



LIFE02 ENV/FIN/329

KUKKIA CIRCLET

**KUITUSAVEN JA LENTOTUHKAN
KÄYTTÖ TIERAKENTEISSA**

Kokemukset suunnittelua ja rakentamista varten

30.3.2005



SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	2
1.1	TAUSTA	2
1.2	KEHITYSTARPEEN INDIKAATTORIT	3
2	MATERIAALIT.....	6
2.1	LENTOTUHKAPOHJAISET SIDEAINEET	6
2.2	KUITUSAVI JA KUITUTUHKA	6
2.3	SUOTOKAKKU JA UUDET SORATIEN PINTAMATERIAALIT	8
3	RAKENTEET JA NIIDEN TOTEUTTAMINEN.....	10
3.1	RAKENNEKUVAUKSET (KUKKIA CIRCLET PILOTRAKENTEET).....	10
3.2	MATERIAALIEN VALMISTUS.....	13
3.3	RAKENTAMINEN	17
4	RAKENTEIDEN TOIMIVUUS JA JATKOKEHITYSTARPEET	24
4.1	YLEISESTI.....	24
4.2	SORATIEN PARANTAMINEN STABILOIMALLA	25
4.3	SORATIEN PARANTAMINEN KUITUTUHKARAKENNEKERROKSELLA	25
4.4	KEVYEN LIIKENTEEEN VÄYLÄT KUITUTUHKARAKENNEKERROKSELLA.....	26
4.5	PIENNARLEVENNYKSET KUITUTUHKARAKENTEELLA.....	26
4.6	TIELUISKAN POHJAVEDENSUOJAUSRAKENNE KUITUSAVELLA	27
4.7	SUOTOKAKUN KÄYTTÖ KULUTUSKERROKSESSA.....	27

VIITTEET

LIITE (1)

1 Johdanto

1.1 Tausta

Teollisuuden sivutuotteita hyödynnetään Suomessa ja muuallakin Euroopassa hyvin rajallisesti niiden mahdollisuuksiin nähden. Merkittävää kehitystyötä on kuitenkin tehty teollisuuden sivutuotteiden hyödyntämiseksi maarakentamisessa. Maarakentaminen tarjoaakin erittäin potentiaalisen hyötykäyttösovellusalueen, koska käytettävät massamäärät ovat suuria. Käytettäviä massamääriä ja maarakennusalan sovellutuksia ajatellen muodostuvat tärkeimmät teollisuuden sivutuotteet metsä-, teräs- ja kemianteollisuudessa, kaivos- ja rakennustoiminnassa sekä energian tuotannon polttolaitoksissa.

Suomessa ovat Tieliikelaitoksen ja Tiehallinnon (aikaisemmin Tielaitoksen) sekä eri kuntien jo 1990-luvulla toteuttamat koerakenteet osoittaneet, että monilla teollisuuden sivutuotteilla voidaan saada aikaan kestäviä ja kustannustehokkaita ratkaisuja nykyisin käytössä olevien sorateiden kelirikkokorjausmenetelmien vaihtoehtoina. Teollisuuden sivutuotteiden käyttö saattaa antaa myös taloudellisen mahdollisuuden lisätä haja-asutusalueiden kevyen liikenteen väyliä ja täten asukkaiden liikkumisen turvallisuutta. Näiden lisäksi on teollisuuden sivutuotteiden käyttö maarakentamisessa kansantaloudellisesti ja ympäristön kannalta hyväksyttävää: maarakentamiseen soveltuvien teollisuuden sivutuotteiden sijoittaminen jätteenä kaatopaikalle on materiaalin ja maapinta-alan tuhlausta sekä lisäksi sivutuotteiden tehokkaalla käytöllä säästetään luonnon sora- ja kalliovaroja.

Huolimatta monista ja pitkäaikaisista tutkimuksista ja koerakenteista rajoittaa teollisuuden sivutuotteiden hyötykäyttöä edelleen etenkin epävarmuus näihin perustuvien vaihtoehtoratkaisujen kilpailukyvystä sekä niihin liittyvistä riskeistä, kuten pitkäaikaisesta toimivuudesta ja ympäristövaikutuksista. Tämän lisäksi teollisuuden sivutuotteet määritetään jätteiksi, jolloin niiden käyttö edellyttää ympäristölupaa. Positiivista kehitystä edustaa toki valmisteilla oleva valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden (ensi vaiheessa esimerkiksi lentotuhkien) hyödyntämisestä maarakentamisessa. Teollisuuden sivutuotteiden hyötykäytön kehittämistä tukevat myös kansalliset ja kansainväliset päätökset ja ehdotukset luonnonvarojen säästämiseksi ja jätteiden kierrätyksen sekä hyötykäytön lisäämiseksi. Näitä edustaa esimerkiksi EU:n komission tiedonanto COM(2003) 301final (27.5.2003) ”Kohti jätteiden syntymisen ehkäisemisen ja kierrätyksen teemakohtaista strategiaa”.

Joulukuussa 2001 käynnistyneen ja 31.12.2004 päättyneen Kukkia Circlet -projektin taustalla ovat sorateiden tai alemman tieverkoston kelirikko-ongelmat, haja-asutusalueiden asukkaiden liikenneturvallisuus sekä teollisuuden sivutuotteiden maarakennushyötykäytön edistäminen. Projektin tavoitteena on ollut osoittaa, että **teollisuuden sivutuotteita (projektissa lähinnä paperiteollisuuden lentotuhkia ja kuitusavia sekä kemianteollisuuden suotokakkua) voidaan käyttää sorateiden rakenteen parantamisessa, kevyen liikenteen väylän teossa ja pohjavesisuojausjauksessa taloudellisesti, prosessimaisesti ja logistisesti tehokkaasti sekä ympäristön kannalta turvallisesti**. Projekti pyrkii osaltaan vaikuttamaan siihen, että teollisuuden sivutuotteiden käytössä päästään viimeinkin kokeilujen asteesta täysimittaiseen ja vakiintuneeseen menettelytapaan alemman tieverkoston perusparantamisessa.

EU:n Life-ympäristörahasto myönsi elokuussa 2002 Tieliikelaitoksen Länsi-Suomen alueelle, silloiselle Tampereen ja nykyiselle Hämeen palveluyksikölle sekä projektin muille kumppaneille rahoitustukea Kukkia Circlet -projektiin. Projektibudjetti on runsaat 1,2 miljoonaa euroa. Tästä budjetista on Life-ympäristörahaston osuus 50 %. Toisena päärahoitta-

jana on Hämeen tiepiiri (0,4 M€). Lisäksi projektiin ovat osallistuneet Pirkanmaan liitto, Luopioisten kunta, Finncao Oy, Georgia-Pacific Finland Oy Nokialta ja Kemira Oyj Kokkolasta. Projektipäällikkönä on toiminut 28.2.2004 saakka DI Seppo Kolkka ja 1.3.2004 alkaen DI Hannele Kulmala Tieliikelaitoksen Hämeen palveluyksiköstä. Tieliikelaitoksen projektivastaavana toimi Ville Mattila. Projektin suunnittelussa ja toteutuksen asiantuntijana on toiminut Ramboll Finland Oy:n Luopioisten yksikkö, siellä erityisesti TkT Pentti Lahtinen, DI Harri Jyrävä, DI Marjo Ronkainen ja TkL Aino Maijala. Ramboll on tehnyt myös pääosan laboratorio- ja kenttätestauksista.

Projekti käynnistyi 1.12.2001 ja päättyi 31.12.2004. Projektin työt keskittyvät Luopioisten kunnan alueelle, Kukkia-järven ympäristöön, josta juontaa projektin nimi Kukkia Circlet. Projekti jakautui kolmelle vuodelle siten, että vuosina 2002 ja 2003 toteutettiin varsinaiset työt pilotkohteissa. Vuosi 2004 käytettiin syksyyn 2004 mennessä saatavien tulosten analysointiin ja julkaisemiseen. Projektin tuloksien arvioinnissa ovat olleet mukana ulkopuolisina asiantuntijoina DI Tuomo Kallionpää Tiehallinnosta, TkT Jouko Saarela Suomen Ympäristökeskuksesta ja professori Pauli Kolisoja Tampereen Teknillisestä Yliopistosta.

Tässä raportissa esitetään Kukkia Circlet -projektissa saatuja kokemuksia kuitusaven ja lentotuhkan sekä suotokakun käytöstä erilaisissa tierakenteissa: tuhkapohjaisen sideaineen käyttö soratien stabiloinnissa, kuitutuhkan käyttö soratien peruskorjauksessa, kuitutuhkan käyttö kevyen liikenteen väylän rakentamisessa ja tien piennarlevennyksessä sekä kuitusaven käyttö tieluiskan pohjavedensuojaurakenteessa. Tätä raporttia täydentävät projektin tekniset ja seurannan raportit sekä video [2].

1.2 Kehitystarpeen indikaattorit

1.2.1 Tieverkosto ja sen kehittämistarpeet Suomessa

Tiehallinnon vastattavana olevan tieverkon pituus on 78 000 km. Tästä soratiepituus on vajaat 28 000 km. Tiehallinnon mukaan tienpidon painopiste on nykyisen tieverkon ylläpidossa. Tieverkon kestävä ylläpito vaatii noin 200 Me:n rahoituksen vuosittain. Ylläpidosta on jouduttu tinkinään vuosina 1995 – 2002 noin 450 Me. Tämän seurauksena ”taloudellisen optimitilan, jossa tienkäyttäjien ja valtion yhteenlasketut kustannukset ovat minimissään, saavuttaminen vaatisi nyt jo 800 Me:n kertarahoituksen”. [6]

Ongelmana on edelleenkin soratiestön kauttaaltaan heikko rakenteellinen kunto, mistä on haittaa elinkeinoelämälle ja palvelujen saatavuudelle. Sorateiden kelirikon määrä on pitkällä aikavälillä ollut laskeva, mm. suotuisten talvien vuoksi. Sorateiden inventoituja keli-rikkokohteita on viime vuosina ollut noin 1000 km. Kelirikkorajoituksia on viime vuosina asetettu noin 3000 – 4000 km. Sorateiden runkokelirikkoo vähennetään tällä hetkellä 50 – 100 km vuodessa, ja kelirikkokorjauksia tehdään noin 200 km vuosittain. Tällöin toimenpiteet suunnataan liikenteen kannalta tärkeimmille tieosuuksille [6]. Projektin tavoitteena on tarjota sellaisia kustannus- ja ekotehokkaita vaihtoehtoja, joiden avulla vaurioitunutta soratieverkostoa voidaan vuosittain peruskorjata huomattavasti suurempia määriä kuin 100 km.

Kevyen liikenteen väylien määrä oli vuoden 2003 lopussa 5 116 ajorata-kilometriä. Tavoiteltava taso on 6 250 ajorata-kilometriä. Kevyen liikenteen aseman parantaminen nähdään tärkeäksi sekä ihmisten liikkumismahdollisuuksien että liikenneturvallisuuden kannalta. Kevyen liikenteen vaikutukset kohdistuvat eniten suurimpiin käyttäjäryhmiin, koululaisiin ja vanhuksiin. Väyliä käytetään yhä enemmän myös liikuntaan ja muuhun virkistäytymiseen. Joka tapauksessa on kevyen liikenteen asema liikennemuotona heikko investointien vähyyden vuoksi, sekä taajamissa että etenkin haja-asutusalueilla, ja tilanne tulee ilmeises-

ti heikkenemään. Kevyen liikenteen väyliä on rakennettu vuosittain noin 100 km, mutta Tiehallinnon esittämällä suunnittelukaudella väylien rakentaminen laskee alle 40 km:iin vuodessa, keskittyen turvallisuuden kannalta kiireellisimpiin kohteisiin [6]. Projektin tavoitteena on tarjota kustannus- ja ekotehokkaita vaihtoehtoja, joiden avulla saadaan lisättyä kevyen liikenteen väylien rakentamista.

Projektin kannalta ovat myös tienpidosta ja liikenteestä aiheutuva pohjavesien pilaantumisen riski huomioon otettava tekijä. Pohjavesien pilaantumisen riskinä on kiinnitetty huomio erityisesti suolan käyttöön (pölynsidonnessa ja liukkauden torjunnassa), jolle pyritään saamaan kestävämpi vaihtoehto. Toisaalta projektissa keskitytään myös pohjavesien suojausten rakentamiseen. Tiehallinnon suunnitelmissa on rakentaa suunnitelmakautena 2005–2008 erillisinä toimenpiteinä 4 – 8 kilometriä tieluiskien pohjavesisuojausjauksia [6].

1.2.2 Sivutuotteet Suomessa ja Euroopassa

Energiantuotannossa muodostuu Suomessa lentotuhkia noin 1,2 Mt vuosittain, ja koko EU-alueella noin 60 Mt. Vaikka EU-maissa sementtiteollisuus on merkittävä lentotuhkan hyötykäyttäjä, jää tuhkaa silti huomattavia määriä maarakennuskäyttöön. Lentotuhkia voidaan käyttää hyvin monipuolisesti sideaineena ja rakennuskerrosmateriaalina joko sellaisenaan tai seoksena muiden teollisuuden sivutuotteiden kanssa [1].

