



LIFE02 ENV/FIN/329

RAPORTTI

KUKKIA CIRCLET

Ympäristömyönteiset menetelmät alempiluokkaisen tiestön kunnostamiseen.

Environmentally friendly systems to renovate secondary roads

PILOT 2003

KUITUTUHKARAKENTEIDEN JA POHJAVEDENSUOJAUSRAKENTEEN TOTEUTTAMINEN LUOPIOISISSA

TEKNINEN RAPORTTI 1/2004

26.3.2004



 Vohlisaarentie 2B 36760 Luopioinen puh. 03-524 3200 fax. 03-524 3222 e-mail n.n@viatek.fi internet http://www.viatek.fi	Julkaisun otsikko ja tunnistetiedot Julkaisumuoto (julkaisu, moniste..) ja päiväys LIFE02 ENV/FIN/329 KUKKIA CIRCLET PILOT 2003 Tekninen raportti 1/2004
Tekijä(t) Aino Maijala	Tarkastaja(t) Seppo Kolkka, Pentti Lahtinen, Pekka Vallius
Projektin johtaja Viatekissa Pentti Lahtinen	Tilaja(t) Tieliikelaitos, Tampere
Projektinnumero 82101799-05	Rahoitus LIFE02 ENV/FIN/329 – Tieliikelaitos, Tampere
Työn nimi KC Pilot 2003 rakentaminen	
Tiivistelmä Kukkia Circlet -hanke on demonstraatioprojekti teollisuuden sivutuotteiden hyödyntämiseen perustuvista ympäristömyötäisistä menetelmistä soratieverkoston ylläpitoon ja kunnostamiseen. Demonstraatioprojekteja tarvitaan, koska teollisuuden sivutuotteiden hyötykäyttö tuotantomittakaavassa edellyttää normaalissa rakentamisen mittakaavassa toteutettuja testausprojekteja, jotka käytännössä osoittavat sivutuotteiden olevan teknisesti ja taloudellisesti kilpailukykyisiä, kestäviä ja ympäristön kannalta turvallisia vaihtoehtoja perinteisille materiaaleille. Hanke koostuu useasta osatehtävästä, joista varsinaisesta prosessin testauksesta on osa toteutettu vuonna 2002 (erilliset raportit) ja osa toteutettiin Pilot 2003 nimellä vuonna 2003. Pilot 2003 prosessissa testattiin normaalin rakentamisen mittakaavassa erilaisten kevyen liikenteen väylien rakentamista ja huonokuntoisen soratien kunnostamista nk. kuitutuhkaseokseen perustuvilla rakennekerroksilla, pohjaveden suojausrakenteen toteuttamista kuitusaven avulla, ja uutta pintasuojamateriaalia, joka perustuu kalsiumkloridin valmistuksessa muodostuvaan suotokakkuun. Tässä raportissa kuvataan käytettyjen materiaalien ominaisuuksia laboratoriotestien perusteella, eri rakennratkaisuja ja niiden rakentamisen prosesseja. Tuloksena syntyneiden rakenteiden käyttäytymistä ja ominaisuuksia seurataan havainnoin, mittauksin ja näytteille tehdyin testein ja analyysin rakentamista seuraavina vuosina nk. seurantaohjelman mukaisesti.	
Avainsanat lentotuhka, sivutuotteet, kuidut, savi, tienrakennus, koetiet, projektit, materiaalit	
Kieli suomi	Sivuja 34
Muut työssä laaditut raportit ks. projektin www-sivut http://www.tieliikelaitos.fi/5_4.asp tai http://www.viatek.fi/sgt/life	
Työn arkistointitapa ja -paikka Viatekissa Työtiedostot (serveri); paperikopiot ja tausta-aineisto: AMa	

SISÄLLYSLUETTELO

JOHDANTO	5
MATERIAALIT	6
Kuitutuhkat rakennekerrosmateriaaleiksi	6
Kuitusavi pohjavedensuojauksen tiivistemateriaaliksi	9
Kulutuskerroksen materiaalit	11
RAKENTEET JA NIIDEN TOTEUTTAMINEN	13
Materiaalien kuljetukset, varastointi, sekoitukset ja sekoitustyön laadunvalvonta	13
Kevyen liikenteen väylät	15
Erilliset kevyen liikenteen väylät	16
Piennarlevennykset	19
Soratien perusparantaminen massiivirakenteella. Pihtisalmentie	22
Pohjavedensuojausrakenne. Pihtisalmentie	25
Laadunvalvonta rakentamisen aikana	28
YHTEENVETO KOKEMUKSISTA JA ARVIO KEHITYSTARPEISTA	30
Rakennusteknillinen arviointi. Huomiot ja ongelmat	30
Erillisen kevyenliikenteen väylän teko	30
Piennarlevennys	30
Soratien perusparantaminen massiivirakenteella. Pihtisalmentie	30
Pohjavedensuojausrakenne. Pihtisalmentie	31
Ympäristövaikutusten arviointi	31
Taloudellisuus	32
Rakentamisen jälkeinen seuranta	32
LIITE	34

Taulukot

Taulukko 1: Kuitutuhkaseoksien ominaisuuksia	7
Taulukko 2: Kokonaispitoisuudet ja liukoisuustestin tulokset	9
Taulukko 3: Pohjaveden suojausrakennetta varten tehtyjen materiaalitutkimuksien tuloksia	10
Taulukko 4: Pintasuojusmateriaalin eri vaihtoehtojen testaustuloksia. Vain osa vaihtoehtojaista ja tuloksista taulukossa. Testeissä käytetty mursketta 0/12 mm (rakentamisessa käytettiin mursketta 0/11 mm).....	12
Taulukko 5: Kuitutuhka-sideaineseoksen tavoitearvot	15
Taulukko 6: Pilot 2003 seurantasuunnitelma.....	32

Kuvat

Kuva 1: Kuitutuhkaseosten lujittuminen 3 kuukauden kuluessa koekappaleiden valmistumisesta laboratorioissa. 28 päivän lujittumisen jälkeen on käynnistetty jäädytys-sulatustesti, jonka jälkeen on määritetty koekappaleen puristuslujuus. Jäädytys-sulatustesti on erittäin rankka testi, jolloin puristuslujuus yleensä heikkenee.	8
Kuva 2: Pohjaveden suojausrakenteen testituloksia. Tiivistyvyys ja vedenläpäisevyys	10
Kuva 3: Soramurske Aitoo 0/12 mm (vas) ja soramurskeen lisäksi 6 paino-%:ia kuivaa suotokakkua sisältänyt kappale (sama massamäärä, sama tiivistystyömäärä, kappaleiden halkaisija 100 mm.). Kuva: TTY / Anne Valkonen	12
Kuva 4: Aumasekoitusta Rankkimäessä kesällä 2003	13
Kuva 5: Sekoitusta kauhasekoittimella Rankkimäessä kesällä 2003.	14
Kuva 6: Pohjanvahvistusta (geovahvisteen levitys ja penkereen teko) pehmeiköllä maaliskuussa 2003. Luopioinen.....	17
Kuva 7: Periaatekuva kevyen liikenteen väylästä (leveys 3 m). Luopioinen kesällä 2003.	17
Kuva 8: Kevyen liikenteen väylä rakenteilla; pohjalle tiivistetty mursketta ja tehty reunapalitteet, ja ensimmäinen erä kuitutuhkaa on levitetty murskeen päälle. Luopioinen kesällä 2003. ...	18
Kuva 9: Viimeistelyä väylää. Kulutuspinna levitetty ja luiskat muotoiltu. Kulutuspinnan jyräys vielä kesken. Luopioinen kesällä 2003.....	18
Kuva 10: Piennarlevennyksen periaatekuva. Pilot 2003 Luopioinen.	19
Kuva 11: Piennar on kaivettu auki. Luopioinen Kt 322, 2003.....	20
Kuva 12: Kuitutuhkaa levitetään kauhakuormaajalla verkon päälle. Apuna käytetään muottia l. tukilevyä. Luopioinen Kt 322, 2003.....	20
Kuva 13: Muotin avulla pussitetun kuitutuhkakerroksen päälle on ajettu murske ja rakenne tiivistetään. Luopioinen Kt 322, 2003.	21
Kuva 14: Uutta rakennekerrosta tiivistetään murskeen päältä. Luopioinen Kt 322, 2003.	21
Kuva 15: Peruskorjattavan tieosuuden kuitutuhkarakenteen periaatekuva (vertaa myös kuvaan 7). Pihtisalmentie, Luopioinen, kesä 2003.	22
Kuva 16: Soratien pinnasta höylättiin muutama senttimetri pintamurskeita valliksi tienreunaan . Pihtisalmentie, Luopioinen, 2003.....	23
Kuva 17: Soratien pintaan muokattuun ”kaukaloon” levitettiin kuitutuhka kippaamalla auton lavalta. Pihtisalmentie, Luopioinen, 2003.	23
Kuva 18: Kuitutuhkakerrosta tiivistetään jyrällä. Pihtisalmentie, Luopioinen, 2003.....	24
Kuva 19: Kuitutuhkakerroksen päälle levitettiin noin 5 cm mursketta, ja kerrokset tiivistettiin jyrällä täryttämällä. Pihtisalmentie, Luopioinen, 2003	24
Kuva 20: Periaatekuva pohjaveden suojausrakenteesta.	25
Kuva 21: Pintamaan poistoa rakennuskohteessa. Pihtisalmentie, Luopioinen, 2003.	26
Kuva 22: Kuitusaven levitys käynnistynyt. Pihtisalmentie, Luopioinen, 2003.	26
Kuva 23: Kuitusavikerrosta tiivistetään. Pihtisalmentie, Luopioinen, 2003.....	27
Kuva 24: Valmis pohjavedensuojausrakenne. Pihtisalmentie, Luopioinen, 2003.....	27
Kuva 25: Näytteenotto sivutuotemassasta. Luopioinen, 2003.....	28
Kuva 26: Kerrospaksuuden tarkistaminen. Luopioinen, 2003.....	29

JOHDANTO

Kukkaa Circlet -hanke on demonstraatioprojekti teollisuuden sivutuotteiden hyödyntämiseen perustuvista ympäristömyönteisistä menetelmistä soratieverkoston ylläpitoon ja kunnostamiseen. Hankkeen taustalla ovat Suomen alempiasteisen tieverkoston, etupäässä sorateiden, huono laatu ja keväisin toistuvat routavauriot sekä maarakentamisessa tarvittavien luonnon kiviainesten käyttöön liittyvät ympäristö- ja saatavuusongelmat, sekä kunnossapidosta ja peruskorjauksesta aiheutuvat suhteellisen korkeat kustannukset. Perinteisten sorateiden peruskorjaus- ja kunnostusmenetelmien korvaaminen teollisuuden sivutuotteisiin perustuvilla menettelytavoilla on kiinnostavaa senkin vuoksi, että sivutuotteista monet ovat käyttökelpoisia maarakennusmateriaaleja, joko sellaisenaan tai jalostettuina. Teollisuuden sivutuotteiden hyötykäyttö edellyttää kuitenkin normaalissa rakentamisen mittakaavassa toteutettuja testausprojekteja, jotka käytännössä osoittavat sivutuotteiden olevan teknisesti ja taloudellisesti kilpailukykyisiä, kestäviä ja ympäristön kannalta turvallisia vaihtoehtoja perinteisille rakennusmateriaaleille.

