



# Vaikutusten arviointi

## Projektin osaraportti

|             |                                                        |
|-------------|--------------------------------------------------------|
| Viite       | LIFE02 ENV/FIN/329<br>Kukkia Circlet                   |
| Pvm         | 8.3.2005                                               |
| Laatinut    | Aino Maijala, Ramboll Finland Oy, Luopioinen           |
| Tarkastanut | Hannele Kulmala, Tieliikelaitos, Hämeen palveluyksikkö |

## Sisällysluettelo

|           |                                                                       |           |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.</b> | <b>Johdanto</b>                                                       | <b>1</b>  |
| <b>2.</b> | <b>Projektin taustatekijät</b>                                        | <b>2</b>  |
| 2.1       | Projektin lähtökohdat ja tavoitteet                                   | 2         |
| 2.2       | Kehitystarpeen indikaattorit                                          | 3         |
| 2.2.1     | Tieverkosto ja sen kehittämistarpeet Suomessa                         | 3         |
| 2.2.2     | Sivutuotteiden määrät Suomessa ja Euroopassa                          | 4         |
| 2.2.3     | Uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö rakentamisessa (Suomessa)      | 4         |
| <b>3.</b> | <b>Projektin tulosten teknis-taloudellinen merkitys</b>               | <b>5</b>  |
| 3.1       | Rakenteet ja rakentaminen                                             | 5         |
| 3.2       | Rakenteiden geoteknilliset ominaisuudet                               | 6         |
| 3.3       | Rakenteiden ekotehokkuus ja elinkaarikustannukset                     | 7         |
| 3.3.1     | Vertailtavat rakenteet ja kustannustiedot                             | 7         |
| 3.3.2     | Ekotehokkuus                                                          | 9         |
| 3.3.3     | Elinkaarikustannukset (tarkastelujänne 25 v; laskentakorko 5 %)       | 9         |
| <b>4.</b> | <b>Projektin tulosten ympäristövaikutukset</b>                        | <b>14</b> |
| 4.1       | Vaikutukset jätemäärään ja uusiutumattomien luonnonvarojen tarpeeseen | 14        |
| 4.2       | Sivutuoterakentamisen muut ympäristövaikutukset                       | 15        |
| <b>5.</b> | <b>Kannanotot ja lausunnot</b>                                        | <b>16</b> |
| 5.1.1     | Teollisuuden näkemykset                                               | 16        |
| 5.1.2     | Tiehallinto. Lausunto [15a]                                           | 16        |
| 5.1.3     | Tampereen teknillinen yliopisto. Lausunto [15b]                       | 19        |
| 5.1.4     | Ympäristökeskus. Lausunto [15c]                                       | 21        |
| <b>6.</b> | <b>Yhteenveto</b>                                                     | <b>22</b> |

## 1. Johdanto

Tämä Vaikutusten arvioinnin osaraportti on laadittu Kukkia Circlet (LIFE02 ENV/FIN/329) –projektin vuosina 2002-2004 syntyneiden tulosten perusteella. Projektin toteutusta ja tuloksia on kuvattu projektin eri raporteissa. Projektissa on tuotettu seuraavat suomenkieliset pääraportit:

- **Tekninen raportti 2002** (7.3.2003), joka kertoo pääasiassa vuoden 2002 pilotkohteen eli stabiloinnin toteuttamisesta
- **Tekninen raportti 1/2003** (26.3.2004), joka käsittelee vuoden 2003 pilotkohteiden toteuttamista. Tekninen raportti 2/2003 on pilotkohteiden seurannan väliraportti.
- **Ympäristöseurannan loppuraportti** (17.12.2004), jossa käsitellään pilotkohteiden ympäristössä vuosina 2002-2004 toteutetun ympäristöseurannan tuloksia (maa- ja vesinäytteiden analyysituloksia).
- **Teknisen seurannan loppuraportti** (19.1.2005), jossa käsitellään pilotkohteissa vuosina 2002-2004 toteutetun geoteknisen seurannan tuloksia. Teknisen seurannan loppuraportti sisältää myös yhteenvedon syksyllä 2004 tehdystä **asiakastytyväisyystutkimuksesta**.

