



LIFE02 ENV/FIN/329

RAPORTTI

**KUKKIA CIRCLET
PILOT 2002 JA 2003
TEKNINEN SEURANTA**

**SEURANNAN LOPPURAPORTTI
2004**

19.1.2005



SISÄLLYSLUETTELO

1. TAUSTA.....	2
2. SEURANTASUUNNITELMAT	4
3. PILOTKOhteiden Kuvaukset	5
3.1 PILOT 2002	5
3.2 PILOT 2003	6
4. TOTEUTUNUT SEURANTA PILOT 2002 -KOhteESSA.....	8
4.1 KUNTOTARKISTUKSET	8
4.2 KANTAVUUS	8
4.3 RAKENNETUTKIMUKSET	10
5. TOTEUTUNUT SEURANTA PILOT 2003 -KOhteESSA.....	14
5.1 PIHTISALMENTIEN (PT 13981) MASSIIVIRAKENNE JA POHJAVEDENSUOJAUSRAKENNE	14
5.1.1 KUNTOTARKISTUS	14
5.1.2 KANTAVUUS	15
5.1.3 RAKENNETUTKIMUKSET	15
5.1.4 LÄMPÖTILASEURANTA	17
5.1.5 POHJAVEDENSUOJAUSRAKENNE	19
5.2 KEVYEN LIIKENTEEN VÄYLÄT JA PIENNARLEVENNYS (MT 322)	20
5.2.1 KUNTOTARKISTUS KEVYEN LIIKENTEEN VÄYLILLÄ	20
5.2.2 KUNTOTARKISTUS PIENNARLEVENNYKSELLÄ	21
5.2.3 KANTAVUUDET	21
5.2.4 RAKENNETUTKIMUKSET	23
6. KEVYEN LIIKENTEEN VÄYLIEN KÄYTTÄJÄKYSely.....	25
7. YHTEENVETO KOKemuksista JA ARVIO KEHITYSTARPEISTA	28
8. JOHTOPÄÄTÖKSET	32

LIITTEET

LIITE 1. Pilotrakenteiden tyyppipoikkileikkaukset. 4 s.

LIITE 2. Pilot 2002. Kartta. 2 s.

LIITE 3. Pilot 2003. Pilotrakenteiden paikat. 1 s.

LIITE 4. Pilot 2003. Infiltrimetrimittaukset. 1 s.

1. TAUSTA

Kukkia Circlet -hanke on demonstraatioprojekti teollisuuden sivutuotteiden hyödyntämiseen perustuvista ympäristömyötäisistä menetelmistä soratieverkoston ylläpidossa ja kunnostamisessa. Hankkeen taustalla ovat Suomen alempiasteisen tieverkoston, etupäässä sorateiden, huono kunto 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.



Kuva 1. Peruskorjattava, routavaurioitunut tie keväällä 2002. Luopioinen.

Kukkia Circlet -hankkeen yhteydessä testataan paitsi sorateiden perusparantamisen eri prosesseja, myös erityisinä sovellutuksina pohjaveden suojausrakenteen ja uudentyyppisten kevyenliikenteen väylien rakentamista perustuen teollisuuden sivutuotteiden, lähinnä lentotuhkan ja siis-
tausjätteen hyödyntämiseen. Hanke koostuu useasta osatehtävästä, joista keskeisiä ovat vuosina 2002 ja 2003 toteutetut pilotprosessit, rakennesovellutusten seurantatutkimukset 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 Teknisessä raportissa 2002, joka valmistui vuoden 2003 maaliskuussa. Pilot-2003 sovellutusten toteutuksen eri vaiheita on kuvattu Teknisessä Raportissa 1/2004, joka valmistui vuoden 2004 maaliskuussa. Nämä raportit on julkaistu hankkeen internetsivuilla (http://www.tieliikelaitos.fi/5_4.asp). Lisäksi kaikkien pilothankkeiden rakentamisesta on koottu suomen- ja englanninkielinen DVD, joka on julkinen.

Hankkeen osatehtävä ”seuranta” sisältää pilotkohteissa suoritettavat visuaalisen kuntoarvioinnin ja mittaukset, pilotkohteiden ympäristöstä otettujen näytteiden analyysin sekä pilotrakenteista otettujen näytteiden testauksia laboratoriossa. Seuranta käynnistettiin jo ennen pilotkohteiden toteuttamista lähtötilanteen kartoittamiseksi. Seurannan aikana saatavia tuloksia voidaan verrata lähtötilanteeseen. Käytettävissä on sekä kvalitatiivista että kvantitatiivista tietoa hankkeen vaikutusten arviointia (Impact Assessment) varten.

Tämä raportti on kooste pilotkohteissa suoritetusta teknisestä seurannasta vuosien 2000 – 2004 aikana. Vuonna 2000, ennen projektin käynnistämistä, tehtiin ensimmäiset lähtötilanteen kartoitukset. Vuonna 2002 seuranta keskittyi Pilot 2002 -kohteeseen, ja vuosina 2003 -2004 seurattiin sekä Pilot 2002 että Pilot 2003 -kohteita. Seurantasuunnitelmat, jotka laadittiin hankkeen käynnistymisen jälkeen keväällä 2002, ovat toteutuneet lähes suunnitellusti. Vuoden 2003 keväällä ei tehty kantavuusmittauksia, koska tilanne Pilot 2002 -kohteena olleella tiellä katsottiin poikkeukselliseksi hyvin kuivan kesän ja syksyn/talven vuoksi.

Ympäristöseurannasta on laadittu erillinen raportti ja ainakin ympäristöseuranta pyritään jatkaamaan vuoden 2004 jälkeen. Lisäksi laaditaan Vaikutusten arviointi – raportti, joka sisältää mahdollisimman seikkaperäiset arvioinnit hankkeen tuloksista ja sivutuotteiden hyödyntämisen näkökulmasta. Hanketta arvioidaan sekä teknillisten, ympäristöllisten että taloudellisten vaikutusten osalta.

2. SEURANTASUUNNITELMAT

Kukkia Circlet –hankkeen seuranta on toteutettu ja toteutetaan taulukkojen 1 (Pilot 2002) ja 2 (Pilot 2003) mukaisesti. Tummennettu alue kuvaa sitä osaa suunnitelmasta, jota ei ole toteutettu tämän seurantaraportin laatimiseen mennessä.

Taulukko 1: Pilot 2002 seuranta (tummennettu alue: jatkosuunnitelmat)

Pilot 2002	Vuosi/neljännes												
	02	03				04				05			
	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Kuntotarkistus	→x		x				x				x		
Kantavuus					x		x						
Rakennetutkimukset				x				x					
Kaivovedet, ymp.				x				x				x	
Maanävitteet, ymp.				x				x				x	

→x = siirtyneet tutkimukset

Taulukko 2: Pilot 2003 seuranta (tummennettu alue: jatkosuunnitelmat)

Pilot 2003	Vuosi /neljännes											
	03				04				05			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Kuntotarkistus		→E		x		x		x				
Kantavuus				x		x						
Rakennetutkimukset				x			x					
Vesinäytteet, ymp.			E				x				x	
Maanäytteet, ymp.			E				x				x	

E = ennakkotutkimukset, → = siirtyneet tutkimukset

Pilot 2002 ympäristöseuranta tehdään Luopioisten kunnan rakennus- ja ympäristölautakunnan päätöksen mukaisesti. Pilot 2003 seuranta toteutetaan Pirkanmaan ympäristökeskuksen ympäristölupapäätöksen mukaisesti ja sen velvoittamana seurataan Pt 13981 tehtyjen kuitutuhkarakenteiden sekä Luopioisten kirkonkylän kohdalle Mt 322 yhteyteen tai läheisyyteen tehtyjen kuitutuhkarakenteiden kevyen liikenteen väylien ympäristövaikutuksia vuosittain tehtävien vesi- ja maaperänäytteiden avulla. Seuranta jatkuu toistaiseksi vuoden 2005 loppuun saakka. Ympäristöseurannasta julkaistaan erillinen raportti.

3. PILOTKOHTEIDEN KUVAUKSET

3.1 Pilot 2002

Pilotrakennuskohde sijaitsee Luopioisten kunnassa maantien Mt 3201 tieosilla 03 ja 04 välillä Kuohijoki – Kyynärö. Kohteen tierekisteriosoite on 3201/3/1058/5851 ja 3201/4/0/7356 (tienumero/tieosa/alkukohdan etäisyys osan alusta/loppukohdan etäisyys). Kyseisillä tieosilla on ollut ongelmana tien routivuus ja hyvin heikko kantavuus. Kohteella tehtiin eri sideainesoksilla kerrosstabilointia sekä testattiin suotojätteellä stabiloidun murskekulutuskerroksen käyttöä. Kokonaisuudessaan toteutus sisälsi toimenpiteitä koko 12 kilometrin tieosuudella. Tarkempi kuvaus pilotkohteesta ja sen rakentamisesta löytyy keväällä 2003 julkaistusta Teknisestä Raportista 2002 sekä Rakennustöiden työohjeesta (http://www.tieliikelaitos.fi/5_4.asp). Rakenteiden poikileikkauskuvat ja pilotkohteen kartta löytyvät tämän raportin liitteistä. Paalulukemat ovat pilottipaalutuksesta.

Stabiloiduilla osuuksilla on vanha tierakennekerros stabiloitu 200 mm syvyydeltä käyttämällä sideainetta 10 % stabiloitavan runkomateriaalin eli murskeen massasta. Stabiloitujen osuuksien päälle ajettiin kulutuskerrokseksi 50 mm mursketta (0-16 mm) ja 50 mm kerros suotojäte-murske-seosta (0-16 mm), jossa jälkimmäisessä oli suotojätettä 3 % murskeen massasta.

Stabiloinnissa käytettiin kolmea eri sideaineseosta, jotka olivat:

- **Rakenne A** (6 % lentotuhkaa + 4 % yleissementtiä); plv 2850-4350, 7640-8690, 10340-12180
- **Rakenne B** (6 % lentotuhkaa + 4 % FTC); plv 5800-7640, 8690-9150
- **Rakenne E** (3 % lentotuhkaa + 3 % rikinpoistolopputuotetta + 4 % yleissementtiä); plv 9320-10340

Vertailuosuuksia tehtiin kolmea eri tyyppiä:

- **Vertailurakenne 1** ns. syysorastus eli 20 mm kulutuskerros murskeesta (0-16 mm) ja keväällä suolan sekoitus kulutuskerrokseen; plv 1400-2850
- **Vertailurakenne 2** kelirikkokunnostus eli pahimpien routapaikkojen kohdalle suodatin-kangas, 300 mm murskekerros (0-32 mm) ja 20 mm mursketta (0-16 mm); plv 0-1400
- **Ns. suotojätevertailurakenne** 50 mm mursketta (0-32 mm) ja 50 mm suotojäte-murske-seosta; plv 4350-5800, 9150-9320

Lisäksi plv 2850-12180 ajettiin suotojäte-murske -kerroksen päälle kivituhkaa auttamaan kerroksen sitoutumisessa.

Suotojätettä muodostuu kalsiumkloridin valmistuksessa. Pilot 2002 kohteella rakentamisessa käytetty suotojäte rakeistettiin kalkilla Kemira Chemicalsin toimesta. Rakeistettu suotojäte muistuttaa olomuodoltaan Y-lannosta, mutta on pehmeämpää ja kostuessaan se hienontuu vähitellen murskeen seassa toimien murskekerrosta sitovana aineena kulutuskerroksessa. Pilot 2003 kohteilla käytetty suotojäte, ”suotokakku”, oli rakeistamatonta.

3.2 Pilot 2003

Tarkempi kuvaus pilotkohteesta ja sen rakentamisesta löytyy Kukkia Circlet –hankkeesta julkaistussa Teknisestä Raportista 1/2004 sekä Pilot 2003 rakennustöiden työohjeesta, joka löytyvät internetistä osoitteella (http://www.tieliikelaitos.fi/5_4.asp).

Soratien perusparantaminen kuitutuhka-massiivirakennekerroksella, Pihtisalmentie

Luopioisten kunnassa sijaitseva paikallistien 13981(Pihtisalmentien Auraanpohjan tieosuus) pahiten vaurioituneet osuudet korjattiin kesällä 2003 kuitutuhkarakennekerroksella. Toteutus tehtiin kahdelle eri tiejaksolle, joista toinen oli 400 m ja toinen 500 m pituinen. Osuuksien tierekisteriosoitteet ovat 13981/1/340/760 ja 13981/1/2000/2500. Pilotrakentamisessa höylättiin soratien pinnasta muutama senttimetri pintamursketta valliksi tienreunaan. Tähän ”kaukaloon” levitettiin ja tiivistettiin kuitutuhka noin 200 mm:n kerrokseksi. Kuitutuhkaseoksessa oli kuitusavea noin 55 % (märkämassa), lentotuhkaa noin 39 % (märkämassa) ja yleisementtiä noin 6 %. Kulutuskerrokseksi levitettiin ensin 50 mm kerros pintamursketta ja sen päälle 50 mm kerros suotojätämurske –seosta (suotojäte rakeistamatonta ja sen määrä 7,5 % murskeen kuivamassasta).

Pohjaveden suojausrakenne, Pihtisalmentie

Projektissa suojausrakenne kulkee Pihtisalmentien luiskassa noin 30 metrin matkalla ja ulottuu 5 metrin päähän tiestä. Osuuden tierekisteriosoite on 13981/1/360/390. Koerakennuskohde ei sijaitse pohjavesialueella (eli suojaustarvetta ei ole), joten testaus on varsin turvallisessa ympäristössä. Pintamaan poiston jälkeen pohjamaalle lisättiin suojamurskeella eristetty salaoja myöhempiä tutkimuksia varten. Murskeen päälle tiivistettiin 300-500 mm kerros kuitusavea ja sen päälle tuli lopuksi n. 300 mm maata. Kuitutuhkaseoksen resepti oli sama kuin tierakenteessa käytetty.

Erilliset kevyen liikenteen väylät Kt 322

Luopioisten kirkonkylän kohdalle kantatie 322:n varrelle rakennettiin kesällä 2003 yhteensä noin 1,2 kilometrin pituudelta kevyen liikenteen väylää, jonka yhteydessä testattiin kuitutuhkamateriaalin toimivuutta kantavan kerroksen materiaalina ja suotojätteen toimivuutta väylän kulutuskerroksen liukkauden ja pölyämisen estämisessä (tiesuolan sijasta). Käytetyn kuitutuhkan resepti oli kuitusavea noin 55 % (märkämassa), lentotuhkaa noin 39 % (märkämassa) ja yleisementtiä noin 6 %.

Järven läheisyydessä kulkeva kevyen liikenteen väylä rakennettiin osittain pehmeikölle. Siellä tehtiin talvella 2002-03 kahdelle osuudelle (PLV 170-260 ja 360-510) moreenipenkere lujitekankaasta ja moreenista antamaan rakennettavalle kuitutuhkakerrokselle tukevampi alusta. Muulta osin kevyen liikenteen väylän pohja tehtiin levittämällä tasatun pohjamaan (moreenin) päälle suodatinkangas, ja suodatinkankaan päälle noin 100 mm:n paksuinen murskekerros työkoneiden liikkumisen helpottamiseksi. Reunapalteen avulla muodostettuun ”kaukaloon” levitettiin ja tiivistettiin noin 300 / 200 mm kerros kuitutuhkaa (pehmeikön kohta / muut kohdat). Kuitutuhkakerroksen päälle levitettiin suojamursketta noin 50 mm ja kulutuskerrokseksi 50 – 70 mm suotojäte-murske -seosta. Osaan suotojäte-murske -seosta oli lisätty kalkkia ja bitumia, ja osaan masuunikuonajauhetta, kalkkia ja kuitusavea kulutuskerroksen lujuuden ja kulutuskestävyyden parantamiseksi. Käytetty suotojäte oli rakeistamatonta ja sen määrä 7,5 % murskeen kuivamassasta.

Väylästä välillä Pt 13977 - Pereentien risteys (”kirkonkylän ohitus”) on käytetty rakentamis-

suunnitelmissa nimeä J1 ja rantaosuudella kulkevasta väylästä nimeä J2.

Piennarlevennykset Mt 322

Maantien 322 varren pientareita Luopioisten kirkonkylän kohdalla levennettiin kevyttä liikennettä varten kesällä 2003. Piennarlevennystä tehtiin noin 2800 m, josta kuitutuhkarakennetta on noin 940/800 metriä (vasen/oikea reuna). Vasemmassa reunassa käytettiin suunnitelmista poiketen kuitutuhkaa, joka sisälsi kuitusavea noin 55 % (märkämassa), lentotuhkaa noin 39 % (märkämassa) ja yleisementtiä noin 6 %. Oikeassa reunassa resepti oli suunnitelmien mukainen eli kuitusavea noin 47 % (märkämassa), lentotuhkaa noin 47 % (märkämassa) ja yleisementtiä noin 6 %. Osittain piennarlevennys oli mahdollista toteuttaa soramurskeella, etenkin silloin kun tien rakennekerrokset osoittautuivat hyviksi ja erottuivat hyvin.

Kuitutuhkarakennekerros tehtiin täyttökerroksen paksuuden ollessa yli 500 mm. Tällöin luiskan kaivinkoneella tasatulle alustalle levitettiin lujitekangas (verkko) ja se täytettiin kuitutuhkalla, sitten kangas taitettiin kuitutuhkakerroksen (noin 300 - 500 mm) päälle ja lopuksi päälle ajettiin ohut murskekerros. Tiivistys tehtiin käsikäyttöisellä tärylevyllä. Noin 50 m matkalle jyrkkään luiskaan tehtiin kaksi edellä kuvatun kaltaista geovahvistepussiratkaisua. Pintakerrokseksi tuli 50 mm:n suotojäte-murske -kerros, jossa rakeistamattoman suotojätteen määrä oli 7,5 % murskeen kuivamassasta.

Levitys päällystettiin seuraavana vuonna (v. 2004) ja tullaan myöhemmin päällystämään uudelleen Mt 322 kunnostuksen yhteydessä. Piennarlevennykset ja ajoradat erottavien kampareuna-viivojen toteuttaminen jäi myös kevääseen 2004.

Kuitutuhkaosuudet (0-paalu Kt 3222 (Haltian ja Tuuloksen tien risteyksessä):

- **Vasen reuna:** PLV 0-160, 240-330, 470-570, 690-710, 850-900, 910-1060, 1550-1760, 2130-2290
 - **Oikea reuna:** PLV 105-160, 165-185, 230-360, 430-465*, 660-715, 800-890, 915-1000, 1450-1540, 1890-1910, 2070-2120, 2160-2230, 2250-2360
- *(loppuu 4 m ennen liittymää)

4. TOTEUTUNUT SEURANTA PILOT 2002 -KOHTEESSA

4.1 Kuntotarkistukset

Pilot 2002 kohteen, MT 3201 välillä Kyynärö-Kuohijoki kunto tarkistettiin ennen rakentamista mm. keväällä 2000. Tällöin todettiin mm. tiekerrosten olevan monilla tieosuuksilla sekoittuneita tai hyvin ohuita, kivien nousseen tien pintaan ja tien pinnan olevan pehmeähköä ja epätasaista (näissä myös routavaurioita). Korjaustoimenpiteiden jälkeen (Tekninen Raportti 2002) hankkeeseen osallistuneet henkilöt ovat seuranneet tien stabiloitujen ja stabiloinnin vertailuosuuksien kuntoa jatkuvasti sekä silmämääräisestä että ajotuntuman kannalta.