Hankkeen yhteydessä testataan paitsi sorateiden perusparantamisen eri prosesseja, myöskin erityisinä sovellutuksina pohjaveden suojausrakenteen ja uudentyypisten kevyenliikenteen väylien rakentamista teollisuuden sivutuotteisiin, lähinnä lentotuhkaan ja siistausjätteeseen perustuvia uusiomateriaaleja käyttämällä. Hanke koostuu useasta osatehtävästä, joista keskeisiä ovat vuosina 2002 ja 2003 toteutetut pilotprosessit, rakennesovellutusten seuranta tutkimukset ja tulosten ympäristöllisten ja taloudellisten vaikutusten arviointi, sekä hankkeessa muodostuvan tietotaidon ja tulosten levittäminen Euroopassa. Vuoden 2002 pilotprosessi (Pilot-2002) ja vuoden 2003 pilotprosessin (Pilot-2003) valmistelun ensivaiheita on kuvattu raportissa, joka valmistui vuoden 2003 maaliskuussa ja on saatavissa hankkeen nettisivuilta (http://www.tieliikelaitos.fi/5_4.asp tai <http://www.viatek.fi/sgt/life>). Pilot-2002 testaa teollisuuden sivutuotteiden vaikutusta kunnostettavan soratien vanhan kiviaineksen stabiloinnissa. Luopioisissa sijaitsevan pilotkohteen, MT 3201, perusparannus toteutettiin kolmea erilaista sideaineseosta ja erilaisia kulutuskerrosmateriaaleja käyttämällä.

Tämän raportin tarkoituksena on kuvailla Pilot-2003 prosessia, jonka yhteydessä on testattu normaalin rakentamisen mittakaavassa erilaisten kevyen liikenteen väylien rakentamista ja huonokuntoisen soratien kunnostamista massiivisella kuitusaven¹ ja lentotuhkan (kuitutuhka-) seokseen perustuvilla rakennekerroksilla, pohjaveden suojausrakenteen toteuttamista kuitusaven avulla, ja uutta kulutuskerroksessa käytettävää ratkaisua: pölyä sitovaa ja kosteuttavaa, kalsiumkloridin valmistuksessa muodostuvaa suotojätettä ja muita seosaineita. Raportissa kuvataan käytetyt materiaalit ja niiden ominaisuuksia, eri rakenneratkaisut sekä itse rakentamisen prosessit, joiden tuloksena syntyneiden rakenteiden ominaisuuksia ja käyttäytymistä seurataan tulevana vuosina.

¹ kuitusavi = kuituliete, tässä siistausliete, jonka pääaineita ovat lyhyet puukuidut ja kaoliini. Lyhenteenä tässä: KS

MATERIAALIT

Kuitutuhkat rakennekerrosmateriaaleiksi

Laboratoriossa ja koerakenteissa on useiden vuosien aikana testattu mm. Georgia Pacific Finland Oy:n (myöh. Gapac) kuitusaven (siistausjätteen) 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. Viimeksi mainitulla tarkoitetaan sitä, ettei kuitutuhkarakenteista ole todettu kulkeutuvan haitta-aineita rakenteiden ympäristöön huolimatta siitä, että lentotuhkat sisältävät pieniä määriä mm. raskasmetalleja.

Pilot-2003 rakenteissa käytetyt kuitutuhkan sivutuotekomponentit olivat Gapacin kuitusavi sekä Jämsänkosken voimalaitoksen lentotuhka, joka muodostuu pääosin puun kuoriaineksen ja turpeen poltosta. Kuitutuhkaseoksien stabiloitumisen varmistamiseksi kuitusaven ja lentotuhkan seokseen lisättiin pieniä määriä (5-6 % kuitutuhkan kuivamassasta) kaupallisia sideaineita tai näiden seoksia.

Pilot-2003 varten haettiin mahdollisimman kestävät materiaalityypit sekä Pihlajamäntäniellä kunnostettavaan soratiekohteeseen että kevyen liikenteen väyliin. Materiaaleilta edellytettiin hyvää tiivistävyvyyttä ja lujittuvuutta, sekä riittävää routa- ja jäädytys-sulatuskestävyyttä. Tämän lisäksi oli varmistuttava käytettävien seoksien ympäristöturvallisuudesta.

Erilaisia kuitutuhkaseoksia testattiin täten määrittämällä niistä seuraavat parametrit:

- Maksimaalinen kuivairtoteiheys ja optimivesipitoisuus (Proctor testi)
- Tiivistävyys eri työmäärillä (iskua/kerros)
- Puristuslujuus muodonmuutoksen ollessa 10 %
- Jäädytys-sulatuskestävyys
- Routivuus (SPo)
- Lämmönjohtavuus (joissakin tapauksissa)

Ympäristöturvallisuus määritettiin analysoimalla kuitusaven ja lentotuhkan epäorgaanisten aineiden pitoisuudet ja määrittämällä epäorgaanisten aineiden liukoisuus niiden stabiloidusta seoksesta (yksi seos, jossa lentotuhkaa oli maksimimäärä eli yhtä paljon kuin kuitusavea).

Useiden testauskierrosten jälkeen valittiin materiaalityypit kuitusaven (KS) ja lentotuhkan (LT) seokset seuraavissa massasuhteissa (KS:LT): 10:5, 10:7, 10:10. Sideaineiksi valittiin yleisementti (YSe), ja Finstabi-kalkki-sementti-seos (FTC).

Taulukossa 1 annetaan joitakin suoritettujen testien tuloksia niiden kuitusaven ja lentotuhkan seosten osalta, jotka lopulta valittiin rakentamisen materiaaleiksi käyttämällä sementtiä sideaineena. Soratien peruskorjaukseen valittiin massiivikerrosmateriaaliksi seos [(KS+LT, 10:7) + 6% YSe]. Kevyen liikenteen väylien kerrosmateriaaliksi valittiin seos [(KS+LT, 10:10) + 6% YSe]. Valintojen perusteena oli erittäin hyvä lujuuskehitys (**Kuva 1**), ja riittävän hyvä routakestävyys sekä jäädytys-sulatuskestävyys. Seoksissa ei käytetty lisäainetta.

Ympäristökelpoisuuden arvioimiseksi kuitusavesta ja lentotuhkasta määritettiin epäorgaanisten alkuaineiden kokonaispitoisuudet mikroalutouunissa tehdystä typpihappouutosta ICP-MS/AES tekniikalla. Tämän lisäksi näistä komponenteista tehtiin seos [(KS:LT, 10:10) + 6 % FTC], josta lujittamisen (28 d) jälkeen tehtiin liukoisuustesti. Liukoisuustestinä oli hollantilaisen standardin

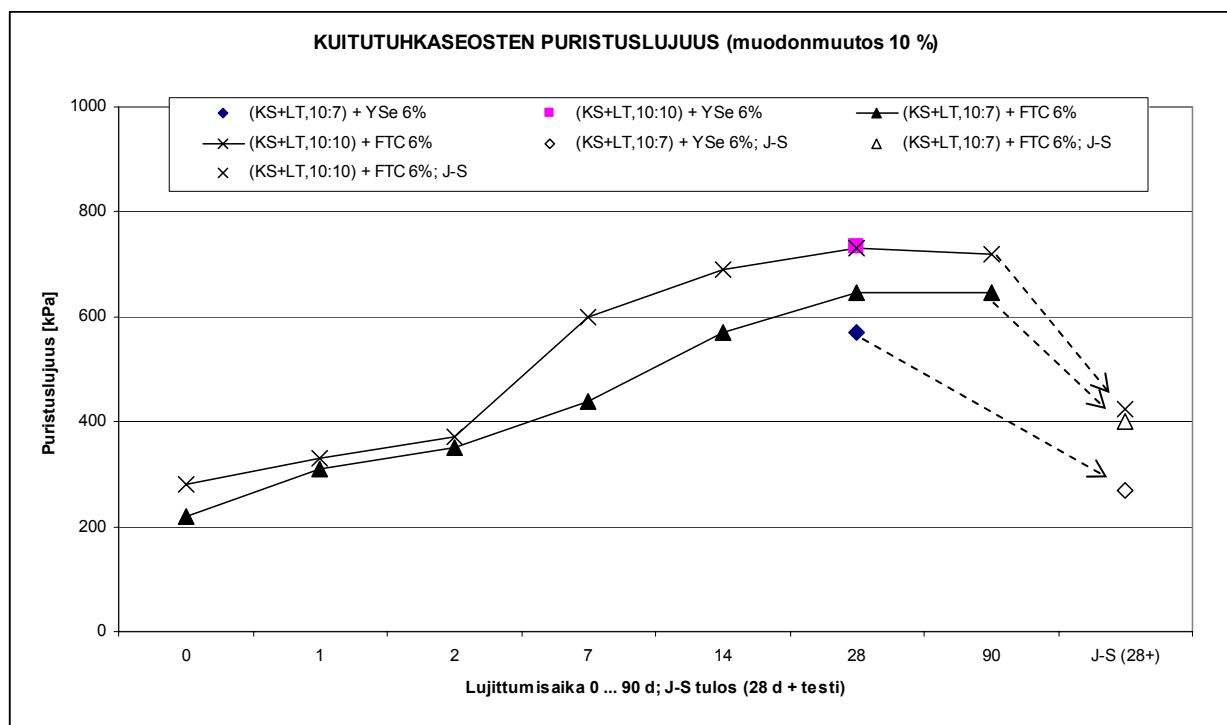
NEN 7343 mukainen kolonnitesti, jonka vesinäytteistä määritettiin epäorgaanisten alkuaineiden kokonaispitoisuudet ICP-MS/AES tekniikalla. Tulokset on esitetty **taulukossa 2**. Näiden ohella kuitusavesta määritettiin TOC (orgaanisen hiilen kokonaispitoisuus) vesiinutosta. TOC oli vain 830 mg/kg kuitusavinäytteen kuiva-aineesta (kuiva-ainepitoisuus oli 64 %).