Tätä Vaikutusten arvioinnin –raporttia sekä edellä mainittuja pääraportteja on käytetty pääasiallisina viitteinä Kukkia Circlet -projektin virallisessa englanninkielisessä loppuraportissa.

Viides (suomenkielinen) pääraportti on **Opas** tuhkien, kuitutuhkien ja suotojätteen käytöstä tierakentamisessa ja sorateiden peruskorjauksessa. Opasta täydentää pilotrakentamisen yhteydessä tehty video.

Kaikki raportit ja video-esitys ovat saatavissa projektin www-sivuilta

<http://www.tieliikelaitos.fi/tieliikelaitos/yhteistyokumppanit/>

tai

<http://www.ramboll.fi/luopioinen/life/>

Vaikutusten arvioinnissa arvioidaan projektin tulosten teknis-taloudelliset ja ympäristölliset vaikutukset ja merkitys. Kvantitatiivisia tietoja on käytettävissä suhteellisen vähän, ja siinäkin lähinnä projektin pilot-toteutusten materiaalimäärien, materiaalien kulutuksen ja rakentamisen osalta, sekä valittujen referenssikohteiden sekä ylläpitomenettelyjen julkisen kustannustiedon osalta. Muu osa perustuu lähinnä laadulliseen arviointiin ja projektin ohjausryhmän sekä arvioitsijoiden kokemuksiin ja kommentteihin.

## 2. Projektin taustatekijät

### 2.1 Projektin lähtökohdat ja tavoitteet

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

Huolimatta pitkäaikaisista tutkimuksista ja laajasta koerakentamisesta teollisuuden sivutuotteiden hyötykäyttöä rajoittaa edelleen etenkin epävarmuus näihin perustuvien vaihtoehtoratkaisujen kilpailukyvyistä sekä niihin liittyvistä riskeistä, kuten pitkäaikaisesta toimivuudesta ja ympäristövaikutuksista. Tämän lisäksi teollisuuden sivutuotteet määritetään jätteiksi, jolloin niiden käyttö edellyttää ympäristölupaa. Positiivista kehitystä edustaa toki valmisteilla oleva valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden (ensi vaiheessa esimerkiksi lentotuhkien) hyödyntämisestä maarakentamisessa.

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

EU:n Life-ympäristörahoisto myönsi elokuussa 2002 Tieliikelaitoksen Länsi-Suomen alueelle, silloiselle Tampereen ja nykyiselle Hämeen palveluysikölle sekä projektin muille kumppaneille rahoitustukea Kukkia Cirlcet - projektiin. Projektibudjetti on runsaat 1,2 miljoonaa euroa. Tästä budjetista on Life-ympäristörahoiston osuus 50 %. Toisena päärahoittajana on Hämeen tiepiiri (0,4 M€). Lisäksi projektiin ovat osallistuneet Pirkanmaan liitto, Luopioisten kunta, Finncao Oy, Georgia-Pacific Finland Oy Nokialta ja Kemira Oyj Kokkolasta. Projektipäällikkönä on toiminut 28.2.2004 saakka DI Seppo Kolkka ja 1.3.2004 alkaen DI Hannele Kulmala Hämeen palveluysiköstä. Tieliikelaitoksen projektivastaavana toimi Ville Mattila. Projektin suunnittelussa ja toteutuksen asiantuntijana on toiminut Ramboll Finland Oy:n Luopioisten yksikkö, siellä erityisesti TkT Pentti Lahtinen, DI Harri Jyrävä ja TkL Aino Maijala. Ramboll on tehnyt myös pääosan laboratorio- ja kenttätestauksista.