Suomen metsäteollisuuden prosesseissa muodostuu vuosittain 0,226 Mt (kuiva) tuhkia ja 0,400 Mt (kuiva) kuitu- ja siistauslietteitä. Näistä sivutuotteista meni hyötykäyttöön tuhkia n. 49 % ja kuitu- ja siistauslietteitä jopa 96 % vuonna 2003 [3]. Paperia ja kartonkia tuotettiin Suomessa arviolta noin 15,2 Mt, joten edellä mainitut sivutuotteet edustavat tästä määrästä n. 2,9 %. Euroopassa tuotetaan paperia ja kartonkia vuosittain noin 90 Mt (ml. Suomi) [4][5]. Jätetilastot eivät eritele eri jätetyyppejä, mutta Suomen tilastoihin perustuen Euroopassa syntyy vuosittain yhteensä 2,6 Mt (kuiva) tuhkia ja kuitu-/siistauslietteitä eli kuitusavea, joista kuitusavea ehkä n. 1,24 Mt (kuiva) ja tuhkia n. 1,36 Mt (kuiva). Monissa Euroopan maissa lietteitä käytetään energiantuotannossa polttoaineina.

Kuitusavea ei ole juurikaan käytetty maarakennuskäytössä muualla EU-alueella kuin Suomessa, paitsi kaatopaikkojen tiivistämateriaalina sen jälkeen kun Ramboll (ent. Viatek) alkoi Suomessa tutkia ao. sovellusmahdollisuuksia 1990-luvun alkupuolella. Suomessa tämä kehitys on johtanut siihen, että pääosa kuitusavesta menee nykyisin hyötykäyttöön vanhojen kaatopaikkojen sulkemisessa ja uusien kaatopaikkojen rakentamisessa. Kuitusaven ja lentotuhkan seoksen eli kuitutuhkan käyttöä tierakentamisen materiaalina on tutkittu viime vuosina sen hyvien ominaisuuksien eli keveyden, routaeristävyyden, muodonmuutoskestävyyden ja käsiteltävyyden vuoksi.

Kukkia Circlet -projektissa on lentotuhkaa käytetty sideaineena soratien peruskorjaukseen stabiloinnilla. Kuitutuhkaa on sovellettu monipuolisesti tien rakennekerrosmateriaalina sekä soratien peruskorjauksessa että kevyen liikenteen väylien rakentamisessa. Lisäksi kuitusavea kokeillaan sellaisenaan tien luiskan pohjavedensuojausrakenteen tiivistämateriaalina.

TETRA Chemicals Europe Oy (ent. Kemira Chemicals, Kokkola) valmistaa Euroopan ainoana valmistajana Kokkolassa kalsiumkloridia, jota käytetään mm. sorateiden pölynsidonnessa. Suotokakkua muodostuu kalsiumkloridiprosessissa 20 000 – 22 000 tonnia vuodessa. Kukkia Circlet -projektissa suotokakkua on sekoitettu sorapintaisen väylän kulutuskerrokseen, jolloin pintaa on saatu kiinteytettyä ja vähemmän pölyävämmäksi. Suotokakkua on siis mahdollisuus käyttää soratien pintausten yhteydessä, jolloin itse suolan käyttötarve on seuraavien vuosien aikana vähäisempää.

1.2.3 Uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö rakentamisessa Suomessa

Suomessa rakentamiseen käytetään keskimäärin 17-19 tonnia kiviainesta asukasta kohti [7]. Yhteensä kiviaineskäyttö on noin 90 miljoonaa tonnia (arvo n. 200 M€). Yhä useammin kiviaines on otettava kalliosta, sillä hyödynnettävistä soravaroista on monin paikoin pulaa. Niinpä kiviaineskäyttö jakautuu seuraavasti: kalliomursketta n. 40 miljoonaa tonnia, soramursketta 22 miljoonaa tonnia ja hiekkaa noin 28 miljoonaa tonnia. Kallioaineksen käyttöä ovat lisänneet myös pohjaveden suojelun asettamat soranottorajoitukset ja louhintaj- ja murskaustekniikoiden kehittyminen ja tehostuminen.

Vuonna 2002 otettiin maa-ainesta noin 3900 maa-ainesluvan saaneelta alueelta. Hiekkaa ja soraa otettiin näiltä luvan saaneilta ottoalueilta yhteensä 50 miljoonaa tonnia, ja kalliota noin 30 miljoonaa tonnia. Tämän lisäksi kiviainesta (pääasiassa kalliokiviainesta) otetaan merkittäviä määriä rakentamisen yhteydessä. [7]

Tierakentamisessa käytetään pääasiassa kalliokiviaineita sekä soramursketta. Suomessa käytetään kiviaineita vuosittain yhteensä n. 90 Mt, arvoltaan n. 200 M€. Tästä kalliomurskeen osuus on n. 40 Mt, soramurskeen 22 Mt ja hiekan n. 28 Mt. Jalostetusta kiviaineksesta n. 10 % käytetään asfaltointiin, n. 10 % betoniteollisuuteen ja loput tie-, katu- ja rautatierakentamiseen ja muihin infra-alan töihin. Tieliikelaitos käyttää vuosittain n. 8-9 Mt jalostettuja kiviaineita. [Tieliikelaitos / Hannele Kulmala].

Teiden päällysrakenteisiin vaaditaan yhä kestävämpiä kiviaineita, jolloin mm. kalliokiviainesten laatuvaatimukset kasvavat ja niiden hinta käyttökohteissa nousee. Samalla tulee kasvamaan korvaavien kiviainesten käyttö (moreeni, kaivosten sivukivet, maa-ainesten ja rakennusjätteiden uusiokäyttö) ja myös teollisuuden sivutuotteiden käyttö maarakentamisessa.

2 Materiaalit

2.1 Lentotuhkapohjaiset sideaineet

Lentotuhkien ominaisuuksiin on yksityiskohtaisia katsauksia mm. Pentti Lahtisen väitöskirjassa [1], LIFE-Siilinjärven kipsit -projektin Design Guidessa [10] ja Tuhkarakentamisoheessa [9]. Kukkia Circlet -projektissa käytettiin UPM-Kymmene Oyj:n Jämsänkosken ja Kaipolan tehtaiden leijupetikattiloiden lentotuhkia. Laboratoriotutkimuksissa tuhkaa kostutettiin noin 15 % kuivapainosta, mikä vastaa tuhkan tilaa kuljetuksen ja varastoinnin aikana pölyämisen estämiseksi.

Kukkia Circlet -projekteissa käytetyn lentotuhkan ominaisuuksia:

Polttoaine:	puuperäinen materiaali (>50 %), turve, kuituliete
Vesipitoisuus (w):	19 % (kuiva tuhka kostutettu 7 päivää aikaisemmin)
pH	12,2
Hehkutushäviö	2,5 %.

Vanhan soratien stabilointia varten otettiin edustava näyte stabiloitavasta tierakenteesta. Tälle materiaalille tehtiin reseptointitestaukset erilaisilla tuhkaperusteisilla sideaineseoksilla, joista projektiin valittiin:

1. Lentotuhka + yleissementti
2. Lentotuhka + FTC (= Finnstabi® + teollinen hienokalkki + sementti; Finnstabi® on rautapitoista kipsiä, tuotteistettu teollisuuden sivutuote)
3. Lentotuhka + rikinpoiston lopputuote RPT + sementti

Projektin reseptointitutkimuksissa määritettiin mm. jäätymis-sulamiskokeella eri sideaineseosten pitkäaikaisen rasituksen kestävyys. Reseptointitestaukset tehtiin vaiheittain siten, että ensin haettiin mahdollisimman optimaalinen seossuhde ja sitten sideainemäärä. Kukkia Circlet -projektin Pilot 2002 -kohteeseen valittiin sideaineseokset, joilla puristuslujuus ja jäätymis-sulamisrasituksen kesto arvioitiin tierakennekäyttöön soveltuviksi sekä joiden materiaalien saatavuus oli hyvä ja kustannukset kilpailukykyiset.

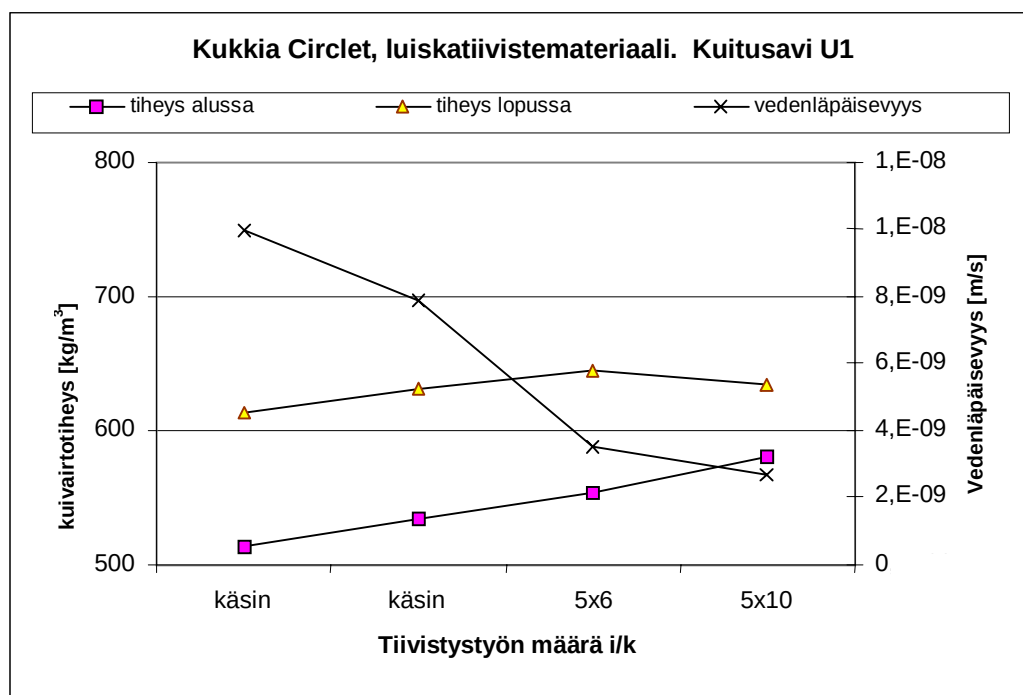
Mikäli lentotuhkan käyttäytymisestä ei ole aikaisempia kokemuksia, on testausten syytä olla laajempia: teknisen kestävyys osalta on syytä tehdä vedenkyllystyskokeet ja routakokeet, ja ympäristökelpoisuuden osalta liukoisuustestit. Valinta on tehtävä tien toiminnallisten vaatimusten, materiaalien saatavuuden ja kustannusten perusteella.

2.2 Kuitusavi ja kuitutuhka

Kukkia Circlet -projektissa, Pilot 2003 rakenteissa käytettiin kuitusavena Georgia-Pacific Finland Oy:n siistausjätettä. Tätä siistausjätettä on testattu laboratoriossa sekä kaatopaikka- ja tierakenteissa vuodesta 1994 alkaen, joten materiaalista on erittäin hyvät taustatiedot. Georgia-Pacific Finland Oy:n siistausjätettä syntyy vuosittain noin 55 000 tonnia. Siistausjätteen voi karakterisoida seuraavasti:

Koostumus:	Selluloosaa 50-70 %, kaoliinia 50-30 %
Tiheys:	400 – 700 kg/m ³ (märkätiheys rakenteessa)
Vesipitoisuus (w):	80 – 200 %
Biohajoavuus:	Hitaasti biohajoava, etenkin anaerobisessa tilassa

Kukkia Circlet -projektissa käytetyn kuitusaven vesipitoisuus oli 140 %, pH 8 ja hehkutus-häviö 61 %. Kuitusavea käytettiin sellaisenaan pohjaveden tiivisterrakenteessa. Lukuisissa kaatopaikkarakennetesteissä on voitu todeta, että kuitusaven vedenläpäisevyys riippuu tiivistyksen tehokkuudesta. Kuvassa (1) on esitetty Georgia-Pacific Finland Oy:n kuitusaven vedenläpäisevyys eri tiivistystyömäärän ja saavutettavissa tiheyksissä vaikutuksessa. Myös käyttötilanteen kuormitus vaikuttaa oleellisesti läpäisevyyteen, mikä on syytä huomioida käytön suunnittelussa.



Kuva 1: Pohjaveden suojausrakenteen testituloksia. Tiivistyvyys ja vedenläpäisevyys (vrt. Tekninen Raportti 1/2004)

Soratien perusparannuksessa ja kevyen liikenteen väylien sekä piennarlevennyksen pilot-rakenteissa käytettiin kuitusaven ja lentotuhkan seosta. Kuitusaven (KS), lentotuhkan (LT) ja seoksessa käytettävän sideaineen resepti optimoitiin laboratoriotestein. Hyväksyttävälle seoksille tehtiin pitkän ajan käyttäytymistä ennustavat rasisuskokeet. Pilotrakenteisiin valittiin käytettäväksi seuraavat kuitutuhkaseokset: KS:LT 10:7 + 6 % YSe (soratien perusparannus ja kevyen liikenteen väylät) ja KS:LT 10:10 + 6 % YSe (piennarlevennys). Näistä seoksista on laboratoriotestien tuloksia esitetty aikaisemmissa Kukkia Circlet -projektin raporteissa [2]. Taulukossa (1) on esitetty Kukkia Circlet -projektin tavoitearvot käytetyille kuitutuhkaseoksille.

