyvinylikloridi ja -asettaatti).

Yleisesti teille, joiden KVL on 50 - 250 voi suunnitella taloudellisia pölynsidontaratkaisuja esitetyin kemikaalein. Eri kemikaalien funktiona on sitoa pölyä eri tavoin ja ne valitaan käyttöympäristöön riskittömästi. Pölypartikkeleja pystytään yleensä lisäainein kiinnittämään toisiinsa paremmin. Tietyt lisäaineet sitovat ympäristön kosteutta, toiset vaikuttavat irtoaineksen sementoitumiseen, plastisoivat savea, joka tiivistyessään kovettuu tien pintaan jne. Mitään täysin varmaa pölynsidontatekniikkaa ei ole, mutta pölytasoa pystytään Australiassa nykytekniikoin tuntuvasti alentamaan. Tutkimus tähdentää lopuksi juuri käytännön kenttäkokeiden merkitystä pölynsidontakemikaalien toimivuuden ja taloudellisten ennakkovaikutusten todentamisessa.

4 LABORATORIOKOKKEET

4.1 Bitumisen emulsion koostumuksen suunnittelu puun kuoriliuotteesta

Kuoriliuotteesta (Zedivap-konsentraatti) ja bitumista suunniteltiin hankkeessa aluksi emulsiomainen sideaine, jonka reseptin suunnittelutulokset ovat liitteessä 1. Konsentraattiin voitiin emulgoida noin 30 p - % kuumaa bitumia. Käytössä olleiden komponenttien parhaaksi arvioidulle puunkuoriliuote-emulsiolle (resepti 8) saatiin seuraava koostumus ja ominaisuudet:

- Konsentraattiin emulgoidun bitumin määrä; Bitumi B160/220, 30 p-%
- Konsentraattia emulsiossa, 70 p-% (kiintoainesta konsentraatissa 20 p-%)
- Valmiin emulsiosideaineen kiintoainespitoisuus (bitumi+kuorihukkaset) haihduttaen oli 47 p-%
- Emulgaattorina käytettiin kaupallista amiinivalmistetta Lilamuls EM26; 0,4 p-%
- Stabilisaattoriksi lisättiin, CaCl_2 ; 1,0 p-%
- Valmiin emulsiosideaineen pH oli 7,3 (lähes neutraali)
- Murtumisindeksin arvo kvartsihiekkään tehtynä oli 100, jolloin sideaine murtui keskinopeasti
- Emulsiosideaineen viskositeetti 40 °C:ssa oli, 74 sekuntia. Vastaava arvo tavallisessa bitumiemulsiossa on noin 130 sekuntia.

Puunkuoriliuote-emulsion koostumus oli käyttöä ajatellen kohtalainen, mutta valmiissa massassa tuote murtui melko hitaasti, joka hidasti soratiemassan stabiloitumista. Reseptin 8 mukaisen emulsiosideaineen valmistuksessa korostui lisäksi komponenttien lisäysjärjestyksen tärkeys. Sideaine muodostui kohtalaisesti emulgoituneena vasta, kun järjestys oli seuraava:

1. Konsentraatti lämmitettiin noin 45°C lämpötilaan
2. Bitumi lämmitettiin noin 140°C lämpötilaan
3. Bitumi lisättiin vähitellen konsentraattiin voimakkaassa sekoituksessa (Ultra-Turrax -sekoitin), jolloin muodostui aluksi "suspensiomainen" sideaine
4. Tuotteeseen lisättiin emulgaattori ja stabilisaattori edelleen sekoittaen, jolloin, kun sekoitusta jatkettiin noin 5 - 10 min muodostui suhteellisen homogenisoitunut "emulsiomainen" sideaine

Alustavasti emulsiomaisen seossideaineen valmistukseen konsentraatista liittyi täten melko monta vaihetta.

Ainakin koekäytön kannalta puunkuoriliuotteen suora seostaminen 1:1 valmiiseen bitumiemulsioon tai puunkuoriliuotteen käyttö sellaisenaan olisi helpommin toteutettavissa. Ensimmäiset kenttäkokeet soratien pölynsidonnassa toteutettiin lisäten puunkuoriliuotetta sellaisenaan.

4.2 Massan suhteitus puun kuoriliuotteesta valmistetulla bitumisella emulsiolla

Koemassat valmistettiin käyttäen sideaineena reseptin 8 emulsiosideainetta. Massoina käytettiin Asfalttinormien stabiloinnin perusmassaa ABK 25 (asfalttibetoni; kantava kerros) ja SOP16 (soratien pintaussmassa). Kiviaineksenä oli Teiskon murskesora. Tästä kiviaineksestä suhteitettiin melko karkeat

massat. Myöhemmin valmistettiin myös hienompaa soratiemassaa. Kiviainekselle parhaan tiivistyvyyden antama vesipitoisuus optimoitiin Proctor-kokein: emulsion vesi + lisätty vesi on optimivesipitoisuus. Koemassat valmistettiin 50 kg sekoittimessa 25 kg annoksena, joka jaettiin 4 osaan. Kolme näistä massanäytteistä tiivistettiin isoihin muotteihin välittömästi. Tiivistykseen ICT 150 -laitteessa kului 4 min/näyte (100 kierrosta). Ensimmäinen näyte poistettiin n. 10 min. kuluttua muotista, jolloin 4. näyte voitiin muotittaa. Muut näytteet ensimmäistä lukuunottamatta poistettiin muotista n. 1 h ikäisenä. Muotista poiston jälkeen näyteliiriöitä vanhennettiin ja kovetettiin veden haihtumisen edistämiseksi rei'itetyllä alustalla seuraavasti: K-0 vertailuemulsiolla tehdyt näytteet 2 vk ja puunkuoriliuote-emulsiolla (kuvissa ja taulukoissa merkintä Zed-emulsio) tehdyt näytteet 3 vk. Näytteistä määritettiin suhteitusarvot; tyhjättila, kiviaineksen tyhjättila (KAT), bitumin täyttöaste (TA), halkaisuvetolujuus- ja puristuslujuusarvot sekä tiheys. Tulokset ovat taulukoissa 2 - 5.

Taulukko 2. Suhteitustulokset, tavallinen bitumiemulsio, massa ABK25.

ABK25/K-0	3,0 %	3,5 %	4,5 %
Tiheys kg/m ³	2081	2130	2148
Tyhjättila %	18,6	16,0	14,0
KAT %	25	23	23
TA %	25	32	41
Hvl +10 °C kN/m ²	308	476	482
Hvj +10 °C MPa	18	26	23
Puristuslujuus +20 °C, 14 vrk, MPa	0,55	0,67	0,60

Taulukko 3. Suhteitustulokset, tavallinen bitumiemulsio, kiviaines SOP16 varten.

Kiviaines SOP16/ K-0	3,0 %	3,5 %	4,5 %
Tiheys kg/m ³	1946	1987	2047
Tyhjättila %	23,9	21,7	18,0
KAT %	29	29	27
TA %	20	23	34
Hvl +10 °C kN/m ²	322	336	347
Hvj +10 °C MPa	16	15	12
Puristuslujuus +20 °C, 14 vrk, MPa	0,30	0,37	0,39

Taulukko 4. Suhteitustulokset Zed-emulsio, massa ABK25.

ABK25 (Zed)	3,0 %	3,5 %	4,0 %
Tiheys kg/m ³	2183	2214	2220
Tyhjättila %	14,6	12,7	11,8
KAT %	21	20	21
TA %	31	37	43
Hvl+10°C kN/m ²	204	177	137
Hvj +10 °C MPa	18	12	9
Puristuslujuus +20 °C, 14 vrk, MPa	0,63	0,60	0,46

Huom: Zed-emulsio vastaa puunkuoriliuote-emulsiota (resepti 8)

Taulukko 5. Suhteitustulokset Zedivap-bitumiemulsio, kiviaines SOP16 varten.

SOP16 (Zed)	3,0 %	4,0 %	5,0 %
Tiheys kg/m ³	2056	2093	2140
Tyhjätila %	19,4	16,9	13,6
KAT %	25	25	24
TA %	24	33	44
Hvl+10°C kN/m ²	187	110	58
Hvj +10 °C MPa	15	8	3
Puristuslujuus +20 °C, 14 vrk, MPa	0,58	0,41	0,28

Huom: pitoisuudet (%) tarkoittavat massaan emulsiosta jäävää jäännösbitumin määrää

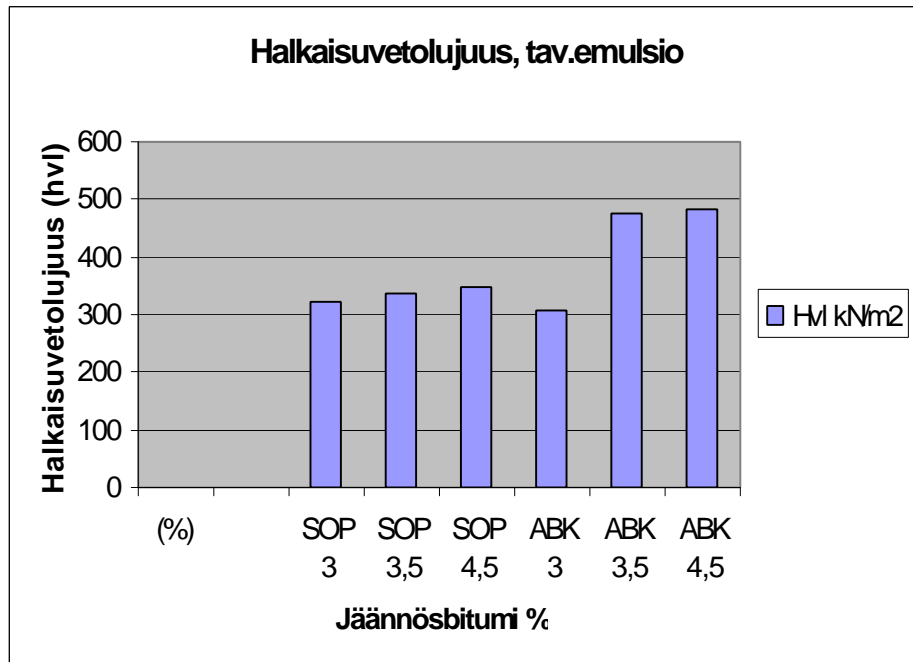
4.3 Halkaisuvetolujuuksien vertailu

Halkaisuvetolujuuden koemenettely on kuvassa 2.