Projektin käynnistyi 1.12.2001 ja päättyi 31.12.2004. Projektin työt keskittyvät Luopioisten kunnan alueelle, Kukkia-järven ympäristöön, josta juontaa projektin nimi Kukkia Cirlcet. Projektin jakautui kolmelle vuodelle siten, että vuosina 2002 ja 2003 toteutettiin varsinaiset työt pilotkohteissa. Vuosi 2004 omistettiin syksyn 2004 mennessä saatavien tulosten analysointiin ja raportointiin. Projektin tuloksien arvioinnissa ovat mukana ulkopuolisin asiantuntijoina DI Tuomo Kallionpää Tiehallinnosta, TkT Jouko Saarela Suomen Ympäristökeskuksesta ja

professori Pauli Kolisoja Tampereen Teknillisestä Yliopistosta, ja näiden arvioitsijoiden lausunnot projektista ovat tämän raportin luvussa 5 sekä erillisinä kannanottoina projektin [www-sivuilla](http://www.sivuilla) (kohdassa "Julkaisut ja raportit").

## 2.2 Kehitystarpeen indikaattorit

### 2.2.1 Tieverkosto ja sen kehittämistarpeet Suomessa

Tiehallinnon vastattavana olevan tieverkon pituus on pyöreästi 78 000 km. Tästä soratiepituus on vajaat 28 000 km. Tiehallinnon mukaan tienpidon painopiste on nykyisen tieverkon ylläpidossa. Tieverkon kestävä ylläpito vaatii noin 200 Me:n rahoituksen vuosittain. Ylläpidosta on jouduttu tinkiinään vuosina 1995 – 2002 noin 450 Me. Tämän seurauksena "taloudellisen optimitilan, jossa tienkäyttäjien ja valtion yhteenlasketut kustannukset ovat minimissään, saavuttaminen vaatisi nyt jo 800 Me:n kerta-rahoituksen". [7]

Ongelmana on edelleenkin soratiestön kauttaaltaan heikko rakenteellinen kunto, mistä on haittaa elinkeinoelämälle ja palvelujen saatavuudelle. Sorateiden kelirikon määrä on pitkällä aikavälillä ollut laskeva. Yleisen tietilaston mukaan vuosina 1970–1979 oli kelirikon aiheuttamia liikennerajoituksia vuosittain 5900 – 15200 kilometrillä, mutta vuosina 2000 – 2003 enää 809 – 3200 kilometrillä [15a; Tiehallinnon internet-sivut]. Sorateiden inventoituja kelirikkokohteita on viime vuosina ollut noin 1000 km. Sorateiden runkokelirikkoa vähennetään 50 – 100 km vuodessa, ja kelirikkokorjauksia tehdään noin 200 km vuosittain. Tällöin toimenpiteet suunnataan liikenteen kannalta tärkeimmille tieosuuksille. [7]. Projektin tavoitteena on tarjota sellaisia kustannus- ja ekotehokkaita vaihtoehtoja, joiden avulla säästyneillä varoilla voitaisiin lisätä mm. sorateiden peruskorjauksia.

Kevyen liikenteen väylien määrä oli vuoden 2004 lopussa 4683 ajorata-kilometriä. Vuosina 1981–2004 on yleisillä teillä olevien kevyen liikenteen väylien määrä lisääntynyt 1381 kilometristä vuonna 1981 keskimäärin 154 kilometriä vuosittain. Kevyen liikenteen aseman parantaminen nähdään tärkeäksi sekä ihmisten liikkumismahdollisuuksien että liikenneturvallisuuden kannalta. Kevyen liikenteen vaikutukset kohdistuvat eniten suurimpiin käyttäjäryhmiin, koululaisiin ja vanhuksiin. Väyliä käytetään yhä enemmän myös liikuntaan ja muuhun virkistytymiseen. Joka tapauksessa on kevyen liikenteen asema liikennemuo-tona heikko investointien vähyyden vuoksi, sekä taajamissa että etenkin haja-asutusalueilla, ja tilanne tulee ilmeisesti heikkenemään. Tiehallinnon esittämällä suunnittelukaudella väylien rakentaminen laskee alle 40 km:iin vuodessa, keskittyen turvallisuuden kannalta kiireellisimpiin kohteisiin. Tämä johtunee rahoituksen tiukkenemisen lisäksi siitä, että välttämättömimmät tarpeet on jo rakennettu. [7], [15a]. Projektin tavoitteena on tarjota kustannus- ja ekotehokkaita vaihtoehtoja, joiden avulla saataisiin lisättyä kevyen liikenteen väylien rakentamista.