Taulukko 1: Kuitutuhka-sideaineseoksen tavoitearvot rakentamista varten. Pilot 2003, Kukkia Circlet

Materiaaliseos	Koerakentaminen				Seos (laboratorio- tutkimukset)		
	Tiiviysaste D(%) / δ (kg/m³)	Vesipitoisuus (%) ¹⁾			Rakenne- paksuus (cm)	Optimi vesi- pitoisuus (%) ¹⁾	Kuiva- irtotiheys, max. (kg/m³)
		Tavoite	Seuraavat sekoituserät säädeltyvä	Valvojan arvio / hyl- käys			
[KS + LT, 10:7] + YSe 6 %	89 – 90 / 850 – 880	54 – 62	50 – 53 63 – 66	>66 ²⁾	20	45 (w ₀ = 62)	965 (898)
[KS + LT, 10:10] + YSe 6 %	90 / 900 – 930	50 – 58	45 – 49 59 – 60	> 60	20 + ³⁾	41 (w ₀ = 54)	1010 (962)

¹⁾ Vesipitoisuus laskettu veden massan suhteena runkomateriaalin kuivamassaan. Lähtötilassa vesipitoisuus = w₀

²⁾ Mikäli tehdään erillinen tiivistystesti sekoituspaikalla, 10 i/k tiivistys

³⁾ Piennarlevityksessä on kerrospaksuus tarvittaessa suurempi, jopa 50 cm

Liukoisuustesti tehtiin sellaiselle materiaalille, jossa lentotuhkan osuus oli suurin mahdollinen: siistauslietteen ja lentotuhkan seos suhteessa 1:1, sideaineena 6 % FTC:tä (määrä laskettu sivutuoteseoksen kuivamassasta). Liukoisuustestin tulosten ja olemassa olevien arviointikriteerien perusteella on pääteltävissä, että stabiloidut kuitutuhkaseokset eivät ole ympäristöriski. Tätä päätelmää vahvistavat kaikki aikaisemmat kokemukset koerakenteista, joissa on käytetty kuitutuhkaa. Ympäristöseurantaa on tehty Kukkia Circlet -projektin kohteissa, toistaiseksi tosin vasta lyhyen aikaa.

Mikäli kuitusavista ja kuitutuhkista ei ole aikaisempia kokemuksia, on testausten syytä olla laajempia, mm. teknisen kestävyys osalta on syytä tehdä ainakin routakokeet. Ympäristökelpoisuuden osalta tarvitaan usein viranomaisten vaatimuksesta liukoisuustestit ympäristölupaa varten. Materiaalien valinnat on tehtävä tien toiminnallisten ja ympäristöstä johtuvien vaatimuksien, materiaalien saatavuuden ja kustannusten perusteella.

2.3 Suotokakku ja uudet soratien pintamateriaalit

2.3.1 Soratien pinta

Kukkia Circlet -projektissa käytetty suotokakku on TETRA Chemicals Finland Oy:n Kokkolan tehtaan suolan (kalsiumkloridin) valmistuksessa muodostuvaa sivutuotetta. Suotokakku sisältää mineraaliainesta noin 70 % ja kalsiumkloridia noin 30 %. Sekoitettaessa suotokakkua soratien pintamurskeeseen tavoitellaan kiinteämpää, kestävämpää ja pidempään pölyämättömänä pysyvää soratien kulutus pintaa.

Pilot 2002 stabilointikohteessa suotokakkua käytettiin kalkilla rakeistetussa muodossa. Rakeistaminen tehtiin suotokakun käsittelyn ja kuljetusten helpottamiseksi. Pilot 2003 kohteissa suotokakkua käytettiin sellaisenaan. Suotokakun määrä suhteutettiin Tampereen teknillisen yliopiston toimesta käytettävän pintamurskeen ominaisuuksien, erityisesti hienoaineksen määrän, kannalta sopivaksi: ”Rakeisuuden perusteella 6 paino-%:ia kuivaa suotokakkua näyttäisi olevan sopiva lisäysmäärä”. Koska materiaalien (sekä sora- ja sora- ja hienoainespitoisuutta. Hienoainespitoisuuden tulisi olla ≤ 10 paino-%:ia” (Anne Valkonen, TTY 13.6.2003). Liitteessä (1) on esimerkin vuoksi TTY:n suhteutustulokset.

2.3.2 Kevyen liikenteen väylien pintamateriaalit

Kukkia Circlet -projektissa testattiin erilaisia suotokakku+murske -seoksia, mutta tutkittiin myös lujittuvien suotokakku (SJ) + sideaine- ym. seosten käyttöä murskeen seassa kevyen liikenteen väylien pintamateriaalin vaihtoehtoiksi. Laboratoriossa testattiin erilaisia yhdistelmiä, joissa käytettiin side/lisäaineina SR-sementtiä (SRSe), masuunikuonajauhetta (kuja), masuunikuonahiekkaa (MaHk), kalkkia (CaO), kuitusavia (KS) ja bitumiemulsiota (BIE). Tavoitteena oli löytää pelkkään suotokakkuun verrattuna lujempia pintamateriaaleja, jotka kulutuskestävyyden lisäksi kestävät jäätymis-sulamisrasituksen ja routimisesta aiheutuvat muodonmuutokset. Kuitusavella voidaan saada parempaa muodonmuutoskestävyyttä, SRSe:llä ja kalkilla lujuutta, masuunikuonatuotteilla hyvää pitkäaikaislujittumista ja bitumiemulsiolla lujittumista ja muodonmuutoskestävyyttä. Seossuhteet pyrittiin valitsemaan siten, että ne olisivat oleellisesti asfalttipäällystevaihtoehtoa halvempia.

Erillisiin kevyen liikenteen väyliin valittiin seokset SJ+kuja+CaO+KS ja SJ+BIE+SRSe, joiden ominaisuuksia on taulukossa (2) on muutamia keskeisiä tuloksia. Suurilla lujuuksilla materiaalin muodonmuutos oli yleensä pieni, eli ”murto” tapahtui pienemmillä muodonmuutoksilla. Kuitusaven määrän tulee olla ainakin 15 %, jotta sen avulla saavutettaisiin oleellista muodonmuutoskestävyyden paranemista.

Taulukko 2: Kevyen liikenteen päällystemateriaalivaihtoehtojen testaustuloksia. Testeissä käytetty sora- ja mursketta 0/12 mm (rakentamisessa käytettiin mursketta 0/11 mm).

Murskeeseen sekoitettu lisäaine ¹⁾	Lisäainemäärä ²⁾ [%]	w _{opt} ³⁾ [%]	ρ _d ³⁾ [kg/m ³]	Puristuslujuus 28 d [kPa]
SJ+kuja+CaO+KS	5+4+1+15	13	1850	2200
SJ+BIE+SRSe	5+4+4	7	2110	3900

1) SJ = suotokakku; BIE = bitumiemulsio; KS = kuitusavi; kuja = masuunikuonajauhe; CaO = kalkki; MaHk = masuunikuonahiekka; SRSe = SR-sementti

2) Määrät on ilmoitettu suhteessa murskeen kuivamassaan

3) Proctortestin tulokset: vesipitoisuus, w_{opt}, jossa saavutetaan maksimaalinen kuivairtitiheys (ρ-max); ρ_d = koekappaleen kuivairtitiheys

3 Rakenteet ja niiden toteuttaminen

3.1 Rakennekuvaukset (Kukkia Circlet pilotrakenteet)

3.1.1 Stabilointi

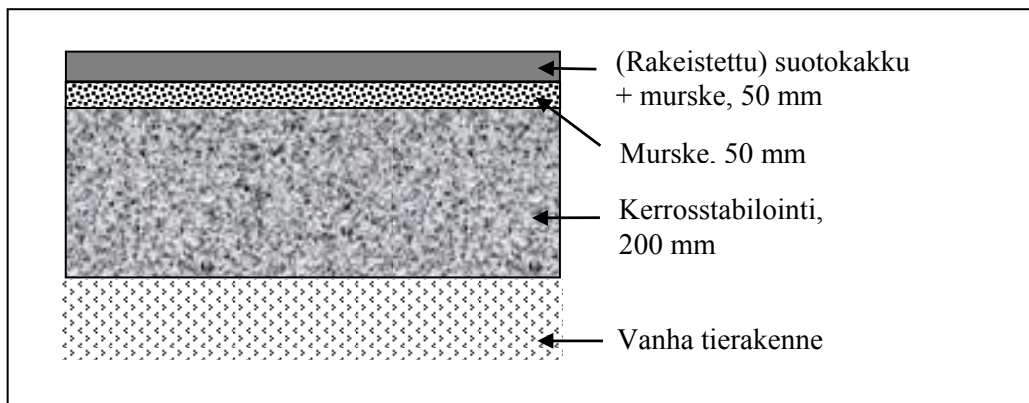
Vanhan soratierakenteen stabiloinnilla pyritään tien kantavuuden oleelliseen parantumiseen. Stabiloinnissa hyödynnetään tien olemassa olevaa, huonolaatuinen materiaali sitä stabiloimalla. Aikaisempien tutkimustietojen ja kohteen alustavien tutkimuksien perusteella valittiin Kukkia Circlet -projektissa stabilointikerroksen paksuudeksi 200 mm. Stabilointikerroksen pinnalle tehtiin 100 mm paksuinen murskekerros, josta ylin 50 mm oli murskeen ja rakeistetun suotokakun seosta (suotokakkua 3 % murskeen massasta). Rakenteen tyyppikerrokset esitetään kuvassa (2). Projektissa stabiloidun rakenteen vertailurakenteina olivat perinteisellä kelirikkokorjauksella parannetut (vanhan tien pinnan päälle levitetty suodatinkangasta ja sen päälle noin 300 mm murskekerros) ja kevyin toimenpitein, kuten ohuen murskepintauksen avulla parannetut tie-osuudet.

3.1.2 Soratien peruskorjauksen kuitutuhkarakenne

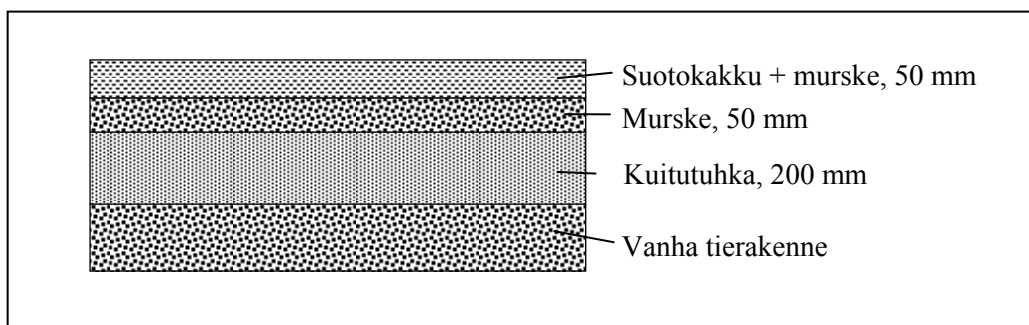
Kuitutuhkamateriaalista tehtiin jalostamalla routaa eristävä ja kantava materiaali. Kukkia Circlet -projektin pilottikohteeksi valittiin kohde, joka oli huonon kantavuuden lisäksi erittäin routiva, ja siksi tavoitteena oli sekä riittävä kantavuus että routanousujen oleellinen pienentäminen. Aikaisempien kokemusten perusteella valittiin kuitutuhkakerrosten paksuudeksi 200 mm. Ennen kuitutuhkakerroksen levitystä ja tiivistystä tasattiin olemassa olevan tien pinta ja vanhaa tiemateriaalia siirrettiin samalla tien reunoille nk. kuitutuhkakerroksen reunatueksi. Kuitutuhkakerroksen päälle tehtiin 100 mm paksuinen murskekerros, josta ylin 50 mm on murskeen ja suotokakun seosta (rakeistamatonta suotokakkua 7,5 % murskeen massasta). Rakenteen tyyppikerrokset esitetään kuvassa (3).

3.1.3 Kevyen liikenteen väylä kuitutuhkarakenteella

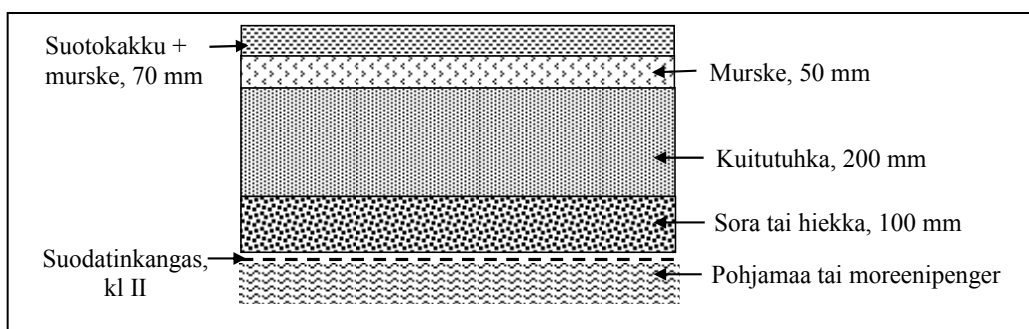
Kukkia Circlet -pilotprojektissa (Pilot 2003) on kuitutuhkarakennetta sovellettu erilaisissa pohjasuhteissa oleville rakenteille. Turvepehmeiköllä kuitutuhkakerros toimii lähinnä kantavana ja keventävänä materiaalina, ja silttisellä pohjalla sekä kantavana että routaeristävänä materiaalina. Turvepehmeiköllä käytettiin geovahvistetta estämään rakenteen painumisen turpeeseen sekä riittävän stabiliteetin aikaansaamiseksi. Kevättalvella levitettiin jäätyneen pohjan päälle geovahvistekangas ja sen päälle tehtiin esikuormituspenker, jonka päälle sitten kesällä rakennettiin varsinaisen kevyen liikenteen väylän rakenteet. Turvepehmeikölle ja silttiselle pohjalle rakennettujen kevyen liikenteen väylien rakenteet on esitetty kuvissa (4) ja (5). Kuitutuhkarakenne on tiivistetty reunatukien väliin 300 / 200 mm (pehmeikön kohta / muut kohdat) paksuiseksi kerrokseksi ja sen päälle on tehty noin 120 mm paksuiset pintakerrokset taulukossa (2) esitetyistä materiaaleista.