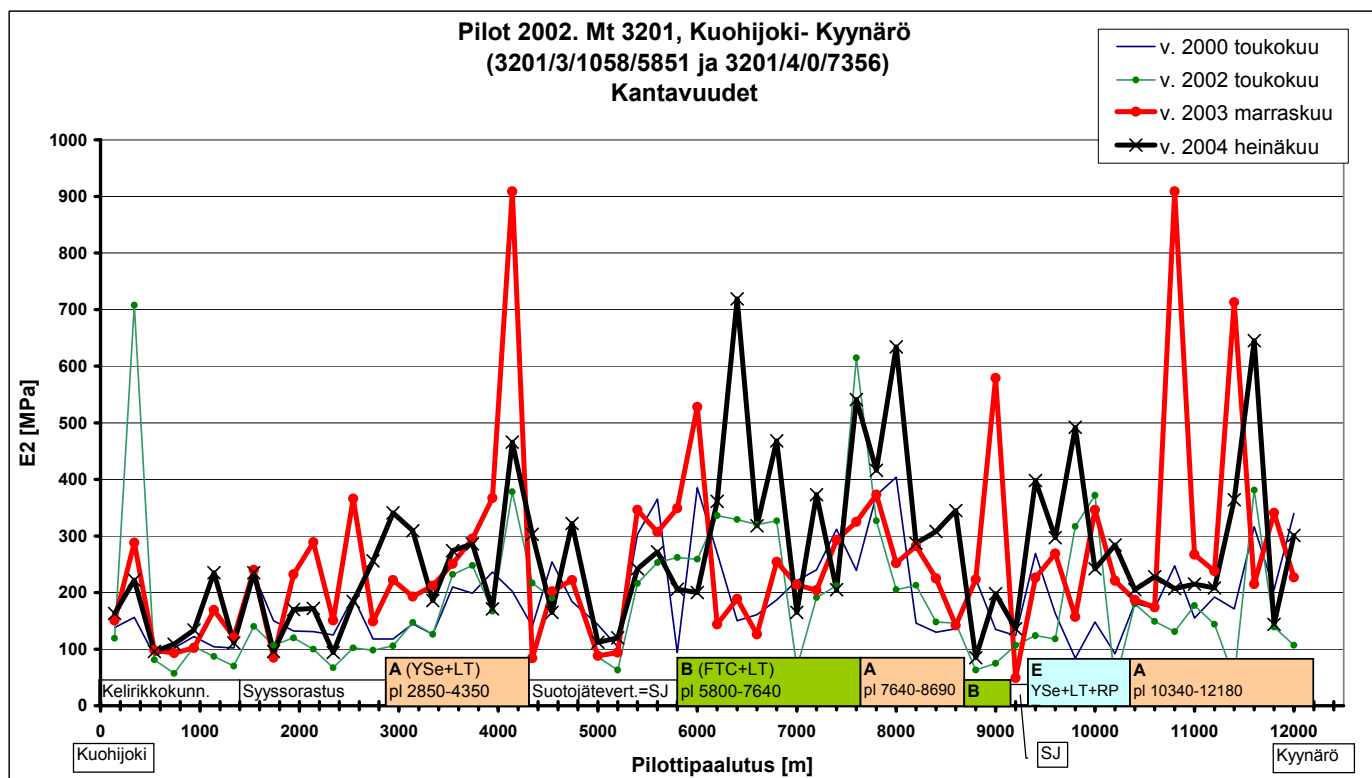
Rakentamisen jälkeisissä havainnoissa v. 2003 on todettu, että stabiloiduilla osuuksilla tien pinta on selkeästi parempi kuin ennen stabilointia ja erityisesti verrattuna vertailuosuuksiin. Pintamurskeen pehmenemistä on todettu joillakin stabiloiduilla osuuksilla. Stabiloitujen kerrosten vedenläpäisevyys on ilmeisesti pieni, jolloin kerroksen pintaan on ilmeisesti kertynyt vettä (tien kaltevuus ei ole ollut riittävä) ja pintamurske on joissakin kohdin pehmennyt enemmän kuin vertailuosuuksilla. Pehmeneminen voi johtua esim. siitä, että suotojätettä on ollut paikoin kulutuskerroksessa liikaa.

Vuoden 2004 syyskuussa tie oli pääosin hyväkuntoinen (höylätty noin viikkoa aikaisemmin), muutamia pienehköjä kuoppia esiintyi. Stabiloinnin pinta oli keskiosaltaan suora, ehjä ja luja lähes joka paikassa, mutta reunoissa oli paikoin pehmeyttä (pohjamaan sekoittuminen stabilointityössä, huono tiivistyminen, veden puute stabiloitaessa).

Kunnan asukkaat ovat ihmetelleet tien kaventumista kunnostustyön seurauksena. Näin on tapahtunut, sillä tie on vuosien kuluessa vähitellen levinnyt ojiin ja täyttänyt ne. Ojat ovat tarpeen tien kuivauksen vuoksi, joten ennen Pilot 2002:n toteuttamista ojat kunnostettiin.

4.2 Kantavuus

Tieliikelaitos on tutkinut tien eri osien kantavuudet ennen kunnostusta keväällä 2000 ja keväällä 2002. Keväällä 2003 jäi kantavuus määrittämättä, koska tilanne nähtiin liian poikkeukselliseksi hyvin kuivan kesän ja syksyn/talven jälkeen. Seurantamittaukset tehtiin syksyllä 2003 ja kesällä 2004. Tuloksista piirretty yhteenveto on kuvassa 2.



Kuva 2. Pilot 2002. Kantavuudet maantiellä Mt 3201 välillä Kuohijoki – Kyynärö.

Taulukko 3: Pilot 2002. Kantavuuksien keskiarvot ja keskihajonnat eri rakenteilla.

Rakenne		Kelirikko-kunn.	Syys-sorastus	A	SJ-vert.	B	A	B	SJ-vert.	E	A
Lähtö-paalu		0	1400	2850	4350	5800	7640	8690	9150	9320	10340
Kantav. keskiarvo	v.2000	116	154	172	226	226	238	180		151	220
	v.2002	175	105	203	162	292	208	69		194	162
	v.2003	146	216	317	210	263	255	401		244	363
	v.2004	153	172	292	206	356	398	142		343	280
Kantav. keski-hajonta	v.2000	22	39	42	91	80	123			66	63
	v.2002	218	21	82	74	134	66			127	86
	v.2003	64	88	237	97	113	75			62	248
	v.2004	52	57	86	79	169	126			91	142

Kantavuusmittaukset on tehty eri vuodenaikoina, joten niitä ei pysty suoraan vertailemaan keskenään eikä tuloksista tekemään tarkkoja johtopäätöksiä. Lisäksi mittaukset on tehty 200 m välein, joten yksittäinen heikko kohta tiestä voi osua mittauskohdaksi ja päätyä edustamaan pitkää tienosaa.

Kuvaajasta ja taulukosta voi todeta, että verrattaessa rakentamista edeltävien ja rakentamisen jälkeisiä keskiarvoja kantavuus on selkeästi parantunut kaikilla stabiloiduilla koeosuuksilla. Kelirikkokunnostus- ja suotojätevertailuosuuksilla kantavuuksien keskiarvot ovat pysyneet samansuuruisina. Syys-sorastusosuudella kantavuus on taas keskimäärin hieman parantunut.

Sorateiden mitoitusvaatimus kevät-kantavuudelle on 80 MPa. Kohteella oli ennen kunnostusta paljon tavoitteen alituksia ja ainoastaan osuuden A kantavuus näyttää olleen riittävän hyvä. Tie-rekisterin mukaan kelirikko näyttää loppuneen v. 2002 13.5. ja v. 2000 25.5. Mittaustulosten taso

riippuu hyvin herkästi siitä, missä kuivumisen vaiheessa tie on ollut mittaushetkellä.

Kantavuuden parantamisessa on olennaista, että tiehen ei jää kohtia, jotka eivät kestä liikennekuormaa. Tulosten perusteella tavoite on saavutettu hyvin, vaikka kantavuuden vaihtelu onkin suurta varsinkin stabiloiduilla osuuksilla. Kelirikkokunnostusosuuden kantavuuden parantuminen on keskimäärin odotusten mukaista, mutta joillakin heikoimmin kantavilla kohdin odotettua pienempää (syynä ehkä paksuuden vaihtelut ja huono tiivistys). Tavoitteet on kuitenkin saavutettu myös sen perusteella, että tierekisterin mukaan vuosien 2003 ja 2004 keväällä ei ole tarvinnut määrätä kelirikkorajoituksia. Tierekisterin mukaan kelirikkorajoituksia on ollut aiemmin vuosina 2002, 2000, 1995, 1993, 1990, 1989, 1988 ja 1977. Rajoitusten tarve vaihtelee siis olosuhteiden mukaan vuosittain ja seuranta olisi hyvä jatkaa.

4.3 Rakennetutkimukset

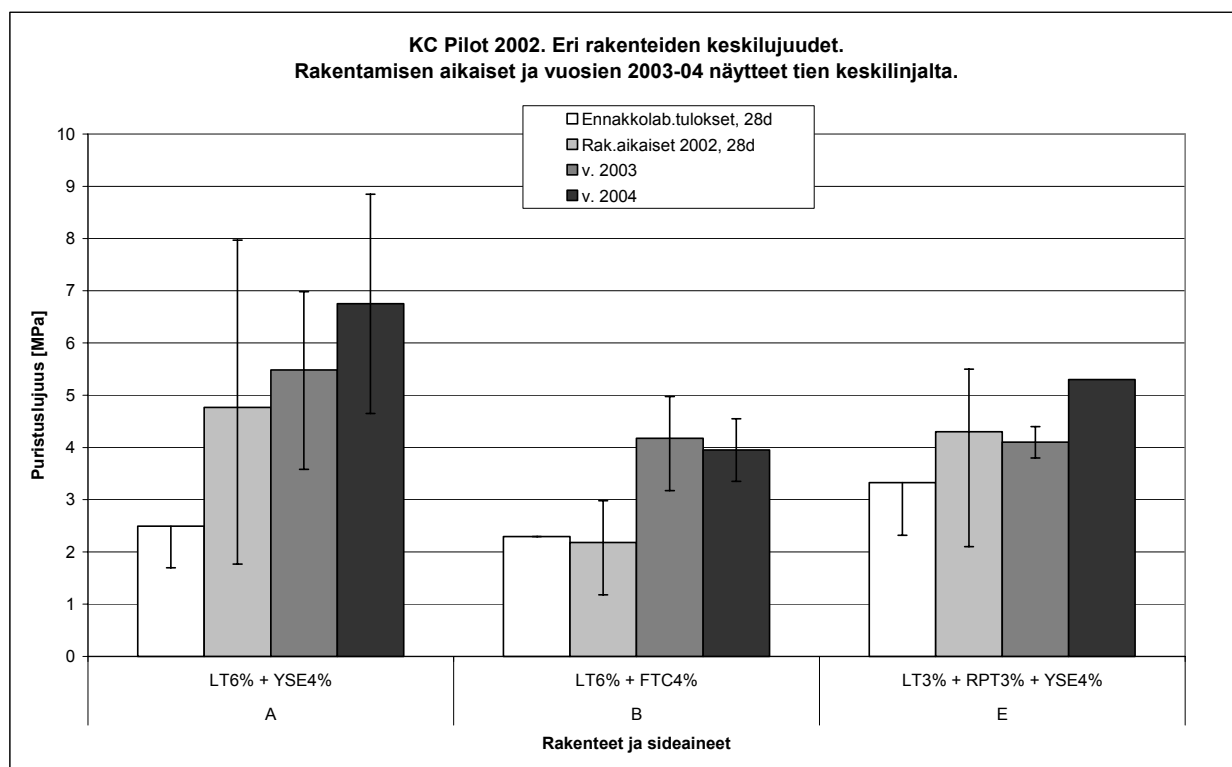
Rakennetutkimuksissa on otettu näytteet näytteenottoon käytettävällä poralla seurannan kohteena olevasta, lujittuneesta rakennekerroksesta tien eri kohdilta: tien keskiosalta (0,5 – 1,0 m keskilinjasta) ja tien reuna-osalta (2,0 – 2,5 m keskilinjasta). Samassa yhteydessä arvioitiin silmämääräisesti tien ja rakenteen kuntoa, mitattiin kerrospaksuuksia sekä otettiin valokuvia.

Poranäytteitä on otettu lokakuussa 2003 ja syyskuussa 2004. Kappaleista on määritetty laboratorioissa puristuslujuus, tiheys ja vesipitoisuus. Näitä tuloksia on verrattu rakentamisen aikana otetuista seoksista tehtyjen koekappaleiden sekä rakentamisen ennakkotutkimuksissa valmistettujen koekappaleiden tuloksiin. Laboratorioissa valmistetut koekappaleet olivat lujittuneet 28 päivää ennen koestusta. Tulokset löytyvät kuvista 3 ja 4. Kaikki puristuslujuuden määritykset on tehty Rambollin (ent. SCC Viatek Oy:n) T&K-yksikössä Luopioisissa.

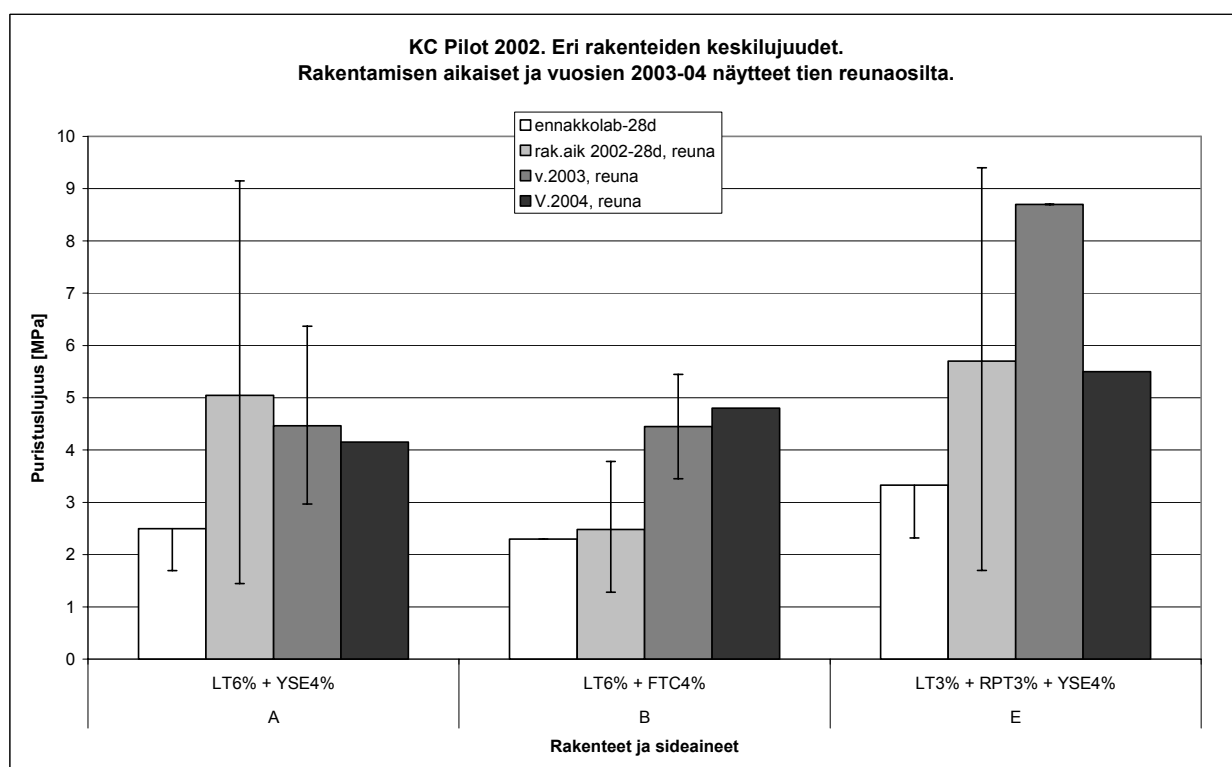
Stabiloidulla osuudella A reunakappaleiden lujuudet olivat keskimäärin pienemmät kuin keskilinjalta otettujen kappaleiden ja jääneet alle rakentamisen aikaan otetusta seosnäytteestä tehtyjen koekappaleiden lujuuksien. Osuudella B poranäytteiden lujuudet ovat olleet selkeästi suurempia kuin laboratoriokappaleiden, joten ilmeisesti lujittuminen on jatkunut yli kuukauden ajan. Osuudella E on reunaosalle saatu keskimäärin parempia lujuuksia kuin keskilinjalle, mutta viimeisimmissä tutkimuksissa ero on tasoittunut. Stabiloiduilla osuuksilla koekappaleista mitatut lujuudet ovat olleet keskimäärin 4-5 MPa ja selvästi parempia kuin mitä laboratorioissa ennakkokokeissa saavutettiin. Tulosten hajonta johtuu mm. pienistä näytemääristä.

Kuvassa 3 ei ole havaittavissa laskusuuntaa eli rakenteet ovat ilmeisesti kunnossa ja toimivat suunnitellusti. Kuvassa 4 reunan matalampi lujuus ja tulosten hajonta viittaavat työnaikaisiin ongelmiin (esim. pohjamaan sekoittuminen, tiivistys).

Näytteidenoton yhteydessä v. 2003 määritettiin kulutuskerroksen kerrospaksuudet. Kerrospaksuuksia määritettäessä havaittiin samalla, että joissakin paikoissa oli stabiloitu kerros näkyvässä eli kulutuskerroksen murske oli kulunut pois (kuva 6). Murske puuttui kuitenkin yleensä vain reunasta ja useimmiten tällainen kohta sijaitsi tien sisäkaarteessa. Murskekerroksen tavoitepaksuus oli 100 mm syksyllä 2002. Syksyllä 2003 murskekerroksen paksuudesta tehtiin lukuisia mittauksia eri paalulukemilta, ja tulokset vaihtelivat paljon keskiarvon ollessa n. 90 mm (reunat 70 mm ja keskilinja 100 mm). Vuonna 2004 oli tie höylätty noin viikkoa ennen kuntotarkastusta, joten paljaita kohtia ei ollut näkyvässä. Kerroksien paksuudet vaihtelivat keskiosalla 40-120 mm (ka 70 mm) ja reunoilla 20-90 mm (ka 70 mm).