Projektin kannalta ovat myös tienpidosta ja liikenteestä aiheutuva pohjavesien pilaantumisriski huomioon otettava tekijä. Pohjavesien pilaantumisriskinä on kiinnitetty huomio erityisesti suolan käyttöön (pölynsidonnassa ja liukkauden torjunnassa), jolle pyritään saamaan kestävämpi vaihtoehto sekoittamalla suotojätettä ja/tai kuitusavea soratien kulutuserrokseen. Suotojätteen käytöllä ei vielä ole kiistatta voitu osoittaa suolauksen ympäristöhaittojen vähentyvän. Joka tapauksessa pölynsidontaan käytetyn suolan osuus on kuitenkin ainoastaan run-sas kolmasosa liukkauden torjuntaan käytetyn suolan määrästä. Liukkaudentorjunnan suolaus on myös suurempi uhka pohjavesille, koska sitä voidaan paikallisesti joutua käyttämään moninkertainen määrä pölynsidontasuolan määrään verrattuna. Saven tai kuitusaven lisääminen soratien kulutuserrokseen vähentää pölynestosuolauksen tarvetta, koska kulutuserros pysyy pitempään kosteana. [15a]. Toisaalta projektissa keskitytään myös pohjavesien suojauksen rakentamiseen. Tiehallinnon suunnitelmissa on rakentaa suunnitelmakautena

2005–2008 erillisinä toimenpiteinä 4 – 8 kilometriä tien luiskan pohjavesisuoja-  
uksia. [7]

## *2.2.2 Sivutuotteiden määrät Suomessa ja Euroopassa*

Suomen metsäteollisuuden prosesseissa muodostuu vuosittain 0,226 Mt (kuiva) puun kuoren ja turpeen polton tuhkia ja 0,400 Mt (kuiva) kuitu- ja siistauslietteitä. Näistä sivutuotteista meni hyötykäyttöön tuhkia n. 49 % ja kuitu- ja siistauslietteitä jopa 96 % vuonna 2003 [4]. Paperia ja kartonkia tuotettiin Suomessa arviolta noin 15.2 Mt, joten edellä mainitut sivutuotteet edustavat tästä määrästä n. 2,9 %. [14a], [14b].

Euroopassa tuotetaan paperia ja kartonkia vuosittain noin 90 Mt (ml. Suomi). Jätetilastot eivät eritele eri jätetyyppejä, mutta Suomen tilastoihin perustuen Euroopassa syntyy vuosittain yhteensä 2,6 Mt (kuiva) tuhkia ja kuitu-/siistauslietteitä, joista lietteitä ehkä n. 1,24 Mt (kuiva) ja tuhkia n. 1,36 Mt (kuiva). Monissa Euroopan maissa lietteitä käytetään energiantuotannossa polttoaineina. [5][6].

TETRA Chemicals Europe Oy (ent. Kemira Chemicals, Kokkola) valmistaa Euroopan ainoana valmistajana Kokkolassa kalsiumkloridia, jota käytetään mm. sora-  
teiden pölynsidonnassa. Suotokakkua muodostuu kalsiumkloridiprosessissa 20 000 – 22 000 tonnia vuodessa. [14c].

## *2.2.3 Uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö rakentamisessa (Suomessa)*

Suomessa rakentamiseen käytetään keskimäärin 17–19 tonnia kiviainesta asukasta kohti [8]. Yhä useammin kiviaines on otettava kalliosta, sillä hyödynnettävistä soravaroista on monin paikoin pulaa. Kallioaineksen käyttöä ovat lisänneet myös pohjaveden suojelun asettamat soranottorajoitukset ja louhinta- ja murskaustekniikoiden kehittyminen ja tehostuminen.