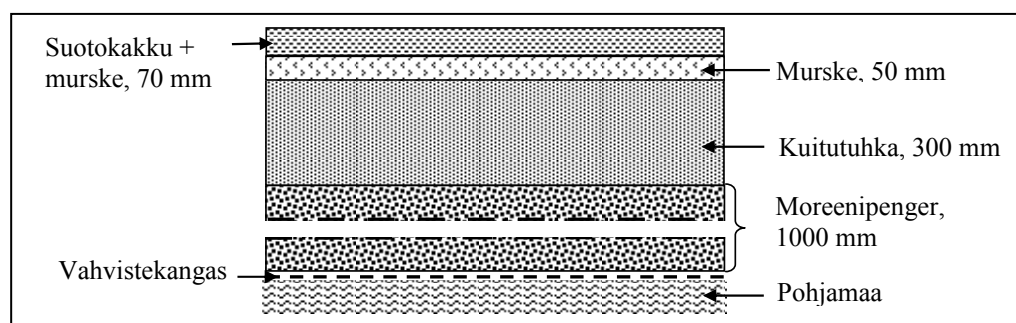
Kuva 2: Soratien tuhkastabilointirakenne. Pilot 2002, Kukkia Circlet



Kuva 3: Soratien peruskorjauksen kuitutuhkarakenne. Pilot 2003, Kukkia Circlet



Kuva 4: Siltiselle pohjalle rakennetun kevyen liikenteen väylän kuitutuhkarakenne. Pilot 2003, Kukkia Circlet

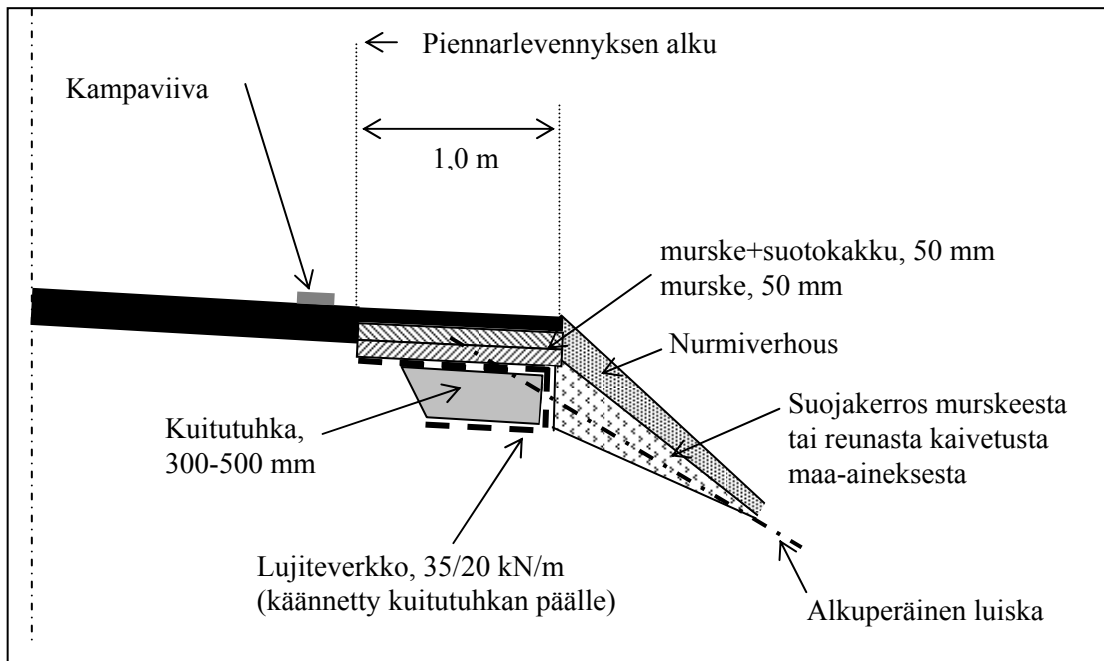


Kuva 5: Turvepehmeikölle rakennetun kevyen liikenteen väylän kuitutuhkarakenne. Pilot 2003, Kukkia Circlet

3.1.4 Piennarlevennys

Luopioisten kirkonkylän taajaman ohittava maantie 322 on tyypillinen vanhan poikkileikkauksen tie, missä ei ole piennarlevennystä kevyelle liikenteelle. Tähän poikkileikkaukseen soveltuvaa uutta piennarlevennystekniikkaa testattiin Kukkia Circlet -projektissa (Pilot 2003), jossa levennykset tehtiin ilman varsinaisen tiealueen leventämistä. Tiealueen leventäminen olisi ollut monin paikoin taajaman kohdalla mahdotonta. Rakenteissa käytettiin sekä geovahvisteverkkoa että kuitutuhkaa, joiden avulla piennarta saatiin levennettyä ja luiskaa jyrkennettyä.

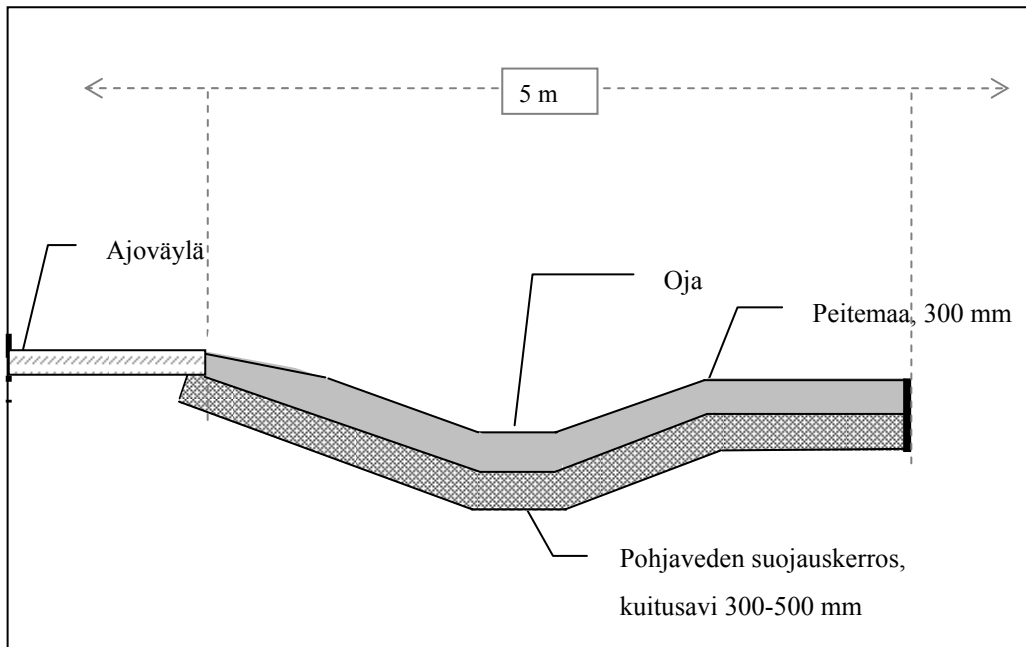
Kuitutuhkarakenne tehtiin siten, että kaivinkoneella poistettiin tarvittava osa luiskasta, minkä jälkeen levitettiin geovahvisteverkko. Verkon päälle levitettiin kuitutuhka ja tiivistettiin ohuen murskekerroksen päältä tärylevyllä, minkä jälkeen geovahvisteverkko käännettiin kuitutuhkan päälle. Jyrkimmissä kohdissa kuitutuhka tiivistettiin muotin avulla. Jyrkän tieluiskan kohdalle tehtiin levennys kahdesta päällekkäisestä geovahvistarakenteesta. Pintakerrokseksi tuli 50 mm mursketta ja 50 mm suotokakku-murske -seosta. Levennyksen tyyppipoikkileikkaus on kuvassa (6). Levitys on myöhemmin päällystetty pehmeällä asfalttibetonilla ja levennykset sekä ajoradat erotettu toisistaan kampareunaviivoilla.



Kuva 6: Piennarlevennyksen kuitutuhkarakenteen tyyppipoikkileikkaus. Pilot 2003, Kukkia Circlet

3.1.5 Tieluiskan pohjaveden suojausrakenne

Yksi Kukkia Circlet -pilotprojektissa (Pilot 2003) tehty koerakenne oli soratien luiskaan kuitusavesta tiivistetty pohjaveden suojausrakenne, joka toteutettiin Tiehallinnon voimassa olevien ohjeiden mukaisesti. Siinä pintamaan poiston jälkeen ojan luiskaan tiivistettiin 300-500 mm kerros kuitusavea ja sen päälle tuli n. 300 mm kerros maata. Suojausrakenteen leveys oli 5 metriä ja sen tyyppipoikkileikkaus on kuvassa (7).



Kuva 7: Tieluiskan pohjavedensuojausrakenteen tyyppipoikkileikkaus. Pilot 2003, Kukkia Circlet

3.2 Materiaalien valmistus

3.2.1 Sekoituspaikka ja materiaalien kuljetukset

Kuitutuhkan, tuhka-sideaine -seoksien, ym. uusiomateriaalien käyttö edellyttää rakenteissa käytettävien materiaalien valmistusta eli sekoitusta. Sekoituspaikka on useimmiten logistisesti ja teknisesti paras valita mahdollisimman läheltä rakennuskohdetta. Sekoituspaikan tulee olla riittävän tilava materiaalien etukäteisvarastointiin sekä sellainen, että sekoitusta varten saadaan ympäristölupa. Lisäksi paikan tulee olla riittävän tasainen, kantava ja kuivatuksen pitää toimia. Kukkia Circlet -projektissa sekoituspaikaksi valittiin Rankkimäen vanha kaatopaikka, joka oli ko. tarkoitukseen erinomainen.

Sivutuotteiden kuljetukset sekoituspaikalle on suunniteltava jokaisen materiaalin osalta etukäteen. Kuitusavi on helpoin kuljetettava, koska sitä pystyy viemään avolavakuljetuksena pölyämättömyytensä vuoksi. Lentotuhkan avolavakuljetus edellyttää esikostutusta. Kukkia Circlet -projektissa lentotuhkan esikostutettiin voimalaitoksella noin 20 % vesipitoisuuteen, jolloin se voitiin ilman pölyämisongelmaa kuljettaa avolavakuljetuksena pres-suilla suojattuna sekoituspaikalle. Suotokakku on helpoin kuljettaa rakeistettuna avolavakuljetuksena, mutta rakeistaminen aiheuttaa lisäkustannuksia. Kukkia Circlet -projektissa testattiin suotokakun kuljetusta myös nestemäisenä asfaltinkuljetusautolla ja tämä onnistui hyvin.

Materiaalit tulee sekoituspaikalla sijoittaa siten, että varsinaisen sekoitustyön yhteydessä tarvittavat materiaalien siirtoetäisyydet jäävät mahdollisimman lyhyiksi. Aumasekoitusta käytettäessä aumojen pohja tulee tasata ennen työn käynnistämistä, koska muuten sekoittimen sekoitusterä ei pysty sekoittamaan koko massaa kunnolla pohjaan saakka. Sivutuotteiden sekoittamisessa syntyviin mahdollisiin pölyhaittoihin on varauduttava esimerkiksi sumutuksen avulla.

Lentotuhka on suojattava varastointivaiheessa sateelta ja pölyämiseltä esim. pressuilla. Lisäksi välivarastoauumat on sijoitettava siten, etteivät valumavedet pääse missään olosuhteissa kulkeutumaan kasan alle. Välivarastoitavaa kuitusavea ei tarvitse peitellä, mutta myös sen osalta on huolehdittava valumavesien ohjaamisesta. Tuhkan varastointi on järjestettävä siten, että mahdollisten laatuvaihtelujen kontrollointi sekoitusvaiheessa on mahdollista. Varastointiin tulee kiinnittää erityistä huomiota, sillä liian märkä tai epähomogeeninen materiaali huonontaa lopputuloksen laatua oleellisesti.

3.2.2 Sideaineseokset

Sideaineiden sekoittamisessa työmaalla voidaan käyttää erilaisia vaihtoehtoja, kunhan sekoitusmenetelmän kapasiteetti on riittävä ja sekoitustulos laadullisesti hyvä eli seossuhteet ovat riittävällä tarkkuudella oikeat. Kuivat sideaineet voidaan toimittaa työmaalle myös valmiiksi sekoitettuna, mikäli sivutuotteiden tuottajilla tai sideainetoimittajilla on mahdollisuus sekoitukseen.