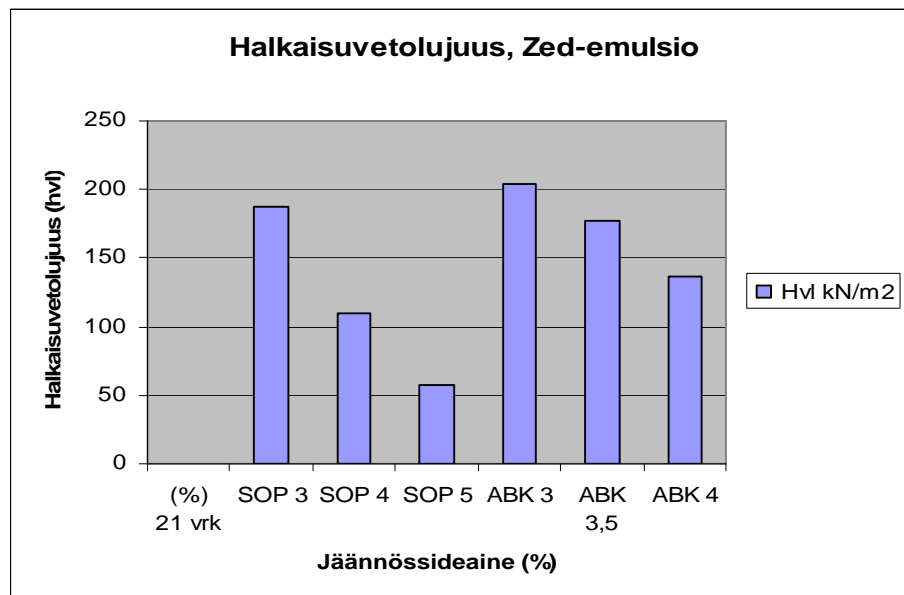


Kuva 2. Halkaisuvetolujuuden koemenettely.

Halkaisuvetolujuus tavallisella ja Zedivap-emulsiolla on kuvassa 3 ja 4.



Kuva 3. Halkaisuvetolujuus, tavallinen emulsio K-0.



Kuva 4. Halkaisuvetolujuus, Zed-emulsio (ZED puunkuoriliuotteesta).

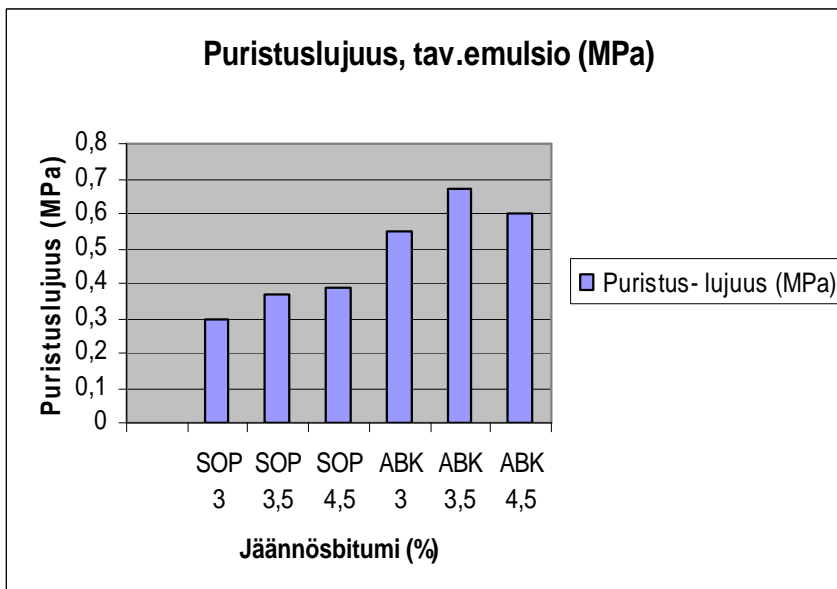
4.4 Puristuslujuuksien vertailu

Puristuslujuuskokeen koemenettely on kuvassa 5.

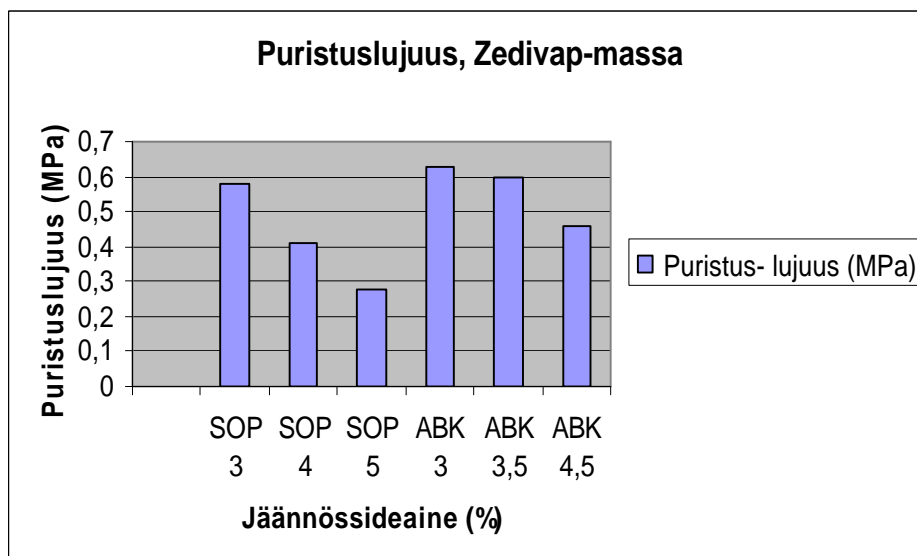


Kuva 5. Puristuslujuuskokeen koemenettely vertailunäytteellä.

Puristuslujuuskokeiden tulokset tavallisella ja Zedivap-massalla ovat kuvissa 6 ja 7.



Kuva 6. Tavallisella emulsiolla tehtyjen SOP16 -ja ABK25 -massojen puristuslujuudet.



Kuva 7. Zed-emulsiolla tehtyjen SOP16 -ja ABK25 -massojen puristuslujuudet.

4.5 Puristuslujuuksien lisämääritykset hienommalla massalla

Teiskon kiviaineksen karkeiden massojen lisäksi suhteitettiin tutkimuksessa Savo-Karjalan tiepiiristä (Leppävirta) toimitetusta murskesorasta hienempi SOP 16-massa laboratoriossa. Massasta valmistettiin lieriönäytteet, jotka vanhennettuina testattiin edelleen puristuslujuuskokeessa, koemenettely kuten kuva 5. Hienomman SOP 16-massan tulokset ovat taulukossa 6. Koska myös Leppävirran kiviaines oli suhteellisen karkeata, hienonnettiin tätä käyttäen lisänä 5 % Maantiekylän koneaseman kivipölyä.

Taulukko 6. Suhteitustulokset, ZED-emulsio, massa SOP16 (Leppävirran kiviaines)

SOP16/ZED	3,0 %	3,5 %	4,0 %
Massan tiheys, kg/m ³	2590	2570	2550
Tyhjätila, til. %	8	9	10
KAT, %	17	18	19
Täyttöaste, TA %	40	45	47
Puristuslujuus, ka., MPa	0,75	0,45	0,30

4.6 Yhteenveto puun kuoriliuotteen vaikutuksesta soratiemas- san stabiloitumiseen

Kirjallisuus osoitti, että puunkuoriliuotetta ei ole toistaiseksi kokeiltu, vaikka lignosulfonaatteja on paljon kokeiltu. Kirjallisuus vahvistaisi tällöin, että puun kuoriliuote, jossa on 20 % puun kuoren kuiva-ainesta (tutkittu konsentraatti tässä selvityksessä) voi olla soratien pinnan stabilointiin pölynsidontaa ajatellen, kokeilukelpoista, vrt. käyttö kuten lignosulfonaatit. Ympäristökelpoisuuden näkemykset (tarkastelu edellä) vaikutti myös puoltavan Zedivap-konsentraatin koekäyttöä soratien pölynsidonnassa aluksi kuitenkin kontrolloidussa tutkimuskohteessa sovituin ympäristöseurannoin.

Massan stabiloitumisen käynnistyminen vaikutti laboratoriokokeissa puun kuoriliuote-emulsiota sisältävällä bitumiemulsiolla melko hitaalta. Stabiloitumisen käynnistymistä emulsiosideaineen mahdollisia myöhempiä kokeiluja ajatellen, tarkasteltiin taulukossa 7 vielä eräitä VTT:n laboratoriokokeissa aikaisemmin saatuja stabiilisuuden kehittymisen vertailuarvoja.

Taulukko 7. Maksimipuristuslujuuksien keskiarvotulosten yhteenveto.

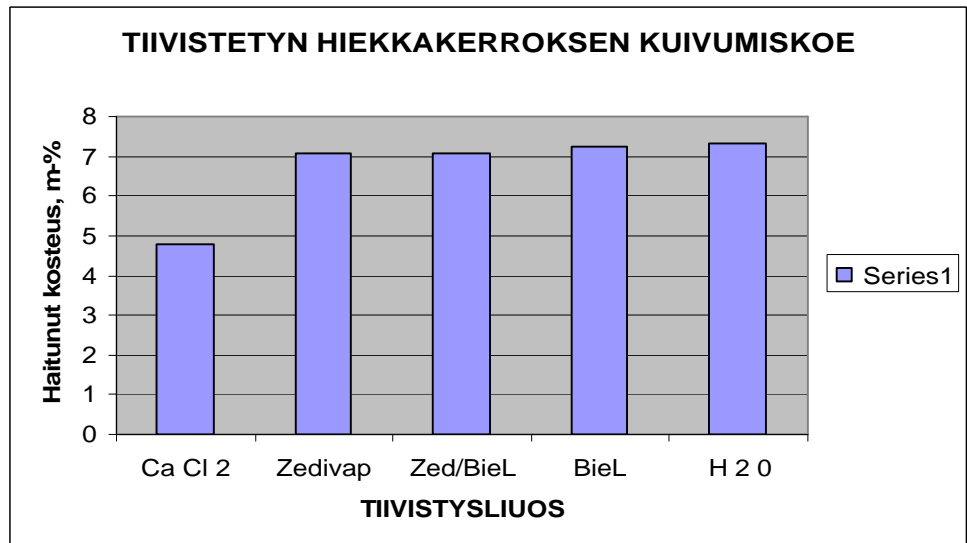
Massatyyppi	Sideainetyyppi	Jäännösideaine, p-% ²	Massan kovettumisaika, vrk	Maks.puristuslujuus, 20°C, MPa
ABK25 ¹	B80 (kuuma tav. bitumi)	4,5	2	3,12
ABK25 ¹	K-O B160/220 (tav.emulsio)	3,6	17	1,16
ABK25 ¹	K-O B160/220 (tav. emulsio)	4,0	17	1,28
SOP16 (karkea)	L-O B160/220 (tav.emulsio)	4,5	14	0,39
SOP16 (karkea)	Zed-emulsio	3,0	21	0,58
SOP16 (hieno)	Zed-emulsio	3,0	21	0,75
ABK25	L-O B160/220 (tav.emulsio)	3,5	14	0,67
ABK25	Zed-emulsio	3,0	21	0,63