Vuonna 2002 otettiin maa-ainesta noin 3900 maa-ainesluvan saaneelta alueelta. Vuonna 2002 käytettiin kalliomursketta 40 Mt, jalostettua soraa ja hiekkaa 20 Mt sekä jalostamatonta soraa ja hiekkaa 30 Mt. [8]. Tästä 90 Mt:sta on arvioitu menneen noin 75 Mt maarakentamiseen, ja karkeasti arvioiden 23 Mt tierakentamiseen. Tämän lisäksi kiviainesta (pääasiassa kalliokiviainesta) otetaan merkittäviä määriä rakentamisen yhteydessä. GTK:n [9] mukaan vuonna 2001 käytettiin n. 30 miljoonaa tonnia kalliokiviaineita ja noin 12 miljoonaa tonnia sora-  
mursketta kaikessa rakentamisessa.

Vilkasliikenteisten teiden päällysrakenteisiin vaaditaan yhä kestävämpiä kiviaineita, jolloin mm. kalliokiviainesten laatuvaatimukset kasvavat ja niiden hinta käyttökohteissa nousee (GTK:n mukaan [9] vuonna 2001 oli kiviainesten keskimääräinen hinta ilman kuljetuksia n. 2,4 €/tonni). Tällöin sellaisiin kohteisiin, joissa tarvitaan parhaita kiviaineita, kannattaa kiviaineksesta maksaa enemmän samoin kuin kuljettaa niitä pitkänkin matkan päästä, koska kiviaineksen lisäkustannukset ovat pienempiä kuin päällysteen kestoajan ansiosta saatavat kunnossapidon säästöt [15a]. Suurten asutuskeskusten läheisyydessä kiviainesten käyttö on suurinta ja käytettävissä olevat ottopaikat vähentyneet, jolloin kuljetusmatkojen piteneminen nostaa hintoja. Lisäksi tiukentuneiden ympäristönsuojeluvaatimusten vuoksi ei käyttöön saada kaikkiin kiviainesesiintymiin tarvittavia ympäristölupia. Tämä antaa muille vaihtoehdoille kilpailumahdollisuuksia mm. Kallionpään mukaan [15a]. Samalla tulee kasvamaan korvaavien kiviainesten käyttö (moreeni, kaivosten sivukivet, maa-ainesten ja rakennusjätteiden uusiokäyttö) ja todennäköisesti myös teollisuuden sivutuotteiden käyttö maarakentamisessa.

### 3. Projektin tulosten teknis-taloudellinen merkitys

#### 3.1 Rakenteet ja rakentaminen

Pilotrakentamisessa käytetty tekniikka perustuu yleisesti käytössä olevaan maa-rakennustekniikkaan. Rakentamisessa käytetyt koneet ja laitteet ovat yleisesti käytettyjä. Työmenetelmät on kehitetty nimenomaan teollisuuden sivutuotteiden käyttöön soveltuviksi, ja rakentamisen eri vaiheet on tarkistettu prosessimaisiksi kokonaisuuksiksi, joissa pyritään mahdollisimman pieniin materiaalien välivarastointiin ja mahdollisimman pieneen prosessiaikaan. Pilotrakentamisen eri prosesseja kuvataan johdannossa mainitussa raporttiaineistossa sekä op-paassa.

Projektin yhteydessä on testattu taulukossa (1) mainittujen pilotrakenteiden toteuttamista ja näiden rakenteiden ominaisuuksia. Pilotrakenteiden toteuttamista ja ominaisuuksia voidaan verrata vakiintuneisiin ratkaisuihin (taulukossa mainitut referenssiratkaisut), joilla on mahdollista saavuttaa vastaava lopputulos.