Taulukon 2 esittämien tulosten perusteella on todettavissa, että lentotuhkassa boorin (B) ja bariumin (Ba) pitoisuudet ylittävät selvästi pilaantuneelle maalle ehdotetut raja-arvot ja alittavat ympäristöministeriön muistiossa (PM 11/400/2001 kesäkuussa 2002) esittämät pitoisuuden raja-arvot. Seoksessa molempien alkuaineiden liukoisen fraktion osuudet ovat hyvin pienet pitoisuuteen verrattuna. Molybdeenin (Mo) esiintyminen tuhkassa osittain liukoissa muodossa, mutta seoksessa sen liukoisuus alittaa selvästi ympäristöministeriön muistiossa peitettylle rakenteelle sallitun liukoisuuden ohjearvon. Tulosten perusteella on päätetty, että Pilot-2003 kohteissa käytetään lentotuhkaa korkeintaan saman verran kuin kuitusavea (märkämassoina). Todettakoon, että pilitrakenteet sijoittuvat etäälle tärkeistä pohjavesialueista, ja keskimääräisen pohjaveden pinnan yläpuoliselle tasolle.

Taulukko 1: Kuitutuhkaseoksien ominaisuuksia

KS:LT	Side- aine	Proctor			Puristuslu- juus	J-S kestä- vyys	Routimi- nen SP _o	Lämmön- johtavuus	
		max. kui- vairtotei- heys	w _{opt}	w _o Lähtö- taso	28 d, kuivavar.	28 d ja testiaika		+20 °C	-10 °C
		kg/m ³	%	%	kPa	kPa / %		W/mK	W/mK
10:7	FTC 6%	965	45	62	590-700	300-500 /60-70 %	1,1	0,60	0,97
10:10	FTC 6 %	1010	41	54	730	400-450 /55-60 %	1,0	0,61	0,91
10:7	YSe 6 %	940	54	-	570	270 /47 %	0,7-1	-	-
10:10	YSe 6 %	-	-	-	730-740	-	0,6-0,7	-	-

- Kuitusaven KS vesipitoisuus oli 140 %, pH 8,0 ja hehkutushäviö 61,1 %
- Lentotuhkan LT vesipitoisuus oli 18,6 %, pH 12,2 ja hehkutushäviö 2,5 %. Lentotuhkaa kostutettiin ennen seostamista: 20 % vettä, joka vaikutti 7 päivän ajan (vastaten todennäköistä rakentamistilannetta)
- w (opt) on optimivesipitoisuus, joka on määritetty Proctor-testissä. w_o = seoksen vesipitoisuus lähtötilanteessa
- Puristuslujuusarvot on annettu muodonmuutoksen ollessa 10 %. Puristuslujuus on määritetty myös jäädytys-sulatustestin jälkeen, jolloin on saatu jäädytys-sulatuksesta arvo.
- SP_o = segregatiopotentiali on laskennallinen suure, joka määritetään routatestin tulosten perusteella. Mitä pienempi tämä arvo on, sitä vähemmän routiva on materiaali.
- Lämmönjohtavuus on määritetty standardin ASTM D 5334-92 mukaisesti



Kuva 1: Kuitutuhkaseosten lujittuminen 3 kuukauden kuluessa koekappaleiden valmistamisesta laboratoriossa. 28 päivän lujittumisen jälkeen on käynnistetty jäädytys-sulatustesti, jonka jälkeen on määritetty koekappaleen puristuslujuus. Jäädytys-sulatustesti on erittäin rankka testi, jolloin puristuslujuus yleensä heikkenee.

Taulukko 2: Kokonaispitoisuudet ja liukoisuustestin tulokset

Alkuaine	Kokonaispitoisuus; ICP-MS/AES [mg/kg]					Liukoisuus; NEN 7343; L/S 10 [mg/kg]				
	Komponentit		Ohjearvot (Suomessa)			Seos KCK51	Ohjearvot (Suomessa)			
	Lentotuhka	Kuitusavi	Puhdasmaa	Raja-arvo	Turpeen/kuoren polton lentotuhka		Turpeen/kuoren polton lentotuhka		Päällystetty tie	Päällystetty tie
			Ref. 1)	Ref. 1)	Ref. 2)		Päällystämätön tie	Päällystetty tie		
							Ref. 1)	Ref. 1)	Ref. 2)	Ref. 2)
As	40,4	1,3	13	60	50	0,004	0,14	0,75	0,2	0,85
B	231	2,57	5	50	320	0,100	-	-		
Ba	1290	89,3	600	600	2000	29,5	10	28	100	280
Be	3,16	<0,5	1	10	-	0,01	-	-		
Cd	1,94	0,13	0,3	10	14	0,003	0,011	0,015	0,02	0,02
Co	14,5	2,45	50	200	-	0,021	1,1	2,5		
Cr	147	12,9	80	500	-	0,034	2	5,1		
Cu	101	127	32	400	650	0,713	1,1	2		
Mo	8,63	1,62	5	200	40	1,071	0,31	0,5	2,5	4
Ni	92	5,73	40	300	-	0,126	1,2	2,1		
Pb	70,1	5,38	38	300	230	0,006	1	1,8		
Sb	<0,2	<0,1	5	40	40	0,002	0,12	0,4	0,12	0,4
Se	<10	<5	1	10	20	0,200	0,06	0,10	0,3	0,5
V	87,5	3,79	50	500	-	0,004	2,2	10		
Zn	341	67,3	90	700	2600	0,062	1,5	2,7	1,5	2,7

Referenssit

- 1) Sorvari, J. (2000): Sivutuotteet maarakentamisessa. Käyttökelpoisuuden kriteerit. TEKES/Teknologiakatsaus 92/2000
- 2) YM 11/400/2001; muistio kesäkuussa 2002 liittyen valmisteilla olevaan asetukseen sivutuotteiden käytöstä maarakentamisessa

Kuitusavi pohjavedensuojauksen tiivistemateriaaliksi

Pohjaveden suojaus on tarpeen sellaisissa kohteissa, joissa tie kulkee vesihuollolle tärkeiden pohjavesialueiden kautta tai vierestä, jotta pohjavesiin ei kulkeutuisi liikenteessä tai tien hoidossa syntyviä haitta-aineita (esim. tiesuolaa). Pohjaveden suojaus tien kohdalla on toteutettava Tiehallinnon tieteknisiä ohjeita noudattaen². Pohjaveden suojauksessa on tiivistekerroksen materiaalina käytettävä yleensä esimerkiksi bentoniittisavea tai vastaavaa materiaalia, joka täyttää tiiviysvaatimukset (veden läpäisevyys $k < 1 \times 10^{-9}$ m/s). Yleisesti käytettävät materiaalit ovat suhteellisen kalliita, joten tierakentamiseen haetaan jatkuvasti niille kelvollisia vaihtoehtoja.

Kuitusavea, joka pääasiassa koostuu lyhyistä puukuiduista sekä kaoliinista, on jo 1990-luvun puolivälistä alkaen testattu ja myös käytetty kaatopaikkojen pintarakenteen tiivistekerrosmateriaalina. Kuitusavella on päästy huolellisella tiivistystyöllä jopa alle 10^{-10} m/s tiiviyteen. Tämän vuoksi kuitusavea päätettiin testata myös tien viereen rakennettavien pohjaveden suojausrakenteiden tiivistekerrosmateriaalina.

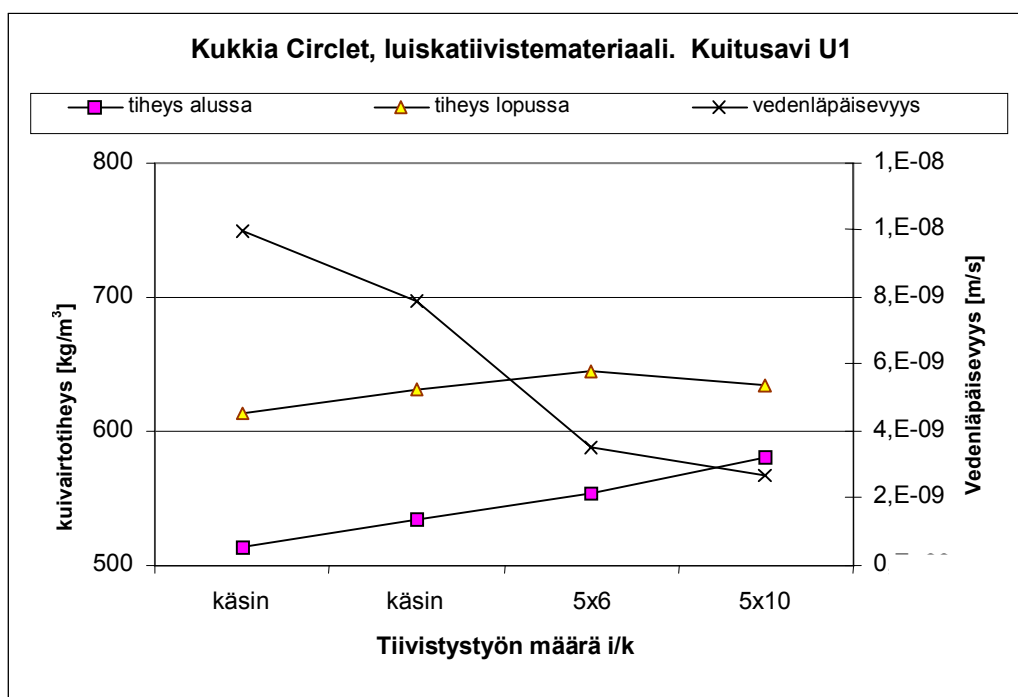
Georgia Pacific Finland Oy:n kuitusavesta tehtiin perustestit (vesipitoisuus w_o , sekä optiivisipitoisuus w_{opt} ja tiivistyminen modifioidulla Proctortestillä) ja määritettiin puristuslujuus (koekappaleen oltua varastoituna huoneenlämmössä 28 päivää), jäädytys-sulatuskestävyys sekä

² Pohjaveden suojaus tien yhteydessä TIEL 2140001-2000 ja TIEL 2140015-2000 (Groundwater Protection Along Roads)

vedenläpäisevyys (k). Jäädytys-sulatuskestävyys määritettiin testaamalla koekappaleen lujuus jäädytys-sulatustestin (J-S) jälkeen. Vastaavasti määritettiin koekappaleen lujuus vedenläpäisevyystestin (V-L) jälkeen. Vedenläpäisevyys määritettiin nk. pehmeäseinämäisellä laitteistolla, jossa koekappaleeseen kohdistuu painetta kolmelta suunnalta eli 3-dimensionalisesti). Testitulokset ovat **taulukossa 3**.