¹ Katso viite /11/, ² Määrä, jolla maksimi-arvo saavutettu

Laboratoriokokeet eivät kovin tarkasti ilmaisseet stabiloitumisen tasoa, koska tämä riippuu sideaineesta, kiviaineskäyrästä, vanhennusajasta jne. Karkeasti arvioiden kuumamassan (tehty tavallisesta bitumista) stabiilisuus oli noin 3 MPa ja kylmämassan (tehty tav. emulsiosta) 14 - 21 vrk vanhenuksen jälkeen noin 0,4 - 1,3 MPa. Kylmämassan stabiilisuuden tulee periaatteessa vanhennuttuaan lähestyä kuumamassan stabiilisuutta, koska molemmissa on samankovuisen bitumi sideaineena. Tarkastellussa vanhenuksen jaksossa, 14 - 21 vrk massan valmistuksen jälkeen, ei kuitenkaan voitu osoittaa, että Zed-emulsiota sisältävän massan stabiloituvuus ainakaan kovin paljon eroaisi normaalin bitumiemulsiomassan stabiloituvuudesta. Hienommalla kiviaineksella stabiloituvuus lievästi kasvoi, vrt. SOP16 Teiskon kiviaines ja Leppävirran kiviaines. Zed-emulsion stabiloituvuuskykyä tulisi myöhemmin mahdollisesti kokeilla kenttäolosuhteissa, koska laboratoriossa käytännön tekijöitä ei pysty täysin jäljittämään.

4.7 Pölynsidontakyvyn arviointi

Pölynsidontakokeita ei ole laboratoriossa standardoitu, vaan ne on modifioitu käyttötarkoituksen mukaan. Näytteeseen sitoutumatonta pölyä voidaan esim. seuloa erikseen sitoutuneesta massasta. Koska pölynsidonnassa on tärkeää massan säilyminen mahdollisimman pitkään kosteana, päädyttiin työssä kosteuden säilymistä määrittämään punnitustestillä. Punnitustestissä samalla tavoin tiivistettyjä ja samaan alkukosteuteen eri liuoksin kostutettuja hiekkakerroksia kuivattiin huoneenlämmössä 13 vrk ajan. Punnitukset tehtiin analyysiväällä. Hiekkakerroksen raekoko oli 0 - 5 mm. Tulokset kts. kuva 8 ja koejärjestely, kuva 9.



Kuva 8. Eri pölynsidontaliuksin kostutettujen hiekkapintojen kuivuminen.

Testin käytännön yhteyttä on vaikea arvioida. Tulosten mukaan arvioiden kuitenkin kerros, josta poistui kosteutta vähiten, säilyy käytännössä vähiten pölyävänä. Tämän arvion perusteella eniten pölyä sitoo CaCl_2 -liuksella kostutettu kerros, mikä on myös käytännössä osoitettu.

Testissä, kuva 9 kosteuden haihtuminen oli pienin CaCl_2 :lla sidotussa hiekkapinnassa. Tämä selittyy pinnan sisältämien Ca-ionien kosteushakuisuudella. Puunkuoriliuotteella kostutettu pinta pysyi vain lievästi kosteampana kuin muut verratut puunkuoriliuote-, emulsio- ja vesikyllästeiset pinnat. Kokeen lopussa puunkuoriliuotepinnassa oli kosteutta 0,26 m-% enemmän kuin normaali vedellä kostutetussa pinnassa. Vaikutusta voisi mahdollisesti parantaa, jos puunkuoriliuote olisi konsentroidumpaa ja siinä olisi enemmän vettä sitovia puun kuorihiukkasia.



Kuva 9. Kuivumisaikakokeen (pölynsidonta) koejärjestely.

5 KENTTÄKOKEET

5.1 Tavoitteet

Kenttäkokeet tehtiin sorateiden pölynsidonnasta. Soratiekokeiden tavoitteena oli mm. seuraavaa:

- Selvittää käytön edellytyksiä soratien pölynsidonnassa ja löytää konsentraatille polton oheen materiaalin ja ympäristöllinen hyötykäyttömuoto
- Konsentraatin luonnonmukaiseen käyttöön liittyy toisaalta suolauksen määrän vähentäminen, koska suolauksen käyttöä pyritään vähentämään aroilla pohjavesialueilla. Toisaalta Zedivap-konsentraattia haluttiin tällöin kokeilla aluksi valvotusti sekä massan että pohjaveden laatumuutosten osalta.

5.2 Puun kuoriliuotteen lisäysmäärän säätö Miiluniemen esiko- keessa

Miiluniemen ennakoiva koe pölynsidonnasta toteutettiin Varkauden tehtaiden suljetulla tehdasalueella, Miiluniemeen johtavalla tiellä toukokuun 2001 alussa. Hyödynnettävyyttä ja kelpoisuutta tarkasteltiin lisäten kolmeen noin 50 m mittaiseen karkeaan soratieosuuteen yksi-, kaksi- ja kolminkertainen käsittely konsentraatilla suoraan vesitankista ruiskuttaen. Arvioidut lisäysmäärät ovat taulukossa 8. Yksinkertaisessa ruiskutuksessa puunkuoriliuotetta lisättiin noin 1,3 kg/m². Sekoitus tapahtui tiehöylällä. Vaiheet olivat ennakko-
keessa periaatteessa samat kuin tulevassa varsinaisessa Länsi-Saamaisten kokeessa:

- Ruiskutetaan konsentraatti soratien pintamateriaaliin, joka on aukaistu tien pinnasta tiehöylällä, kts. julkaisun kansikuva
- Sekoitetaan soratien pinta tiehöylällä ja tehdään mahdollinen toinen käsittely
- Sekoitetaan, tasataan ja annetaan liikenteen tiivistää valmis soratie

Soratien pinnan ruiskutuksesta Miiluniemessä on otettu kuva 10.



Kuva 10. Puun kuoriliuotteen ruiskutus höylättyyn soratien pintaan esikokeessa. Pinta karkeampi kuin varsinaisessa kokeessa.

Esikokeen perusteella tehdyt laskelmat on eri osuuksien mahdollisista si-
deainemenekeistä esitetty seuraavissa taulukoissa 8 - 9.

Taulukko 8. Ennakkokokeilun massanäytteiden keskimääräiset tulokset. Miiluniemi
04.05.2001.

Näyte	Vesi %	Rakeisuus	Zedivap-konsentraatti ¹		
Soramurske	2,41 (116,7 g)	-			
1-kert.käsitt.	Kok.märkä- massa, kg	Vesi %	Määrä, %	kg/m ²	l(itraa)/m ²
1	6064	10,2 (620 g)	9,8	-	-
2 ² (0,5 m ²)	5389	11,1 (597 g)	10,8	1,2	1,1
2-kert.käsitt.					
3 (0,25 m ²)	6616	8,9 (591g)	8,2	2,2	2,0
3-kert.käsitt.					
4 ³ (0,25 m ²)	5580	8,9 (495 g)	8,1	-	
5 ³ (0,25 m ²)	7030	8,7 (614 g)	7,9	4,0	3,7

Huom: ¹Laskennalliset arvot, ²massanäyte otettu 0,5 m² alalta, ³ (4+5) -näytteiden massat yhteensä vastaa 0,25 m² massamäärää. 1 litra Zedivap-lientä painaa 1,0804 kg.

Miiluniemen kulutuksen perusteella lasketut ainesmenekit, ks. taulukko 9.

Taulukko 9. Miiluniemen kokeen keskimääräinen kuoriliuotteen menekki eri ruiskutusmääriin.

Ruiskutuskerta	kg/m ²	l/m ²	t/km
1-kert. ruiskutus	1,3	1,2	6,3
2-kert. ruiskutus	2,4	2,3	12,2
3-kert. ruiskutus	4,0	3,7	18,4

5.3 Länsi-Saamaisten kenttäkoe

Varsinainen puunkuoriliuotteen pölynsidonnassa kenttäkoe toteutettiin Savo-Karjalan tiepiirissä Länsi-Saamaisten tiellä Leppävirralla, koska tänne konsentraatin kuljetusmatka Varkauden tehtailta ei muodostunut liian pitkäksi. Kenttäkohteeseen yritys haki ilmoitusmenettelyn perusteella ympäristölliseen koetointaan oikeuttavan luvan yhteistyössä kenttäkokeen suorituskunnasta. Koekohteesta Tielaitos informoi koalueen asukkaita.

Tarkemmin kohteeksi valittiin seuraava kohde:

- Länsi-Saamaisen paikallistie no. 16357 tieosalla 02 ja 03
- Ennakkokokeessa saatujen lisäysokeemusten perusteella varsinainen kenttäkoe päätettiin toteuttaa koeosuuksien, jotka ovat seuraavassa taulukossa 10. Koeosuudet on esitetty lisäksi kartalehdin liitteessä 2.

Taulukko 10. Leppävirran koeosuudet ja ainesmenekit.

Osuus kartalla	Käsittelykertojen määrä	Resepti (noin) t/km	Lisäsuola CaCl ₂ t/km	Alkupaalu	Loppupaalu	Koe pituus m	Toimenpide
1A	1	6,25	-	03/1845	03/2865	1020	1xZed
2B	2	12,15	-	2865	3620	755	2xZed
3 vert.	-	-	1,0	02/1930	02/2600	670	1100 kg/km suola-raevert.
4 yhd.	1	6,25	0,25	4630	5730	1100	1xZed+ 250 kg/km suola-rae

5.4 Koetien rakentamisen vaiheet

Koetien rakentamisen vaiheita on selostettu lähemmin tutkimuksen ohessa Tieliikelaitoksessa toteutettavassa insinöörityössä /12/. Kenttäkokeissa käytettiin normaalisti soratien kunnostuksessa käytettyä kalustoa.