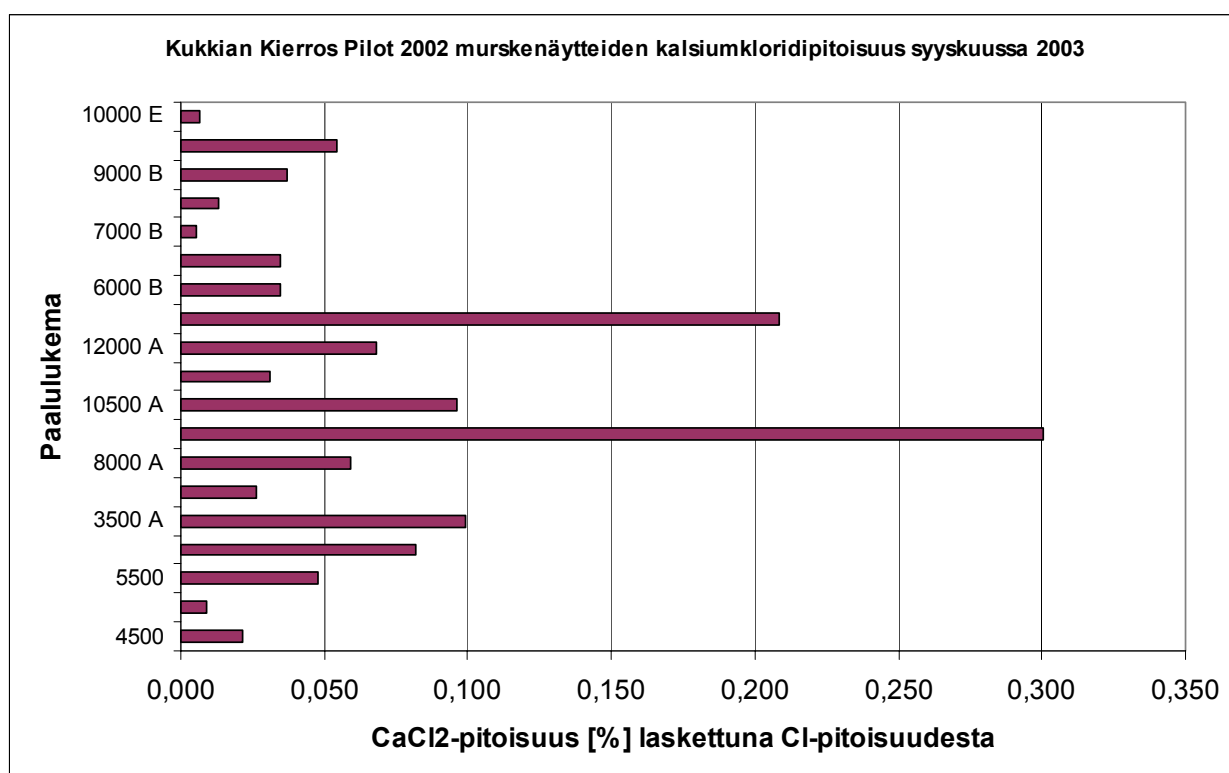
Kuva 3. Pilot 2002. Stabiloitujen osuuksien puristuslujuuksia, keskilinja.



Kuva 4. Pilot 2002. Stabiloitujen osuuksien puristuslujuuksia, tien reunaosa.

Osaan pintamursketta sekoitettiin tien viimeistelyvaiheessa kalkkirakeistettua kalsiumkloridipitoista suotojätettä. Tarkoituksena on testata, saadaanko tällaisella seoksella paremmin pölyämistä estävä, vähemmän suolausta vaativa ja tekniseltä kannalta kestävämpi pintakerrosrakenne (verrattuna perinteisiin materiaaleihin ja ratkaisuihin). 22.9.2003 otettiin pintakerroksesta näytteet, joista määritettiin kalsiumkloridipitoisuudet Kemira Oyj:n Kokkolan tehtaan kemian laboratoriossa. Suotojätettä sisältävän pintamurskeen tavoitteellinen kalsiumkloridipitoisuus syksyllä 2002 oli 0,6 % (rakeistettua suotojätettä 3 % murskeen massasta; rakeistetun suotojätteen kalsiumkloridipitoisuus n. 21 %). Syksyllä 2003 otettujen näytteiden kalsiumkloridipitoisuus vaihteli 0,004 – 0,314 % välillä (kuva 5).

Sorateiden hoito ja kunnostus -ohjeen (TIEL 2230013) mukaan keväällä suoritettavassa pölynsidonnassa lisätään 7 m leveälle tielle (KKVL ≤ 100 ajon./d) korkeintaan 1,1 t/km suolaa, jolloin suolan osuudeksi tulee 0,15 %. Suotojätteen sisältämä kalsiumkloridi on siis soratieohjeeseen verrattuna noin nelinkertainen. Kuvan 5 ja edellisen kappaleen perusteella kalsiumkloridista on jäljellä noin 0,06 % eli vajaa puolet soratieohjeen kevätsuolausmäärästä. Ensimmäisen vuoden vähenemästä päätellen vuoden 2005 keväällä voi olla tarvetta lisäsuolaukselle. Vuonna 2004 otettiin pintakerroksesta näytteet, jotka lähetettiin Kemira Oyj:n Kokkolan tehtaan kemian laboratorioon määrittämiä varten. Näitä tuloksia ei ollut vielä käytettävissä tätä raporttia kirjoitettaessa.



Kuva 5. Pilot 2002. Kalsiumkloridipitoisuus syksyllä 2003 otetuista pintamurskenäytteistä. Paalutus on työmaapaalutuksen mukaista.



Kuva 6. Pilot 2002. Pintamurskekerroksen paksuuden vaihtelut syksyllä 2003.



Kuva 7. Pilot 2002. Poranäytteitä stabiloidulta koeosuudelta 2004.

5. TOTEUTUNUT SEURANTA PILOT 2003 -KOHTEESSA

5.1 Pihtisalmentien (Pt 13981) massiivirakenne ja pohjavedensuojaurakenne

5.1.1 Kuntotarkistus

Pilot 2003 toteutettiin pääosiltaan vuoden 2003 kesän ja syksyn aikana. Kuntotarkistus Pihtisalmentiellä oli tehty kohteiden ennakkotutkimusten yhteydessä ennen kunnostuksen alkua huhtikuussa 2002 sekä vielä keväällä 2003 useaan otteeseen. Havaintojen perusteella valittiin pilotkohteiksi osuudet, jotka olivat keväisin olleet jo pitkään lähes käyttökelvottomia routavaurioiden vuoksi (kuva 8). Samassa yhteydessä määritettiin osuus pohjavedensuojaurakennetta varten sekä maa- ja vesinäytteiden ottopaikat ympäristöseurantaa varten.

Rakentamisen jälkeinen kuntotarkistus tehtiin rakennetutkimusten yhteydessä syys-lokakuussa 2003 sekä syyskuussa 2004. Yleisesti ottaen kunto oli hyvä, ja tien käyttäjät ovat olleet tyytyväisiä tulokseen. V. 2003 on tie ollut muuten hyväkuntoinen, mutta reunat ovat olleet pehmeät jyrkkien luiskien vuoksi. Tiessä on ollut jonkin verran painumia sekä pilotrakenteen loppuosassa jonkin verran lujittumattoman (sideaineettoman), märän kuitutuhkan aiheuttamia pistemäisiä pehmeitä kohtia. V. 2004 tien pinta oli stabiloinnin kohdalla hyväkuntoinen, stabiloimattomalla osuudella oli joitakin kuoppia. Kuitutuhkakerros oli kiinteä eikä se ollut sekoittunut pintamurskeen kanssa.

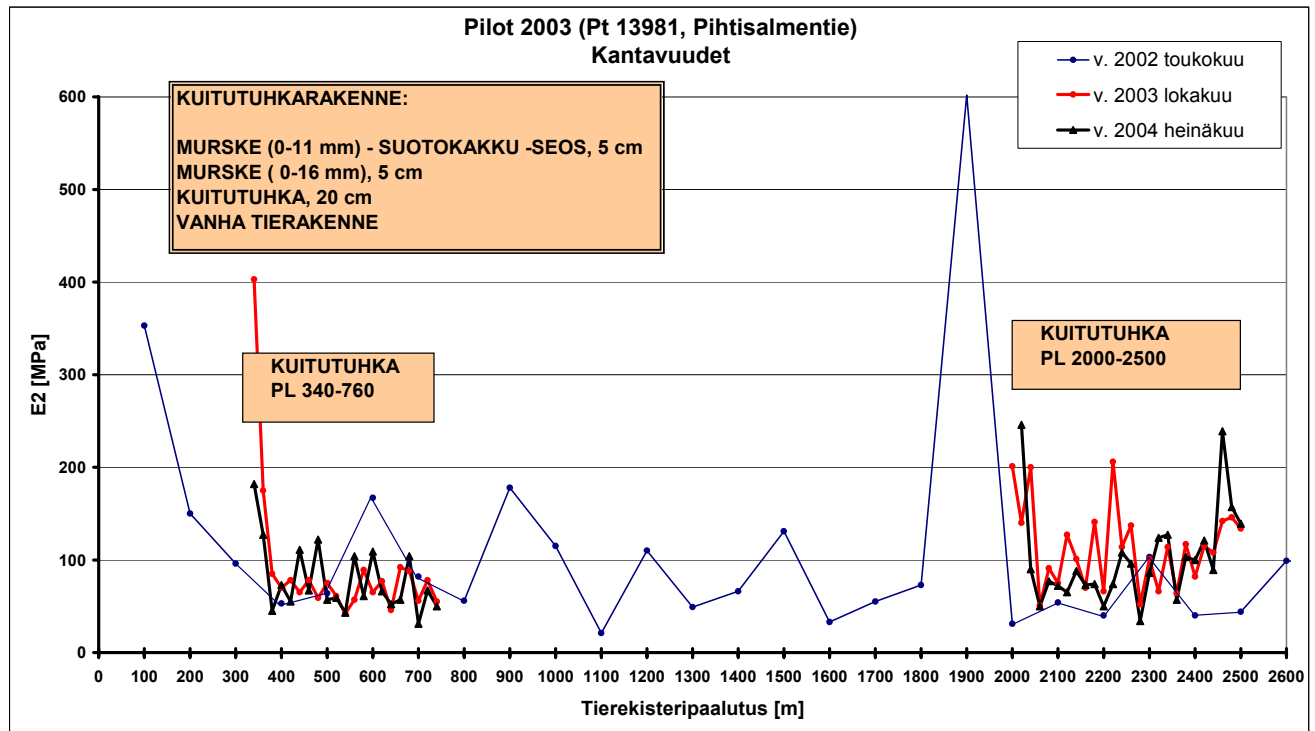
Kuvassa 8 on kunnostuksen jälkeen syksyllä 2003 otettu kuva samalta paalulta vastakkaisiin suuntiin. Tiehaaran kohdalla on kulutuskerros pehmentynyt ja pintaan on muodostunut kuoppa: murskeeseen oli sekoittunut vielä lujittumatonta kuitutuhkaa, joka oli kastuessaan aiheuttanut koko tien pinnan pehmenemisen tältä kohtaa (ks. Tekninen raportti 1/2003; luku 4: Yhteenveto kokemuksista ja arvio kehitystarpeista).



Kuva 8. Pilot 2003. Pihtisalmentietä (Pt 13981), ennen kunnostusta keväällä 2003 ja kunnostuksen jälkeen syksyllä 2003. Kuvat on otettu samasta kohdasta päinvastaisiin suuntiin.

5.1.2 Kantavuus

Kohteissa on tehty kantavuusmittauksia ennen rakentamista toukokuussa 2002 sekä seurantamittauksia syksyllä 2003 ja kesällä 2004.



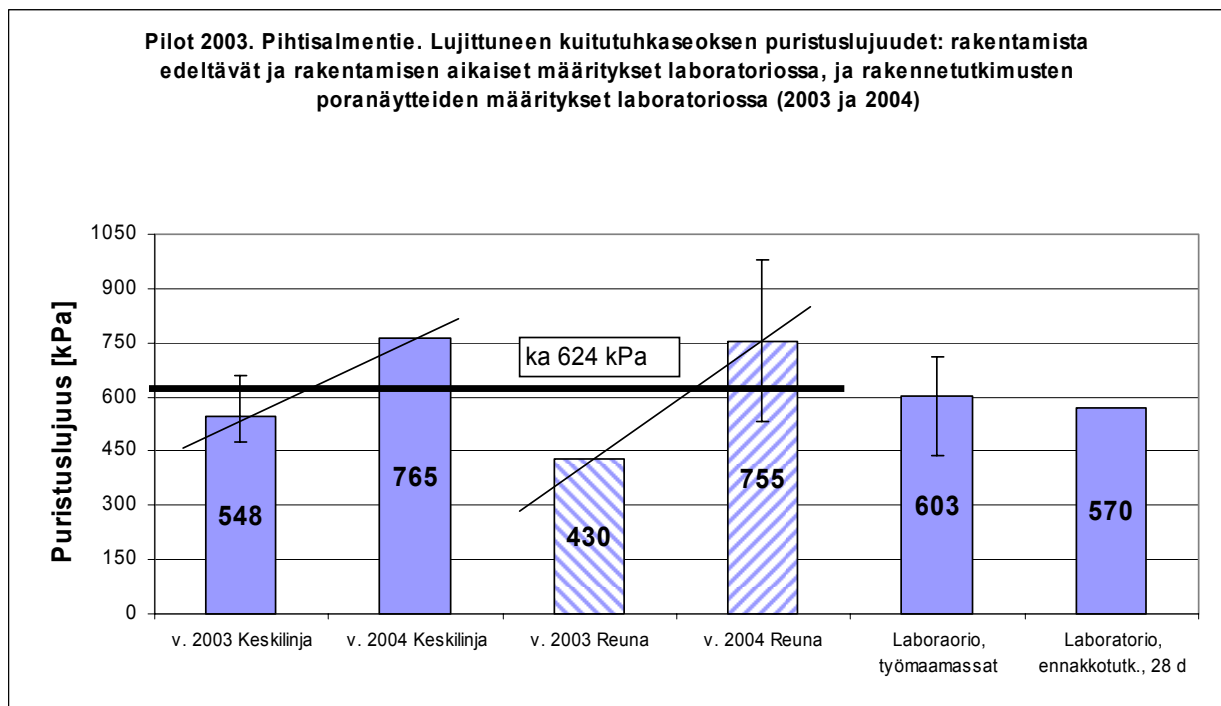
Kuva 9. Pilot 2003. Kantavuudet Pihtisalmen paikallistiellä Pt 13981.

Ensimmäisellä n. 400 m osuudella kantavuus on pysynyt keskimäärin samana kuin ennen rakentamista, ja jälkimmäisellä 500 m osuudella jopa parantunut selkeästi. Kantavuusmittaukset on kuitenkin tehty eri vuodenaikoina, joten niitä ei pysty suoraan vertailemaan keskenään. Kuitutuhkalla ei myöskään 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.

Ennen rakentamista tehdyssä kantavuusmittauksessa mittauspisteet ovat harvassa, joten siinä yksittäinen lujempi kohta korostuu.

5.1.3 Rakennetutkimukset

Rakennetutkimukset tehtiin syys-lokakuussa 2003 ja lokakuussa 2004. Lujittumisaika oli näytteenoton aikana v. 2003 ollut yhdestä puoleentoista kuukautta (30-45 d). Näytteet on otettu eri kohdista pilot-osuuksia ja niistä on testattu 1-aksiaalinen puristuslujuus. Vuoden 2003 lujuudet ovat olleet laboratoriotuloksia heikompia, mutta 2004 otettujen poranäytteiden lujuudet ovat olleet suurempia kuin laboratoriossa valmistetuilla koekappaleilla eli rakenne on lujittunut odotusten mukaisesti tai jopa ylikin. Tuloksissa esiintyvät vaihtelut johtuvat mm. niistä ongelmista, joita on lyhyesti kuvattu Teknisessä raportissa 1/2003.



Kuva 10. Pilot 2003. Pihtisalmentie (Pt 13981). Seoksessa on kuitusavea noin 55 % (märkämassa), lentotuhkaa noin 39 % (märkämassa) ja yleissementtiä noin 6 %.



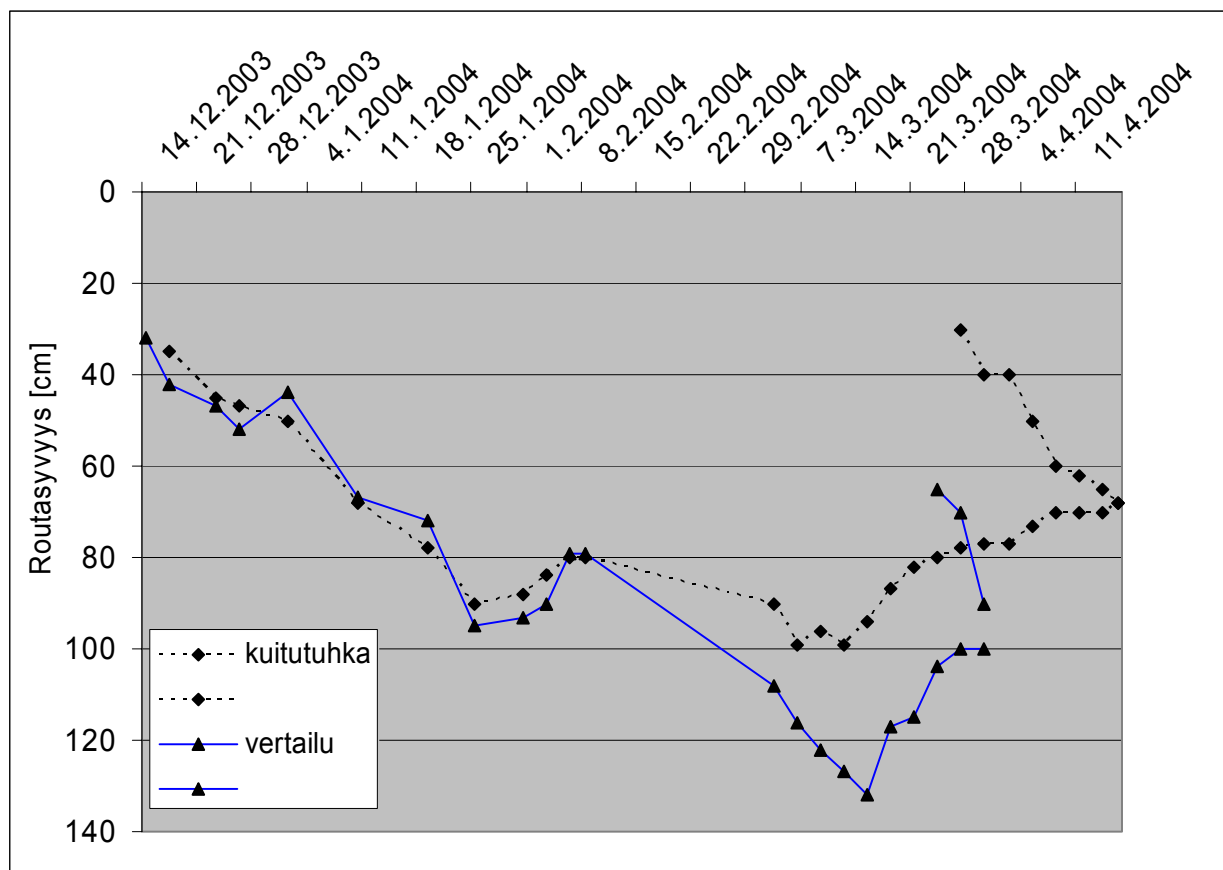
Kuva 11. Pilot 2003. Pihtisalmentie (Pt 13981). Poranäytteitä stabiloidulta koosuudelta.