Kerrosstabiloinnissa käytetyt sideaineseokset sekoitettiin Kukkia Circlet -pilotprojektissa (Pilot 2002) kuvan (8) tyyppisellä asemasekoittimella. Seoksia valmistettiin sitä mukaan kun stabilointiprosessi tietyömaalla eteni eli valmis sideaineseos pyrittiin käyttämään mahdollisimman nopeasti sekoittamisen jälkeen. Lentotuhka (LT) ja rikinpoistolopputuote (RPT) olivat sekoitettaessa kosteita ja kaupalliset sideaineet kuivia.



Kuva 8: Materiaalien sekoitusta asemasekoittimella. Kukkia Circlet, Pilot 2002

3.2.3 Kuitutuhka

Kuitutuhkan sekoittamisessa on käytetty sekä kauhasekoitinta, kuva (9A), että asemasekoitinta, kuva (9B), joita molempia laitteita käytettiin Kukkia Circlet -projektissa. Kauhasekoitin soveltuu pienten erien sekoittamiseen, kun taas aumasekoitin on erittäin tehokas ja antaa myös laadullisesti hyvän tuloksen. Kuitutuhkan sekoittaminen tehtiin Kukkia Circlet -pilotprojektissa pääosin aumasekoituksena noin 35-45 m pituisissa aumoissa. Aumasekoittimen teho oli erittäin suuri ja mitoittavaksi resurssiksi tuli pyöräkuormaajan työteho sekoitettavan auman rakentamisessa.



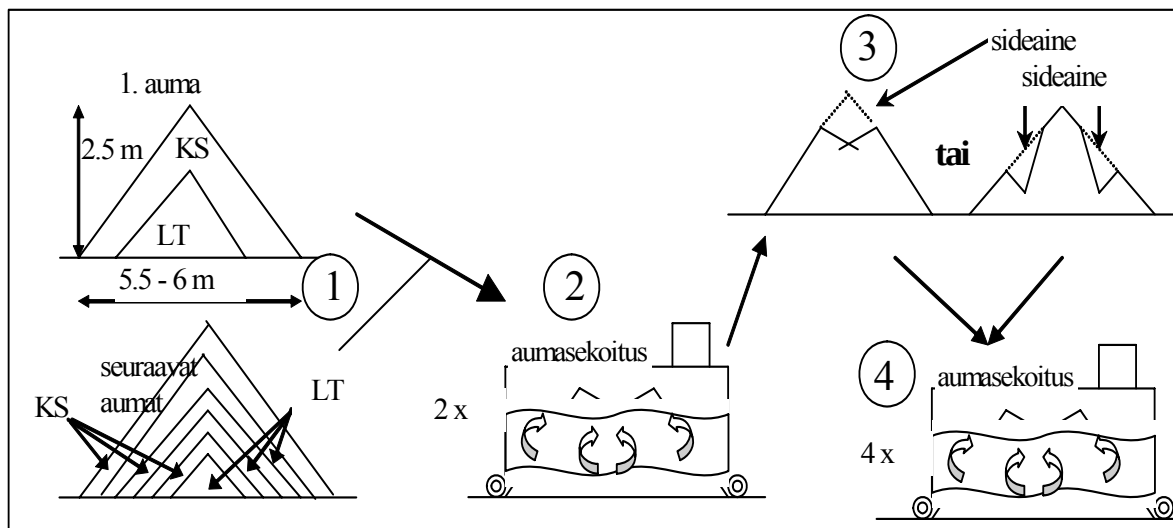
Kuva 9A: Materiaalien sekoitusta kauhasekoittimella. Kukkia Circlet



Kuva 9B: Kuitutuhkan sekoittamista aumasekoittimella. Kukkia Circlet

Työ tehdään rakentamalla tuhka- ja kuitumateriaaleista sekoitusauoma siten, että auman ”ydin” muodostuu tuhkasta ja sen päälle lisätään käytettävää seossuhdetta vastaava määrä

kuitusavea. Vaihtoehtoisesti tuhka ja kuitusavi annostellaan aumaan vuorotellen. Ennen sideaineen lisäämistä auma esisekoitetaan aumasekoittimella vähintään 2 kertaa, jonka jälkeen kasan päälle uraan annostellaan tarvittava määrä sideainetta. Sideaineen lisäyksen jälkeen auma sekoitetaan 3 - 4 kertaa, jonka jälkeen sekoitustulos arvioidaan ja päätetään lisäsekoitustarve. Käytettävän sekoitusmenetelmän kapasiteetti on niin suuri, ettei lisäsekoituskerroista aiheudu juurikaan viivytyksiä ja siksi sekoitusvaihe on syytä tehdä huolellisesti. Vettä on lisättävä tarvittaessa sekoitettavaan massa.



Kuva 10: Periaatekuva vaiheittain etenevästä aumasekoitustyöstä. Pilot 2003, Kukkia Circlet

Kukkia Circlet -pilotprojektissa työvuoron aikana käsiteltiin kaksi aumaa ja sekoituskapasiteetin osalta minimimitavoite oli lähtevien massojen osalta keskimäärin 100 t/h. Sekoitustyö oli käynnistettävä aikaisin, jolloin valmiiden massojen kuljetukset päästiin aloittamaan hyvissä ajoin eikä työ tiekohteella venynyt tarpeettomasti.

Kuitutuhkamassoille oli määritetty rajat, joiden sisällä sekoitetun massan ominaisuuksien täytyi pysyä (taulukko 1). Mikäli rajat ylittyivät, massaa ei saanut käyttää rakentamisessa ilman laadunseurannasta vastaavan henkilön lupaa. Kaikissa tapauksissa sekoitetut massat oli käytettävä saman päivän aikana.

Sekoituksen yhteydessä on varauduttava siihen, että tuhkamateriaali pölyää ainakin jonkin verran sekoitusaukkoja rakennettaessa ja erityisesti varsinaisen sekoitustyön alkuvaiheessa. Valmis massa ei aiheuta oikein käsiteltynä pölyhaittoja. Kuitutuhkamassojen kuljetuksia suunniteltaessa on otettava huomioon, että materiaali on kostutettunakin huomattavasti kiviaineksia kevyempää eli kuljetuskapasiteetin tarve on suurempi suhteessa liikuteltaviin tonnimääriin.

3.2.4 Suotokakku ja murske

Kalkilla rakeistettu suotokakku ja murske sekoitettiin Kukkia Circlet -pilotprojektissa (2002) asemasekoittimella. Projektissa kokeiltiin myös tiehöylällä sekoittamista, mutta sekoitustuloksesta ei tullut riittävän tasalaatuista.

Pilot (2003) käytettyjä suotokakku-murske -seoksia sekä lujittuvia suotokakku-sideaine-

murske -seoksia sekoitettiin kauhasekoittimella. Tarvittavat seosmäärät olivat varsin pieniä ja niiden tekemiseen riitti hyvin kauhasekoittimen pienempi kapasiteetti. Seoksissa käytetty suotokakku oli rakeistamatonta eli juoksevassa tilassa ja sen käytössä ei ollut suurempia ongelmia rakeistettuun suotojätteeseen verrattuna.

3.3 Rakentaminen

3.3.1 Soratien parantaminen stabiloimalla

Esityöt

Ennen stabilointia tehdään tarvittavat esityöt, mm. kivien paikannus ja haraus, tierumpujen kunnostus ja sivu- sekä laskuojien parantaminen. Tarvittaessa vanha tierakenne esikostutetaan vedellä, jotta rakenne pehmenee ja on siten helpommin työstettävissä. Stabiloinnin vaatima lisävesi voidaan lisätä ennen varsinaisen rakentamistyön aloittamista, mutta rakentamisen aikana on silti varauduttava vedentarpeeseen. Lisäveden määrän laskentaa varten tutkitaan tierungon ja käytettävän sideaineseoksen vesipitoisuudet.

Rakentamisjärjestys

Rakentaminen on suositeltavaa aloittaa kohteelle tuotavien materiaali kuormien tulosuuntaan nähden osuuden loppupäästä. Näin pyritään minimoimaan raskas liikenne stabiloinnin päällä välittömästi tiivistysvaiheen jälkeen, jolloin rakenne ei ole vielä kunnolla lujittunut.

Sideaineen levitys ja jyrästä

Stabiloinnissa valmis sideaineseos levitetään asfaltinlevittimellä tasaiseksi kerrokseksi tarvittaessa esikostutetun vanhan tierakenteen päälle. Sideaine voidaan levittää myös yksittäisinä komponentteina ja muulla kalustolla, mutta tällöin on otettava mahdolliset pölyämishaitat huomioon. Sideaine sekoitetaan stabilointijyräsimellä tien pintaosaan haluttuun syvyyteen saakka (esim. 200-250 mm). Stabiloinnissa vaadittava lisävesi voidaan kokonaisuudessaan levittää jyräsimen yhteydessä.

Tiivistys

Sekoitettu kerros tiivistetään välittömästi jyräsimen jälkeen muutamalla ylityskerralla ja muotoillaan tiehöylällä. Varsinainen tiivistys tehdään noin 4-6 jyrän ylityskerralla ja täryä voi käyttää heti ensimmäisestä ylityskerrasta lähtien. Ylityskertojen määrä valitaan koetiiivistyksen perusteella ja työssä on kiinnitettävä erityistä huomiota tien reunaosien tiivistämiseen.

Murskekerrokset

Stabiloinnin päälle on levitettävä mahdollisimman pian rakentamisen jälkeen suojaava murskekerros, mutta varsinaisen kulutuskerroksen rakentaminen voidaan tehdä kerralla koko matkalle. Suotokakkua sisältävän kulutuskerroksen pinnan kaltevuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota, jotta sadevedet valuvat oja kohti. Rakentamista seuraavana päivänä voi olla tarpeen oikaista tiehöylällä pinta uudelleen, jotta mahdollisesti syntyneet urat saadaan tasattua.

Rajoitukset muulle liikenteelle

Stabilointi ei aiheuta pitkiä yhtäjaksoisia liikennekatkoksia, mutta tielle levitetty sideaine voi pölytä ja liata autojen pintoja ennen jyrästä. Ensimmäisen jyräyksen jälkeen liikenne voi kulkea lähes normaalisti työn alla olevan tieosuuden kautta.

Laadunvalvonta

Sideaineena käytettävistä sivutuotteista ja sideaineseoksista on otettava ennen rakentamista näytteitä tasalaatuisuuden ja vesipitoisuuden varmistamiseksi. Näytteiden avulla voidaan tarvittaessa säätää sekoitusprosessia. Tiivistystyötä ja vesipitoisuutta valvotaan säännöllisin välein esim. Troxler-tiiveysmittauslaitteella, joka on kalibroitu rinnakkaisilla volymetrimittauksilla ja uunikuivatuksilla. Muuta työmaalla tehtävää laadunvalvontaa on Proctorilla tehtävä maksimikuivairtiheyksien ja optimivesipitoisuuksien määrittäminen sekä kerrospaksuuksien ja sideainemäärien [kg/m^2] seuranta. Laadunvalvonnassa tulisi olla sivutuoterakentamista ymmärtävä vastuuhenkilö.



Kuva 11: Kerrosstabilointi tuhka-sideaine -seoksella. Pilot 2002, Kukkia Circlet

3.3.2 Soratien parantaminen kuitutuhkarakennekerroksella

Vanhan tienpinnan tasaus ja reunatuet

Rakennuspohja tasataan tiehöylällä siten, että toteutuva pohjan sivukaltevuus on vähintään 5 %. Tasauksen yhteydessä mursketta siirretään reunoille ja painetaan tiiviiksi reunatueksi tiehöylän renkaalla. Tuen korkeuden tulee olla tiivistettynä vähintään tiivistettävän rakennekerroksen korkuinen. Kuitutuhkamassa ei saa missään rakentamisen vaiheessa pursuilla reunatuen yli vaan materiaalin on jäätävä kokonaisuudessaan sen sisäpuolelle. Reunatukia ei ole suositeltavaa tehdä aivan tien luiskaan rajoittuen, koska tuet voivat tällöin tiivistysvaiheessa sortua ja levitä ojiin. Mahdollisilla kapeilla tieosuuksilla on mieluummin kavennettava sivutuotekerroksen leveyttä kuin tingittävä reunatukien korkeudesta tai tukevuudesta.



Kuva 12: Reunatuon tekoa kuitutuhkarakennetta varten. Pilot 2003, Kukkia Circlet

Rakentamisjärjestys

Rakentaminen on suositeltavaa aloittaa kohteelle tuotavien sivutuotekuormien tulosuuntaan nähden osuuden loppupäästä. Näin pyritään minimoimaan raskas liikenne sivutuoterakenteen kohdalla välittömästi levitys- ja tiivistysvaiheen jälkeen, jolloin rakenne ei ole vielä kunnolla lujittunut.