Kiviainesmateriaalina oli alueen oma 0 - 16 mm sora-ainemuske. Tätä lisättiin syysorastuksessa tarvittava määrä. Työvaiheet olivat seuraavat:

- murskesoran lisäys
- muokkaushöyläys
- konsentraatin lisäys / suolan levitys
- kulutuskerroksen sekoittaminen ja viimeistely tiehöylällä

Levityslaitteisto muodostui seuraavasta kalustosta:

- kaksi kuorma-autoa varustettuna liuossäiliöillä ja levityspalkilla
- tiehöylä tappiterillä ja karheenlevittimellä
- kevytkuorma-auto hiekoitushiekan levittimellä (käyttö suolan levitykseen mahdollinen).

Puunkuoriliuotteen lämpötila oli tuotaessa noin +60 °C. Valumisen estämiseksi konsentraatti ruiskutettiin valmiiksi muokattuun soratien pintaan. Yhdellä käsittelykerralla konsentraattia ruiskutettiin kahden levityspalkin leveyden verran, jolloin levitysleveydeksi muodostui yhteensä noin 5 m.

5.5 VTT:n Länsi-Saamaisissa tekemä kuntoseuranta

Koekohteiden kunnon etenemistä VTT seurasi kuvaten koeosuudet digitaalikameralla aloitusvaiheessa 14.5.2001 jälkeen, kesällä 18.07.2001, syksyllä 2001 sekä edelleen keväällä 19.04.2002. Seurantaan liittyi massanäytteiden otto osuiksittain ja näiden koostumuksen kemialliset testaukset. Lisäksi otettiin näytteet seurantapisteen pohjavedestä ja tutkittiin tämän koostumusta. Tieliikelaitos seurasi kohteen kuntoa erillisesti insinööryönä /12/.

5.5.1 Vertailuosuuden seuranta

Tutkimuksen vertailuosuutena oli osuus no. 3. Tällä osuudella käytettiin normaalia CaCl_2 - pölynsidontaa. Tien pinta tasattiin tiehöylällä ja suolaa levitettiin noin 1100 kg/tiekm. Suola levitettiin liuoksena. Tien pinnan tiivistettiin suolauksen jälkeen liikenne. Vertailuosuudelta otetut seurantakuvat heti valmistuksen jälkeen ja syksyllä 2001 ovat kuvissa 13 -14.



Kuva 11. Vertailukoeosuuden no. 3, normaali liuossuolaus, näkymä 18.07.2001.



Kuva 12. Vertailukoeosuuden no. 3, normaali liuosuolaus, näkymä syksyllä 04.10.2001.

5.5.2 Puun kuoriliuotteen ja suolan käytön yhdistelmäosuus

Koeosuudelle no. 4 tehtiin yksinkertainen ruiskutus konsentraatista ja lisäksi suolan lisäys 250 kg/tiekkm.

Suola levitettiin kostean pinnan päälle kevytkuorma-autosta rakeina, kuva 13. Suolarakeiden annettiin näin liueta pintaan vähitellen tämän tiivistyessä. Kuvan 14 perusteella osuus muuttui lievästi reikiintyvään suuntaan syksyllä 2001. Kuopat olivat kuitenkin suhteellisen loivareunaisia.

5.5.3 Yksinkertaisen käsittelyn osuus puun kuoriliuotteella

Koeosuuden no. 1A ; yksinkertaisen puunkuoriliuoteruiskutusosuuden seurannan lähtökuvana on esitetty kuvassa 15. Ruiskutuksen jälkeen soratien pintamassa homogenisoitiin ennen tiivistymistä kaksinkertaisella muokkauksella. Liettynyt massa tarttui jonkin verran ohiajajien ajoneuvojen renkaisiin. Liikennöitävyys kuitenkin saavutettiin melko nopeasti. Jonkin verran massa siirtyi huonosti tiehöylän emäterässä ja karheenlevittimessä. Työn yhteydessä havaittiin massassa jonkin verran "lietmäistä" hajuhaittaa. Koekohteen haittojen reklamointi asukkaiden osalta oli kuitenkin ennakkouutisoinnista johtuen melko pientä. Lähemmin nämä mielipiteet on esitetty insinööriyössä /12/.



Kuva 13. Yhdistelmäosuuden no. 4 (1 x Zed + 250 kg suolan levitys) seuranta, aloitusvaihe kevät 2001.



Kuva 14. Koeosuuden no. 4 (1 x Zed + 250 kg suola) pinta muuttumassa lievästi reikiintyväksi syksyllä 2001.



Kuva 15. Koeosuus 1A: heti 1 x Zed-käsittelyä seuranneena päivänä, kevät 2001.

5.5.4 Kaksinkertaisen käsittelyn osuus puun kuoriliuotteella

Kuvissa 16 - 17 on seurattu kaksinkertaisen käsittelyn koeosuuden 2B kuntoa.



Kuva 16. Koeosuuden 2B: 2 x Zed, kunto lähtötilanteessa keväällä 2001 noin 2 vrk käsittelystä.

Koeosuus 2B muokattiin kolmeen kertaan homogeeniseksi. Massa roiskui vähän ja tarttui ajoneuvoihin muokkauksessa. Soratien pinta stabiloitui aluksi melko hitaasti. Kuivuttuaan pinta oli päällystemäinen, kuvat 16 ja 17.



Kuva 17. Koeosuuden 2B: 2 x Zed, kunto syksyllä 2001.

5.5.5 Koetieseurannan antaman kuvainformaation yhteenveto

Koetien kunnan seurannassa oli havittavissa selvästi kolmen erityyppisen vuodenajan vaikutus. Heti käsittelyssä esim. koeosuus 2B oli kostea ja melko hitaasti tiivistyvä. Erittäin kuivana kesäkautena koeosuus alkoi vähitellen urautua, koska siitä tuli tiivistyttyään melko päällystemäinen. Kesällä lisäksi esiintyi selvästi murskesoran kulkeutumista tienviereen. Kuvassa 18 nähdään erityisesti kuivan kesän vaikutus kivien irtoiluun. Myöhään syksyllä (kuva 19) koeosuus 2B sisälsi sekä tasaisia että jonkin verran urautuneita kohtia. Koeosuudesta löytyi myös jo reikiintymistä.

Sekä koeosuudella 1A että 2B oli jo syksyllä 2001 alkanut reikiintyminen, ks. kuva 19. Tosin osuudella 2B oli myös hyviä ja sileitä alueita vielä syksyllä 2001 melko paljon. Kuva 12 vertailuosuudella osoitti, että normaalisuolauksella ei ollut syksyyn 2001 mennessä muodostunut kovin suurta reikiintymistä.

VTT:n kuvaseurannan mukaan, kun arvioitiin koetien kuvien näkymää kuoppaisuuden (reikien) perusteella, koeosuudet asettuivat syksyllä 2001 kuntojärjestykseen, paraskuntoisin osuus ensin mainittuna:

- (1) normaalisuolaus
- (2) yhdistelmäsuolaus + konsentraatti
- (3) konsentraatti, kaksinkertainen käsittely
- (4) konsentraatti, yksinkertainen käsittely.

Tämän perusteella konsentraatti muodostaa soratien pintaan päällystemäisen ja kovan pintakerroksen ja ainakin alustavan arvion perusteella tulos oli-

si parempi (soratie säilyisi liikenteessä elastisempänä), jos myös suolaa liittäisiin kuten yhdistelmäosuudella tehtiin.



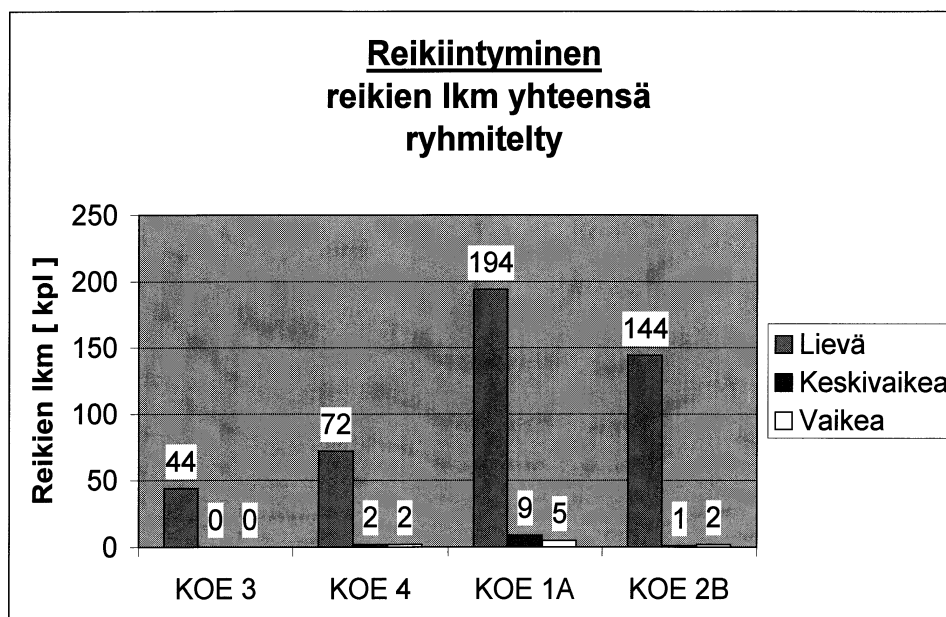
Kuva 18. Koeosuuden 2B irtosoraisuus näkyy hyvin 18.07.2001 otetussa seuranta-kuvassa.



Kuva 19. Alkavaa kuopan/reiän muodostusta koeosuudella 1A syksyllä 2001.

5.6 Tieliikelaitoksen työnaikainen valvonta ja kuntoseuranta

Tiehallinto, Tieliikelaitos ja VTT asettivat edustajat työn rakentamisen valvontaan. VTT:n seurannan ohessa tutkimuksesta valmisteltiin insinööriyötä /12/. Kuvassa 20. esitetään insinööriyön luonnoksesta /12/ referoitu reikien lukumäärää osuuksittain ryhmittelevä kooste. Tämä kuvasi melko hyvin osuuksien kunnon kehittymistä ja havainnot vastasivat myös VTT:n seurannan havaintoja.



Kuva 20. Tielikelaitoksen kooste koeosuuksien reikiintymisestä myöhään syksyllä 2001 /17/.