Näytteidenoton yhteydessä v. 2004 määritettiin kulutuskerroksen kerrospaksuudet. Reunaosilla paksuudet vaihtelivat välillä 20-140 mm (ka 90 mm) ja keskilinjalla 80-160 mm (ka 130 mm). Murskekerroksen tavoitepaksuus oli 100 mm syksyllä 2003.

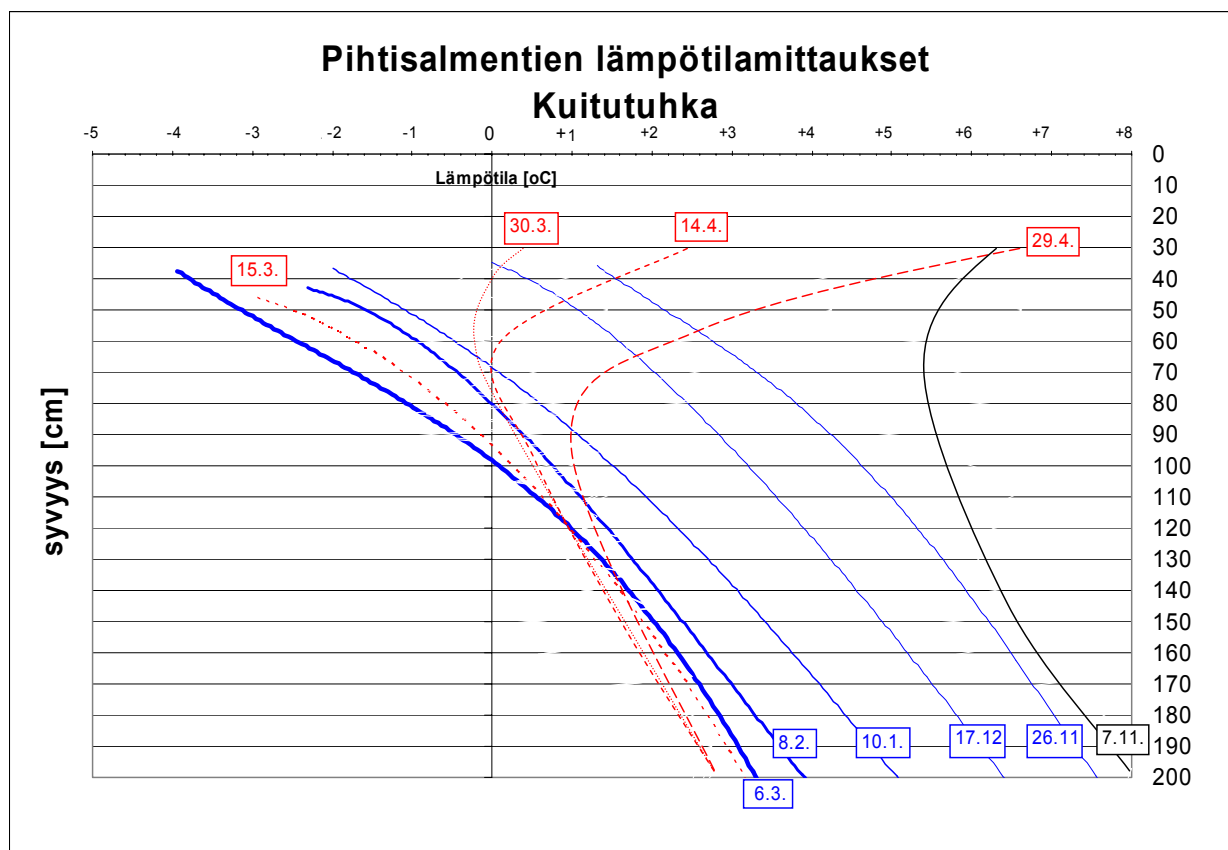
5.1.4 Lämpötilaseuranta

Pihtisalmentielle seurataan lisäksi kuitutuhkan lämmöneristävää vaikutusta sekä eri kerroksien lämpötilojen vaihtelua. Tätä tutkimusta varten on Pihtisalmentielle asennettu kolme lämpötilanturia syksyllä 2003: kuitutuhkarakenteen läpi, vertailurakenteeseen (korjaamaton soratieosuus) ja pohjavedensuojaurakenteen läpi. Lämpötiloja on seurattu jatkuvasti projektin aikana gsm-linkin avulla ja sillä on tutkittu, miten kuitutuhkarakennekerros eristää ja vaikuttaa mm. roudan tunkeutumiseen ja sulamisnopeuteen. Lämpötilaseurannalla pystytään mm. ohjamaan kevään kantavuusmittausta kaikkein pahimpaan kelirikkoaikaan.

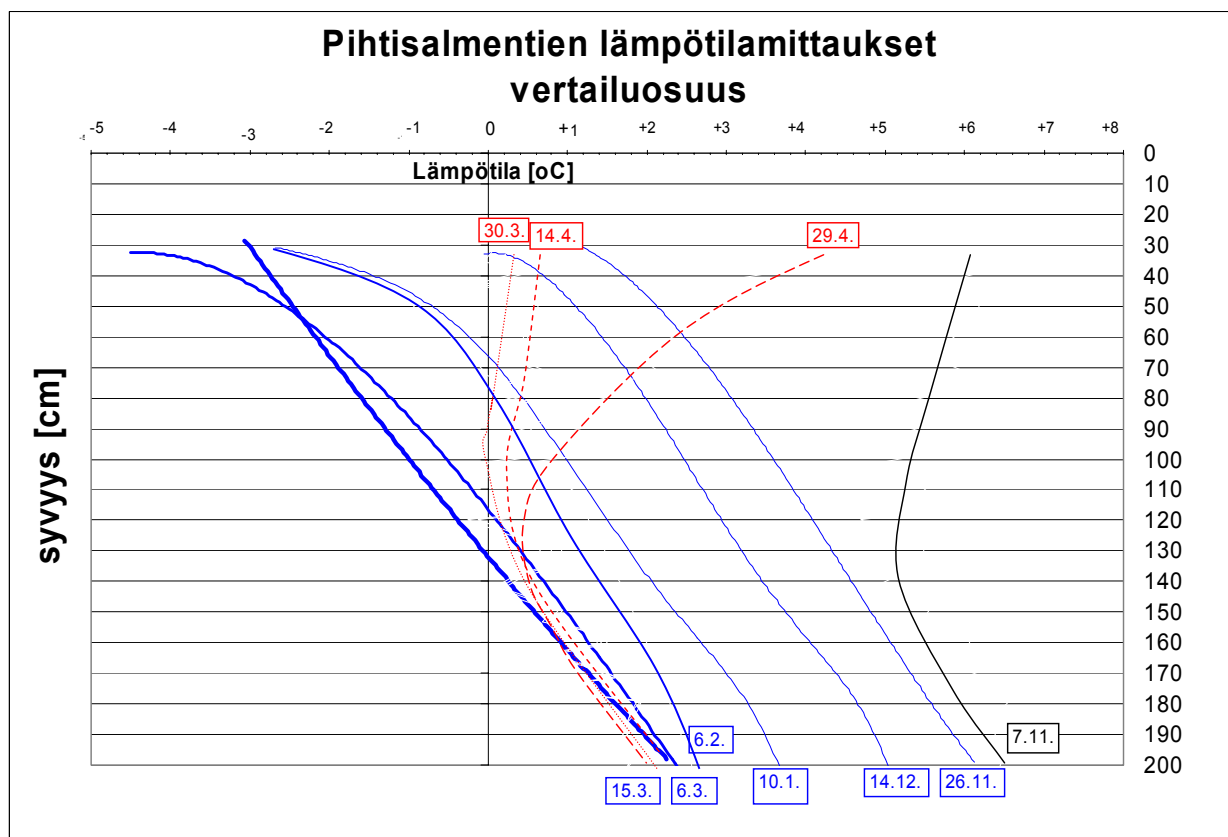
Helmikuun alkuun asti routa on edennyt kuitutuhka- ja vertailurakenteiden kohdalla samalla tavoin. Helmi-maaliskuun aikana roudan eteneminen on lähes pysähtynyt kuitutuhkalla, kun vertailurakenteessa routa on edennyt jopa 30 cm syvemmälle. Vertailuosuudella routaraja on pysynyt alempana ja routa sulanut noin 3 viikkoa ennen kuitutuhkaosuutta. Kuitutuhkan eristävyyssominaisuus siis sekä pienentää routasyvyyttä että hidastaa roudan sulamista erityisesti pinnasta käsin. Tulosten tulkinnassa on muistettava, että osuuksien pohjamaissa on saattanut olla eroavaisuuksia tai pohjavesi olla eri syvyydellä.



Kuva 12. Pilot 2003. Pihtisalmentie (Pt 13981). Routasyvyys kuitutuhka- ja vertailuosuuksilla talvella 2003-2004. Keväällä roudan sulaminen sekä ylä- että alapuolelta aiheuttaa muutamaksi viikoksi kaksi ”routarajaa”. Kuitutuhkarakenne 200 mm, kulutuskerros 100 mm.



Kuva 13. Pilot 2003. Pihtisalmentie (Pt 13981). Kuitutuhkarakenteen lämpötilamittaukset talvella 2003-2004.



Kuva 14. Pilot 2003. Pihtisalmentie (Pt 13981). Vertailurakenteen lämpötilamittaukset talvella 2003-2004.

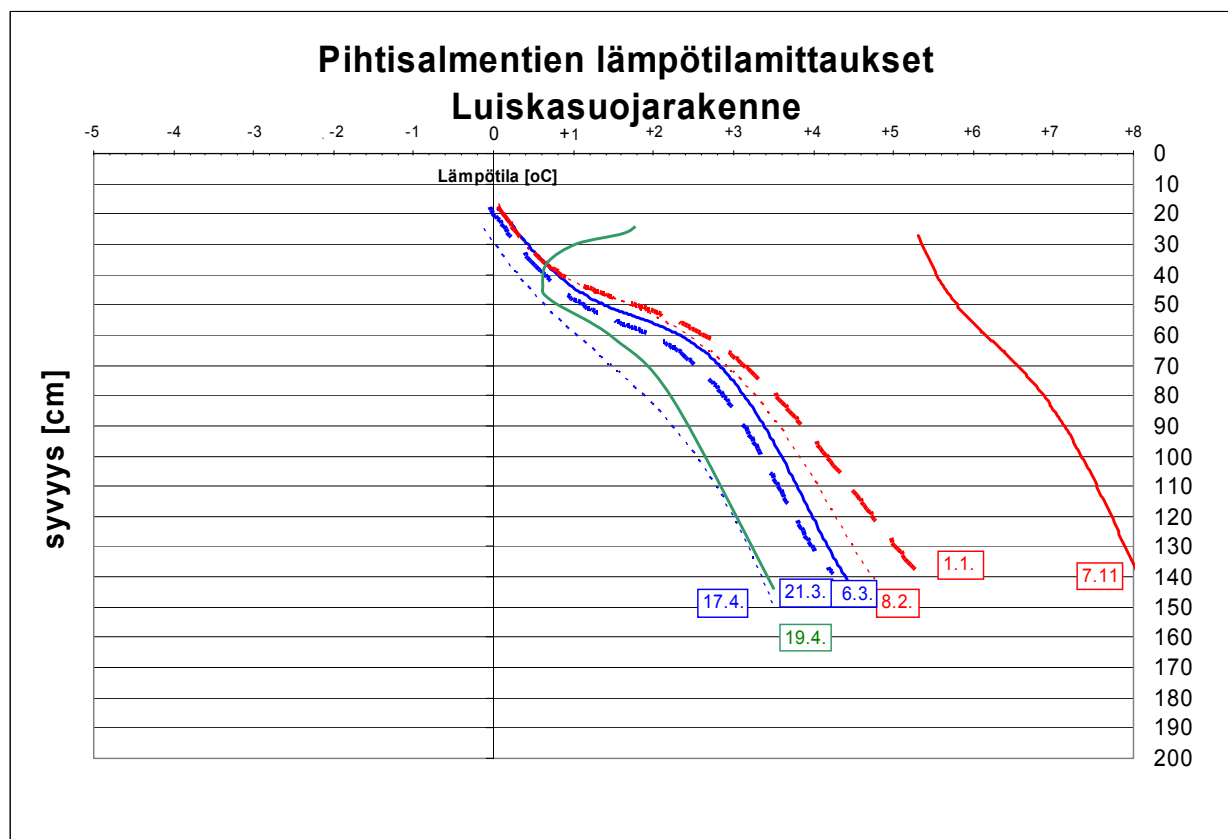
5.1.5 Pohjavedensuojusrakenne

Pohjaveden suojausrakenteen seurantamittaukset eli vedenläpäisevyyden mittaukset tehtiin syyskuussa 2004. Läpäisevyys mitattiin 1-rengasinfiltrometrillä kolmesta eri pisteestä ja tuloksiksi saatiin $2 \cdot 10^{-7}$, $6 \cdot 10^{-7}$ ja $7 \cdot 10^{-7}$ m/s. Infiltrometrimittausten perusteella kuitusavikerros ei täytä suojausrakenteelle asetettuja vaatimuksia ($k < 10^{-9}$ m/s). Rakenteen tiivistys on todennäköisesti ollut riittämätön ja lisäksi kuitusavikerroksen peittokerros on ollut liian ohut, joten pitkän aikavälin tiivistymistä edistävä kuormitus on ollut riittämätön. Infiltrometrimittausten kuvaajat löytyvät liitteestä x.



Kuva 15. Pilot 2003. Pihtisalmentie (Pt 13981). Luiskasuojarakenteen infiltrimetrimittaukset syyskuussa 2004.

Lisäksi suojausrakenteen kohdalla on seurattu rakenteen lämpötilan vaihteluja eri vuodenaikoina (katso kohta 5.1.4 Lämpötilan seuranta ja kuva 16). Pohjavedensuojusrakenne ei jäänyt talven aikana laisinkaan, vain kuitutuhkan päällä ollut maakerros jäättyi hieman. Ojaan kertynyt lumi-kerros on toiminut tehokkaana eristeenä.



Kuva 16. Pilot 2003. Pihtisalmentie (Pt 13981). Luiskasuojarakenteen lämpötilamittaukset talvella 2003-2004.

5.2 Kevyen liikenteen väylät ja piennarlevennys (Mt 322)

5.2.1 Kuntotarkistus kevyen liikenteen väylillä

Kevyen liikenteen väylien kuntotarkistukset on tehty rakennetutkimusten yhteydessä syys-lokakuussa 2003 ja syyskuussa 2004 sekä erillisenä toukokuussa 2004. Väylästä välillä Pt 13977- Pereentien risteys ("kirkonkylän ohitus") on käytetty suunnitelmissa nimeä J1 ja rantaosuudella kulkevasta väylästä nimeä J2.

Vuonna 2003 tutkittiin väylillä murske- ja kuitutuhkankerrosten paksuuksia. Tavoitepaksuudet olivat murskeelle 100-120 mm sekä kuitutuhkalle 300 mm (rantaosuuden PLV 170-260 ja 360-510) tai 200 mm (rannan muut PLV ja kylän osuus). Rantaosuudella murskeen paksuus vaihteli välillä 30-80 mm (ka 60 mm) ja kuitutuhkan 90-180 mm (ka 120 mm). Kylän kohdalla murskeen paksuus oli 60-100 mm (ka 70 mm) ja kuitutuhkan 50-160 mm (ka 100 mm).

Keväällä 2004 järven sivuitse menevä väylä oli hyvässä kunnossa, siinä ei ollut silmin havaittavia vaurioita. Kirkonkylän ohitse menevä kevyen liikenteen väylä oli pääosin hyvässä kunnossa, mutta plv 190-210, 250-320 ja 350-370 oli useita pitkittäisiä halkeamia, jotka paikoin olivat jo yli 30 mm leveitä. Järven sivuitse menevä väylä oli silmämääräisesti hyväkuntoinen, kuoppia tai uria ei ole ollut. Kuitutuhka oli homogeenista ja kiinteätä, reunaosiltaan hieman pehmeämpää. Murskeen paksuus oli 110-200 mm. Kirkonkylän ohitse menevä väylä oli hyväkuntoinen eikä siinä ole ollut näkyvissä keväällä olleita halkeamia (paitsi heikosti plv 190-210 ollut keskihalkeama). Kuitutuhkakerros oli kiinteä, mutta yhdessä näytekohdassa vain 100 mm paksuinen, kun tavoitepaksuus oli 200-300 mm. Liian ohut kuitutuhkakerros voi aiheuttaa vaurioiden syntyä.

5.2.2 Kuntotarkistus piennarlevennyksellä

Piennarlevennyksen kuntotarkistus on tehty rakennetutkimusten yhteydessä syys-lokakuussa 2003. Vuonna 2004 ei ole tehty kuntotarkistuksia, koska rakenne päällystettiin keväällä 2004. Tutkimukset on tehty kuitutuhkarakenteiden kohdalta. Silmämääräisesti piennarlevennyksessä ei ole havaittu vaurioita.