**Taulukko 1: Pilotrakenteet ja niiden referenssiratkaisut**

|   | Pilotrakenne                                                                                                                                                               | Referenssiratkaisu                                                                                   |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Stabilointi tuhkapohjaisella sideaineella. Vanhan soratien peruskorjaus.                                                                                                   | Perinteinen kelirikkokorjaus (rakenteessa suodatinkangas ja 300 mm:n murskekorotus).                 |
| 2 | Soratien kuitutuhkarakennekerros. Vanhan soratien peruskorjaus                                                                                                             | Kuten edellä                                                                                         |
| 3 | Kevyen liikenteen väylä, jossa kuitutuhkarakennekerros. Päällyste vaihtelee, esimerkiksi murske+suotokakkumurske. Erillinen haja-asutusalueen KLV                          | Perinteinen helpporakenteinen KLV haja-asutusalueelle. Murskerakenne, SOP-päällyste / AB-päällyste   |
| 4 | Piennarlevennys kuitutuhkarakennekerroksella. PAB-päällyste ja erotus kampaviivalla. Kapean ajoväylän piennarlevennyt kevyen liikenteen kulkuväyläksi haja-asutusalueella. | Piennarlevennys murskerakenteella.                                                                   |
| 5 | Pohjaveden suojausrakenne kuitusavesta tien reunalle.                                                                                                                      | Pohjaveden suojausrakenne vakiintuneella menetelmällä (bentoniittisaven käyttö tiivistämateriaalina) |

Taulukossa (1) mainitut referenssiratkaisut eivät toki ole ainoita toimenpidevaihtoehtoja, mutta valittu projektin päävastuutahon kannanoton perusteella. Edullisuus on määritettävä aina tapauskohtaisesti. Pitkällä aikavälillä lopputuloksien vastaavuutta voidaan pyrkiä arvioimaan vauriomallinnuksen tai – ennustamisen avulla, jolloin voidaan määrittää tarvittavat hoito- ja kunnossapidon toimenpiteet.

Taulukon referenssiratkaisujen valintaan liittyy tiettyjä varauksia, kuten se, että niihin on sisällytetty myös sellaisia töitä, joita ei ole sisällytetty pilotrakenteelle.

Taulukon kevyen liikenteen väyliä (KLV) toteutettiin projektissa kahdella tavalla, joista toinen rakennettiin pehmeikölle, mikä edellytti kevättalvella käynnistettyä esikuormitusta. Tämän raportin taulukoissa esitetty rakenne ei sisällä esikuormitusvaihetta.

Taulukossa mainittu pohjaveden suojausrakenne voidaan toteuttaa käyttämällä bentoniittisavea bentoniittimaassa (bentoniittisavea sekoitetaan esim. 5 % hiekaan) tai bentoniittimatossa (kuitukankaiden väliin neulattu bentoniittisavea).



Muita vaihtoehtoja ovat mm. membraanit (muovikalvot) ja maatiiviste (savi). [15a].

Projektin testaamaa teknologiaa voi soveltaa kaikkialla siellä, missä vastaavia sivutuotteita on saatavissa taloudellisesti mielekkään kuljetusmatkan päästä, sekä Suomessa että muualla EU-alueella.

### 3.2 Rakenteiden geoteknilliset ominaisuudet

Pilotrakenteiden vertailu kilpaileviin (vakiintuneisiin) vaihtoehtoihin on vielä laboratoriotutkimuksien tulosten sekä koerakenteista aikaisemmin saatujen kokemusten ja tietojen varassa. Rakenteet on suunniteltu edellä mainittuihin tuloksiin, kokemuksiin ja tietoihin perustuen, mutta tämän lisäksi rakenteiden ominaisuudet ja käyttäytyminen pitkällä aikavälillä riippuvat toteutuksen laadusta. Laatutekijöinä ovat mm. käytettyjen materiaalikomponenttien laatu verrattuna tavoitelaatuun, komponenttien sekoituksen täsmällisyys ja tasaisuus verrattuna tavoitereseptiin, sekoitetun materiaalin viive kasalla ennen levitystä, levityksen tasaisuus, ja tiivistymisen tasaisuus sekä pitkittäis- että poikittaissuunnassa. Pilotrakenteisiin liittyviä ennakkotutkimuksia ja niiden tuloksia esitetään projektin raporteissa teknisissä raporteissa, ja lyhyen aikavälin seurannan tuloksia teknisen seurannan osaraportissa. Pilotrakenteisiin liittyy joka tapauksessa seuraavia, taulukossa (2) esitettyjä teknis-taloudellisia odotuksia:

**Taulukko 2: Pilotrakenteille asetettuja teknis-taloudellisia odotuksia**

| Pilotrakenne                                                                                                                                                              | Odotukset                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Stabilointi tuhkapohjaisella sideaineella. Vanhan soratien peruskorjaus.                                                                                                  | Verrattuna vakiintuneeseen kelirikkokorjaukseen tulos on merkittävästi kestävämpi, mikä perustuu ennen rakentamista tehtyjen laboratoriotestien tulokseen (jäätymis-sulamis- ja routakestävyys).                                                                                    |
| Soratien kuitutuhkarakennekerros. Vanhan soratien peruskorjaus.                                                                                                           | Tulos saavutetaan ekotehokkaasti: ei neitseellistä kiviainesta, teollisuuden sivutuotteiden käyttö sideaineen pääkomponenttina, prosessi erittäin nopea ja liikennöinti on mahdollista rakentamisen yhteydessä. Ks. Ekotehokkuuden arviointi (2.3.2)                                |
| Kevyen liikenteen väylä, jossa kuitutuhkarakennekerros. Erillinen haja-asutusalueen KLV                                                                                   | Kuitutuhkarakennekerroksella saadaan kestävämpiä ja kustannustehokkaampia rakenteita kuin vakiintuneilla menetelmillä, mikä mahdollistaa KLV-rakentamisen lisäämisen haja-asutusalueiden jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden turvallisuuden lisäämiseksi. Myös ekotehokkuus paranee. |
| Piennarlevennys kuitutuhkarakennekerroksella. PAB-päällyste ja erotus kampaviivalla. Kapean ajoväylän piennarlevennyt kevyen liikenteen kuluväyläksi haja-asutusalueella. | Toinen vaihtoehto parantaa jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden turvallisuutta kustannus- ja ekotehokkaasti. Tämä ratkaisu on parhaimmillaan silloin, kun koko tieväylää parannetaan kuitutuhkarakennekerroksella.                                                                    |
| Pohjaveden suojausrakenne kuitusavesta tien reunalle.                                                                                                                     | Pohjavedensuojauksen ekotehokas vaihtoehto. Kuitusavella saavutetaan riittävä tiiviys, ja sillä voidaan korvata kalliita materiaalivehtoehtoja (bentoniittisavet).                                                                                                                  |
| Murske + suotokakku-murske - kulutuskerros                                                                                                                                | Pölynsidontaa ei tarvita joka kevät. Tavoitteita: kiinteys, tasaisuus ja pölyämättömyys                                                                                                                                                                                             |

Monien rakenteiden osalta on todettu vielä tarve kehittää rakentamisprosessia ja teknologiaa sekä työmenetelmiä. Pilotvaiheessa toteutuksien rakentamiskustannukset vielä huomattavasti liian korkeita.

### **3.3 Rakenteiden ekotehokkuus ja elinkaarikustannukset**

#### *3.3.1 Vertailtavat rakenteet ja kustannustiedot*

Sivutuoteratkaisujen taloudellista kilpailukykyä on tässä pyritty arvioimaan kilpailevien vaihtoehtojen ekotehokkuutta ja elinkaaren aikaisia kustannuksia tarkastelemalla. Kustannuksissa on pyritty ottamaan huomioon vain välittömät työkustannukset ja materiaalikustannukset kuljetuskustannuksineen. Tällöin on jouduttu tekemään osittain varsin karkeita arviointoja joidenkin vertailurakenteiden osalta (kevyen liikenteen väylät), joissa hinnat on määritetty Tiehallinnon julkaisujen, kuten [1] ja [2] perusteella.

Pilotrakenteiden kustannukset on määritetty Tieliikelaitoksen projektipäällikön toimesta projektissa toteutuneiden kustannuksien perusteella, mutta karsien kustannuksista LIFE-projektin sisällöstä johtuvia, epätyypillisiä tuotantokustannuksia. Tästä huolimatta sisältyy pilotrakenteiden kustannuksiin vielä testauksesta ym. johtuvia ”tehottomuuslisiä”, joihin viitataan projektin teknisissä raporteissa. Uusiomaarakentamisen vakiinnuttua kustannusetu nykyisiin vakiintuneisiin vaihtoehtoihin verrattuna todennäköisesti paranee.