Yhdistelmäkoosuuden reikiintymisalttiuden perusteella konsentraatti vaatisi toimiakseen elastisemmin normaalisuolan osittaista käyttöä. Tällöin suolan määrää olisi mahdollista vähentää, mutta ei kokonaan luopua sen käytöstä. Voi olla, että konsentraatilla pölynsidonnassa käytettynä on soratien pintaan liian päällystemäisesti sitova ja tiivistävä vaikutus, jolloin konsentraatin käyttö ei tämän perusteella ainakaan käynnistyisi välittömästi ilman lisäselvityksiä tässä käyttömuodossa. Tulokset viittaisivatkin konsentraatin mahdollisiin käyttökokeiluihin stabiloivassa kerroksessa esim. asfaltin kulu- tuskerroksen alla nykyisin käytettävän bitumiemulsiostabiloinnin tapaan tai esim. kierrätysaineita sisältävillä varastoalueilla. Näissä on myös usein jo rakennettuna pohjaveden suojaus.

5.7 Koetien kunnan seurantayhteenveto keväällä 2002

VTT teki kohteessa vielä kuntoseurantakäynnin 19.04.2002 jolloin kelirikko- kausi oli jo alkamassa. Tällöin lumi oli esim. koeosuudella 2B, kuva 21, juuri sulanut ja koetie oli erittäin märkä.



Kuva 21. Koeosuuden kuntonäkymä VTT:n katselmuksessa 19.04.2002. Pohjaveden näytteenottamo tien notkelmassa kuvassa vasemmalla.

Havaintona oli, että reikiintymiserot olivat talven aikana yllättävästi pienentyneet osuiksittain tai reikiä ei näkynyt, kun soratien pinta kaikilla osuiksilla oli märkä. Väriin perusteella puunkuoriliuotetta ei näkynyt enää aivan pinnassa. Näytteenotossa sitä löytyi selvästi kuitenkin vielä noin 2 cm syvyydeltä pinnan alta edelleen kiinteänomaisena kerroksena.

Tieliikelaitos piti osuiksien pintoja kuitenkin kevään nopean kuivattavan lämpöaallon seurauksesta (lämmiin kevät/yllättävän lyhyt kelirikko-kaus) liian pölyävinä ja osuiksilla oli tehtävä paikallisten asukkaiden viihtyvyyden parantamiseksi normaali suolauskäsittely. Periaatteessa koetien kunnon varsinaista seurantaa ei voida täten vertailuperiaatteella (reiät, tasaisuus, urat jne. vertailu) enää kohteessa jatkaa. Kuva 20 kertoo täten kohteen kunnon seurannan lopputulokset.

Pohjaveden näytteenottopisteestä olisi kuitenkin hyvä jatkaa kohteessa seurantaa edelleen, koska puunkuoriliuotteen soratien pinnassa jäljellä olevaa määrää ei esim. lisäorastuksella ole kohteessa vielä varsinaisin hoitotoimenpitein mitenkään muutettu.

6 YMPÄRISTÖKELPOISUUS

6.1 Ympäristökelpoisuuden analysointimenetelmät

Konsentraatin ympäristökelpoista käyttöä perusteltiin sillä, että puusta varsinaisesti veteen liukenevat aineet ovat luonnontuotteita. Nämä eivät myöskään pieninä pitoisuuksina normaalisti likaa ympäristöä. Prosessissa puun kuoren liuotusta tehostetaan kuitenkin eri kemikaalein. Tällöin konsentraatin ympäristökelpoisuuden perusvaikutukset ennen mahdollisia käytännön kokeiluja on hyvä testata ennakkoon laboratoriossa. Tämän vuoksi puunkuori-

liuotteesta testattiin ennakkoon raskasmetallien kuten Mn, Zn, Cu, Cr, Cd, Ni, Pb, As ja Hg määrät. Lisäksi testattiin hollantilaisella diffuusiotestillä tiivistetystä puunkuoriliuote-emulsiota sisältäneestä näytteestä veteen liukevat aineet kuten nitraatti-, sulfaatti-, fosfaatti- ja kloridimäärät sekä pH-arvo. Kenttäkokeissa seurattaviksi aineiksi määriteltiin koostumuksen perusteella alustavasti lisäksi mineraaliöljyt, fenoli, urea, kloridi ja kryyliamidi. Reaktiotuotteita ei pystytty työssä arvioimaan. Lisäksi tarkastelu oli enemmän määrällistä kuin aineiden koostumusta koskevaa.

Ympäristökokeina määritettiin konsentraatista ja SOP16-märkämässasta oletetut raskasmetallit, kokonaismineraaliöljypitoisuus (hiilivedyt) ja fenolindeksi (fenoliset yhdisteet). Puristenäytteestä tehtiin lisäksi hollantilainen diffuusiotesti. Diffuusiotestin koepala puristettiin kiintonaiseksi laboratorion ICT-kiertotiivistimellä. Tässä diffuusiotestin koepalassa sideaineena oli reseptin 8 mukainen emulsiosideaine, jossa siis oli sekä bitumiemulsiota että puunkuoriliuotetta niin, että koepalan jäännössideainepitoisuus oli 4,0 %. Raskasmetalliarvot suoraan onsentraatista ovat taulukossa 11. Diffuusiotestin tulokset ovat taulukossa 12.

Seuraavaksi on kuvattu ympäristötestien menetelmät. Näytteen fenolipitoisuus määritettiin uuttomenetelmällä seuraavasti. Näytettä sekoitettiin veteen ja seos vesihöyrytislattiin. Tisleestä määritettiin fenolipitoisuus fenolindeksinä standardin SFS 3011 mukaisesti. Fenolimääritys tehtiin 2.11.2000. Näytteen mineraaliöljypitoisuus (175 - 525 °C kiehuvat poolittomat hiilivedyt) määritettiin kaasukromatografisesti (GC-FID) heksaaniuutteesta.

Poolittomat hiilivedyt (mineraaliöljy) erotettiin poolisista yhdisteistä florisilpylväällä. Akkreditoidun menetelmän määritysraja on 100 mg/kg ja mittausepävarmuus on ± 40 %. Öljymääritys tehtiin 1.11.2000. Metallimäärityksiä varten näytettä (Zedivap-konsentraatti) saatettiin liuokseen happokäsittelyllä (HNO_3 , HF, H_2O_2) mikroaalto-uunissa. Saadusta liuoksesta Mn-, Zn-, Cu-, Cr- ja Ni-pitoisuudet määritettiin plasma-atomiemissiospektrometrisesti (ICP-AES), Cd-, Pb- ja As-pitoisuudet määritettiin atomiabsorptiospektrometrisesti grafiittiuunitekniikalla (GFAAS) ja Hg-pitoisuus määritettiin atomiabsorptiospektrometrisesti kylmähöyry-tekniikalla (CVAAS). Näytteen kuivaainepitoisuus oli 19,7 % (102 °C). Analyysit tehtiin 26.10.-10.11.2000 käyttäen kolmea rinnakkaismääritystä.

6.2 Puun kuoriliuotteen raskasmetallit

Taulukossa 11 esitetyt ainespitoisuudet: mineraaliöljyjen, fenolien ja raskasmetallien pitoisuudet on ilmoitettu kuiva-ainetta kohti.

Taulukko 11. Puun kuoriliuotteen haitta-ainepitoisuudet, mg/kg. Liuotteen (Zedivap-haihduttamon konsentraatti) kuiva-ainepitoisuus 20 %.

Yhdisteet/alkuaineet	Pitoisuus puun kuoriliuotteessa, mg/kg kuiva-ainetta kohti	Ohjearvo maaperässä, mg/kg /18/
Mineraaliöljyt	290	500 ¹
Fenoli	21	10 ²
Mangaani (Mn)	570	- ³
Sinkki (Zn)	140	150
Kupari (Cu)	7,3	100
Kromi (Cr)	6,1	100
Kadmium (Cd)	0,19	0,5
Nikkeli (Ni)	6,0	60
Lyijy (Pb)	1,2	60
Arseeni (As)	< 2	10
Elohopea (Hg)	< 0,08	0,2

¹Enimmäispitoisuus maarakennuksessa, ²yl.raja 10, esim. kloorifenolilla raja kuitenkin vain 1, ³kaivovedessä mangaanin enimmäispitoisuus vain 0,1 mg/l.

6.3 Tiivistetystä näytteestä liukenevien aineiden määrittäminen

Puun kuoriliuotteesta valmistettiin bitumiemulsiota (resepti no. 8), jota käytettiin sideaineena soratien kiviaineksessa puristettaessa tästä koenäyte ns. hollantilaiseen diffuusiotestiin. Diffuusiotestissä koenäytteestä tutkittiin tilaajan määrittelemien haitta-aineiden (Mn, Zn, Cu, Cr, Cd, Ni, Pb, As, Hg) liukoisuutta veteen (hollantilainen diffuusiotesti). Diffuusiotestissä oletettiin, että haitta-aineiden liukeneminen kiinteytetystä massasta määräytyy lähinnä massan pinta-alan mukaan. Toisin sanoen liukeneminen tapahtuu joko koekappaleen pinnalta tai diffuusion kautta massan sisältä. Lisäksi oletettiin, että kiinteytetyn massan pitkäaikaiskestävyys sijoituspaikalla on riittävä. Liukenevien aineiden määrää voidaan tällöin kuvata diffuusiotestillä.

Hollannissa kehitetyllä diffuusiotestillä voidaan tutkia haitta-aineiden liukenemistapaa ja tietyssä ajanjaksossa liukenevien haitta-aineiden määrää kiinteytetystä tai stabiloidusta materiaalista pinta-alayksikköä kohden. Testi on kehitetty kuvaamaan haitta-aineiden liukenemistä diffuusion kautta. Diffuusiotestin soveltuvuus on aina etukäteen arvioitava joko sijoituspaikkaolosuhteiden tai näytekappaleen mekaanisten ominaisuuksien perusteella. Hollannissa on esitetty alustavat ohjearvot, jos materiaalia käytetään maarakentamiseen. Akkreditoitussa diffuusiotestissä /13, 14/ näytekappaletta säilytettiin vedessä 64 vuorokauden ajan. Kokeen aikana vesi vaihdettiin 6 tunnin, 1 vuorokauden (d), 2,25 d, 4 d, 9 d, 16 d, 36 d ja 64 d kuluttua kokeen aloittamisesta. Tässä työssä käytettiin laboratorion ionivaihdettua vettä, jonka pH oli säädetty typpihapolla arvoon 4. Näytekappale sijoitettiin diffuusiotestissä geotekstiilipussiin. Kerätyistä vesisuodoksista koottiin kokoomänäyte, josta määritettiin suodosten metallipitoisuudet atomiemissio- tai absorptiospektrometrisesti (ICP-AES ja GFAAS-tekniikat); akkreditoitu menetelmä VTT/KET 1301195). Elohopea määritettiin kylmähöyrytekniikalla. Määrittelyjen mittausepävarmuus on ± (20 - 30) %. Haitta-ainemäärittelyjen lisäksi suodoksista mitattiin mm. pH.