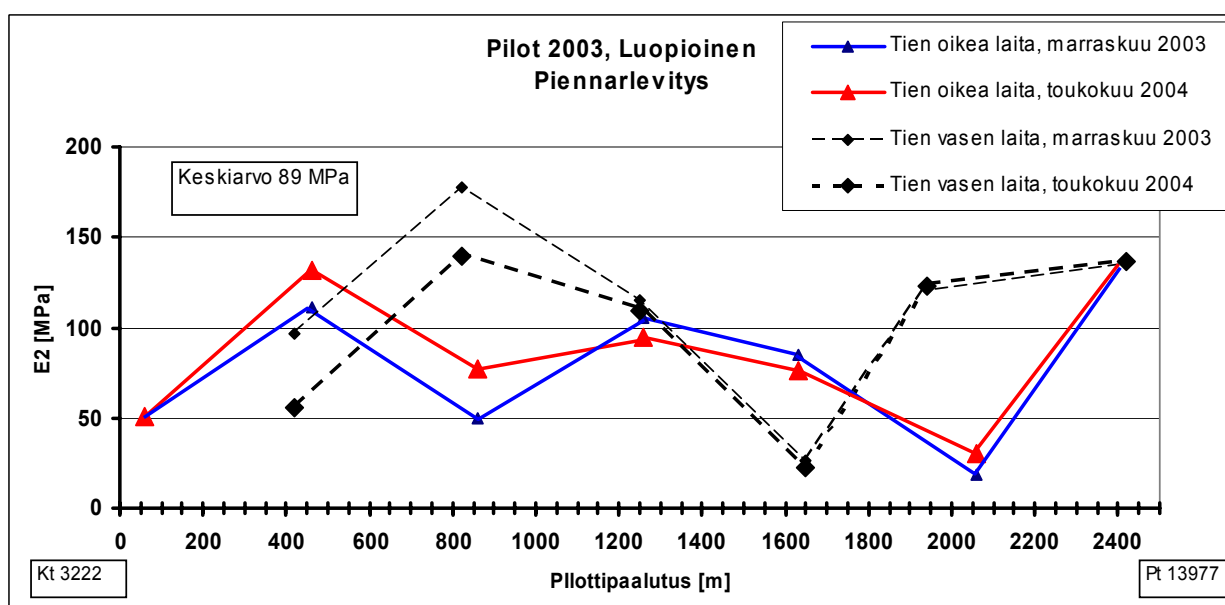
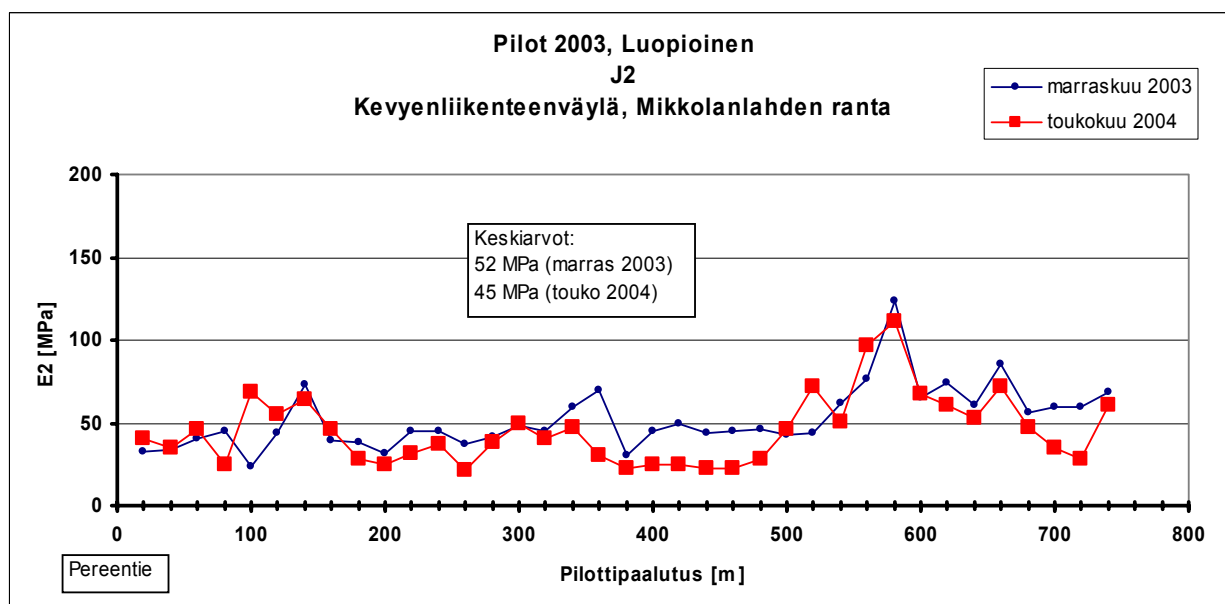
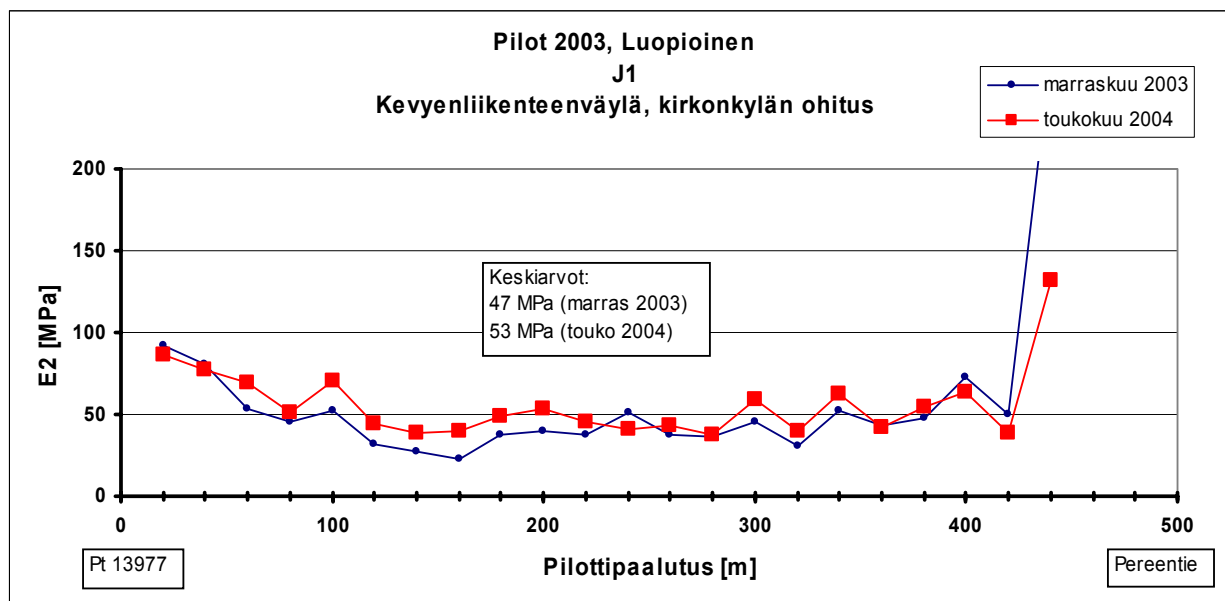
Tavoitepaksuudet olivat murskeelle noin 50 mm sekä kuitutuhkalle >300 mm. Mitatut murskepaksuudet olivat välillä 90-130 mm (ka 100 mm) ja kuitutuhkapaksuudet 100-290/>150 mm (ka >150 mm). Kuitutuhka oli melko pehmeän tuntuista kaivettaessa ja muutamassa kohdin syvemmältä pehmeämpää kuin pinnasta. Reunaosa oli myös pehmeämpää kuin keskiosa, mikä johtuu työteknisistä syistä.



Kuva 17. Pilot 2003. Piennarlevennys ennen päällystämistä.

5.2.3 Kantavuudet

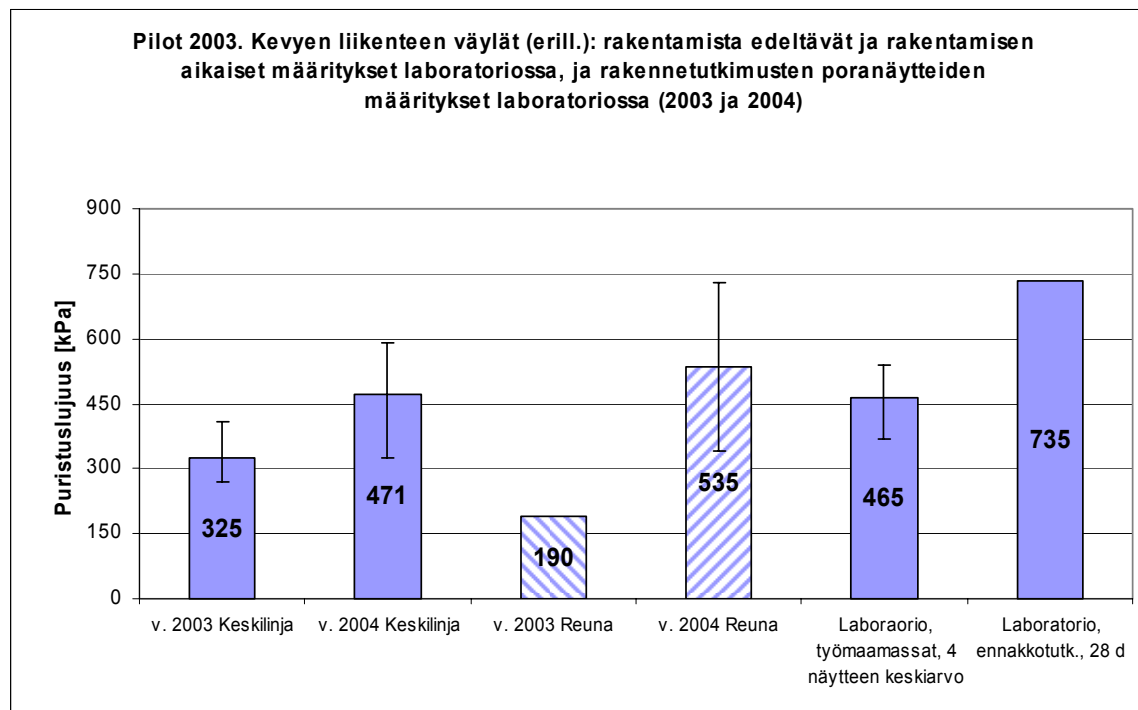
Eri osuuksilla ei ole mitattu suuria eroja syksy- ja kevät-kantavuuksissa, kun tavallisesti kevät-kantavuudet ovat huonompia. Tämä osoittaa kuitutuhkan parantavan kevät-kantavuutta. Kantavuudet ovat alhaisia, mutta kuitutuhkarakenteella ei pyritä pelkästään kantavuuden parantumiseen vaan ratkaisu perustuu nimenomaan eristävään, erottavaan ja joustavaan kerrokseen, joka pienentää roudan tunkeutumissyvyyttä, estää kulutuskerroksen ja pohjamaan sekoittumisen sekä tasaa routaliikkeitä. Kantavuuskuvaajat löytyvät kuvasta 18.



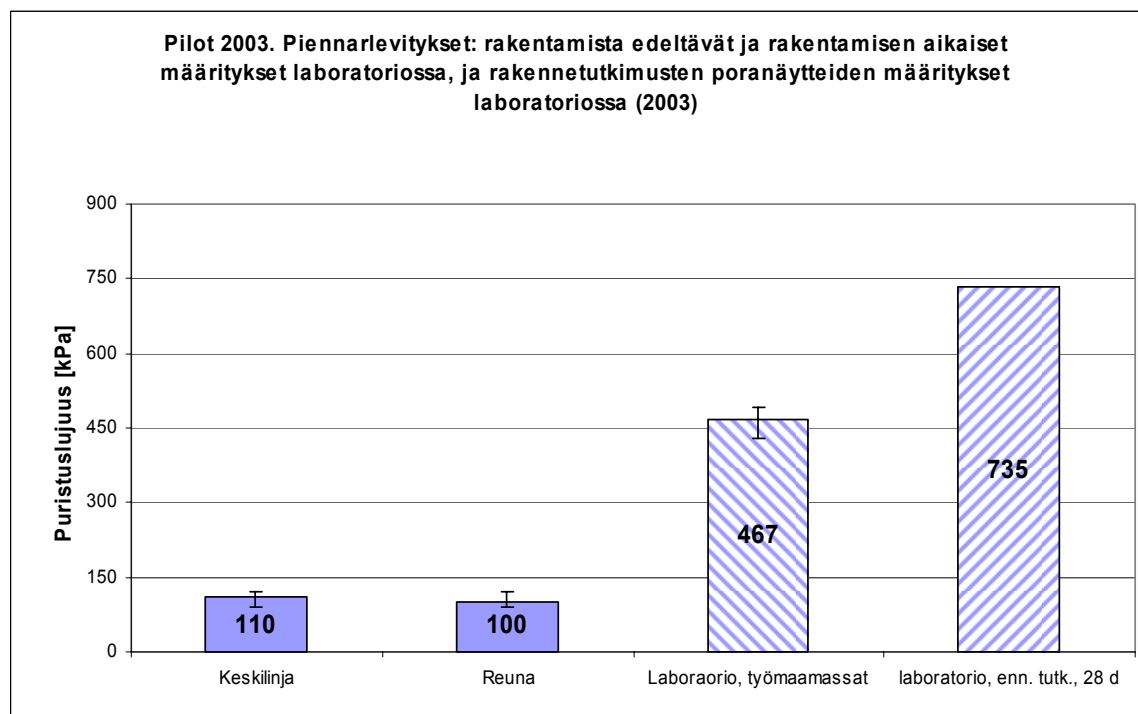
Kuva 18. Pilot 2003. Kevyen liikenteen väylien ja piennarlevennyksen kantavuusmittaukset.

5.2.4 Rakennetutkimukset

Seurantatutkimuksia varten on erillisiltä kevyen liikenteen väyliltä käyty ottamassa poranäytteet rakentamisen jälkeen syksyllä 2003 sekä syksyllä 2004. Sekä rakenteen keskiosassa että reunoilla on tapahtunut selkeää lujuuden kehittymistä ja viimeisimpien poranäytteiden lujuudet (ka 500 kPa) ylittivät laboratoriossa työmaamassoista tehtyjen kappaleiden lujuudet.



Kuva 19. Kevyen liikenteen väylien seuranta 2004. Seoksessa on kuitusavea noin 55 % (märkämassa), lentotuhkaa noin 39 % (märkämassa) ja yleisementtiä noin 6 %.



Kuva 20. Piennarlevennyksen seuranta 2003. Seoksissa käytetty kahta kuitusavireseptiä (kts. kohta 3.2).

Piennarlevennyksestä ei ole otettu seurantanäytteitä kuin kerran rakentamisen jälkeen. Sekä rakenteen keskeltä että reunoilta otettujen poranäytteiden lujuudet ovat jääneet selvästi pienemmiksi kuin laboratoriossa tehtyjen koekappaleiden lujuudet. Tähän on syynä mm. liian kevyeksi jäänyt tiivistäminen.

Verrattaessa kuvia 19 ja 20 keskenään on tiivistystyön onnistumisen merkitys hyvin selkeästi havaittavissa. Piennarlevennykset on tiivistetty merkittävästi kevyemmällä menetelmällä (tärylevyllä) kuin kevyen liikenteen erilliset väylät, lisäksi kohde oli tiivistyksen kannalta vaativampi ja tiivistettävä kerros paksumpi. Parempi lopputulos saataisiin tiivistämällä ohuempina kerroksina.

6. KEVYEN LIIKENTEN VÄYLIEN KÄYTTÄJÄKYSELY

Kevyen liikenteen väylien potentiaalisille käyttäjille lähetettiin kyselylomake, jossa pyydettiin vastauksia väylien kuntoa ja ominaisuuksia sekä käyttöä koskeviin kysymyksiin. Vapaamuotoisia mielipiteitä pyydettiin myös kirjaamaan vastauslomakkeeseen.