Kuitutuhkan levitys ja tasaus

Valmis massa kipataan tasatulle pohjalle, jonka jälkeen se levitetään ja tasataan tiehöylällä. Materiaali levitetään kerralla koko tien leveydelle ja kuitutuhkakkerros pyritään tekemään yhtenä kerroksena. Kerroksen päällä voi liikkua heti tiehöylällä suoritettua esitiivistyksen jälkeen ja näin ollen liikenne voi lähes koko ajan kulkea työmaan lävitse ilman pidempiä keskeytyksiä. Rakentamisvaiheen aikana tapahtuva raskas liikenne täytyy kuitenkin pyrkiä minimoimaan.

Kuitutuhkaa levitettäessä tulee huomioida, että tiivistettäessä kerros puristuu kokoon huomattavasti eli noin 30 - 50 % tiivistystyön aikana. Levitysvaiheessa on pyrittävä esitiivistämään kerros tasaisesti tiehöylän renkailla kiinnittäen erityistä huomiota tien reunaosien tiivistymiseen. Reunoille on syytä tässä vaiheessa jättää hieman "ylimääräistä" painumavaraa, jotta sivutuotekerros saadaan varmuudella jatkumaan tasapaksuna reunaan saakka.

Työvuorojen lopussa tehtävät työsaumat tehdään mahdollisimman jyrkiksi ja kuitutuhkakkerros peitetään murskeella yön ajaksi. Sivutuotekerrosta ei saa jättää peittämättä työvuoron loppuessa. Murske poistetaan saumakohdasta ennen rakentamisen jatkamista. Osuuden alkuun ja loppuun tulevat siirtymäkiilat tehdään noin 1:20 kaltevuuteen.

Tiivistys

Kuitutuhkakerros pyritään levittämään ja tiivistämään yhtenä kerroksena. Varsinainen tiivistys pitää aloittaa heti massan levittämisen ja esitiivistyksen jälkeen. Ensimmäiset 1-2 ylityskertaa tehdään ilman täryä. Tämän jälkeen tehdään 2 - 3 ylityskertaa täryn kanssa, jonka jälkeen kerros viimeistellään tiehöylällä lopulliseen muotoonsa. Muotoilun jälkeen kerrosta tiivistetään vielä 2 yliajokerralla täryn kanssa. Täryn iskun taajuutta ja pituutta säädetään siten että kerroksen pinta pysyy ehjänä eikä se ala ”suomuilla”.

Suoraan kuitutuhkakerroksen päältä tapahtuneen tiivistyksen jälkeen levitetään lopullisessa muodossaan olevan kerroksen päälle ohut kerros mursketta (3 - 5 cm), jonka päältä suoritetaan lopputiivistys. Myös tässä vaiheessa ensimmäinen ylityskerta tehdään ilman täryä, jonka jälkeen tarpeen mukaan 3 - 5 yliajokertaa täryn kanssa.

Kuitutuhkakerroksen yläpuolella oleva ohut murskekerros pitää olla 0 - 16 mm mursketta, mielellään hyvin tiivistyvää ja ”sitoutuvaa” kalliomursketta. Huonolaatuinen murske ei kiinteitä pintaa halutulla tavalla ja sivutuotekerros voi sen vuoksi jopa vaurioitua kuormituksen vaikutuksesta lujittumisen alkuvaiheessa.

Kuitutuhkarakenteita tiivistettäessä on suositeltavaa käyttää jyrää, jonka iskun pituutta voidaan säätää. Lyhentämällä jyrän iskun pituutta viimeisten yliajokertojen osalta saadaan rakennekerroksen pintaosat tiivistettyä tehokkaammin. Käytettävä jyrä voi olla esim. 1-valssijyrä (10 - 12 t) tai vedettävä valssijyrä (5 - 7 t).

Edellä esitetyt tiivistystyömäärät ovat ohjeellisia ja tarkistettava jokaisessa projektissa erikseen esimerkiksi volymetrimittauksilla. Valvonnassa voidaan käyttää vaihtoehtoisesti myös Troxler-mittauksia, mutta sen soveltuvuus käytettäville materiaaleille on varmistettava kalibrintimittauksilla. Kuitutuhkarakenteiden tiivistäminen vaatii suuremman tiivistystyömäärän kuin perinteisesti käytettyjen kiviainesten tiivistäminen. Kuitutuhkan oikea vesipitoisuus vaikuttaa merkittävästi tiivistymiseen ja siksi sitä on seurattava koko rakentamistyön ajan. Lopullinen tiivistys on kaikissa olosuhteissa saatava valmiiksi saman työvuoron kuluessa kuin käytetyn massan sekoitus on tehty.

Murskekerrokset

Päällysrakenteeksi tulevat murske- ja murske+suotokakku -kerrokset tehdään suunnitelmien mukaisesti normaaleja työtapoja noudattaen. Suotokakkua sisältävän kulutuskerroksen pinnan kaltevuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota, jotta sadeveden valuvat ojia kohti. Rakentamista seuraavana päivänä voi olla tarpeen oikaista tiehöylällä pinta uudelleen, jotta mahdollisesti syntyneet urat saadaan tasattua.

Rajoitukset muulle liikenteelle

Kuitutuhkakerroksen päällä voi liikennöidä jo tiehöylällä tapahtuvan esitiivistyksen jälkeen. Näin ollen massa voidaan levittää koko tien leveydeltä aiheuttamatta pitkiä pysähdyksiä työmaan lävitse menevälle liikenteelle. Liikennettä ei kuitenkaan saa päästää tiivistämättömän kerroksen päälle ja liikkumista aivan tien reunaosilla on syytä välttää ennen lopullista tiivistämistä. Raskaan liikenteen, erityisesti työmaaliikenteen, määrää tulee minimoida muutamia päiviä kestävän alkulujittumisjakson ajan (mielellään 1 viikko).

Laadunvalvonta

Ennen tiivistämistyötä kuitutuhkasta määritetään maksimikuivairtoteiheys Proctor-kappaleella. Tiivistyskoe on hyvä uusina säännöllisin välein (esim. 200 m). Kuitutuhkalla saavutettava maksimitiheystaso on vahvasti riippuvainen massan runkoaineen osakomponenttien tarkasta seossuhteesta. Edellinen voi aiheuttaa epä johdonmukaisia tuloksia esim. toteutuvia tiiveysasteita laskettaessa ja epäloogiset tulokset onkin varmennettava tekemällä heti uusi Proctor-kappaleella maksimikuivairtoteiheyden määrittämiseksi.

Kuitutuhkakerroksen tiivistämistä seurataan ja ohjataan rakentamisen aikana joko volymetrillä tai vaihtoehtoisesti Troxler-mittauksilla. Troxleria käyttäessä on tehtävä huolellinen kalibrointi rinnakkaismäärittäyksillä ja niillä varmistettava laitteen käyttökelpoisuudesta. Tien reunaosien tiivistämiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota ja murskekerroksen tulee peittää sivutuoterakennus kokonaan myös reunoilta. Mikäli sivutuotteita joutuu esimerkiksi ojiin, ne on siivottava sieltä pois.

Kerrospaksuuksien toteutumista valvotaan ja ohjataan koko levitys- ja tiivistysvaiheen ajan. Laadunvalvonnassa tulisi olla sivutuoterakentamista ymmärtävä vastuhenkilö.

3.3.3 Kevyen liikenteen väylät kuitutuhkarakennekerroksella

Kevyen liikenteen väylän tekeminen kuitutuhkarakenteella toteutetaan pääpiirteissään kohdan 3.3.2 mukaisesti. Poikkeavat ja täydentävät ohjeet löytyvät tämän kohdan kappaleista.

Kovalle pohjalle rakennettava kevyen liikenteen väylä

Kuitutuhkaa käytettäessä kevyen liikenteen väylän pohja tehdään levittämällä tasatun pohjamaan päälle suodatinkangas ja suodatinkankaan päälle sora-, hiekka tai murskekerros työkoneiden liikkumisen helpottamiseksi sekä reunatuen tekemistä varten.

Kuitutuhkarakenteen päälle tulevat suunnitelmien pintakerrokset. Pilot (2003) kohteella lujittuvaa suotokakku + murske +lisäaine -seoksia levitettiin asfalttilevittimellä.

Pehmeikölle rakennettava kevyen liikenteen väylä

Talven aikana rakennetaan pehmeikköjen kohdille noin 1 metrin paksuinen ylipenger vahvistekankaasta ja moreenista tai murskeesta. Käytettävä moreeni ei saa sisältää routanousuja aiheuttavia maakiviä. Painumisen jälkeen alkukesällä penger tasoitetaan alusrakenteeksi suunnitellun päällysrakenteen tasoon.

Kuitutuhkarakenteen päälle tulevat suunnitelmien pintakerrokset. Pilot (2003) kohteella lujittuvaa suotokakku + murske +lisäaine -seoksia levitettiin asfalttilevittimellä.



Kuva 13: Moreenipenkereen tekoa pehmeikölle kevyen liikenteen väylää varten. Pilot 2003, Kukkia Circlet

3.3.4 Piennarlevennykset kuitutuhkarakenteella

Sivutuoterakenne voidaan tehdä luiskaan, joka on liian jyrkkä murskerakenteen teolle. Kukkia Circlet -pilotprojektissa (2003) kuitutuhkaa käytettiin, kun täyttökerroksen paksuudeksi tuli vähintään 500 mm.

Ennen töiden aloittamista on kartoitettava tien vierellä mahdollisesti kulkevat kaapelit niiden vahingoittumisen välttämiseksi. Olemassa olevaa päällystettä ja päällysrakennetta kaivetaan auki tarvittavalta leveydeltä ja syvyydeltä. Luiskaan tasatulle alustalle levitetään geovahvisteverkko, joka ankkuroidaan mahdollisimman pitkälle penkereeseen. Kuitutuhkakakerros rakennetaan käyttäen tukea, joka asennetaan rakennettavan kerroksen sivulle. Verkko täytetään kuitutuhkalla, ja taitetaan kuitutuhkakakerroksen päälle. Taitettu verkko kiinnitetään kerroksen yläpintaan nauloilla, hakasilla, tms. verkon kireänä pysymisen varmistamiseksi. Taitetun verkon päälle tuodaan tiivistystä varten ohut murskekerros ja tiivistys tehdään sopivalla tiivistysmenetelmällä. Pintakerroksiksi tehdään suunnitelmien mukaiset rakenteet.



Kuva 14: Piennarlevennyksen tekoa. A. Kaivettu ja tasattu luiska. B. Tukilevyn käyttö kuitutuhkan levityksessä. C. Kuitutuhkan tiivistys murskeen päältä. D. Kuitutuhkarakenteen tekoa ilman tukilevyä. Pilot 2003, Kukkia Circlet

Pilot (2003) projektissa käytettiin käsikäyttöistä tärylevyä, mutta sen tiivistysteho oli riittämätön. Jyrkkään luiskaan voidaan tehdä kaksi päällekkäistä geovahvistepussiratkaisua, kuten pilotprojektissa kokeiltiin noin 50 metrin matkalle. Tiivistämistä kokeiltiin myös ilman tukilevyä, mutta tällöin vahvisteverkko jää löysäksi ja rakenne voi antaa myöhemmin periksi.

3.3.5 Tieluiskan pohjavedensuojausrakenne kuitusavella

Kukkia Circlet -pilotprojektissa (2003) suojausrakenne tehtiin 500 mm kuitusavikerroksesta ja 300 mm sora- ja maakerroksesta. 5 metrin levyisen ja 30 metrin mittaisen suojausrakenteen tekemiseen meni pilotprojektissa aikaa noin 11 tuntia.

Materiaalin levitys, tasaus ja tiivistys

Aluksi pintamaa poistetaan ja alue kaivetaan muotoonsa suunnitelman mukaisesti. Sekoituspaikalta kuljetettu valmis kuitusavimassa kipataan kaivinkoneella muotoillulle pohjalle, jossa se muotoillaan ja tiivistetään useana kerroksena (pilotprojektissa 3 kerroksena). Levitys ja tasaus voidaan tehdä esim. kaivinkoneella ja tiivistys esim. 400 kg:n tärylevyllä. Tiivistetyn kerroksen yläpintaan ei saa jäädä painanteita, jotta sadevedet valuvat kerroksen päältä pois. Lopullinen tiivistys tehdään mahdollisimman pian saman päivän aikana.

Suojaverhous

Tasattu ja tiivistetty kuitusavikerros peitetään suunnitelmien paksuisella sora- tai maakerroksella. Kerrospaksuutta määritettäessä on huomioitava Kukkia Circlet -projektissa saadut kokemukset.

Rajoitukset muulle liikenteelle

Pohjaveden suojausrakenteen teko ei aiheuta liikennekatkoksia, mutta kuitusaven tuonti ja mahdollinen pintamaan poiskuljetus aiheuttaa jonkin verran työmaaliikennettä.

Laadunvalvonta

Tiivistystyötä tarkkaillaan ja ohjataan volymetrimittauksin tiivistystyön aikana. Työn alkuvaiheessa määritetään jokaisen sekoitusasemalta tulevan massa-erän vesipitoisuus (esim. mikroaaltokuivatus) ja annetaan tarvittaessa säätöohjeet sekoituspaikalle. Ennen tiivistystä määritetään työmaalle toimitetun kuitusaven maksimikuivavirtotiheys Proctor-kokeella.