Koekappaleista diffuusiotestissä 64 vuorokauden aikana lienneet mitatut (ϵ^*) metallimäärät on koottu taulukkoon 8. Mikäli testisuodoksesta mitatut haitta-

ainepitoisuudet ovat alle määrittämissä, on tulosten laskennassa käytetty pitoisuutena analyysimenetelmän määrittämissä arvoja. Taulukossa 8 on myös 64 vuorokauden testille annetut enimmäisliukoisuussuosituksot. Taulukossa 8 on myös esitetty hollantilaisten ja Suomen ympäristökeskuksen v. 2000 esittämän enimmäisliukoisuussuosituksen kanssa (Mroueh et al 2000 /15/ , Albers et al 1993 /16/). Suomessa on aikaisemmin yleisesti sovellettu hollantilaisia hyötykäyttökriteerejä.

Taulukko 12. Koekappaleesta diffuusiotestissä 64 vuorokauden aikana liuenneet haitta-ainemäärät (mitatut pitoisuudet, mg/m²/64 d (e^{*}_i)) /17/.

Määritetty aine	Mitatut pitoisuudet , mg/m ² /64 d (e [*] _i)	SYKE:n enimmäisliukoisuus- ehdotus	Hollantilaiset sijoitusluokat:	
			Sijoitusluokka 1A (sijoituksessa ei rajoituksia)	Sijoitusluokka 1B (ajoittain kosteat sijoituspaikat)
Suodosten pH-arvot	6,1-7,0			
Fosfaatti	<110			
Sulfaatti	2600		27000	80000
Nitraatti	<900			
Kloridi	13100		18000	54000
Mangaani	320			
Sinkki	<10	330	200	670
Kupari	<10	250	51	170
Kromi	<5	550	140	480
Kadmium	<1	2,1	1,1	3,8
Nikkeli	<10	270	50	170
Lyijy	<20	210	120	400
Arseeni	<20	58	41	140
Elohopea	<0,1	1,6	0,4	1,4

6.4 Koetietä otettujen näytteiden ympäristöseuranta

6.4.1 Massanäytteistä määritetyt pitoisuudet

Tutkituilta koeosuuksilta otettiin massanäytteet heti valmistumisen jälkeen 21.05.2001, syksyllä 12.10.2001 ja keväällä 19.04.2002. Massanäytteistä tutkittiin sovitut epäpuhtaudet mineraaliöljyjen määrä (ei-pooliset öljyt), fenolit, urean määrä ja kloridipitoisuus. Tuloksista on annettu VTT:n Kemiantekniikan tutkimuslausekkeet / 17/. Tulokset ovat taulukossa 13.

Taulukko 13. Koeosuuksien massojen ympäristöseurannan tulokset, mg/kg kuiva-ainetta kohti laskien /17/.

A	1A			2B			3			4		
	2105 01	1210 01	1904 02	2105 01	1210 01	1904 02	2105 01	1210 01	1904 02	2105 01	1210 01	1904 02
M	<100	<100	<100	<100	<100	<100	-	-	<100	<100	<100	<100
F	0,15	<0,02	0,5	0,18	<0,02	<0,5	-	-	<0,5	0,13	<0,02	0,6
U	<5	<10	<10	<5	<10	<10	-	-	<10	<5	<10	<10
C	-	31	71	-	6,8	80	6400	470	1300	1700	11	14

A = pilaava aine/osuus/pvm, M = mineraaliöljyt, F = fenolit (fenoli-indeksi), U = urea, C = kloridi

Pilaavien ainesosien on taulukossa 13 ajateltu aiheutuvan puun kuoren fenoleista, lisättävistä kemikaaleista kuten ureasta ja lisättävästä kalsiumkloridisuolasta.

Ohjearvoja /18 -21/ seuratuille yhdisteille maaperässä on annettu seuraavasti:

- Mineraaliöljyt (hiilivedyt), alin ohjearvo 100 mg/kg, raja-arvo maaperälle 500 mg/kg
- Fenolit yleensä 10, vaikeat fenolit vain 1 - 2 mg/kg, fenoli-indeksi 0,125 - 3,75 (Hollanti 0,25 /18/)
- Kloridi 100 mg/l kaivovedessä
- Polymeerinen akryyliamidi 1 µg /l (talousvesi), 15 mg/kg (maaperä).

Mineraaliöljyjen 175 - 525 °C:ssa kiehuvien, poolittomien hiilivetyjen; C₁₀ - C₄₀ määrittäminen /17/ tehtiin kaasukromatografisesti heksaaniuutteesta. Urean pitoisuus määritettiin entsymaattisesti vesiuutteesta. Määrittäminen teki Yhtyneet Laboratoriot Oy. Fenolit määritettiin vesihöyrytislauksella. Kloridi määritettiin vesiuutteesta ionikromatografisesti. Pohjaveden sisältämät raskasmetallit määritettiin atomiemissiospektrometrisesti. Anioniset aineet kuten sulfaatti määritettiin ionikromatografisesti. Ammoniumin määrittämiseen käytettiin tälle spesifistä elektrodiä. Menetelmät on kuvattu lähemmin viitteen /17/ menetelmäkuvausten referensseissä. Akryyliamidille on käytössä liuoskromatografinen-/massaspektrometrinen erityismenetelmä toistaiseksi vain vesimäärittämiselle. Analyysi tehtiin tältä osin Ruotsissa AnalyCen-laboratoriossa. Tietoa akryyliamidin hajoamisesta maaperässä on niukasti.

6.5 Koetien pohjaveden ottopisteen pystyttäminen

Kuva 21 esittää koekohteeseen 2B asennetun pohjaveden seurantaputken pystytystä. Kohteessa pohjaveden pinta asettui arviolta noin 2 m etäisyyteen tierakenteen alapinnasta.



Kuva 21. Pohjaveden laadun seurantapiste koeosuuden 2B reunassa.

6.5.1 Pohjaveden koostumuksen seuranta

Pohjaveden ottopiste sijaitsee koeosuudella 2B, jossa käytettiin runsainta eli kaksinkertaista puunkuoriliuotteen lisäystä. Pohjaveden ottopisteen pystytyksestä ja pohjavesinäytteen otosta vastasi Tieliikelaitos. Pohjaveden koostumuksen testasi VTT. Pohjaveden laadun seurantatulokset ovat taulukossa 14.

Talousveden ohjearvot alittuivat kaikissa seurantanäytteissä selvästi, eikä puunkuoriliuotteen lisäyksestä ollut täten mitään vaikutusta. Kokeen seuranta-aika oli yksi vuosi.

Taulukko 14. Pohjaveden koostumuksen seurantalulokset Länsi-Saamaisten koe-kohteen 2B pohjaveden ottoputkesta, mg/l vettä /17/, /21-23/.

Metalli/anioni	Näyte 14.05.01	Näyte 12.10.01	Näyte 19.04.02	Talousveden ohjearvot, mg/l /21-23/
Mangaani (Mn)	0,081	0,058	0,013	0,1
Sinkki (Zn)	<0,01	0,24	0,074	3
Kupari (Cu)	<0,01	<0,01	<0,01	1
Kromi (Cr)	<0,005	<0,005	<0,005	0,05
Kadmium (Cd)	<0,002	<0,002	<0,002	0,005
Nikkeli (Ni)	<0,01	<0,01	<0,01	0,02
Lyijy (Pb)	<0,02	<0,02	<0,02	0,01
Arseeni (As)	<0,02	<0,02	<0,02	0,02
Elohopea (Hg)	0,0002	<0,00005	<0,0002	0,001
Fosfaatti (PO ₄)	<0,1	<0,2	<0,2	-
Sulfaatti (SO ₄)	15	30	22	150
Nitraatti (NO ₃)	1,7	1,1	3,9	50
Kloridi (Cl)	84	83	25	100
Ammonium (NH ₄)	<0,1	0,046	0,02	0,5

6.6 Ympäristökelpoisuuden yhteenveto

Maaperän saastuneisuuden selvittämisessä käytetään saastuneiden maa-alueiden selvitys- ja kunnostusprojektin (SAMASE) tuloksena saatuja ohje- ja raja-arvoja /19/. Nykysin puhutaan pilaantumisesta. Ohjearvon alapuolella pysyvien pitoisuuksien katsotaan olevan turvallisia eikä niiden ole havaittu aiheuttavan terveysriskiä. Tällöin ei maankäytölle tai maamassojen sijoittamiselle aseteta rajoituksia. Usein asuin - ja virkistyskäyttöön tarkoitetuilla alueilla, joilla pitoisuudet ylittävät ohjearvon, ryhdytään tarvittaviin kunnostustoimenpiteisiin. Raja-arvon ylittyessä maankäytölle tulee rajoituksia ja asuinalue vaatii kunnostusta. Raja-arvot ja ohjearvot on esitetty Ympäristöministeriön julkaisemassa SAMASE-projektin loppuraportissa /19/. Erittäin hyviä koosteita ohjearvoista sisältävät myös viitteet /18/ ja /20 - 23/.

Puunkuoriliuote soratiemassaan lisätynä ei täten myöskään saa aiheuttaa sellaisia muutoksia eri aineiden pitoisuuksissa, että nämä ylittäisivät ohje-arvot ja soratiemassastakin näin ollen tulisi puhdistusta vaativaa massaa. Käsittelykertojen määrä huomioiden, soratiemassaan ei saisi myöskään ke- rääntyä vähitellen kumulatiivisesti ohjearvot ylittäviä määriä epäpuhtauksia.

Tutkituista epäpuhtauksista voidaan sanoa seuraavaa:

- Mineraaliöljyjen "tiukaksi" ohjearvoksi voidaan katsoa 100 mg/kg maape- rässä
- Soratiemassasta mitattu mineraaliöljyn pitoisuus oli alle 100 mg/kg
- Fenoli-indeksin (vesihöyrytislattut fenolit) korkein arvo oli noin alle 0, 5, joka eri maiden ohjearvojen perusteella on pienehkö, mutta ylittää kui- tenkin arvon 0,25, joka on käytössä Hollannissa
- Fenoleista tutkittiin vain niiden määrää, ei koostumusta
- Polymeerisen akryyliamidin maaperän pitoisuuden määrittäminen on toistaiseksi puutteellinen, vaikka yhdistettä hajoamattomana pidetään terveydelle vaarallisena
- Juomavedelle on akryyliamidilla käytössä tiukka ohjearvo, 1 µg/l.