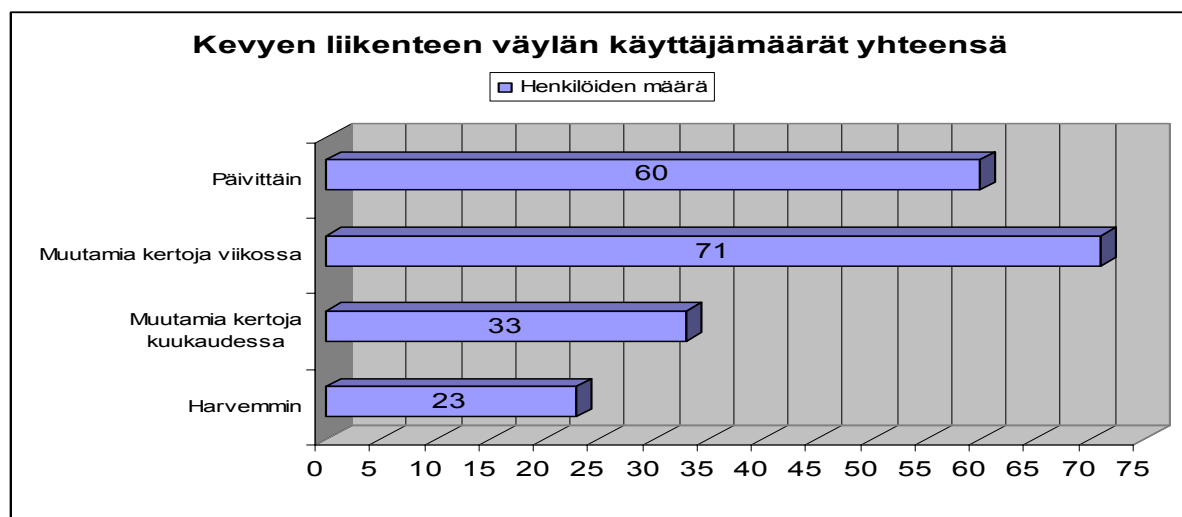
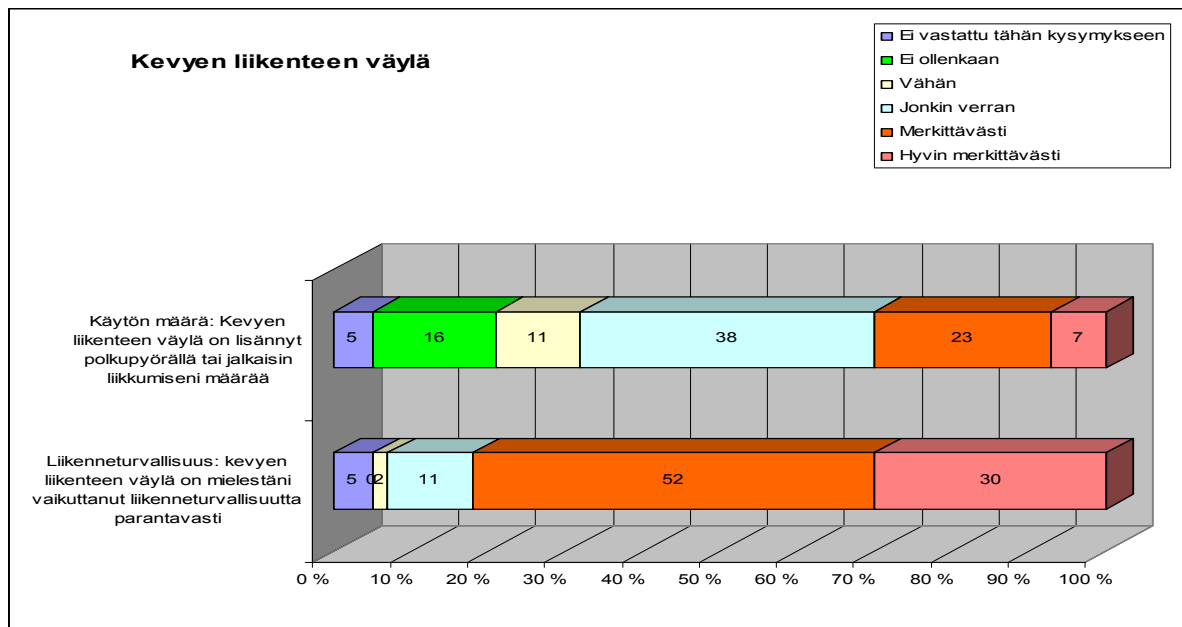
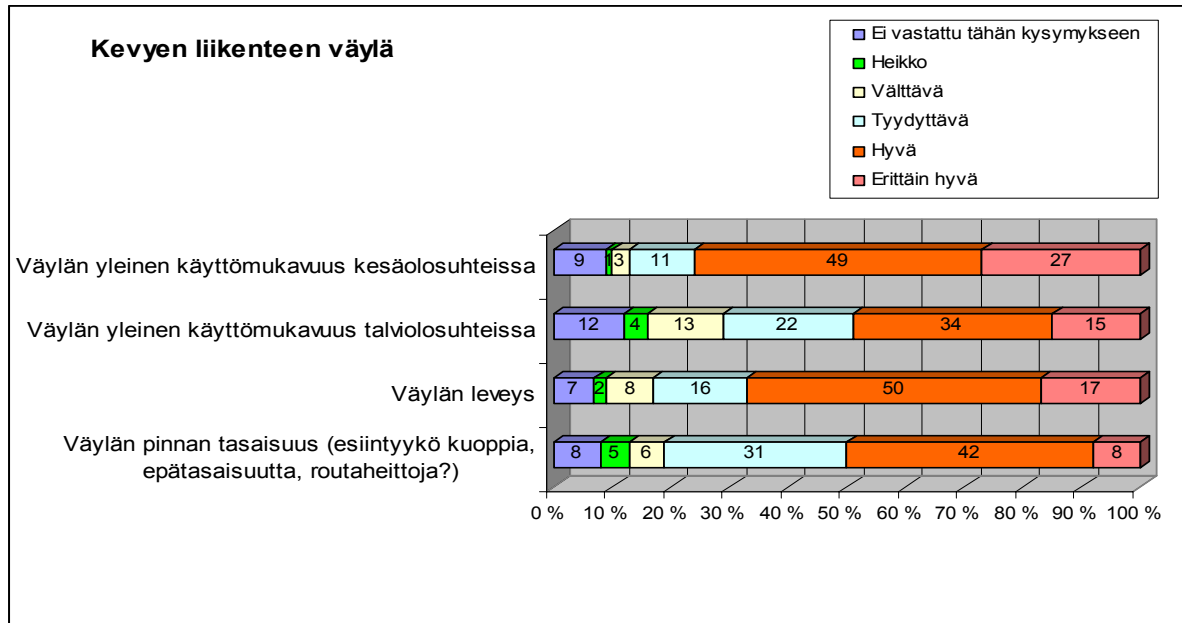
Kyselylomakkeita lähetettiin yhteensä 500 kpl, joista palautettiin 100 kpl eli vastausprosentti oli siten 20,0 %. Tulokset on koottu seuraavilla sivuilla nähtäviin taulukoihin. Kyselyn mukaan kevyen liikenteen väylät ja piennarlevennys ovat lisänneet merkittävästi liikenneturvallisuutta. Erilliset väylät ovat innostaneet 2/3 vastaajista lisäämään jalkaisin tai polkupyörällä liikkumistaan jonkin verran tai merkittävästi, piennarlevennykset taas vajaata puolta vastaajista.

Kevyen liikenteen väyliä keuhuttiin tarpeellisiksi ja turvallisiksi, moitetta taas sai puutteellinen valaistus, talvikunnossapito ja pinnan laatu. Piennarlevennystä pidettiin myös hyvänä ja turvallisenä ratkaisuna, mutta moitetta tuli levennyksen kapeudesta, pinnan laadusta ja reunojen pettävyydestä/jyrkkyydestä sekä alennetusta nopeusrajoituksesta (osalla matkaa nopeus aleni 80 → 60 km/h).



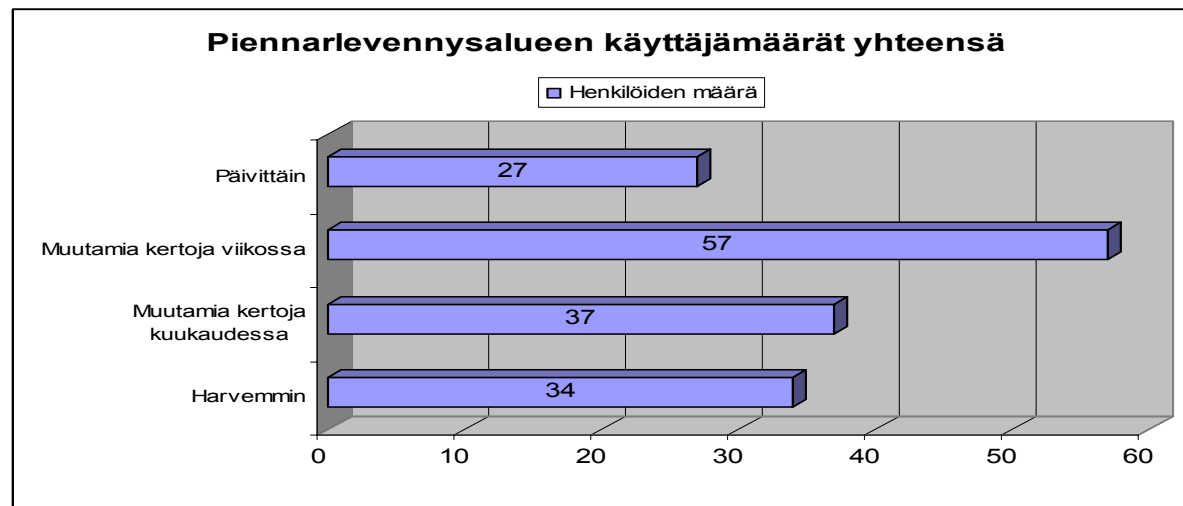
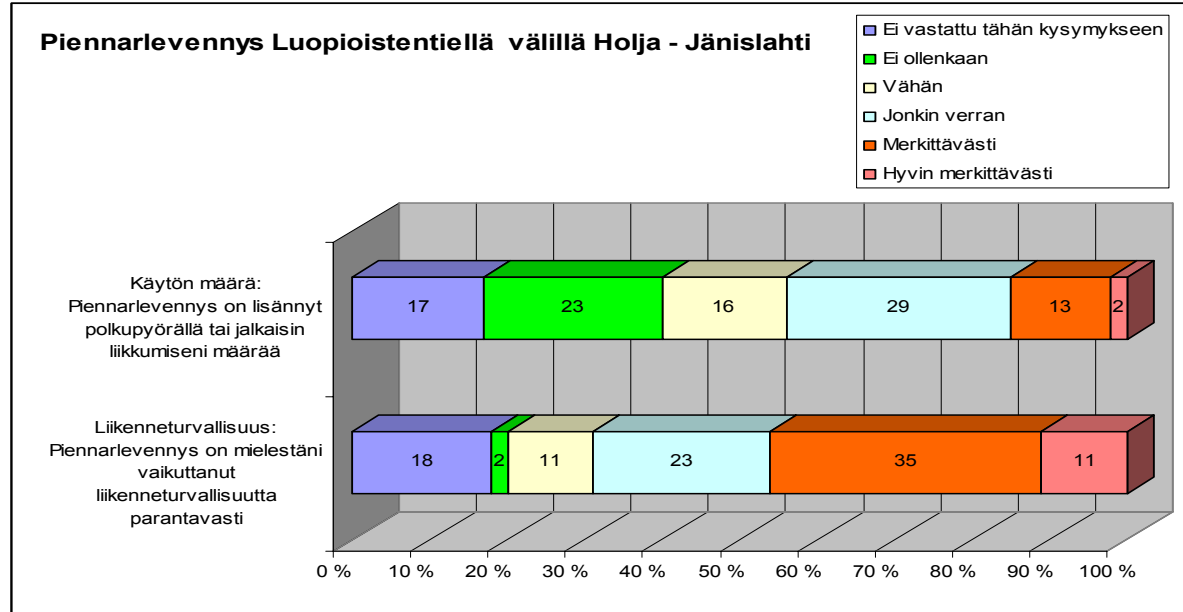
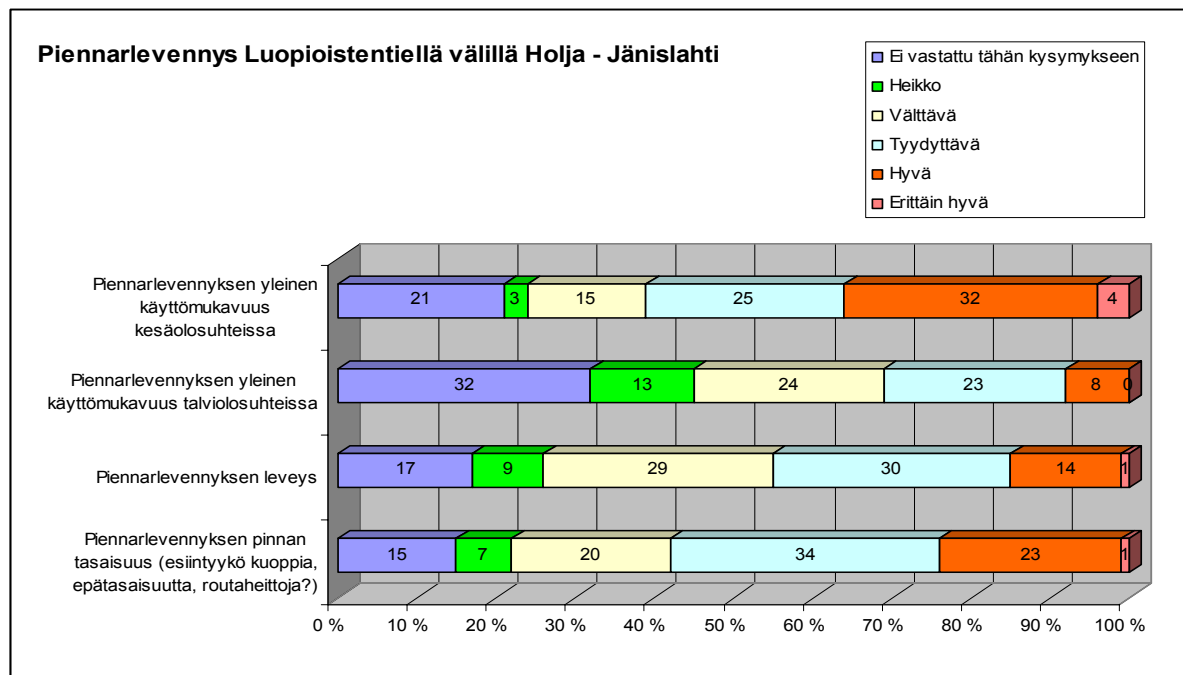
Kuva 21. Pilot 2003. Kevyen liikenteen väylä keväällä 2004.

Kevyen liikenteen väylä



Kuva 20. Pilot 2003. Käyttäjäkysely, kevyen liikenteen väylät.

Piennarlevennys Luopioistentiellä välillä Holja – Jänislahti



Kuva 21. Pilot 2003. Käyttäjäkysely, piennarlevennys.

7. YHTEENVETO KOKEMUKSISTA JA ARVIO KEHITYSTARPEISTA

Hanke koostuu useasta osatehtävästä, joista varsinaisesta prosessin testauksesta on osa toteutettu vuonna 2002 ja osa toteutettiin vuonna 2003. Pilot 2002 kohteena oli soratien perusparantaminen lentotuhkaa sisältävällä sideaineella, lisäksi tutkittiin rakeistetulla suotojätteellä stabiloidun murskeen käyttöä kulutuskerroksena. 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 koostuu suotojäte-murske – seoksesta (suotojäte rakeistamatonta). Tuloksena syntyneiden rakenteiden käyttäytymistä ja ominaisuuksia seurattiin seurantaohjelman mukaisesti.

Tärkeäksi osaksi varsinaisen seurannan lisäksi nousi tiedotuksen kohdentaminen erityisesti pilotkohteiden käyttäjien ja kunnossapitäjien suuntaan. Seurannan helpottamiseksi koeosuudet tulisi merkitä maastoon selkein kyltein, jotta mahdollisissa ongelmatilanteissa häiriötekijät (halkeamat, kuopat, rakenteen pehmeneminen, tms.) voitaisiin helposti kohdentaa ja tietoja käyttää hyödyksi tulevia projekteja suunniteltaessa.

Soratien perusparantaminen kerrosstabiloimalla lentotuhkaan perustuvilla sideaineilla

Ennen vuoden 2002 stabilointia tie oli huonossa kunnossa, jopa ajoittain ajokelvoton. Nykyisin tie on siihen verrattuna erinomaisessa kunnossa. Kantavuudet ovat parantuneet merkittävästi stabiloinnin vaikutuksesta ja osittain myös ojien kunnostamisen vuoksi. Poranäytteistä määritetyt lujuudet ovat olleet hyviä eli rakenteet ovat ilmeisesti kunnossa ja toimivat suunnitellusti. Kohde kesti hyvin talven ja kevään kelirikkoajan. Keskikesällä kohteissa ilmeni pienehköjä pintavaurioita, jotka johtunevat kapilaarisen veden nousun heikkenemisestä stabiloidun kerroksen läpi eli kulutuskerros kuivaa liikaa. Suotojäte-murske -kerroksen hienoainespitoisuutta pitää miettiä tai kulutuskerrokseen pitää lisätä jotain muuta ainetta suotojätteen lisäksi. Pintakerros on ainakin keväällä aikaisempaa kuraisempi, joten käytettävään murskeeseen on kiinnitettävä huomiota. Kohteella on edelleen huonoja kohtia, jotka ovat todennäköisesti testattavien stabilointien ulkopuolella. Tien kapenemisesta peruskorjauksen yhteydessä on valitettu, mutta kapeneminen johtui kuivatuksen kannalta tärkeiden ojien kunnostamisesta.

Pilotrakentamisen jälkeen keskusteltiin mm. resurssiketjun haavoittuvuudesta. Esimerkiksi kivisyydestä aiheutui jyrsvikoja, 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 heikompileatuista kiviainesta ja suorittaa stabilointi tämän nostetun kerroksen päältä. Sivutuoterakentaminen vaatii joissakin tapauksissa suuremman tilan tiealueelta kuin perinteinen tienkunnostus ja lisäksi rakentamisaika voi olla pidempi.

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

Huonokuntoisen soratien kunnostamista massiivisella kuitutuhkaseokseen perustuvilla rakennekerroksilla

Projektin yhteydessä on korjaus kohdistettu pahimmin vaurioituneisiin tienosiin kesällä 2003. Korjatut kohteet ovat säilyneet hyvinä, ja tie on niiden ansiosta jo kokonaisuudessaan käyttökelpoisempi. Aasukkaat ovat siis tyytyväisiä, ja toivoisivat koko tielle vastaavaa korjausta. Peruskorjausmenettelyn tehokkuutta epäiltiin ennen sen toteuttamista, koska kyseessä on kuitenkin suhteellisen kevyt rakenteellinen muutos. Tulos on ollut asukkaiden mukaan yllättävä. Käyttäjien mukaan vastaava korjausmenettely olisi otettava laajemminkin käyttöön.

V. 2003 tiessä on ollut jonkin verran painumia, pilotrakenteen loppuosassa muutamia lujittumattoman kuitutuhkan aiheuttamia pistemäisiä pehmeitä kohtia sekä reunat ovat olleet pehmeät jyrkkien luiskien vuoksi. V. 2004 tien pinta oli stabiloinnin kohdalla hyväkuntoinen, stabiloimattomalla osuudella oli joitakin kuoppia. Kuitutuhkakerros oli kiinteä eikä se ollut sekoittunut pintamurskeen kanssa.

Kantavuudet ovat pysyneet samana tai parantuneet hieman verrattuna lähtötilanteeseen. Kuitutuhkalla ei pyritä pelkästään kantavuuden parantumiseen vaan ratkaisu perustuu nimenomaan eristävään, erottavaan ja joustavaan kerrokseen, joka pienentää roudan tunkeutumissyvyyttä, estää kulutuskerroksen ja pohjamaan sekoittumisen sekä tasaa routaliikkeitä. Poranäytteiden perusteella rakenne on lujittunut odotusten mukaisesti tai jopa ylikin. Lämpötilamittausten perusteella kuitutuhkan eristävyysominaisuus on sekä pienentänyt routasyvyyttä että hidastanut roudan sulamista erityisesti pinnasta käsin.

Pohjaveden suojausrakenne kuitusavesta

Pohjavedensuojaus on tarpeen kohteissa, joissa tie kulkee vesihuollolle tärkeiden pohjavesialueiden läpi tai vierestä, jotta pohjavesiin ei kulkeutuisi liikenteessä tai tien hoidossa syntyviä haitta-aineita (esim. tiesuolaa). Suojauksessa on tiivistekerroksen materiaalina käytettävä yleensä esimerkiksi bentoniittisavea tai vastaavaa materiaalia, joka täyttää tiiviysvaatimukset (vedenläpäisevyys $k < 1 \times 10^{-9}$ m/s). Yleisesti käytettävät materiaalit ovat kalliita, joten suojaukseen 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.

Infiltratrimittausten perusteella kuitusavikerros ei täytä suojausrakenteelle asetettuja vaatimuksia; mitattu $k \sim 10^{-7}$ m/s, kun tavoitteena oli $k < 10^{-9}$ m/s. Rakenteen tiivistys on todennäköisesti ollut riittämätön ja lisäksi kuitusavikerroksen peittokerros on ollut liian ohut, joten pitkän aikavälin tiivistymistä edistävä kuormitus on ollut riittämätön. Tarvitaan kuitenkin myös muita parametreja (mm. tilavuusmassat ennen/jälkeen, kallion sijainti rakenteen kohdalla) ennen kuin voidaan tehdä tarkempia johtopäätöksiä kuitutuhkan soveltuvuudesta suojausrakenteeksi. Tulevissa kohteissa voitaisiin käyttää esim. lysimetriä tiiviyden arvioinnissa.