Taulukko 3: Pohjaveden suojausrakennetta varten tehtyjen materiaalitutkimuksien tuloksia

Kuitusaven osuus	Lisäaine	Proctortesti			Puristuslujuus			k
		max. irtotiheys	w _{opt}	w _o	28 d	J-S jälkeen	V-L jälkeen	
		kg/m ³	%	%	kPa	kPa	kPa	m/s
100	-	850	50-60	118	24 - 35	47-61	-	7,3E-10 ... 2,7E-09
						66-78		6,0E-09
100	B ³ 5 %	627	-	106	52-56	-	-	3,8E-10
						71-77		2,7E-09



Kuva 2: Pohjaveden suojausrakenteen testituloksia. Tiivistävyys ja vedenläpäisevyys

Testit tehtiin pelkälle kuitusavelle sekä vertailun vuoksi kuitusavelle, johon oli lisätty 5 % bentoniittia (kuitusaven märkämässasta laskettuna). **Kuvassa 2** on havainnollistettu kuivairtitiheyden, tiivistystyön määrän ja vedenläpäisevyyden riippuvuutta toisistaan. Kuitusaven (U1) vesipitoisuus on 110 – 130 %. Ennen testejä kuitusavi homogenisoitiin. Testeissä kuitusaveen ei lisätty vettä. Käyttövesipitoisuudessa (w_o = 118 % taulukossa 3) saavutettava maksimaalinen kuivairtitiheys on 585 kg/m³ (tiiviysaste D = 69 %). Optimivesipitoisuudessa (50 – 60 %) mak-

³ B = Bentoniitti

simaalinen kuivairtitiheys on 850 kg/m³. Rakennusvaiheessa asetettiin kuivairtitiheyden tavoitetasoksi rakenteessa 550 – 580 kg/m³, jolloin on saavutettavissa vähintään 3 ... 4E-09 m/s vedenläpäisyta-
so. Tavoitetaso tarkistettiin työn alkaessa sullomalla kuitusavea proctormuot-
tiin 10 iskua/kerros -työmäärällä.

Kulutuskerroksen materiaalit

Suotokakkua muodostuu tiesuolana käytettävän kalsiumkloridin valmistuksen sivutuotteena, ja se sisältää kalsiumkloridin lisäksi muita kalsiumyhdisteitä. Sekoitettaessa tällaista suotokakkua pintaan käytettävään murskeeseen, lisätään pinnan kulutuskestävyyttä, ja vältetään kevyen ja syksyn erilliseltä suolaukselta. Suotokakku pitää murskepinnan sulana vielä - 5 °C:n pakkasiin asti. Suolan hygroskooppinen vaikutus häviää luonnollisesti ajan myötä suolan liuetta pois suotokakusta.

Soratien kulutuskerrosta varten pyrittiin suotojätteen ja käytettävän murskeen suhteutuksella määrittämään sellainen suotokakkumäärä suhteessa käytettävään murskeeseen, joka ei lisää koko massan hienoainepitoisuutta yli 10 paino-%. Suhteutus teetettiin Tampereen Teknillisen Yliopiston Rakennusgeologian laboratoriossa. TKY:n tutkimuksissa todettiin mm., että ”pelkästään rakeisuuden perusteella voitaisiin kuivaa suotokakkua lisätä kyseiseen soramurskeeseen jopa 6 paino-%:ia, jolloin materiaali olisi hyvin tiivistyvää. Laboratoriossa tehtiin koekappaleita, joihin lisättiin 6 paino-%:ia kuivaa suotokakkua. Tällöin koko massan hienoainepitoisuus oli noin 10 paino-%:ia. Koekappaleet tiivistyivät hyvin. Massa sekoitettiin siten, että suotokakkuun lisättiin vettä ja suotokakusta tehtiin löysähkö pasta, joka sekoitettiin kuivaan soramurskeeseen. Koekappaleet kuivattiin uunissa ja niistä mitattiin kuivatilavuuspaino. Heti kuivauksen jälkeen ne kappaleet, joihin oli lisätty suotokakkua olivat hyvin vaaleita pinnaltaan. Suola näkyi selvästi pinnassa. Pian kuivauksen päätyttyä kappaleet kuitenkin tummuivat ja niiden pinta tuli silminnähden kosteaksi: kappaleet ottivat ilmasta 2,5 paino-%:ia vettä. Oheinen valokuva, **kuva 3**, on otettu noin 20 tunnin kuluttua uunikuivauksen päättymisen jälkeen. (Uunikuivaus yön yli +105 °C). ”

Kevyen liikenteen väylien kulutuskerrosmateriaaleja tutkittiin SCC Viatek Oy SGT:n laboratoriossa, Murskepinnan kulutuskestävyyden varmentamiseksi päätettiin hakea suotokakun oheen muita mursketta jalostavia komponentteja (sideaineita). Testeissä todettiin, että yli 10 % suotokakkumäärä on liian iso, sillä koekappaleet pehmenivät tällöin veden kanssa. Tämän vuoksi suotokakun määrää vaihdeltiin 5 – 9 % välillä. Sideaineina kokeiltiin mm. SR-sementtiä, masuunikuonahiekkaa ja -jauhetta, kalkkia (CaO) ja bitumiemulsiota. Erilaisilla seoksilla jalostetuista murskekoekappaleista määritettiin mm. tiivistyvyys, puristuslujuus, jäädytys-sulatuskestävyys ja veden kestävyys. **Taulukossa 4** on esitetty osa vaihtoehtoista ja testitulok-
sista. Kevyen liikenteen väyliin valittiin **SJ+BIE+SRSe⁴ (5+4+4)**, **SJ+kuja+CaO+KS (5+4+1+15)⁵**, ja pelkkä suotokakku-murskeseos.

⁴ SJ = suotokakku, BIE = bitumiemulsio, SRSe = sulphate resistant cement (määrät %)

⁵ SJ = suotokakku, kuja = masuunikuonajauhe, CaO = kalkki, KS = kuitusavi (määrät %)



Kuva 3: Soramurske Aitoo 0/12 mm (vas) ja soramurskeen lisäksi 6 paino-%:ia kuivaa suotokakkua sisältänyt kappale (sama massamäärä, sama tiivistystyö määrä, kappaleiden halkaisija 100 mm.). Kuva: TTY / Anne Valkonen

Taulukko 4: Pintasuojausmateriaalin eri vaihtoehtojen testaustuloksia. Vain osa vaihtoehtoja ja tuloksista taulukossa. Testeissä käytetty mursketta 0/12 mm (rakentamisessa käytettiin mursketta 0/11 mm).

Murskeeseen sekoitettava lisäaine ¹⁾	Lisäainemäärä ²⁾	w_{opt}/ρ_d ³⁾	Puristuslujuus	
			28 d/90 d	28 d/90 d; ja JS-testin jälkeen ⁴⁾
	%	% / kg/m ³	kPa	kPa
SJ+BIE+KS	5+6+8	10,8 / 1890	210 / 210	30 / 40
SJ+kuja+CaO+KS	5+4+1+15	13,0 / 1850	2220 / 1980	850 / 900
SJ+MaHk+CaO+KS	5+10+2+8	10,1 / 1880	1010 / 910	murtunut / 70
SJ+BIE+SRS	5+4+4	6,8 / 2110	3940 / 3880	1290 / 1840

Erillisiin kevyen liikenteen väyliin valittiin **SJ+BIE+SRS**, muihin (piennarlevennys ja peruskorjattu paikallistien osuus) **SJ+kuja+CaO+KS**

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

2) Määrät on ilmoitettu suhteessa murskeen kuivamassaan

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

4) Jäädystys-sulatus testi (JS-testi) käynnistettiin sen jälkeen, kun koekappaleita oli varastoitu (stabiloitu) huoneen lämmössä (n. 20 °C) 28 d / 90 d. Puristuslujuus määritettiin ennen JS-testiä ja JS-testin jälkeen. Viimeksimainitun avulla voidaan päätellä tiivistetyn rakenteen jäädystys-sulatuskestävyys.

RAKENTEET JA NIIDEN TOTEUTTAMINEN

Materiaalien kuljetukset, varastointi, sekoitukset ja sekoitustyön laadunvalvonta

Rakentamisessa käytettävät moreeni, murske ja soramurske toimitettiin varastointipaikalle Tie-liikelaitoksen lähialueen varastoista. Lentotuhkaa toimitettiin UPM Oyj:n Jämsänkosken paperi-tehtaan voimalaitokselta ja kuitusavea eli siistauslietettä Georgia-Pacific Finland Oy:n Nokian tehtaalta useissa erissä kesä-, heinä- ja elokuun aikana. Murskeen seassa käytettävä suotojäte toimitettiin Kemira Oyj:n Kokkolan tehtaalta. Masuunikuonahiekka hankittiin SKJ-yhtiöt Oy:ltä. Kuitutuhkan sideaineena käytetty yleissementti (CEMII/A-M(S-LL)42.5N) hankittiin Finnsementti Oy:ltä, suotojätteen sideaineena käytetty stabilointikalkki Nordkalk Oyj:ltä ja bitumiemulsio Nynäs Oy:ltä (BIE-L). Kiviaines ja sivutuotteet kuljetettiin kuorma-autojen avola-voilla, lentotuhka kostutettuna ja kuorma suojapeitteellä peitettynä pölyämisen estämiseksi. Sementti ja kalkki toimitettiin sekoituspaikoille suursäkeissä ja bitumiemulsio (sisälsi n. 40 % vetä) säiliöautolla.