- Puunkuoriliuotteesta polymeerinen akryyliamidi pystyttiin määrittämään veden määritykseen kehitetyllä menetelmällä Ruotsissa, koska 80 % liuotteesta on vettä.
- Puunkuoriliuotteessa akryyliamidin määrä oli hyvin pieni, alle 50 µg/l
- Akryyliamidia kerääntyi soratieruiskutuksessa, noin 2 kg/m²-käyttömäärällä, massaan selvästi vielä alle 1 mg/kg useankin käsittelyn jälkeen, jolloin tämä alittaa pilaantuneelle maaperälle toistaiseksi annetun ohjerajan 15 mg/kg (otettu viitteestä 18) selvästi.

Pohjaveden arvoista tarkkailua näyttäisivät edellyttävän puunkuoriliuotteen käytössä sinkin, sulfaatin, kadmiumin ja mangaanin vaikutukset, vaikka näiden pitoisuudet seurannan kaikissa vaiheissa selkeästi alittivatkin talousveden ohjearvot. Mangaania näyttää olevan kuoriliuotteessa jonkin verran enemmän. Mangaani on talousvedessä lähinnä makuhaitta, jolloin sen määrää yleensä seurataan tästä syystä. Kloridin osalta nämäkin seuranta-arvot osoittavat, että kloridin pitoisuudet voivat vaihdella ja olla myös kohonneita.

Koska tutkimuksen yhtenä tarkoituksena oli verrata kuoriliuotteen käyttöön oton mahdollisuutta kloridisuolan rinnalle tai korvaamaan tätä pölynsidonnassa, on taulukossa 15 vielä verrattu näiden kahden suolaustekniikan etuja ja haittoja.

Puunkuoriliuote soveltui tulosten perusteella osaksi normaalia suolausta, joka edustaisi tällöin ns. vähennettyä suolaliuoksen käyttöä pölynsidonnassa. Pölynsidonnän nykykäytännön muuttamiseen puunkuoriliuotteesta ei saatu tutkimuksessa kokonaisvaltaista etua. Lieväksi puutteeksi muodostui soratiepinnan kovuus, osin huonommat kuntokriteerit, käytön lievä tahraavuus ja vähemmän tutkittuna kemikaalina muussa käyttöyhteydessä keskustelua aiheuttanut akryyliamidinen polymeerinen epäpuhtaus, jolloin jatkokäytössä liuotteen hajoamista tulisi vielä arvioida.

Johtopäätelmänä puunkuoriliuotteen ympäristösoveltuvuudesta saatiin seuraavaa. Monikomponenttiseksi liuotteeksi Zedivap-konsentraatti on ennakoitua ympäristökelpoisempaa ja sen hyödyntämistä kannattaa näin ollen sopivassa yhteydessä jatkaa. Luonnollista on kuitenkin edelleen, että joissain aroissa pohjavesitapauksissa voidaan vaatia myös pohjavedensuojauksia. Nämä toimenpiteet on kuvattu Tiehallinnon suojausohjeissa toistaiseksi, julkaisu /24/.

Taulukko 15. Yleisvertailu puunkuoriliuotteen käytön eduista ja haitoista normaali-suolalukseen nähden pohjavesialueella.

Ominaisuus	Puunkuoriliuos-pölynsidonta	Normaali pölynsidonta	CaCl ₂ -
Kloridikuormitus	5	2 (1)	
Pölynsidontakyky	4	2	
Muiden kemikaalien yhteiskuormitus ¹	5 ⁺	5	
Terveydelle vaaralliset kemikaalit ²	4 - 5	5-4	
Kunnon säilymiskriteeri 1 ³	--	++	
Kunnon säilymiskriteeri 2 ⁴	--	++	
Korroosio	ei määritetty ⁵ , pH 8	4	
Esteettiset haitat päälystyksessä ⁵	4	5 ⁺ (ei lainkaan)	
Tekniikan helppous	4 ⁻ (lisäsekoitus)	4	
Todennäköisyys käytön jatkuvuudesta pölynsidonnassa	Vaatii mahd. käyttöä hidastavia lisäselvityksiä	Todennäköinen toistaiseksi, vaikka riskialtis pohjavesille	
Todennäköisyys jatkuvuudesta muussa tie- ja maarakennuskäytössä	Stabilointirakentamisen kokeilut (hyvä ennuste)	Käyttöä supistetaan ja lopetetaan, jos korvaava ratkaisu löytyy	

Huom: Vaikutuksen arvoasteikko 1-5 taulukossa 15: 5: pieni, 4: kohtalainen, 3: suuri, 2: erittäin suuri, 1: niin suuri, että ei sallittu, ¹natriumhydroksidi, urea, ²kemikaalit, joilla riski epävarma (fenoli, akryyliamidi), ³Elastisuus, ⁴Reikiintyminen, ⁵Riski epävarma, ⁵Haju, tahraavuus, (-) epäedullinen vaikutus, (+) edullinen vaikutus

7 YHTEENVETO

Tutkimuksessa tarkasteltiin Stora Enson Varkauden tehtailta syntyvän puun kuoriliuotteen (Zedivap-haihduttamon konsentraatti) soveltuvuutta soratien pölynsidontaan. Hanke toteutettiin 1999 - 2002 teollisuuden, Tekesin ja Tiehallinnon rahoittamana. Tutkimuksesta saatiin erittäin laaja-alainen käsitys puunkuoriliuotteen käyttöpotentiaalista, käytön kehittämissuunnista ja tulevaisuuden mahdollisuuksista tie- ja maarakennuksessa ja tutkimus oli täten erittäin aiheellinen.

Konsentraatista tehtiin laboratoriossa ennakkokokeet emulsiomaisen sideaineen kehittämiseksi, tarkasteltiin taustakirjallisuutta ja toteutettiin ensimmäiset kenttäkokeet Miiluniemessä ja Länsi-Saamaisissa. Kirjallisuuden ja laboratoriossa saatujen tulosten perusteella konsentraatti soveltui hyvin kokeiltavaksi tutkitussa käyttöyhteydessä. Aikaisemmin on myös etsitty puunjalostuksesta potentiaalisia soratien sidosainevaihtoehtoja pölynsidonnassa kuten lignosulfonaatit.

Konsentraatti määriteltiin laboratoriossa suhteellisen ympäristökelpoiseksi tuotteeksi soramassaan tiivistettynä, koska liuotteen raskasmetallien liukoisuus diffuusion tyyppisessä testissä (hollantilainen diffuusiotesti) veteen oli erittäin pientä eikä raskasmetalleissa muutenkaan ylitetty ohjearvoja. Konsentraatti sisälsi sellaisenaan myös vähän mineraaliöljyjä, fenolista ainesta, polymeerista akryyliamidia, ureaa ja kloridia. Nämä olivat peräisin lisättävistä kaupallisista kemikaaleista. Valmiissa soratiemassassa näitä kemikaaleja esiintyi enää myös vain pieninä pitoisuuksina niin, että pitoisuudet yleensä arvioitiin ohjearvot alittaviksi. Suurin haitta-aine oli kulkeutumisen osalta käytännössä tiesuolan kloridi ja epämääräiseksi riskiltään koettiin polymeerinen akryyliamidi. Kenttäkohteen pohjavesinäytteen kloridipitoisuus oli seu-

rannan ensimmäisessä näytteessä korkea. Sinkin ja sulfaatin määrä kohosi aluksi vähän, mutta tämä edusti ilmeisesti vain yleistä alueen vaihtelua näissä pitoisuuksissa. Pohjaveteen puunkuoriliuotteen kokeilusta ei osoitettu olevan mitään haittaa.

Puunkuoriliuote osoittautui melko monikomponenttiseksi vesiliuokseksi, johon tehdasprosessissa lisättävien kemikaalien kaikista mahdollisista ainesosista ei tutkimuksessa saatu täysin lopullista käsitystä. Fenolien määrää tutkittiin, mutta ei niiden koostumusta. Samoin polymeerisen akryyliamidisen aineen vaikutuksia on ympäristössä tutkittu vain vähän. Aineen hajoamisesta luonnossa ei tiedetä kovinkaan paljon, sallittua ainesmäärää maaperässä ei ole kovin hyvin spesifioitu ja aine on myös luokiteltu haitalliseksi yhdisteeksi esim. tunnelityöskentelyssä. Lisättävistä kemikaaleista muiden paitsi mineraaliöljyn katsotaan tuote-esitteissä olevan ns. biohajoavia tuotteita. Koska aineisosa kuten mineraaliöljyjäkin oli määrällisesti erittäin vähän, ei mitään ympäristöriskiä konsentraatin käytöstä katsottu tässä tutkimuksessa voivan välittömästi muodostua. Konsentraatti oli lähinnä käytössä lievästi tarttuva autonrenkaisiin, osin tahraava ja ominaishajultaan lievästi lietteinen. Näistä esteettisiksi koetuista puutteista ohiajavat paikalliset asukkaat myös huomauttivat jonkin verran.

Konsentraatti toimi kohtalaisesti soratien pölynsidonnassa, mutta kovetti nykykäytysten mukaan soratien pintaa hivenen liikaa. Yhdistäminen osittaiseen kalsiumkloridisuolaukseen paransi tilannetta jonkin verran. Puunkuoriliuotteella tehdyt koeosuudet reikiintyivät kuitenkin jonkin verran vertailua nopeammin. Puunkuoriliuotteen käyttö ei tällöin muodostune täysin välittömäksi ratkaisuksi soratien pölynsidonnassa. Jatkotutkimustarpeeksi jäi lievä ympäristöselvityksen lisätarve ainesosien hajoamisen riittävydestä. Puunkuoriliuotteen aikaansaaman kovahkon pinnanmuodostuksen perusteella, viittasi tämä mahdollisuuksiin käyttää puunkuoriliuotetta stabiloinnissa. Stabiloinnissa, jossa käytetään tiiviimpiä päällyskerroksia on mahdollista järjestää myös ympäristöä suojaavia käyttökohteita. Puunkuoriliuotteen mahdollista käyttötapaa stabiloinnissa tutkittiin tässä tutkimuksessa alustavasti vain laboratoriossa puun kuoren liuote-emulsion stabilointiin liittyneissä puristuslujuusteissa.