Erilliset kevyen liikenteen väylät

Rakentamisen jälkeisenä keväänä (2004) rannassa menevä väylä oli hyvässä kunnossa, mutta kirkonkylän ohitse menevällä väylällä oli paikoin useita jopa 30 mm leveitä pitkittäisiä halkeamia. Halkeamat johtuvat mm. liian ohuista kuitutuhkakerroksista. Syksyllä (2004) järven sivuitse menevä väylä oli silmämääräisesti hyväkuntoinen, kuoppia tai uria ei ole ollut. Kirkonkylän ohitse menevä väylä oli hyväkuntoinen eikä siinä ole ollut näkyvissä keväällä olleita halkeamia. Kuitutuhkakerrokset olivat homogeenisia ja kiinteitä.

Eri osuuksilla ei ole mitattu suuria eroja syksy- ja kevätkantavuuksissa, kun tavallisesti kevät-kantavuudet ovat huonompia. Tämä osoittaa kuitutuhkan parantavan kevätkantavuutta. Kantavuudet ovat alhaisia, mutta kuitutuhkarakenteella 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.

Seurantatutkimuksia varten on erillisiltä kevyen liikenteen väyliltä käyty ottamassa poranäytteet rakentamisen jälkeen syksyllä 2003 sekä syksyllä 2004. Sekä rakenteen keskiosassa että reunoilla on tapahtunut selkeää lujuuden kehittymistä ja viimeisimpien poranäytteiden lujuudet (ka 500 kPa) ylittivät laboratoriossa työmaamassoista tehtyjen kappaleiden lujuudet.

Bitumisekoitteinen pinta oli halkeillut keväällä, mutta sulkeutunut kesällä. Pintauksessa käytettiin 12 mm:n soramursketta, jolla saatiin tiivis pinta. Kalliomursketta käyttämällä tulos olisi ehkä vielä parempi.

Käyttäjäkyselyn perusteella kevyen liikenteen väylät ovat lisänneet merkittävästi liikenneturvallisuutta ja innostaneet vastaajia lisäämään jalkaisin tai polkupyörällä liikkumistaan. Kevyen liikenteen väyliä kehitettiin tarpeellisiksi ja turvallisiksi, moitetta taas sai puutteellinen valaistus, talvikunnossapito ja pinnan laatu.

Piennarlevennykset

Piennarlevennyksestä ei ole otettu seurantänäytteitä kuin kerran rakentamisen jälkeen. Sekä rakenteen keskeltä että reunoilta otettujen poranäytteiden lujuudet ovat jääneet selvästi pienemmiksi kuin laboratoriossa tehtyjen koekappaleiden lujuudet. Tähän on syynä mm. liian kevyeksi jäänyt tiivistäminen. Poranäytteiden alhaisen puristuslujuuden perusteella pääteltiin, että tiivistäminen tarvitsisi tehdä ohuempina kerroksina kuin tässä projektissa tehtiin. Eri osuuksilla ei ole mitattu suuria eroja syksy- ja kevätkantavuuksissa, kun tavallisesti kevätkantavuudet ovat huonompia. Silmämääräisesti piennarlevennyksessä ei ole havaittu vaurioita eli rakenteet ilmeisesti toimivat suunnitellusti.

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 toista kaivinkonetta ja siksi lisälevyjen teosta luovuttiin taloudellisista syistä.

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 todet-

tiin eroosiota rakentamista seuraavana vuotena, joten luiskat tulisi aina 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. Piennarlevennyksen teko oli kaiken kaikkiaan uusi aluevaltaus ja vaatii joka tapauksessa menetelmän kehittämistä. Elinkaaritarkastelulla saadaan varmasti vielä lisää näkökulmia uusiorakentamisen puolesta.

Käyttäjäkyselyn mukaan piennarlevennys on lisännyt merkittävästi liikenneturvallisuutta ja innoistanut vajaan puolta vastaajista lisäämään jalkaisin tai polkupyörällä liikkumistaan. Levennystä pidettiin hyvänä ja turvallisena ratkaisuna, moitetta tuli mm. levennyksen kapeudesta, pinnan laadusta ja reunojen pettevyydestä/jyrkkyydestä sekä alennetusta nopeusrajoituksesta (osalla matkaa nopeus aleni 80 → 60 km/h).

Kulutuskerros suotojätteestä ja murskeesta

Suotojätettä muodostuu tiesuolana käytettävän kalsiumkloridin valmistuksen sivutuotteena, ja se sisältää kalsiumkloridin lisäksi muita kalsiumyhdisteitä. Sekoitettaessa tällaista suotojätettä pintaan käytettävään murskeeseen, lisätään pinnan kulutuskestävyyttä, ja vältetään kevään ja syksyn erilliseltä suolaukselta. Suotojäte pitää murskepinnan sulana vielä - 5 °C:n pakkasiin asti. Suolan hygroskooppinen vaikutus häviää luonnollisesti ajan myötä suolan liuettua pois suotojätteestä.

Keskikesällä Pilot 2002 -kohteessa ilmeni pienehköjä pintavaurioita, jotka johtuivat kulutuskerroksen liiallisesta kuivumisesta. Suotojäte-murske -kerroksen hienoainespitoisuutta pitää miettiä tai kulutuskerrokseen pitää lisätä jotain muuta ainetta suotojätteen lisäksi, jotta sen vedenpidätyskyky parantuisi. Pintakerros on keväällä aikaisempaa kuraisempi, joten käytettävä murske on valittava tarkemmin ja esimerkiksi mietittävä kalliomurskeen käyttöä.

Suotojätettä sisältävän pintamurskeen tavoitteellinen kalsiumkloridipitoisuus syksyllä 2002 oli 0,6 %. Seurantatutkimusten perusteella kulutuskerroksen kalsiumkloridista oli vuoden kuluttua jäljellä noin 0,06 % eli vajaa puolet soratieohjeen kevätsuolausmäärästä. Ensimmäisen vuoden vähenemästä päätellen vuoden 2005 keväällä voi olla tarvetta lisäsuolaukselle.

Kulutuskerros on toistaiseksi ongelmallinen. 10 cm:n paksuinen kerros on liian vaativa ja kallis ratkaisu, mutta kulutuskerroksen ohentamiseksi tarvitaan edelleen tietoa eri vaihtoehtojen ympäristöturvallisuudesta. SOP-pintausta saattaisi käydä hyvin kulutuskerroksiin, jolloin höyläystä ei tarvittaisi. Tällä menetelmällä on kuitenkin huono maine. Päälystemateriaalit eli murskepintoja korvaavat ratkaisut ovat tärkeä jatkotutkimus- ja kehityskohde

Pilot 2002 -kohteella käytettiin rakeistettua suotojätettä. Rakeistus helpottaa kuljettamista ja se olisi mahdollista levittää suoraan tielle jyrskintää varten. Pilot 2003 -kohteilla suotojäte oli rakeistamatonta ja sen sekoittaminen murskeeseen onnistui hyvin. Asemasekoitusta käytettäessä rakeistamaton suotojäte on edullisempi vaihtoehto.

8. JOHTOPÄÄTÖKSET

Pilot 2002 –kohteella eli vanhan rakenteen stabiloinnissa lopputulos oli odotettu: rakenteet toimivat suunnitellusti, kantavuudet paranivat ja tie kesti hyvin talven ja kevään kelirikkoajan. Pilot 2003 –kohteella eli massiivisella kuitutuhkalla kunnostetulla tiellä korjatut kohdat ovat säilyneet hyvinä ja tie on niiden ansiosta kokonaisuudessaan käyttökelpoisempi kuin ennen kunnostamista. Kuitutuhkarakenne on lujittunut odotusten mukaisesti ja se on säilynyt kiinteänä. Lämpötilamittausten perusteella kuitutuhkarakenne on sekä pienentänyt routasyvyyttä että hidastanut routan sulamista erityisesti pinnasta käsin.

Pohjaveden suojausrakenne ei täyttänyt asetettuja vedenläpäisevyysvaatimuksia. Kuitusavirakenteen tiivistys on todennäköisesti ollut kevyttä ja lisäksi päälle tullut peittokerros liian ohut, joten pitkän aikavälin tiivistymistä edistävä kuormitus on ollut riittämätön. Tulevissa projekteissa on nämä ongelmakohdat ratkaistava ennen rakentamista.

Kevyen liikenteen väylät ovat pääosin säilyneet hyväkuntoisina yhden vuoden seurannan aikana. Väylissä on ollut keväisin halkeamia niillä kohdin, joissa kuitutuhkakerros on jäänyt suunniteltua ohuemmaksi. Piennarlevennyksessä ei ole havaittu silmämääräisesti vaurioita talven jälkeen, vaikka rakenne oli täysin uusi ratkaisu ja siitä johtuen mm. tiivistyksessä ei päästy haluttuun lopputulokseen. Käyttäjäkyselyn perusteella väylät ja levennys ovat olleet tarpeellisia ja niitä pidetään yleisesti turvallisina sekä liikkumista edistävinä ratkaisuin.

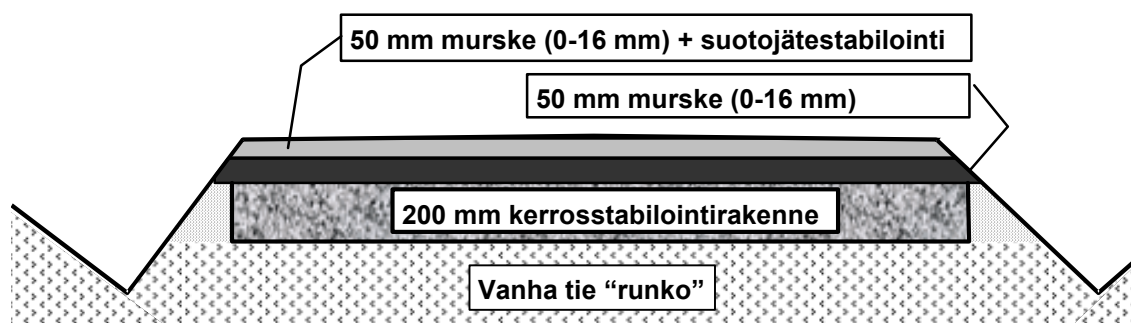
Suotojätteen käytöstä kulutuskerroksessa saatiin tässä projektissa hyödyllisiä tietoja, mutta siitä olisi vielä kerättävä lisää tietoa ja kokemuksia ennen suurimittakaavaisempia toteutuksia. Pilot 2002 -kohteella kulutuskerros kuivui liikaa ja toisaalta oli keväällä aikaisempaa kuraisempi, joten mahdollisten lisäaineiden käyttöä suotojätteen lisäksi sekä murskeen laatua olisi mietittävä. Kevyen liikenteen väylillä ja piennarlevennyksessä on käytetty erilaisia suotojäte-murske-reseptejä, jossa seoksessa on eri lisäaineita kulutuskerroksen lujuutta ja kulutuskestävyyttä parantamaan. Näiden seosten ”hyvyyttä” on seurattava vielä useita vuosia, sillä kevyen liikenteen aiheuttama rasitus on huomattavasti pienempää kuin autoliikenteen.

Seurantatutkimuksien tuloksissa näkyi, mikäli tutkitulla kohteella oli ollut työtekniisiä ongelmia tai suunnitelmista oli poikettu (esim. tiivistäminen, rakennepaksuudet). Koekohteiden rakennusvaiheessa on laadunvalvonta erityisen tärkeätä, sillä sivutuotemateriaalit ja –rakenteet ovat rakentajille usein outoja ja väärin toimittaessa riskinä on laadutavoitteiden selkeä alittuminen.

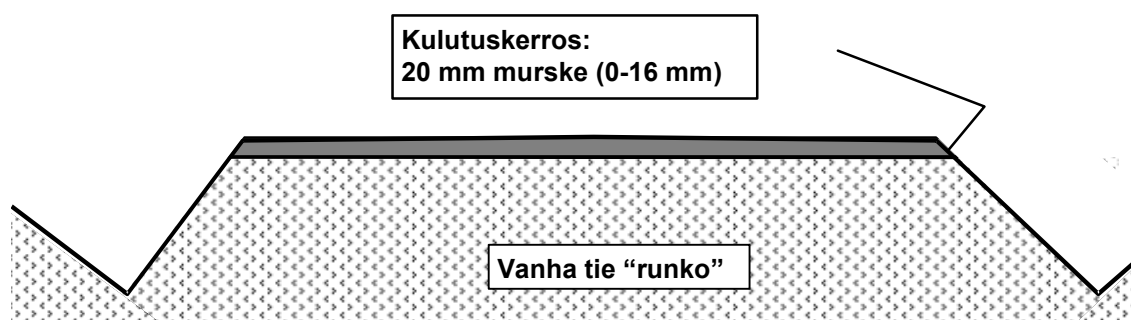
Varsinainen seuranta tapahtuu usein vain muutaman kerran vuodessa tehtävillä tutkimuksilla. Tutkimusten lisäksi tietoa pitäisi pystyä keräämään tehokkaammin tien käyttäjiltä ja kunnossapitäjiltä. Koekohteiden merkintä kyltein ja esimerkiksi tein varrella asuvien vapaaehtoisten tarkkailijoiden keräämien tietojen avulla tien kuntoa voitaisiin seurata ympärivuotisesti.

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 menetelmää pilotkohteiden kunnonarvioimiseksi, esimerkkinä mainittiin Tiehallinnon sorateiden hallintajärjestelmän T&M Sora. Kantavuusmittausten tuloksia voitaisiin hyödyntää paremmin, mikäli mittaukset pystyttäisiin tekemään joka vuosi rakenteen kuivumisen kannalta samaan aikaan.

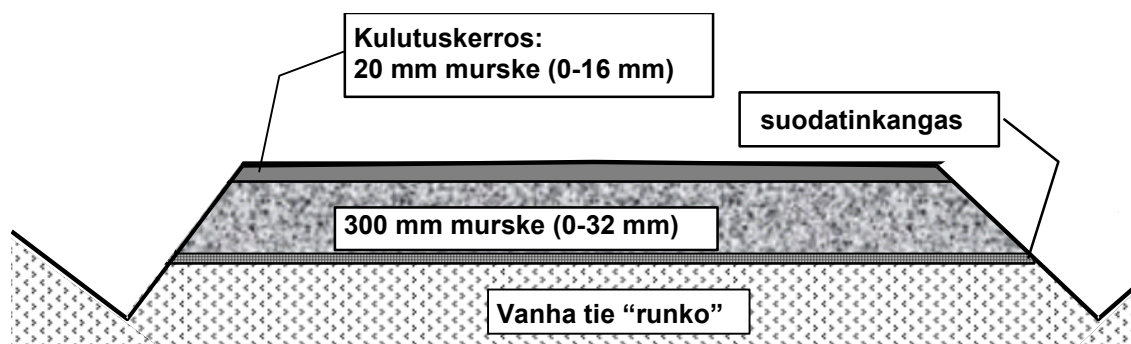
LIITE 1. PILOTRAKENTEIDEN TYYPIPOIKKILEIKKAUKSET (1/4)



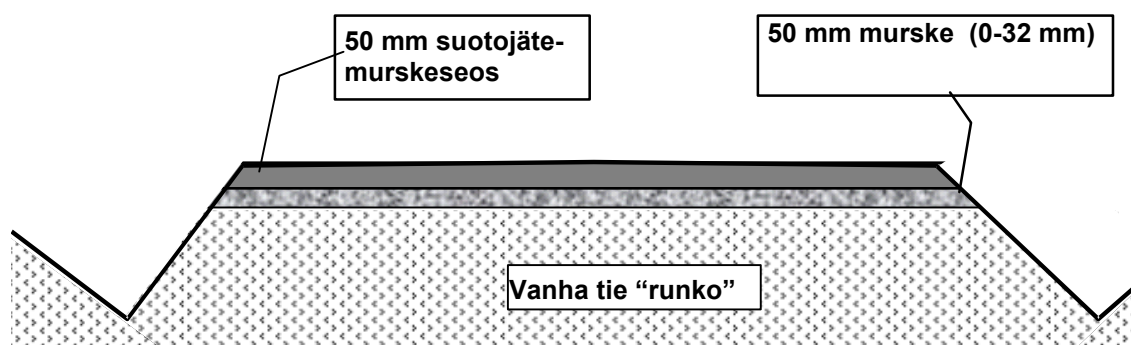
Pilot 2002. Kerrostabilointirakenne A-E.



Pilot 2002. Vertailurakenne 1, ns. syyssorastus.

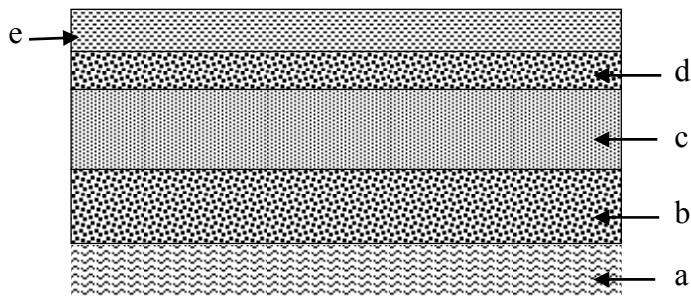


Pilot 2002. Vertailurakenne 2, kelirikkokunnostus.



Pilot 2002. Suotojätevertailurakenne.