Materiaalien varastointipaikka Rankkimäessä oli samalla myös sekoituspaikka. Sekoitettavina massoina olivat sekä kuitutuhkat että suotokakkumurskeet. Sekoitukset toteutettiin, sekoitettavasta määrästä riippuen, aumasekoituksena tai kauhasekoittimella (kuvat 4 ja 5). Aumasekoittimen teho on erittäin suuri, ja mitoittavana resurssina l. 'pullonkaulana' on pyöräkuormaajalla suoritettava työ sekoitettavan auman rakentamisessa. Sementti lisättiin aumaan suursäkeistä, mikä aiheutti jonkin verran pölyämistä.



Kuva 4: Aumasekoitusta Rankkimäessä kesällä 2003



Kuva 5: Sekoitusta kauhasekoittimella Rankkimäessä kesällä 2003.

Ennen sekoitustyön käynnistymistä otettiin välivarastoidusta materiaalikomponenteista (lento-tuhkasta ja kuitusavesta) näytteitä, joiden perusteella vielä kertaalleen varmistettiin sekoitustyös-sä käytettävä vesipitoisuus. Näin toimien tarkistettiin kuinka hyvin hyödynnettävä materiaali vastasi niitä materiaaleja, joilla varsinaiset ennakkokokeet oli tehty laboratoriossa. Tarvittaessa (mikäli tulokset poikkeavat huomattavasti aikaisemmista) oli sekoitettavien materiaalikompo-nenttien suhdetta muutettava l. seoksen vesipitoisuutta korjattava vastaamaan ennakkotesteissä tutkittua tilannetta. Sekoitustyön yhteydessä punnitukset tehtiin märkämassojen perusteella ja tavoitteena on pitää lähtömateriaalien kuivamassojen suhde vakiona.

Sekoituspaikalle kuljetetusta, välivarastoidusta tuhkasta ja kuitusavesta otettiin myös n. 0.5 kg näytteet 100 märkätönnin välein, käytännössä 5 - 6 näytettä molemmista materiaaleista eri puo-lilta välivarastokasaa. Kaikki edellä mainitut näytteet toimitettiin Viatekin Luopioisten laborato-rioon testattavaksi ennen rakentamisen aloittamista.

Sekoitustyön aikana valmiiden massojen laatuvariaatiota seurattiin mahdollisimman tarkasti. Läh-tevien massojen laatu (vesipitoisuus) varmistettiin ennen kuin ne kuljetettiin työmaalle, ts. sekoi-tusasemalta ei päästetty lähtemään asetetuista vaatimusrajoista poikkeavaa materiaalia. Alkuvai-heessa seurantavälinä pidettiin 50 tonnia. Työn edetessä voitiin laatuvariaatiota toteuttaa ottamalla silmämääräisen homogeenisuuden seuraamisen lisäksi vesipitoisuusnäyte lähtevistä kuormista runsaan 100 t välein.

Kuitutuhkamassoille oli määritetty rajat, joiden sisällä sekoitetun massan ominaisuuksien täytyy pysyä (taulukko 5). Mikäli rajat ylittyivät, massaa ei saa käyttää rakentamisessa ilman laadun-seurannasta vastaavan henkilön lupaa. Suotojätämurskeelle oli laskettu seossuhteet tilavuusmit-toina sekoittamista varten (vrt. massasuhteet luvussa 2.3), mutta vastaavaa tavoitearvotaulukkoa ei laadittu.

Taulukko 5: Kuitutuhka-sideaineseoksen tavoitearvot

Materiaaliseos	Koerakentaminen					Seos (laboratorio- tutkimukset)	
	Tiiviysaste D(%) / δ (kg/m ³)	Vesipitoisuus (%) ¹⁾			Ra- kenne- pak- suus (cm)	Optimi vesi- pitoisuus (%) ¹⁾	Kuiva- irtotihe- ys, max. (kg/ m ³)
		Tavoite	Seuraavat sekoit- tuserät säädel- tä- vä	Valvojan arvio / hylkäys			
[KS + LT, 10:7] + YSe 6 %	89 – 90 / 850 – 880	54 – 62	50 – 66	>66 ²⁾	20	45 (w ₀ = 62)	965 (898)
[KS + LT, 10:10] + YSe 6 %	90 / 900 – 930	50 – 58	45 – 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

Laadunseurannasta vastasi Tieliikelaitos. Kaikki sekoituspaikalla tehtävän laatutarkkailun tulokset sekä sekoitetut massamäärät kirjattiin taulukkoon, ja tulokset toimitettiin Viatekin laboratorioon (SGT:lle) mahdollisia lisäohjeita varten.

Kevyen liikenteen väylät

Luopioisten kirkonkylän kohdalle, Kt 322:n varrelle, rakennettiin kesällä 2003 yhteensä noin 4 kilometrin pituudelta kevyen liikenteen väylää, jonka yhteydessä testataan kuitutuhkamateriaalin toimivuutta kantavan kerroksen materiaalina ja kalsiumkloridin valmistuksessa muodostuvan suotojätteen toimivuutta väylän kulutuskerroksen liukkauden ja pölyämisen estämisessä (tiesuolan sijasta).

Kuten maaseudulla yleensäkin, kyseisellä tieosuudella on ongelmana ollut tien kapeus ja siitä johtuvat vaaratilanteet. Jalankulkijoille ja pyöräilijöille on yleensä hyvin kapea piennar käytettävissä. Moottoriliikenteen ajonopeudet ovat suhteellisen suuret, ja mutkaiset tiet tekevät näkyvyyden heikoksi. Erittäin vaarallisia tilanteita ja joskus onnettomuuksiakin, syntyy etenkin silloin, kun vastaantulevat ajoneuvot ohittavat toisensa samalla kuin ainakin toinen ajoneuvoista on jalankulkijan tai pyöräilijän kohdalla.

Kevyen liikenteen väylien lisääminen haja-asutusalueille, maaseututajamiin, edellyttää, että rakentamiskustannukset saadaan mahdollisimman pieniksi. Luopioisten pilotrakennuskohteessa tavoitteena on testata kevyen liikenteen väylien rakentamisprosessin kustannustehokkuutta käytettäessä rakennusmateriaalina teollisuuden sivutuotteita (kuitutuhkaa) luonnon kiviaineksien

(soran tai kalliomurskeen) sijasta.

Erilliset kevyen liikenteen väylät

Erilliset kevyen liikenteen väylät rakennettiin kt 322 viereen kirkonkylän kohdalle (kartta, Liite 1).

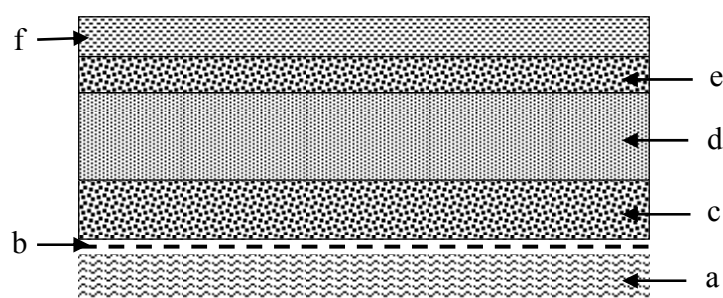
Suunnitellun kevyen liikenteen väylän maaperä tutkittiin maatulokaluotauksella syksyllä 2002. Maatulokauksella saatiin tietoa linjauksen pohjasuhteista, maaperäkerrostumista ja kallion sijainnista. Luotauksen yhteydessä otettiin kairalla näytteitä Mikkolanlahden pohjukan pehmeiköltä laboratoriossa tehtäviä peruskokeita varten. Myöhemmin otettiin lisää näytteitä koekuoppien kaivuun yhteydessä muiltakin osin kevyen liikenteen väylän linjausta. Tutkimustuloksia käytettiin hyväksi kevyen liikenteen väylän suunnitelmia tehtäessä.

Järven läheisyydessä kulkeva väylä rakennettiin turvepehmeikölle, ja tältä osin oli raivaustyöt tehtävä ja pohja vahvistettava (pohjavahvistekangas ja pengeri) jo helmi-maaliskuussa 2003 (kuva 6). Vahvisterakenne toteutettiin kahdelle 100 metrin osuudelle. Tasatulle ja jäätyneelle alustalle levitettiin lujitekangas, ja tämän sisään levitettiin kaksi noin 20 cm:n paksuista moreenikerrosta. Tästä muodostuneen 'patjan' päälle levitettiin vielä noin 60 cm:n paksuinen painopenger moreenista.

Muulta osin kokonaisuudessaan noin 1200 metrin pituisen, erillisen kevyen liikenteen väylän rakennustyöt aloitettiin heinäkuun lopulla (viikko 30/2003) poistamalla linjalta pintamaat ja taasaamalla pohjamaa moreenikerroksella. Tasatun moreenin päälle asetettiin suodatinkangas, ja suodatinkankaan päälle noin 10 cm:n paksuinen murskekerros työkoneiden liikkumisen helpottamiseksi. Murskekerroksen reunoille levitettiin reunantäyttölaitteella nk. reunapalle, jonka tehtävänä oli estää seuraavaksi levitettävän kuitutuhkan leviäminen luiskiin (kuvat 7 ja 8). Reunapalteen avulla muodostettuun 'kaukaloön' levitettiin noin 300 mm kerros kuitutuhkaa. Kuitutuhka kipattiin auton lavalta 'kaukaloön' ja levitettiin kuormaajalla. Kuitutuhkakerroksen päälle levitettiin suojamursketta noin 50 mm, ja rakenne tiivistettiin valssijyrällä. Lopuksi levitettiin kulutuskerrokseksi 50-70 mm suotokakkumursketta asfalttilevittimellä. Osaan suotokakkumursketta on lisätty sementtiä ja bitumia, ja osaan masuunikuonajauhetta, kalkkia ja kuitusavea kulutuskerroksen lujuuden ja kulutuskestävyyden parantamiseksi (seokset kuvattu kappaleessa 2.3). Näin stabiloidut massat levitettiin asfalttilevittimellä. Lopuksi luiskat muotoiltiin (kuva 8 on otettu lähes viimeistellystä kevyen liikenteen väylästä).