8 JATKOTUTKIMUSEHDOTUKSET

Puunkuoriliuotteella oli selvästi hyviä stabiloivia vaikutuksia. Puunkuoriliuotteen kokeilutoimintaa tulisikin jatkaa mahdollisissa stabilointisovelluksissa. Stabilointia voitaisiin kokeilla bitumin ohella myös sementtilisäyksellä tai muilla lisäaineilla kuten puutuhkalla, sellukuidulla tai väkevämmällä puunkuoriliuotteella. Puunkuoriliuotetta voitaisiin ajatella stabiloitavan myös koneellisesti tai paikanpäällä, josta sitä vasta jäykistyneenä tiivistettäisiin käyttökerrokseen.

Ympäristöllisesti tulisi vielä tarkentaa konsentraatin sisältämien kemikaalien hajoamista pohjaveteen joutumisen ja käyttäjän kannalta jonkin verran lisää, koska nykytiedot vähemmän tutkituista polymeerisistä aineksista varsinkin ovat vielä puutteellisia.

Tutkimus tarvitsisi puuttuvien asioiden selvittämiseksi täten vielä toisen vaiheen kehitysprojektin. Tässä vaiheessa vielä selvittämistä jonkin verran vaa-

tivat asiat ja mahdolliset tekniset soratien käsittelytekniikoiden muutokset koottaisiin aluksi tutkimussuunnitelmaan, joka huomioisi ympäristön ja mahdollisten teknisten sovellusten vaatimukset. Korroosion analysointi voisi myös liittyä tähän jatkoselvitykseen. Jatkossa puunkuoriliuotteen käyttö tulisikin perustua uuteen tekniikkaan, joka ei myöskään vaatisi puunkuoriliuotteen kokeiluihin luvanvaraisuutta. Stabilointi sementillä voisi tarjota tähän erään tutkimusmahdollisuuden. Tässä mielessä täysin välittömästi käyttökelpoista pölynsidonta-ainetta ei tutkimuksessa vielä pystytty nykytulosten valossa puunkuoriliuotteesta kehittämään. Tämänkin perusteella jatkotutkimusta puunkuoriliuotteen stabilointikäytöstä tie- ja maarakentamisessa olisi pidettävä vielä aiheellisena.

9 VIITTEET

/1/ Yleiset tiet 1.1.2001. Public roads in Finland 1.1.2001. Tiehallinnon selvityksiä 16/2001. Toimittanut Ulla Puranen. ISSN 1457-9871, ISBN 951-726-738-X, TIEH 3200663

/2/ Sorateiden hoito ja kunnostus. Tielaitos Tuotannon palvelukeskus Liikenteen palvelukeskus ISBN 951 - 726 - 064 - 4 TIEL 2230013 Helsinki 1995

/3/ *Kiiskilä, E. & Jakkola, H.* Evaporation reduces amount of debarking waste water, Finnish plant closes the effluent system of wood handling section by installing an evaporator to control the level of dissolved solids in the water recirculation system. Paper Asia, August 1999, pages 24 - 27 in English

/4a/ *Sjöström, E.* Puukemia Teoreettiset perusteet ja sovellutukset 406 Ota-kustantamo 1977, pp. 102 - 105

/4b/ *Norin, N. ja Fremer, K-J.* Puukemia Suomen Paperi-insinöörien Yhdistyksen oppi- ja käsikirja I, toim. W.Jensen, 1977, Luku 3 Kuoren rakenne ja kemiallinen koostumus, pp. 83 - 94

/5/ *Toivonen, N.J.* Orgaaninen kemia. Otava 1971, pp. 236 - 237

/6/ *Pöyhönen, A.* Bitumiemulsion soveltuvuus sorateiden pölynsidontaan. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 2 / 1996 Tuotannon palvelukeskus, Kuopio 1996

/7/ *Valkonen, A.* Bitumiemulsion käyttö soratien pölynsidonnassa Tielaitoksen selvityksiä 24/1996 Kehittämiskeskus Helsinki 1996

/8/ *Ranta-Pere, K.* Pölynsidonta bitumiemulsiolla Loppuraportti pölynsidontakokeilusta bitumiemulsiolla Mt 5516:lla Itä-Karttulassa ja Pt 16005:lla Vesannolla Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 43/1999 Tielaitos Savo-Karjalan tiepiiri Kuopio 2000

/9/ *Bolander, P.* Chemical additives for dust control . What we have used and what we have learned. Transportation Research Record No. 1589 Soils, Geology, and Foundations Dust Control etc. Transportation Research Board National Research Council, Washington, D.C. 1997, pages 42 - 49

- /10/ *Giummarra, G.J., Foley, G. and Cropley, S.* Dust control. Australian experiences with various chemical additives. Transportation Research Record 1598, pages 50 - 53
- /11/ *Peltonen, P. ja Laaksonen, R.* Bitumistabiloidun massan ominaisuudet ja testausmenetelmät. Tien pohja- ja päällysrakenteet -tutkimusohjelma (TPPT). Loppuraportti, projekti M2. Tielaitoksen selvityksiä 12/1998.
- /12/ Kettunen, P. Tieliikelaitos. Leppävirran tukikohta. Insinööriyö puunkuoriliuotteen käyttökokeilun kuntoseurannasta soratien pölynsidonnassa. Luonnos valmisteilla, syksy 2002.
- /13/ *NEN 7343*, Leaching characteristics of solid earthy and stony building and waste materials. Leaching tests. Determination of the leaching of inorganic components from granular materials with the column test, 1995.
- /14/ *Dutch column leaching test*. Leaching of inorganic constituents from solid wastes, granular inorganic materials, Testimenetelmä KET3600197, VTT Kemiantekniikka 20.9.1999, 8 s.
- /15/ *Mroeh, U.-M. et al*, Sivutuotteet maarakenteissa – Käyttökelpoisuuden osoittaminen, Teknologia katsaus 93/2000.
- /16/ *Aalbers, Th. G. et al*, RIVM-raport no 771402006, 1993.
- /17/ *Wahlström, M. et al*. VTT/KET tutkimus selostus VTT/KET1217/01 10.12.2001. Vastaava tutkimus selostus VTT/PRO470/02, 11.06.2002.
- /18/ Mroueh, U-M. Saastuneiden maiden tutkiminen ja kunnostus. Teknologia katsaus 47/96. Tekes, Helsinki 1996. 178 siv. + liitt. 16 siv.
- /19/ Saastuneet maa-alueet ja niiden käsittely Suomessa. Saastuneiden maa-alueiden selvitys- ja kunnostusprojekti (SAMASE) loppuraportti. Ympäristöministeriö. Muistio 5/1994.
- /120/ Sorvari, J. ja Assmut, T. Saastuneiden maiden riskinarviointi - mitä, miksi, miten. Ympäristöopas 50. Suomen ympäristökeskus 1998
- /21/ Sorvari, J. ja Assmut, T. Saastuneiden maa-alueiden kohdekohtainen riskinarviointi - tilanne Suomessa. Suomen ympäristökeskus moniste 147. 1999
- /22/ *Wahlström, M., Eskola, P., Laine-Ylijoki, J. & al.* Maarakentamisessa käytettävien teollisuuden sivutuotteiden riskinarviointi. VTT TIEDOTTEITA -sarjan julkaisu 1995. Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT, Espoo 1999. 79 siv. + liitt. 55 siv.
- /23/ STM, Suomen kuntaliitti, vesi- ja viemäri laitosyhdistys 1994. Talousveden ohjeavot.
- /24/ Tiehallinnon selvityksiä sarjan julkaisuluonnos 8.5.2000. Pohjaveden suojaus tien kohdalla. Tietekniikka, H:ki 2000. ISBN 951-726-650-2, TIEL 214001-2000.

10 LIITTEET

LIITE 1: Zedivap-konsentraatista bitumiin tehtyjen koe-emulsioiden reseptit

LIITE 2: Leppävirran koetien osuuksien sijainnit kartalla

KOERESEPTIT

Taulukko . Zedivap-liete-emulsioseosten koereseptit.

Resepti	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII**	IX	X	XI	XII	XIII	Vertailutuotteet		
Koeno.	2	4	6	9	10	11	12	8	13	3	1	5	7	Z-vap	B200	E, L-O
B200, p-%	25	25	30	30	30	30	30	30	30	35	45	45	65	-	Määrä	-
Zedivap, p-%	75	75	70	70	70	70	70	70	70	65	55	55	35	Määrä	-	-
E/S, p-%																
- E1	-	1,2	0,8	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	1,2	1,2	0,4	-	-	-
- E2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- E3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-
- S1	-	-	-	0,1	-	-	0,5	1,0	0,8	-	-	-	-	-	-	-
- S2	-	-	-	-	0,1	1,0	-	-	-	2,5	-	-	-	-	-	-
- pH	2,5	-	2,5	-	-	-	-	7,1 ^(*)	-	-	-	-	-	8,3	-	2,5
Kuiva- ainepit. p- % ***	37	42	-	-	-	-	-	43 (47)	-	-(L)	-	-	-	20	-	-
Murt. **** indeksi, g																
- KVä	159	189	177	179	171	165	164	100 (94)	-	-	-	-	-	-	-	121
- MSä	-	-	110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Visk. 40°C, sek.	-	-	-	-	-	-	-	74	-	-	-	-	-	-	-	130
E.tisl.jään . 260°C, p%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	65
Bit. pen. 25°C, 0,1 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	116	172	-
Yleis- huomio	(Ei)	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	(Koh- ta- lainen)	Ei	Ei	Paak- kuja	Paak- kuja	Paak- kuja	-	-	-

Huom: E1: Lilamuls EM26, E2: Lilamuls BG, E3: Diamin DT, S1: CaCl₂, S2: CaCO₃, pH-säätö: HCl:lla, * Emulsion pH (ei HCl),

** Vaiheet: 1. liete lämmitetään 45°C, 2. bitumi 140 °C, 3. lisätään bitumi lietteeseen muodostuu suspensio, 4. lisätään emulg. + stabilis., 5. sekoitus noin 5 - 10 min, muod. suhteellisen homogenisoitunut "emulsiomainen" sideaine, *** bitumi + liete, **** Kva: murtuminen kvartsihiekkään, Msä: murtuminen maasälpään, L: laimennus H₂O

1:1, Ei: Hitaasti murtuva, lievästi paakkuja, ei tasalaatuinen, Kohtalainen: tutkituista homogeenisin, tarkka sek.järjestys, neutraali

ISSN 1457-9871
ISBN 951-726-922-6
TIEH 3200771