Kuva 15: Kuitusaven levitystä ojaan pohjaveden suojausrakennetta varten. Pilot 2003, Kukkia Circlet

4 Rakenteiden toimivuus ja jatkokehitystarpeet

4.1 Yleisesti

Sekoitusmenetelmät edellyttävät suuria massoja ja kohteita ollakseen taloudellisesti tehokkaita. Täten alueellinen keskitetty materiaalikäsittelyn alue, josta materiaalia kuljetaan ao. alueella oleviin eri kohteisiin, voisi olla yksi vaihtoehto. Sivutuotteiden taloudellinen kuljetusetäisyys on merkittävä kustannustekijä, ja otettava huomioon sivutuoterakentamista kehitettäessä.

Sekoituksen tehokkuus on erittäin merkittävä tämän tapaisissa projekteissa. Aumasekoittimen teho on erittäin suuri ja sen hyödyntäminen edellyttää suuria sekoitusmassamääriä ja isojen tai useiden rakennuskohteiden toteuttamista samasta sekoituspisteestä. Sementin levitys suursäikeistä ei sujunut parhaalla mahdollisella tavalla (pölyämisoongelma, hitaus, yms.), joten tulevaisuudessa pitää etsiä toimivampia vaihtoehtoja.

Sekoitusalueen pitäisi aumasekoitusta käytettäessä olla riittävän suuri, jotta sinne mahtuvat sekä materiaalien varastointikaset/säiliöt että varsinainen sekoitusalue. Tehokkuuden lisäämiseksi pitäisi aumasekoitusalueen olla suurempi ja mahdollisesti ellipsin muotoinen. Osan sivutuotteista on oltava alueella valmiiksi välivarastoituna sekoituskapasiteetin turvaamiseksi. Mahdollisimman paljon pitäisi kuitenkin tuoda päivittäin, jotta välivarastoinneilta ja siihen liittyviltä töiltä välttyttäisiin (peittämiset ym.). Lisäksi välivarastoitavien sivutuotteiden laatu usein heikkenee varastoinnin aikana.

Laboratoriossa ja koerakenteissa on useiden vuosien aikana testattu kuitusaven ja erilaisten lentotuhkien seoksia (kuitutuhkia) tie- ja kenttärakenteissa. Yleisesti on saatu erittäin lupaavia ja mielenkiintoisia tuloksia, joissa korostuu kuitutuhkien pitkäaikainen muodonmuutoskestävyys vaativissakin olosuhteissa sekä ympäristöturvallisuus. Kuitutuhka poikkeaa ominaisuuksiltaan huomattavasti kiviaineksista ja tämä voi aiheuttaa yllätyksiä työmailla, mikäli tähän ei ole osattu varautua. Kuitutuhka on huomattavasti kevyempää, joten sitä kuljetettaessa kuorma-auton lavalle mahtuu tonneissa karkeasti arvioiden noin 2/3 verrattuna esim. murskeeseen. Lisäksi materiaali kokoonpuristuu huomattavasti tiivistettäessä.

Sivutuotemateriaalit ja -rakenteet ovat rakentajille usein outoja ja väärin toimittaessa riskinä on laatutavoitteiden selkeä alittuminen. Sivutuotteiden varastoinnista sekä sekoittamisen ja rakentamisen tavoitearvoista on laadittava selkeät ohjeet ja taulukot, että rakenteet saadaan tehtyä ja ne toimivat suunnitelmien mukaisesti. Myös laadunvalvontaan on kiinnitettävä huomiota erityisesti rakentamisen alkuvaiheessa ja työmaalla oltava sivutuoterakentamisen erityispiirteet tunteva vastuhenkilö.

Kukia Circlet -projektin ohjausryhmässä nousi esille ajatus tarkemmasta toimintatavan analysoinnista ja laskennallisesta mallintamisesta eli sitä miten rakenteet toimivat teoriassa ja miten rakenteista tehty mittaukset sitten tähän suhtautuvat. Lisäksi kaivattiin tarkempia menetelmiä pilotkohteiden kunnonarvioimiseksi, esimerkkinä mainittiin Tiehallinnon sora-ten hallintajärjestelmä T&M Sora. Kantavuusmittausten tuloksia voitaisiin hyödyntää paremmin, mikäli mittaukset pystyttäisiin tekemään joka vuosi rakenteen kuivumisen kanalta samaan aikaan.

4.2 Soratien parantaminen stabiloimalla

Pilot 2002 -kohteella eli vanhan rakenteen stabiloinnissa lopputulos oli odotettu: rakenteet toimivat suunnitellusti, kantavuudet paranivat ja tie kesti hyvin talven ja kevään kelirikkoajan. Seurantatutkimuksien tuloksissa näkyi, mikäli tutkitulla kohteella oli ollut työtekniisiä ongelmia tai suunnitelmista oli poikettu (esim. tiivistäminen, rakennepaksuudet).

Pilotrakentamisen jälkeen keskusteltiin mm. resurssiketjun haavoittuvuudesta. Esimerkiksi kivisyydestä aiheutui jyrksinvikoja, joista seurasi koko rakennusprosessin seisahtuminen. Ennakkotutkimuksissa kivisyys oli todettu ja haraaminen oli todettu tarpeelliseksi tutkaustulostenkin perusteella. Haraamisen välttämiseksi voisi tien pintaa nostaa esim. 10 cm:llä käyttämällä heikompilaatuista kiviainesta ja suorittaa stabilointi tämän nostetun kerroksen päältä.

Sivutuoterakentamisessa on huomioitava, että se vaatii joissakin tapauksissa suuremman tilan tiealueelta kuin perinteinen tienkunnostus ja lisäksi rakentamisaika voi olla pidempi.

4.3 Soratien parantaminen kuitutuhkarakennekerroksella

Pilot 2003 -kohteella eli massiivisella kuitutuhkalla kunnostetulla tiellä korjatut kohdat ovat säilyneet hyvinä ja tie on niiden ansiosta kokonaisuudessaan selvästi paremmassa kunnossa kuin ennen kunnostamista. Kuitutuhkarakenne on lujittunut odotusten mukaisesti ja se on säilynyt kiinteänä. Lämpötilamittausten perusteella kuitutuhkarakenne on sekä pienentänyt routasyvyyttä että hidastanut roudan sulamista erityisesti pinnasta käsin.

Tiessä on ollut jonkin verran painumia, pilotrakenteen loppuosassa muutamia lujittumattoman kuitutuhkan aiheuttamia pistemäisiä pehmeitä kohtia (johtuu epähomogeenisesta sekoituksesta) sekä reunat ovat olleet osin pehmeät jyrkkien luiskien vuoksi. Kantavuudet ovat pysyneet samana tai parantuneet hieman verrattuna lähtötilanteeseen. Kuitutuhkalla ei pyritä pelkästään kantavuuden parantamiseen vaan ratkaisu perustuu nimenomaan eristävään, erottavaan ja joustavaan kerrokseen, joka pienentää roudan tunkeutumissyvyyttä, estää kulutuskerroksen ja pohjamaan sekoittumisen sekä tasaa routaliikkeitä.

Yhtenä ongelmana oli raiteiden syntyminen kuitutuhkakerrokseen, jos sen päällä kuljettiin raskaalla kalustolla heti levityksen jälkeen. Epätasaisuus (pitkittäiset urat) voi aiheuttaa pinnan rikkoontumisen, koska murske sekoituessaan kuitutuhkaan osittain estää sitä lujittumasta. Tästä syystä ei kuitutuhkan päällä tule sallia ajoa raskaalla kalustolla ennen kuin kerroksen päälle on levitetty ensimmäinen murskekerros ja kerros on tasaisesti tiivistetty. Pilot 2003 -kohteella jouduttiin tiivistyksessä käyttämään 10 cm paksuista suojamurskekerrosta, jotta saatiin riittävästi kantavuutta kuorma-autolle. Yleisesti ottaen suojamurskekerroksen paksuuteen vaikuttaa voimakkaasti murskeen laatu ja sitoutuvuus. Kuitutuhkarakenne on lisäksi huonosti vettä läpäisevää, joten kerroksen yläpinnassa tulisi olla riittävät kallistukset veden poistumisen varmistamiseksi.

Massiivirakenteen teko sujui kohtuullisen hyvin ja ennakoitua nopeammin. Normaaliissa tuotannossa kuitutuhka- ja murskekerrosta sekä myöhemmin päälle ajettavaa suotokakku-murske -kerrosta on mahdollista tehdä työvuorossa noin 1 km, joskin ajomatkan pituus sekoituspaikalta rakennuspaikalle vaikuttaa oleellisesti tuotantonopeuteen. Pilotin tyyppistä kohdetta (ajomatka noin 6 km) pystyttiin tekemään noin 250 m työvuoron aikana sisältäen kaikki työvaiheet.

4.4 Kevyen liikenteen väylät kuitutuhkarakennekerroksella

Kevyen liikenteen väylät ovat pääosin säilyneet hyväkuntoisina yhden vuoden seurannan aikana. Väylissä on ollut keväisin halkeamia niillä kohdin, joissa kuitutuhkakerros on jäänyt suunniteltua ohuemmaksi. Bitumisekoitteinen pinta (murske+SJ+BIE+SRSe) oli halkeillut keväällä, mutta sulkeutunut kesällä. Kuitusavisekoitteinen pinta (murske+SJ+kuja+CaO+KS) oli säilynyt suhteellisen hyväkuntoisena. Pintauksessa käytettiin 12 mm:n soramursketta, jolla saatiin tiivis pinta. Kalliomursketta käyttämällä tulos olisi ehkä vielä parempi.

Kantavuudet ovat alhaisia, mutta kuitutuhkarakenteella ei pyritä pelkästään kantavuuden parantamiseen vaan ratkaisu perustuu nimenomaan eristävään, erottavaan ja joustavaan kerrokseen, joka pienentää roudan tunkeutumisvyvyttä, estää kulutuskerroksen ja pohjaan sekoittumisen sekä tasaa routaliikkeitä.

Kevyen liikenteen väylä on hieman liian kapea normaalien kuorma-autojen ja höyliä käyttämiseen (autot voivat kaatua kippi pystyssä, höylän työleveys turhan suuri jne.). Kuorma-autossa pitäisi ainakin olla asfalttitiöissä käytettävä kuuppalava tai vastaava, jolloin kuitutuhkan leviämiskaavaa luiskaan ei olisi. Lisäksi ongelmana oli kuitutuhkan holvaantumisen, jolloin se irtosi huonosti kuorma-autojen lavoilta. Kuitutuhkakerros pitäisi levittää työhön sopivalla levityskoneella, jolloin kerrospaksuus ja rakenteen leveys tulisi toteutettua tarkasti suunnitelman mukaan. Holvaantumiskaava pitää tällöinkin ehkäistä.

4.5 Piennarlevennykset kuitutuhkarakenteella

Piennarlevennyksessä ei ole havaittu silmämääräisesti vaurioita talven jälkeen, vaikka rakenne oli täysin uusi ratkaisu ja siitä johtuen mm. tiivistyksessä ei päästy haluttuun lopputulokseen. Rakenteesta otettujen poranäytteiden alhaisten puristuslujuuksien perusteella on vedettävissä johtopäätös, että tiivistäminen vaatii tehokkaampia menetelmiä kuin tässä projektissa käytettiin.

Työn aikana teetettiin kaivinkoneen kauhalla siirrettävä, 5 metriä pitkä tukilevy muotiksi jyrkän luiskan tukemiseksi. Levyä käytettiin yhdessä kohdassa, jossa oli jyrkkä luiska ja alhaalla louhikkoa. Rakentamisen jälkeen todettiin, että ilman tukilevyä vahvisteverkko jää löysäksi, jolloin rakenne voi antaa myöhemmin periksi. Tukilevytekniikan kehittämistä pidettiin tärkeänä tulevien projektien kannalta. Tässä työssä levyjä olisi pitänyt olla vähintään neljä kappaletta, jotta niitä olisi voinut siirtää työn etenemisen mukaan. Tämä olisi vaatinut kahta kaivinkonetta ja siksi lisälevyjien teosta luovuttiin taloudellisista syistä. Matallisissa luiskissa, jossa piennarmateriaalista saadaan tehtyä ”vastaluiska”, voitaisiin kuitutuhka levittää suoraan luiskaan ilman lujitekangasta.

Päällystetyn tien piennarlevennys on päällystettävä sidotulla materiaalilla, jotta levennyksen pinta pysyisi tasaisena eroosion yms. johdosta. Piennarlevennys voi houkutella autoja oikaisemaan kaarteissa ja tätä varten levennyksen ja ajoradan välille maalattiin kampaviiva. Luiskissa todettiin eroosiota rakentamista seuraavana vuotena, joten luiskat tulisi ruohottaa välittömästi.

Pilotrakentamisen jälkeen pohdittiin, kuinka suuri lisäarvo oli näissä eri kevyen liikenteen väylä -sovellutuksissa kuitutuhkalla verrattuna perinteisiin materiaaleihin. Erityisesti pehmeikköalueilla kevyemmän rakenteen mahdollistava kuitutuhka puoltaa paikkansa ja lisäksi keveydellä on etua myös kuljetusten osalta. Piennarlevennysten teko oli kaiken kaikkiaan uusi aluevaltaus ja vaatii joka tapauksessa menetelmän kehittämistä. Elinkaaritarkastelulla saadaan varmasti vielä lisää näkökulmia uusiorakentamisen puolesta.