Kuva 6: Pohjanvahvistusta (geovahvisteen levitys ja penkereen teko) pehmeiköllä maaliskuussa 2003. Luopioinen



- a. Pohjamaa, turve / Subsoil, peat
- b. Vahvistekangas / Geotextile, reinforcement
- c. Murske, 100 mm / Crushed rock, 100 mm
- d. Kuitutuhka, 150 - 200 mm / Fibre-ash, 150 - 200 mm
- e. Murske, 50 mm / Crushed rock, 50 mm
- f. Suotokakkumurske, 50 - 70 mm /
Crushed rock with filtercake, 50 - 70 mm

Kuva 7: Periaatekuva kevyen liikenteen väylästä (leveys 3 m). Luopioinen kesällä 2003.



Kuva 8: Kevyen liikenteen väylä rakenteilla; pohjalle tiivistetty mursketta ja tehty reuna-paltteet, ja ensimmäinen erä kuitutuhkaa on levitetty murskeen päälle. Luopioinen kesällä 2003.



Kuva 9: Viimeisteltyä väylää. Kulutuspinta levitetty ja luiskat muotoiltu. Kulutuspinnan jyräys vielä kesken. Luopioinen kesällä 2003.

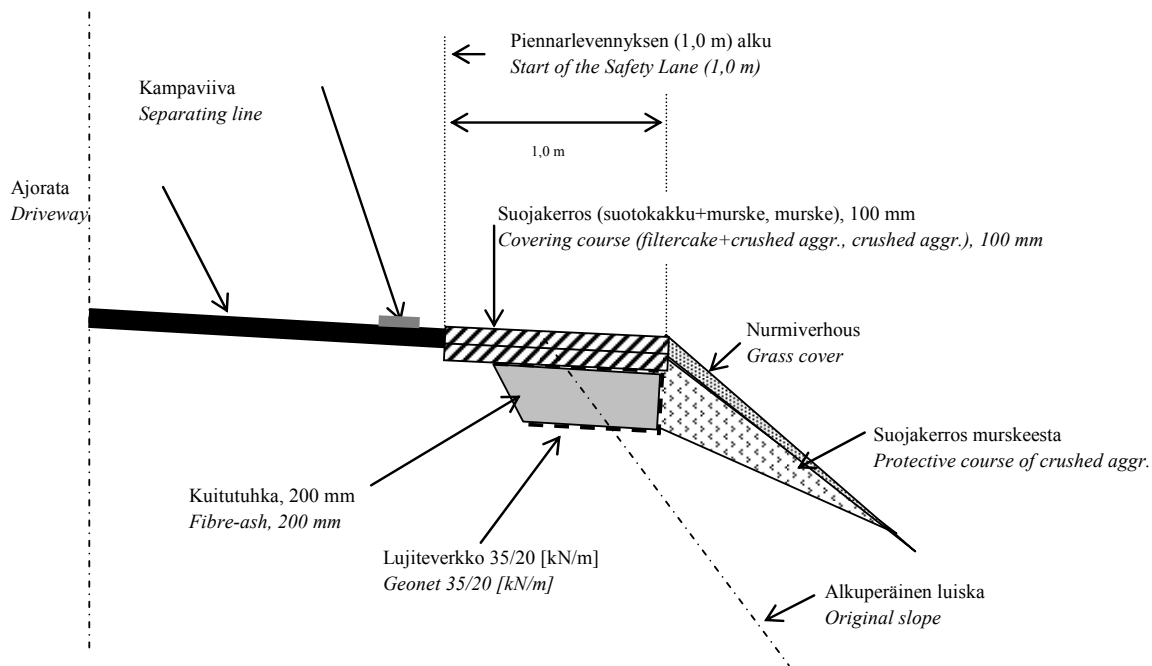
Piennarlevennykset

Kantatie 322 varren pientareita levennettiin kevyen liikenteen leveämmäksi kulkuväyläksi kesälä 2003 (kartta, Liite 1). Lokakuun alun alhaisten lämpötilojen vuoksi ei syksyllä enää voitu viimeistellä piennarlevityksiä, joten piennarlevitykset ja ajoradat erottavien kampareunaviivojen toteuttaminen jäi kevääseen 2004. Ennen töiden aloittamista kartoitettiin teleyhtiöiden asentamat kaapelit tien viereltä niiden vahingoittumisen välttämiseksi (kaapeleita löytyi toki, mutta ne eivät haitanneet piennarlevennystyötä ja ne eivät myöskään vahingoittuneet työn aikana).

Rakentaminen alkoi 16.6.2003 ja päättyi lokakuun lopussa. Levitys toteutettiin jyrkentämällä luiskaa leikkaamalla pintamaakerros luiskan alareunaan. Osittain piennarlevitys oli toteutettavissa soramurskeella, etenkin silloin kun tien rakennekerrokset osoittautuivat hyviksi ja erottuivat hyvin. Kuitutuhkalla levitys toteutettiin, kun täyttökerroksen paksuus oli yli 50 cm. Tällöin luiskan kaivinkoneella tasatulle alustalle levitettiin geovahvisteverkko, täytettiin kuitutuhkalla, taitettiin verkko kuitutuhkakerroksen (noin 30 - 50 cm) päälle ja sen päälle ajettiin ohut murskekerros. Geovahvisteverkkoa käytettiin, jottei kuitutuhka levinnyt luiskaan. Murskekerroksen päältä ”geovahvistepussissa” oleva kuitutuhka tiivistettiin tärylevyllä. Osaan piennarlevennystä tehtiin mainittu yksi geovahvistepussiratkaisu. Noin 50 metrin matkalle, jyrkkään luiskaan, tehtiin kaksi päällekkäistä geovahvistepussia. Pintakerrokseksi tuli 5 cm:n suotokakkumurskekerros. Lopuksi luiskat muotoiltiin. Piennarlevityksien yhteydessä jatkettiin myös tien jyrkkien kohtien kaiteita ja uusittiin tolppia. Yleisesti rakenne on kuvattavissa kuvan 10 esittämällä piirroksella. Kohdetta kuvaamaan asennettiin kilvet, joissa lukee ”piennarlevennyskokeilu” joulukuussa 2003.

PIENNARLEVENNYS. PERIAATEKUVA

The principle of the Safety Lane's structure



Kuva 10: Piennarlevennyksen periaatekuva. Pilot 2003 Luopioinen.

Seuraavat kuvat (kuvat 11-14) ovat otteita piennarlevennyksen toteuttamisen eri vaiheista.



Kuva 11: Piennar on kaivettu auki. Luopioinen Kt 322, 2003.



Kuva 12: Kuitutuhkaa levitetään kauhakuormaajalla verkon päälle. Apuna käytetään muottia l. tukilevyä. Luopioinen Kt 322, 2003.



Kuva 13: Muotin avulla pussitetun kuitutuhkakerroksen päälle on ajettu murske ja rakenne tiivistetään. Luopioinen Kt 322, 2003.

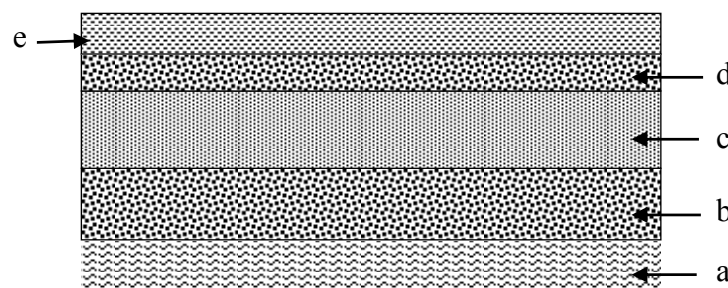


Kuva 14: Uutta rakennekerrosta tiivistetään murskeen päältä. Luopioinen Kt 322, 2003.

Soratien perusparantaminen massiivirakenteella. Pihtisalmentie

Luopioisten kunnassa sijaitseva Pihtisalmentie (Auraanpohjan tieosuus) on hyvä esimerkki liikenteelle haitallisesti vaurioituneesta soratiestä. Kukkia Circlet projektissa tämän tien pahiten vaurioituneet osuudet korjattiin kesällä 2003 yhteensä 900 metrin matkalta kuitutuhkarakennekerroksella. Rakenteen periaate selviää kuvasta 15.

TIEN PERUSKORJAUS KUITUTUHKARAKENTEELLA. PERIAATEKUVA
The principle of the road reconstruction with fibre-ash structural course



- a. Pohjamaa / Subsoil
- b. Vanha tierakenne / Existing old road structure
- c. Kuitutuhka, 200 mm / Fibre-ash, 200 mm
- d. Murske, 50 mm / Crushed rock, 50 mm
- e. Suotokakkumurske, 50 mm /
Crushed rock with filtercake, 50 mm

Kuva 15: Peruskorjattavan tieosuuden kuitutuhkarakenteen periaatekuva (vertaa myös kuvaan 7). Pihtisalmentie, Luopioinen, kesä 2003.

Toteutus tehtiin kahdelle eri tiejaksolle, joista toinen oli 500 m ja toinen 400 metriä. Työ kesti 3 työpäivää. Soratien pinnasta höylättiin muutama senttimetri pintamurskeita valliksi tienreunaan (kuva 16). Tähän ”kaukaloon” levitettiin kuitutuhka kippaamalla auton lavalta ja höyläämällä se tasaiseksi noin 30 cm:n kerrokseksi (kuva 17). Tämä kerros tiivistettiin 13 tonnin jyrällä ilman täryä (kuva 18). Tämän päälle ajettiin ja levitettiin noin 5 cm mursketta ja kerrokset tiivistettiin jyrällä täryttämällä (kuva 19). Kuitutuhka tiivistyi noin 20 cm:n kerrokseksi. Lopuksi lisättiin 5 cm kulutuskerros suotokakkumursketta, ja se tiivistettiin jyrällä. Lopuksi vielä luiskat tasattiin. Kuitutuhka oli sekoitettu aumasekoittimella Rankkimäen kaatopaikalla. Kuitutuhkaseoksessa on kuitusavea noin 55 % (märkämassa), lentotuhkaa noin 39 % (märkämassa) ja yleisementtiä noin 6 %. Kuitutuhkaa käytettiin kohteissa yhteensä noin 1000 tonnia. Kulutuskerrokseksi levitettiin ensin pintamursketta (0/16 mm) ja sen päälle 50 mm kerros murskeen (0/11) ja suotokakun seosta (suotokakkua 7.5 % murskeen kuivamassasta).



Kuva 16 Soratien pinnasta höylättiin muutama senttimetri pintamurskeita valliksi tienreunaan . Pihtisalmentie, Luopioinen, 2003.