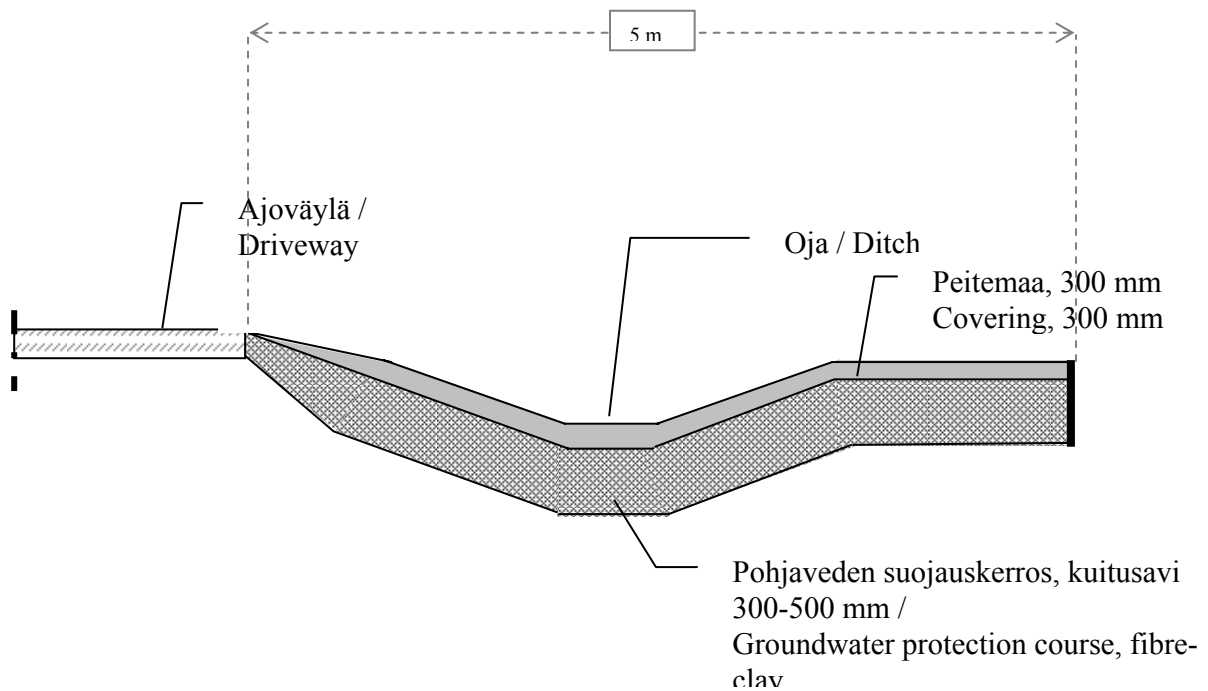
LIITE 1. PILOTRAKENTEIDEN TYYPIPOIKKILEIKKAUKSET (2/4)



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

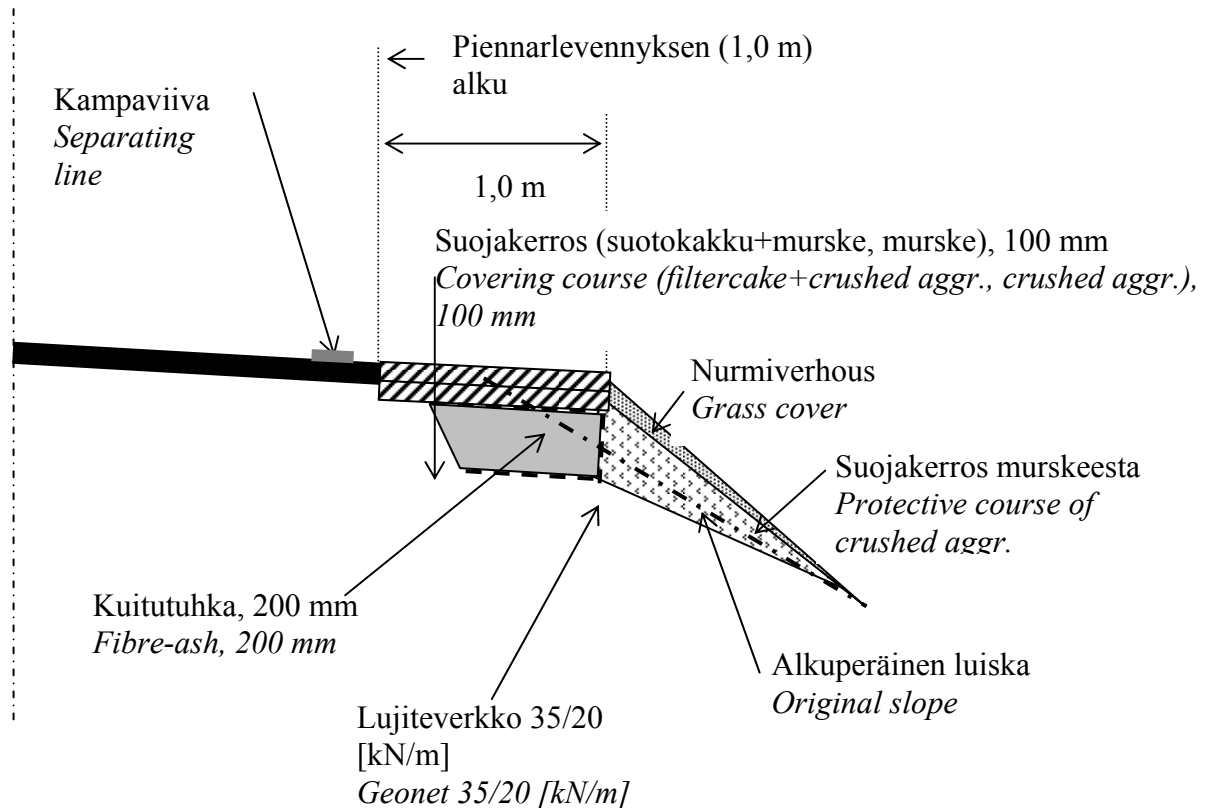
Pilot 2003. Periaatekuva massiivisesta kuitutuhkarakenteesta soratiellä.

POHJAVEDENSUOJAUSRAKENNE. PERIAATEKUVA
Principle of the groundwater protection structure



Pilot 2003. Periaatekuva pohjavedensuojusrakenteesta.

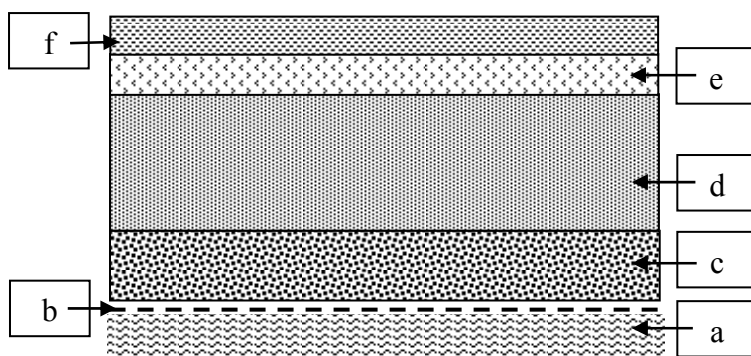
LIITE 1. PILOTRAKENTEIDEN TYYPIPOIKKILEIKKAUKSET (3/4)



Pilot 2003. Periaatekuva piennarlevennyksestä.

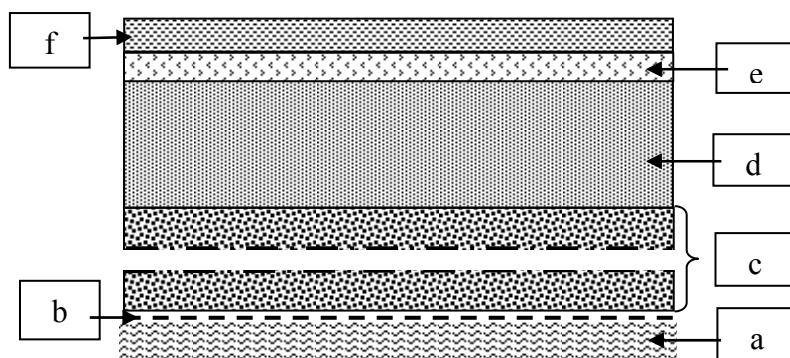
LIITE 1. PILOTRAKENTEIDEN TYYPPIPOIKKILEIKKAUKSET (4/4)

PEHMEIKÖLLE PERUSTETTU KEVYEN LIIKENTEN VÄYLÄ. PERIAATEKUVA



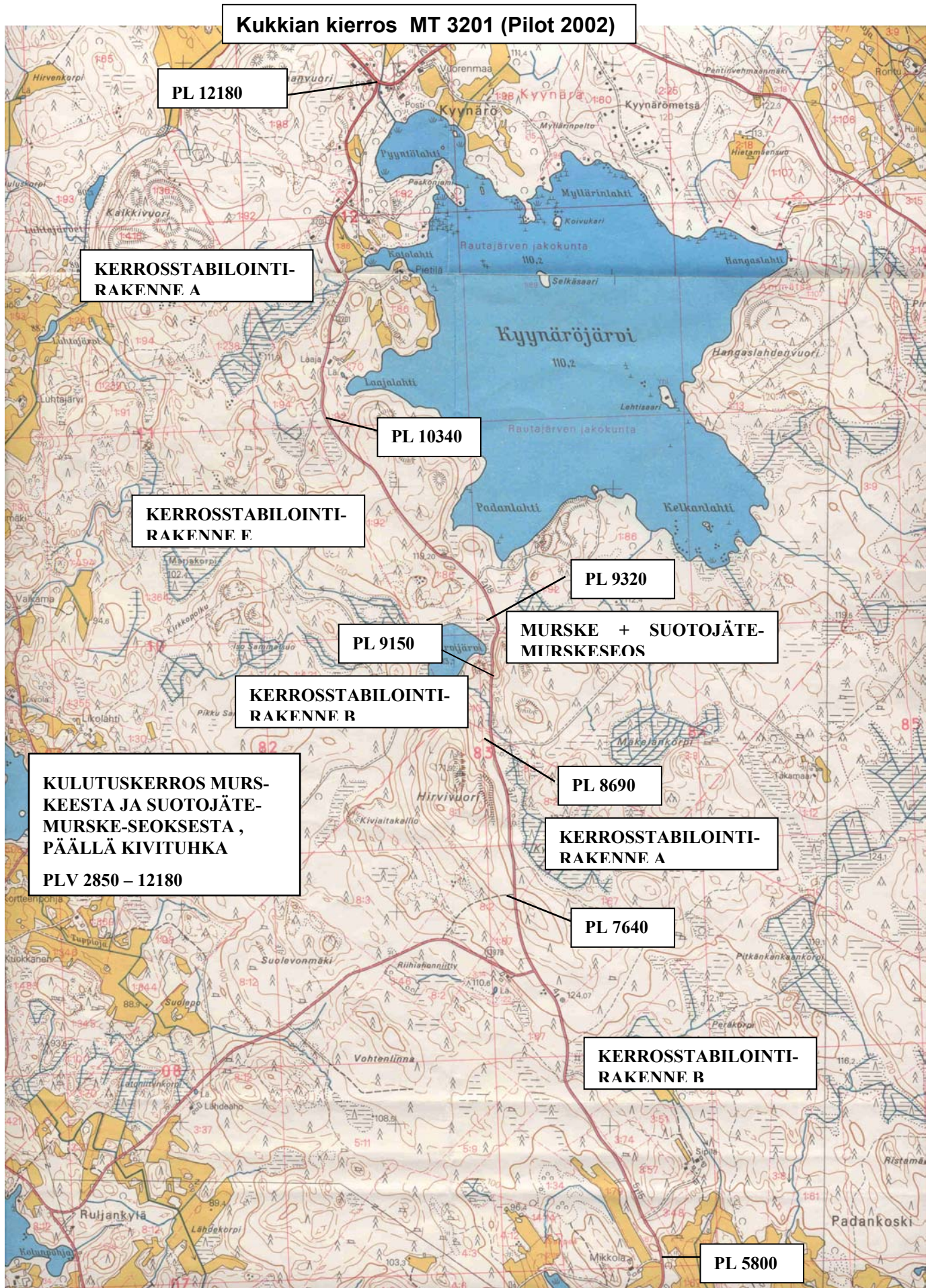
- f Suotojäte-murske -seos, 50 mm
- e Murske, 50 mm
- d Kuitutuhka, 200 mm
- c Sora tai hiekka, 100 mm
- b Suodatinkangas, kl II
- a Pohjamaa tai moreenipenger

KOVALLE POHJALLE PERUSTETTU KEVYEN LIIKENTEN VÄYLÄ. PERIAATEKUVA

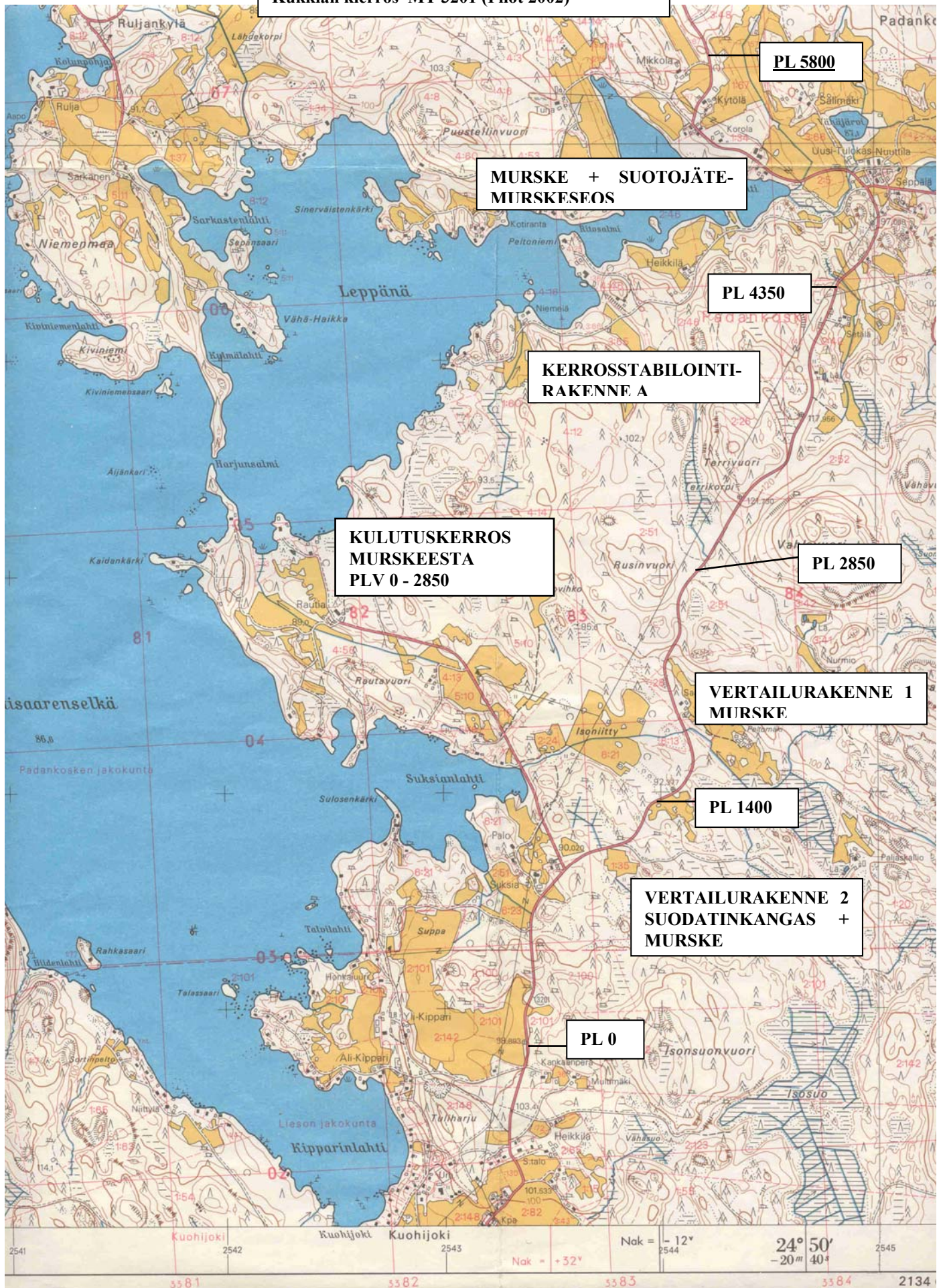


- f Suotojäte-murske -seos, 50 mm
- e Murske, 50 mm
- d Kuitutuhka, 300 mm
- c Moreenipenger, 1000 mm
- b Vahvistekangas
- a Pohjamaa

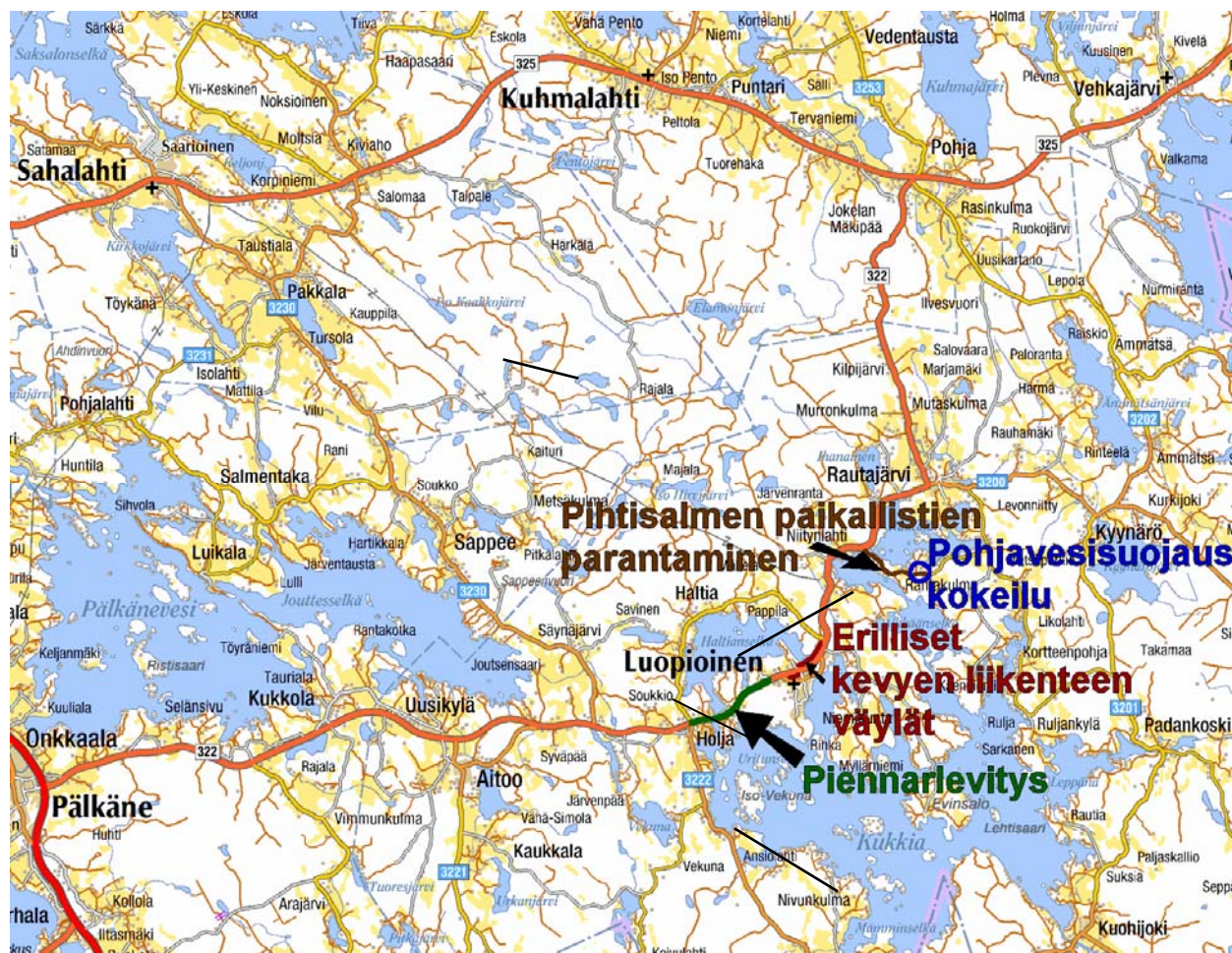
Pilot 2003. Periaatekuvat kevyen liikenteen väylistä.



Kukkian kierros MT 3201 (Pilot 2002)



LIITE 3. PILOT 2003. PILOTRAKENTEIDEN PAIKAT (1/1)



LIITE 4. PILOT 2003. INFILTROMETRIMITTAUKSET (1/1)