Työn eteneminen oli hidasta etenkin kuitutuhkan käsittelyvaiheissa ja siinä vaadittiin kaksi jalkamiestä. Kuitutuhkan levittäminen auton lavalta kaivinkoneella oli hidasta ja työn onnistuminen edellytti erittäin taitavaa pyörälustaisen kaivinkoneen kuljettajaa. Levitykseen ideoitiin muitakin vaihtoehtoja, kuten reunantäyttölaitetta ja betoniautoa, mutta kuitutuhka holvaantui helposti ja sitä oli vaikea saada tarpeeksi kauaksi päällysteen reunasta. Tiivistämisessä huomattiin, ettei kuitutuhkaa voinut tiivistää ilman murskekerrosta.

4.6 Tieluiskan pohjavedensuojusrakenne kuitusavella

Yleisesti suojarakenteissa käytettävät materiaalit ovat kalliita, joten niille haetaan jatkuvasti korvaavia vaihtoehtoja. Kukkia Circlet -pilotprojektissa tehty kuitusavinen suojausrakenne ei täyttänyt asetettuja vedenläpäisevyysvaatimuksia. Kuitusavirakenteen tiivistys ei ole ollut tarpeeksi tehokasta ja lisäksi päälle tullut peittokerros on ohut, jolloin pitkän aikavälin tiivistymistä edistävä pystykuormitus on ollut pienehkö. Tarvitaan kuitenkin myös muita lisätutkimuksia ennen kuin voidaan tehdä tarkempia johtopäätöksiä kuitutuhkan soveltuvuudesta suojausrakenteeksi. Tulevissa projekteissa on tiivistysongelma ratkaistava ennen rakentamista ja käytettävä esimerkiksi lysimetriä tiiviyn arvioinnissa. Myös kuitusaven koostumuksella eli savi-kuitu -suhteella on iso merkitys näissä sovellutuksissa. Pilotprojektissa lämpötilaseurannan mukaan kuitusavirakenne ei jätynyt talven aikana, mutta tulevissa projekteissa on jäätymisen vaikutus läpäisevyyteen huomioitava tai rakenteen sulana pysyminen varmistettava.

Suurimittaisessa toteutuksessa on otettava huomioon se, että kaivinkone ja kuorma-autot vievät toisen ajokaistan toteutuksen aikana, mikä aiheuttaa liikennejärjestelyjä (vastaava tilanne oli ajoittain myös sekä piennarlevityksen että soratien peruskorjauksen yhteydessä, mutta hyvin lyhytkestoisina). Pilotprojektissa syntynyt maa-aines pystyttiin käyttämään hyödyksi kunnan toimesta, mutta suuremman mittakaavan työssä on kuitusaven syrjäyttämälle maa-ainekselle järjestettävä läjitysalue tai muuta hyötykäyttöä.

4.7 Suotokakun käyttö kulutuskerroksessa

Suotokakun käytöstä kulutuskerroksessa saatiin tässä projektissa hyödyllisiä tietoja, mutta siitä olisi vielä kerättävä lisää tietoa ja kokemuksia ennen suurimittakaavaisempaa käyttöä. Pilot (2002) kohteella kulutuskerros kuivui liikaa ja toisaalta oli keväällä aikaisempaa kurausempi, joten mahdollisten lisäaineiden käyttöä suotokakun lisäksi sekä murskeen laatua olisi mietittävä. Kevyen liikenteen väylillä ja piennarlevennyksessä on käytetty erilaisia suotokakku-murske -reseptejä, jossa seoksessa on eri lisäaineita kulutuskerroksen lujuutta ja kulutuskestävyyttä parantamaan. Näiden seosten toimivuutta on seurattava vielä useita vuosia, sillä kevyen liikenteen aiheuttama rasitus on huomattavasti pienempää kuin auto-liikenteen.

Höylääminen on joillakin paikoin avannut suotokakku-murske -kerroksen ja aiheuttanut mm. reikäsarjoja. Osasyynä on voinut olla riittämätön rakenteen sivukaltevuus, jolloin vesi ei ole päässyt pois rakenteesta. Jatkotestaustarpeena on esitetty kokonaan suotokakku-murske -seoksella tehdyn pintarakenteen sekä kalliomurske- ja soramurskeenrakenteiden vertailua. Lisäksi stabiloitujen kerrosten pieni vedenläpäisevyys on aiheuttanut pintamurskeen paikoittaista pehmenemistä.

Suotokakku sisältävän pintamurskeen tavoitteellinen kalsiumkloridipitoisuus oli Pilot (2002) 0,6 %. Seurantatutkimusten perusteella kulutuskerroksen kalsiumkloridista oli vuoden kuluttua jäljellä enää noin 0,06 % eli vajaa puolet soratieohjeen kevätsuolausmäärästä. Ensimmäisen vuoden vähenemästä päätellen vuoden 2005 keväällä eli 2,5 vuoden kuluttua rakentamisesta voi olla tarvetta lisäsuolaukselle.

Sopivien kulutuskerrosratkaisujen löytyminen on toistaiseksi ongelmallista. 10 cm:n paksuinen kerros on liian kallis ratkaisu, mutta kulutuskerroksen ohentamiseksi tarvitaan edelleen tietoa eri vaihtoehtojen ympäristöturvallisuudesta. SOP-pintausta saattaisi käydä hyvin kulutuskerroksiin, jolloin höyläystä ei tarvittaisi. Päällystemateriaalit eli murskepintoja korvaavat ratkaisut ovat tärkeä jatkotutkimus- ja kehityskohde

Kukkia Circletin vuoden 2002 tiekohteella käytettiin rakeistettua suotokakkua. Rakeistus helpottaa kuljettamista ja rakeistettu suotokakku on mahdollista levittää suoraan tielle jyr-sintää varten, mutta toisaalta rakeistus lisää kustannuksia. Vuoden 2003 pilotkohteilla suotokakku oli rakeistamatonta, mutta sen sekoittaminen murskeeseen onnistui siitä huolimatta hyvin kauhasekoittimella. Asemasekoitusta käytettäessä rakeistamaton suotokakku on edullisempi vaihtoehto.

VIITTEET

- [1] Lahtinen, Pentti 2001. Lentotuhkapohjaiset seokset alempiasteisten teiden elastisena rakennemateriaalina (Fly Ash Mixtures as Flexible Structural Materials for Low-Volume Roads). Väitöskirja. Finnra Reports 70/2001. Tiehallinto, Uudenmaan tiepiiri. 95 p + annexes 55 p. ISBN 951-726-826-2, TIEH 3200716E.
- [2] Kukkia Circlet -projektin raportit (www.tieliikelaitos.fi/5_4.asp)
- Tekninen raportti 2002** (7.3.2003), joka kertoo pääasiassa vuoden 2002 pilotkohteen eli stabiloinnin toteuttamisesta
- Tekninen raportti 1/2004** (26.3.2004), joka käsittelee vuoden 2003 pilotkohteiden toteuttamista. Tekninen raportti 2/2003 on pilotkohteiden seurannan väliraportti.
- Video**, jossa kuvataan pilotrakentamisen toteuttamista v. 2002 ja 2003 ja joka toimii osana tätä Opasta
- Projektin **seurannan raportit**, jotka on julkaistu www-sivuilla vuoden 2005 alussa
- Ympäristöseuranta –raportti
 - Teknisen seurannan –raportti
 - Vaikutusten arvioinnin -raportti
- [3] Metsäteollisuus ry – ympäristök. Tuhka- ja lietetilastoja. Jenni Vainio 7.12.2004
- [4] CEPI (Conferation of European Paper Industries). Statistic 2002 (www.cepi.org)
- [5] The European paper industry on the road to Sustainable Development. CEPI. sustreport03-141308A.pdf (www.cepi.org)
- [6] Tiehallinnon toiminta- ja taloussuunnitelma (TTS) 2005-2008. (www.tiehallinto.fi)
- [7] Ympäristölehden Tilastot 1/2004: Maa-ainesten otto vuonna 2002
- [8] Kalliokiviainekset. GTK/palvelut / tutkimus ja kartoitus / kiviainekset (www.gsf.fi)
- [9] Tuhkarakentamisohje Tie-, katu- ja kenttärakenteisiin. Energia-alan keskusliitto ry, Finergy. Helsinki 2000.
- [10] Design Guide. Disposal Management System for Utilization of Industrial Phosphogypsum and Fly Ash. LIFE98 ENV/FIN/566. 1.7.1998 – 30.6.2002 (www.ramboll.fi/kipsitutkimus)



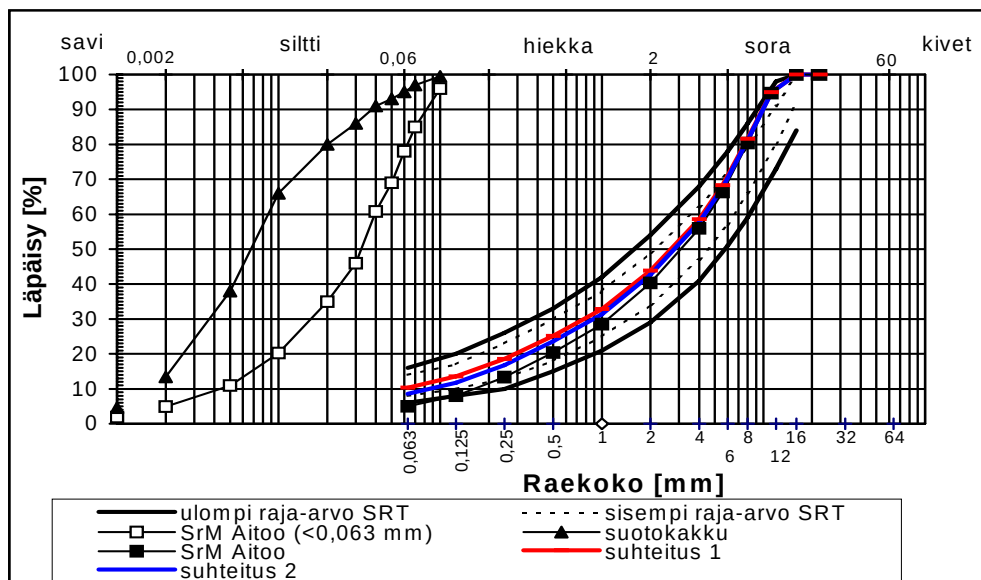
TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Rakennetekniikan laitos
Rakennusgeologian laboratorio
Anne Valkonen 13.6.2003

Kevyen liikenteen väylän pinta Aitoo SrM 0-12 mm ja suotokakku

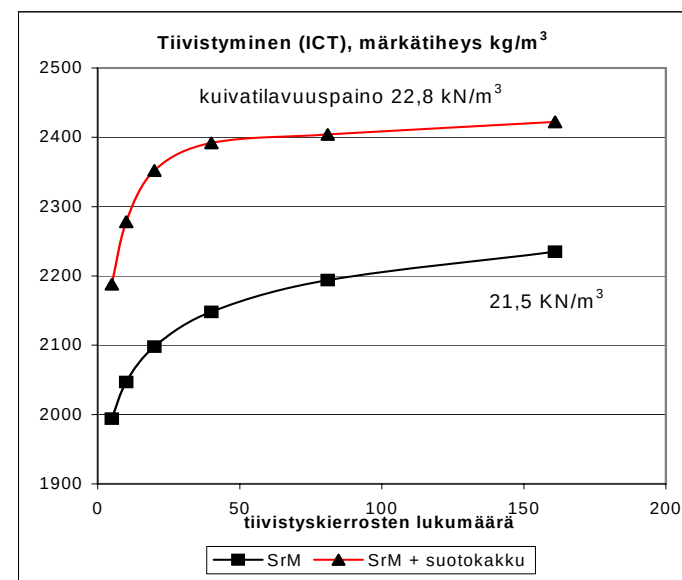
karkea aines	osuudet paino- %		raekoko (mm)/"läpäisy" (%)												menetelmä
lajite	suht. 1.	suht. 2	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	5,6	8	11,2	16	22,4	SFS-EN 933-1 seulonta
SrM	0,94	0,96	5,0	8	13	20	29	40	56	66	80	95	100	100	
suotojäte	0,06	0,04	95,0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	laserdiffraktio (Sympatec)
suhteitus 1			10,4	14	19	25	33	44	59	68	82	95	100	100	
suhteitus 2			8,6	12	17	24	31	43	58	68	81	95	100	100	

hienoaaines	raekoko (mm)/"läpäisy" (%)									
näyte	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07
SrM Aitoo	1,9	4,9	10,9	20,2	35,0	46,0	60,8	69,0	78,0	85,0
suotokakku	4,6	13,4	38,0	66,0	80,0	86,0	91,0	93,0	95,0	97,0



Tiivistyskoe:

Kokeessa käytettiin kuivaa suotokakkua 6%, koko massan vesipitoisuus oli 6% (optimi)
Suotokakkunäytteen vesipitoisuus 52% on huomioitu massan vesipitoisuudessa
Kappaleita tiivistettiin 4 barin paineella 161 kierrosta, saavutetut kuivatilavuuspainot on kuvassa
Vertailuna tiivistettiin pelkkä SrM 0-12 (Aitoo) 5,4% vesipitoisuudessa



näyte	ominaispinta-ala m ² /kg	
SrM (<0,063 mm)	5300	
suotokakku	6500	
näyte	kloridip. (%)	vesip. (%)
suotokakku	24	52