Kuva 17: Soratien pintaan muokattuun ”kaukaloon” levitettiin kuitutuhka kippaamalla auton lavalta. Pihtisalmentie, Luopioinen, 2003.



Kuva 18: Kuitutuhkakerrosta tiivistetään jyrällä. Pihtisalmentie, Luopioinen, 2003.



Kuva 19: Kuitutuhkakerroksen päälle levitettiin noin 5 cm mursketta, ja kerrokset tiivistettiin jyrällä täryttämällä. Pihtisalmentie, Luopioinen, 2003

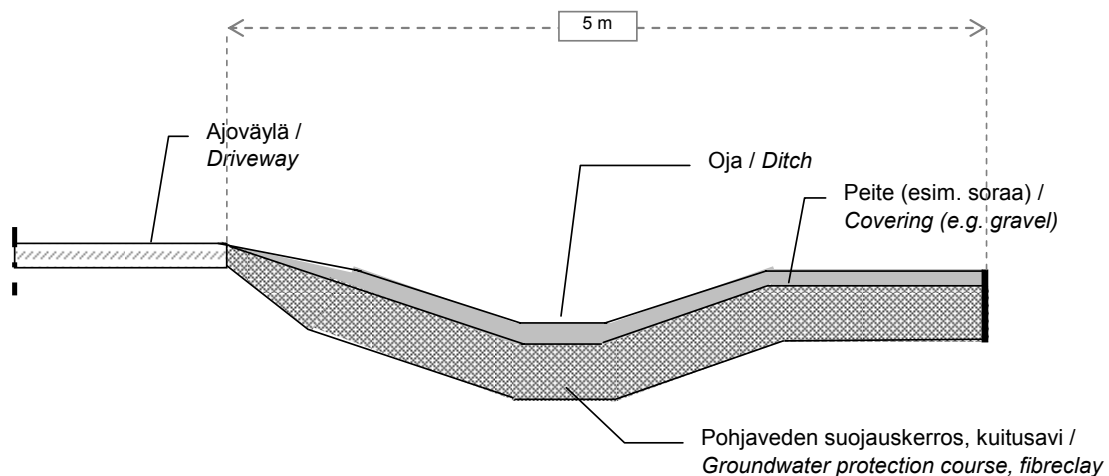
Pohjavedensuojusrakenne. Pihtisalmentie

Pihtisalmentiellä testataan myös kuitusaven toimivuutta pohjavedensuojusrakenteen materiaalina. Kuitusaven odotetaan olevan varsin hyvä tiivistekerrosmateriaali niihin kokemuksiin perustuen, joita on saatu käyttäessä kuitusavea kaatopaikkojen tiivistekerroksen materiaalina ($k \leq 10^{-9}$ m/s).

Pohjaveden suojusrakenteen periaatekuva on esitetty kuvassa 20. Projektissa se kulkee Pihtisalmentien luiskassa noin 30 metrin matkalla ja ulottuu 5 metrin päähän tiestä. Todellisuudessa koerakennuskohde ei sijaitse pohjavesialueella (eli suojaustarvetta ei ole), joten testaus on varsin turvallisessa ympäristössä.

POHJAVEDENSUOJAUSRAKENNE. PERIAATEKUVA

Principle of the groundwater protection structure



Kuva 20: Periaatekuva pohjaveden suojusrakenteesta.

Työ toteutettiin 9-10.10.2003 ja se kesti n. 11 tuntia. Aluksi poistettiin pintamaa. Alue kaivettiin muotoonsa suunnitelman mukaan. Tilalle lisättiin kuitusavikerros (30 – 50 cm). Tarkoitus on, että kuitusaven lisäyksen jälkeen ojan pohja on alkuperäisessä tasossa. Kuitusavikerroksen alle tuli suojamurskeella eristetty salaoja myöhempiä tutkimuksia varten. Lopuksi kuitusaven päälle lisättiin n. 30 cm maata. Työtä tehtiin 150 m², kuitusavea käytettiin noin 100 tonnia.

Seuraavissa kuvissa esitetään otteita pohjaveden suojusrakenteen rakentamisesta (kuvat 21 - 24).



Kuva 21: Pintamaan poistoa rakennuskohteessa. Pihtisalmentie, Luopioinen, 2003.



Kuva 22: Kuitusaven levitys käynnistynyt. Pihtisalmentie, Luopioinen, 2003.



Kuva 23: Kuitusavikerrosta tiivistetään. Pihtisalmentie, Luopioinen, 2003.



Kuva 24: Valmis pohjavedensuojaurakenne. Pihtisalmentie, Luopioinen, 2003.

Laadunvalvonta rakentamisen aikana

Vesipitoisuus ja materiaalinäytteet

Jokaisen varastopaikalle toimitetun sivutuote-erän vesipitoisuus määritettiin materiaaalierästä otetusta näytteestä SCC Viatek Oy SGT:n laboratoriossa. Samoin sekoitettujen massaerien vesipitoisuudet määritettiin. Tietojen perusteella annettiin tarvittaessa säätöohjeet sekoituspaikalle (vrt. Taulukko 5).

Dokumentointi

Tieliikelaitoksen työnjohtaja piti työmaalla työmaapäiväkirjaa, johon kirjattiin kaikki ne seikat, joiden katsottiin voivan vaikuttaa rakentamisen lopputulokseen tai jotka on muistettava myöhemmin tehtävässä raportoinnissa (esim. sää, työsuorituksiin kulunut aika, ongelmat, poikkeaminen työohjeista yms.). Tämän lisäksi työmaalla kirjattiin erityisesti saapuvien sivutuotemasojen saapumisaika ja sijoituskohta.

Näiden lisäksi on eri työvaiheet dokumentoitu videoimalla ja valokuvaamalla, pääosin SCC Viatek Oy SGT:n toimesta.

Kuitutuhkamassojen materiaalinäytteet (kuva 25)

Työmaalle toimitetusta kuitutuhkasta otettiin n. 200 m välein yhden litran seurantanäyte mahdollisia myöhemmin tehtäviä tarkempia laatututkimuksia silmällä pitäen. Jälikäteen tehtävillä laatuksilla voidaan tarvittaessa selvittää mm. sekoituksen homogeenisuutta laboratoriossa. Laboratoriomäärityksiä ei kuitenkaan käytetä varsinaisessa työnohjauksessa vaan ne tulevat kysymykseen lähinnä jälkikontrollinnissa mikäli ilmenee epäilyksiä sekoituksen tasalaatuisuuden suhteen.



Kuva 25: Näytteenotto sivutuotemassasta. Luopioinen, 2003.

Kerrospaksuudet (kuva 26)

Kerrospaksuuksien toteutumista valvotaan työntämällä esim. geologin sauva tai lapion terä sivutuotekerroksen läpi ja mittaamalla kerrospaksuus. Kerrospaksuuksien toteutumista seurattiin koko levitys- ja tiivistysvaiheen ajan.



Kuva 26: Kerrospaksuuden tarkistaminen. Luopioinen, 2003.

Tiiviysmittaukset

Tiiviysmittaukset on tehty pääosin hiekkavolymetrilla. Tiiviysmittauksia tehtiin aluksi sekä suoraan sivutuotekerroksen päältä tapahtuvan tiivistyksen jälkeen (KL +1 m) että kerroksen päälle levitettävän tasausmurskeen päältä tapahtuvan lopputiivistyksen jälkeen (sekä keskeltä että reunalta). Työn edistyttyä siihen vaiheeseen, jossa haluttuun lopputulokseen pääsemiseksi tarvittava työmäärä on laadunvalvontamittausten perusteella varmistunut ja tiivistystyön laatu on todettu riittävän homogeeniseksi, keskitettiin mittaukset pelkästään murskeen päältä tapahtuvan lopputiivistyksen jälkeen tehtäviksi.

Pohjaveden suojausrakenteessa tiiviysmittaukset tehtiin valmiiksi tiivistetystä rakenteesta volymetrilla (ojan pohjalta). Mittauskohdat paikannettiin tarkasti, jotta tiiviyden seurannassa tehtäviä infiltratrimittauksia ei tehtäisi näiden volymetrimittauspaikkojen kohdalta (volymetrimittauksessa syntyy reikiä, jotka eivät ole enää tiiviitä, vaikka olisivat peitettyjä mittauksen jälkeen).

YHTEENVETO KOKEMUKSISTA JA ARVIO KEHITYSTARPEISTA

Rakennusteknillinen arviointi. Huomiot ja ongelmat

Erillisen kevyenliikenteen väylän teko

- Kuitutuhkakerros pitäisi levittää työhön kehitetyllä levityskoneella. Holvaantumisvaara pitää tällöinkin ehkäistä. Kerrospaksuus ja leveys tulisi levitintä käyttäen toteutettua tarkasti suunnitelman mukaan
- Kevyenliikenteen väylä on hieman liian kapea normaalien kuorma-autojen ja höylien käyttämiseen (autot voivat kaatua kippi pystyssä, höylän työleveys turhan suuri jne.). Kuorma-autossa pitäisi ainakin olla asfalttitöissä käytettävä kuoppalava tai vastaava, jolloin kuitutuhkan leviämisvaaraa luiskaan ei olisi.

Piennarlevennys

- ”Lujitekangaspussia” ei voinut tiivistää ilman murskekerrosta.
- Työ oli hidasta etenkin kuitutuhkan käsittelyvaiheissa. Työ vaatii kaksi jalkamiestä. Kuitutuhkan levittäminen auton lavalta kaivinkoneella oli hidasta. Levitykseen ideoitii muitakin vaihtoehtoja, kuten reunantäyttölaitetta ja betoniautoa, mutta kuitutuhka holvaantuu liian helposti ja sitä on vaikea saada tarpeeksi kauaksi päällysteen reunasta.
- Työn onnistuminen edellytti erittäin taitavaa pyöräalustaisen kaivinkoneen kuljettajaa.
- Telekaapeleista ei ollut oletettua haittaa
- Työn aikana teetettiin kaivinkoneen kauhalla siirrettävä tukilevy (muotti) jyrkän luiskan tukemiseksi. Levy oli 5 metriä pitkä. Tällaisia levyjä olisi kuitenkin pitänyt olla vähintään neljä kappaletta, jotta niitä olisi voinut siirtää työn etenemisen mukaan. Toisaalta tämä olisi vaahtunut toisen kaivinkoneen eli lisälevyjen teosta luovuttiin taloudellisista syistä.
- Tukilevyn avulla saatiin vahvisteverkko kireäksi. Jos verkko jää löysäksi, mitä tapahtuu ilman tukilevyä, voi rakenne antaa myöhemmin periksi. Tukilevytekniikan kehittäminen on siis tärkeää.
- Matalissa luiskissa, jos piennarmateriaalista saadaan ”vastaluiska”, voidaan kuitutuhka levittää suoraan luiskaan ilman lujitekangasta.
- Piennarlevennyksen leveys on mitattava työn aikana tarkasti. Kesän 2003 toteutuksessa tuli leveyteen liikaa vaihtelua.
- Päällystetyn tien piennarlevennys on päällystettävä sidotulla materiaalilla, jotta levennyksen pinta pysyisi tasaisena eroosion yms. johdosta.

Soratien perusparantaminen massiivirakenteella. Pihtisalmentie

- Työ sujui kohtuullisen hyvin ja ennakoitua nopeammin. Normaalissa tuotannossa kuitutuhka- ja murskekerrosta sekä myöhemmin päälle ajettavaa suotokakkumurskekerrosta pystyisi tekemään noin 3 km / työvuorossa, joskin ajomatkan pituus sekoituspaikalta rakennuspaikalle vaikuttavat oleellisesti tuotantonopeuteen. Pilotin tyypeistä kohdetta (ajomatka noin 6 km) pystyttiin tekemään noin 250 m / työvuorossa sisältäen kaikki työvaiheet.
- Ongelmana on kuitutuhkakerroksen raiteistuminen, jos sen päällä kuljetaan raskaalla ajoneuvolla. Epätasaisuus (pitkittäiset urat) voi aiheuttaa pinnan rikkoontumisen, koska murske sokeutuessaan kuitutuhkaan estää osittain lujittumista. Tämän vuoksi ei kuitutuhkan päällä tu-

le sallia ajoa raskaalla kalustolla ennen kuin kuitutuhkakerroksen päälle on levitetty ensimmäinen murskekerros ja kerros on tasaisesti tiivistetty.

- Kuitutuhkarakenne on huonosti vettä läpäisevä. Tämän takia kuitutuhkakerroksen yläpinnassa on oltava kallistukset veden poistumisen nopeuttamiseksi.
- Ratkaisevaa on myös sekoituksen tehokkuus. Tehokkuuden lisäämiseksi pitäisi aumasekoitusalueen olla suurempi ja itse asiassa ellipsi. Pyöräkuormaaja on auman tekoa mitoittava resurssi. Aumasekoittimen itsensä teho on erittäin suuri ja sen tehokas hyödyntäminen edellyttää suuria sekoitusmassamääriä ja isojen / useiden rakennuskohteiden toteuttamista samasta sekoituspisteestä.
- Sementin levitys suursäkeistä ei sujunut parhaalla mahdollisella tavalla, joten tämäkin on ratkaistava. Sementin lisäyksen pitäisi olla mahdollista ilman merkittävää pölyämistä.
- Sekoitusalueen pitää olla iso. Sinne pitää mahtua sivutuotekasat, murskekasat, lisääaineet (sementit tms.) ja auman sekoitusalue. Osan sivutuotteista on oltava alueella valmiiksi väli-varastoituna sekoituskapasiteetin turvaamiseksi. Mahdollisimman paljon pitäisi kuitenkin tuoda päivittäin, jotta välivarastoinneilta ja siihen liittyviltä töiltä välttyttäisiin (peittämiset ym.).

Pohjavedensuojaurakenne. Pihtisalmentie

- Kun kyseessä on pilotia suuremman mittakaavan työ, on kuitusaven syrjäyttämälle maa-ainekselle järjestettävä läjitysalue. Pilotprojektissa syntynyt maa-aines pystyttiin käyttämään hyödyksi Luopioisten kunnan toimesta.
- Kustannusarviossa on otettava huomioon myös mm. kuitusaven kuljetuskustannukset alueelle.
- Suurimittaisessa toteutuksessa on otettava huomioon myös 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).

Ympäristövaikutusten arviointi

Kukkia Circlet projektissa ympäristövaikutusten arviointi keskittyy pilotrakentamisessa käytettyjen sivutuotteiden välittömiin vaikutuksiin ja vertailemaan kvalitatiivisesti sivutuoterakentamista perinteisiin vaihtoehtoihin.

Välittömiä vaikutuksia seurataan pilotkohteiden ympäristöstä otettuja maaperä- ja vesinäytteitä analysoimalla ja vertaamalla tuloksia sekä referenssinäytteiden analyysituloksiin että käytettävissä oleviin ohjearvoihin (vrt. 2.4).

Vertailtaessa sivutuoterakentamista perinteisiin vaihtoehtoihin ei valitettavasti ole mahdollisuutta vertailla edellä mainittuja välittömiä ympäristövaikutuksia, sillä perinteisiä vaihtoehtoja koskien ei ole käytettävissä vastaavia ympäristöseurantatietoja. Sen sijaan on mahdollista vertailla ainakin seuraavia seikkoja:

- Tarvittavat materiaalmassamäärät. Tällöin on vertailtava massamääriä eri tekniikoissa, joilla saavutetaan vastaava lopputulos – siinä määrin kuin tätä on mahdollista arvioida - esimerkiksi soratien peruskorjauksessa. Todennäköisesti sivutuoterakentamisessa tarvitaan kaikkein vähiten uusia murske- tai sora-massoja.
- Edelliseen liittyen näiden materiaalmassojen kuljetusmatkat ja kuljetusvolyymit. Sivutuotteet ovat kevyitä verrattuna kiviaineksen tilavuuspainoon ja kuljetettavat massamäärät ovat

vähäisempiä. On varsin todennäköistä, että sivutuoterakentaminen on myös tältä osin sekä taloudellisesta että ympäristöllisestä näkökulmasta erittäin edullista.

- Rakentamisen aikaisia ympäristövaikutuksia ovat myös pölyäminen ja melu. Etenkin pölyäminen on ollut merkillepantavaa sivutuotteita sekoitettaessa. Tosin siihen oli mahdollisuksien mukaan varauduttu kustuttamalla sivutuotemassoja (lähinnä tuhkamassoja) ja edellyttämällä työtä tekevien henkilöiden käyttävän hengityssuojaimia. Käytettäviä työkoneita ja laitteistoja voidaan myös kehittää sellaisiksi, että pölyäminen on vältettävissä. Ilman kvantitatiivisia ja yksiselitteisiä mittauksia pölyämisestä suoritettu arviointi on kaikissa tapauksissa subjektiivista. Toisaalta myös kiviaines pölyää. Melun osalta voidaan todeta, että sekä sivutuoterakentamisessa että perinteisissä menetelmissä käytetään samoja koneita ja laitteita.

Näitä asioita tullaan kuvaamaan seikkaperäisemmin projektin 'vaikutusten arviointi' – raportissa (raportin tavoitteena on valmistua v. 2004 loppupuolella), mikä on samalla projektin konkreettisten seurantamittausten loppuraportti.

Taloudellisuus

Edellä viitattiin jossain määrin myös taloudellisiin vaikutuksiin, joita myöskin tullaan analysoimaan seikkaperäisemmin projektin 'vaikutusten arviointi' –raportissa.

Alustavassa arviossa todettiin, että sivutuoterakentamisen ratkaisuja ei ole voitu verrata yleisesti käytössä oleviin vaihtoehtoihin. Joka tapauksessa soratien peruskorjaus ja kevyen liikenteen väylät ovat urakoinnin ja tuotannon kannalta Pilot 2003:n kiinnostavimmat ratkaisut. Kaikissa ratkaisuissa on toki vielä kehitettävää (Seppo Kolkka 9.12.2003).

Rakentamisen jälkeinen seuranta

SCC Viatek Oy asensi Pihtisalmen peruskorjauskohteeseen ja vertailukohteeseen että pohjavedensuojausrakenteeseen lämpötilamittausanturit lokakuun lopulla 2003. Näiden avulla voidaan seurata mm. suojarakenteen käyttäytymistä (jäätymistä) talven aikana, kuitutuhkan lämpöä eristävää vaikutusta ja otollista ajankohtaa heikoimman kantavuuden mittaamiseksi tiekohteissa keväällä (vaikeimman kelirikon aikaan).

Muu seuranta toteutetaan Taulukon 6 suunnitelman mukaisesti

Taulukko 6: Pilot 2003 seurantasuunnitelma.

Seurantakohde	Menetelmä	Suorittaja	Vuosi / vuosineljännes											
			03				04				05			
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Kuntotarkistus; videointi	Silmämääräinen ¹	TLL, Viatek		E E		x		x x		x		x		
Kantavuus	Pudotuspaino	TLL				x		x		x		x		
Rakennetutkimukset	Poranäytteet	Viatek				x			x					
Vesinäytteet, ymp.	Epäorgaaniset	Viatek			E				x				x	
Maanäytteet, ymp.	Epäorgaaniset	Viatek			E				x				x	

¹ Projektin aikana myös videointi E = ennakkotarkistus

Vesinäytteet otetaan ennen rakentamista ja sen jälkeen syksyisin vähintään kaksi vuotta rakentamisen jälkeen. Vesinäytteet otetaan rakentamiskohteiden läheisyydessä sijaitsevista kaivoista kuntaliittymän työterveystarkastajan toimesta. Kaivokartoitus suoritetaan ennen rakentamista touko-kesäkuussa 2003.

Maanäytteet otetaan ennen rakentamista ja rakentamisen jälkeen syksyisin vähintään kaksi vuotta rakentamisen jälkeen. Maanäytteet otetaan jokaisen koerakentamistyyppin läheisyydestä, n. 1-2 metrin päässä rakenteen sivulta ja sivutuotemassakerrosten alapuolisesta maakerroksesta asiaan soveltuvalla näytteenottimella, veden virtauksen alapuolelta.

Vesi- ja maanäytteistä määritetään epäorgaanisten alkuaineiden pitoisuudet (tärkeimmät, käytettävän tuhkan laatuun perustuvat alkuaineet ovat As, B, Ba, Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Sb, Se, Zn) ja pH, sähkönjohtavuus, sekä TOC (kuitusaven vuoksi).

LIITE

Kartta: Pilot 2003 kohteet