Sivutuotemateriaaleilla ei ainakaan toistaiseksi ole markkinahintaa. Niiden materiaalikustannukset on tässäkin projektissa arvioitu pääosin tehtaalla tapahtuvien käsittely- ja kuljetuskustannusten perusteella. Projektissa kuitusavi tuotiin noin 85 kilometrin päästä sekoituspaikalle, ja lentotuhka noin 95 kilometrin päästä. Suotokakku toimitettiin Kokkolasta, noin 350 kilometrin päästä.

Sivutuotemateriaalien taloudellinen kuljetusmatka määräytyy kilpailutilanteen mukaan. Mikäli sivutuotteen materiaalikustannukset (hinta) muodostuvat ainoastaan sen kuljetusten yksikkökustannusten (esim. euroa/m<sup>3</sup>rtr) perusteella, on kuljetusetäisyydellä ratkaiseva merkitys sivutuotemateriaalin taloudelliseen kilpailukykyyn. Haavikko [3] on arvioinut, että mikäli kilpailevien kiviainesten kuljetusmatka on noin 10 km, ovat sivutuotteet kustannuksiltaan kilpailukykyisiä vielä ainakin 50 km päästä kuljetettuina. Suuremmillakin kuljetusetäisyyksillä nämä sivutuotteet ovat silloin kilpailukykyisiä, kun niitä käytettäessä voidaan vähentää tarvittavaa materiaalmäärää. Tällöin ratkaisevia ominaisuuksia voivat olla esimerkiksi lujittumiskyky, eristävyys ja keveys [15a].

Pilotrakenteissa toteutettuja ratkaisuja pyritään tässä vertailemaan vastaaviin vakiintuneisiin ratkaisuihin taulukon (3) mukaisesti. Taulukossa (3) on esitetty myös ao. ratkaisujen kustannukset (työ- ja materiaalikustannukset ilman yleiskustannuksia tai katetta) edellä mainituin perustein. Taulukossa mainittujen rakenteiden lisäksi on kohdassa 3.3.3 pyritty erikseen vertaamaan eri kulutuskerrosvaihtoehtoja.

Kuten aikaisemmin on todettu, referenssiratkaisujen valintaan liittyy tiettyjä varauksia, kuten se, että niihin on sisällytetty myös sellaisia töitä, joita ei ole sisällytetty pilotrakenteelle. Toisaalta on mahdollista, että referenssiratkaisujen hinnat on arvioitu liian korkeiksi, joten joidenkin rakenteiden osalta on herkkyystarkastelussa käytetty suluissa olevia kustannuksia.

**Taulukko 3: Vertailtavat rakenteet ja niiden rakentamiskustannukset**

| Pilotrakenne                                                                                                                                                               |                                | Referenssiratkaisu                                                                                        |                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Selitys                                                                                                                                                                    | Rakentamiskustannukset [€/km]* | Selitys                                                                                                   | Rakentamiskustannukset [€/km] |
| Stabilointi tuhkapohjaisella sideaineella. Vanhan soratien peruskorjaus.                                                                                                   | 44 000                         | Perinteinen kelirikko-korjaus (rakenteessa suodatinkangas ja 300 mm:n murskekorotus). **                  | 52 400<br>(26 200)            |
| Soratien kuitutuhkarakennekerros. Vanhan soratien peruskorjaus                                                                                                             | 61 000                         | Kuten edellä                                                                                              | 52 400<br>(26 200)            |
| Kevyen liikenteen väylä, jossa kuitutuhkarakennekerros. Päällyste vaihtelee, esimerkiksi murske+suotokakkumurske. Erillinen haja-asutusalueen KLV                          | 63 000                         | Perinteinen helpporakenteinen KLV haja-asutusalueelle. Murskerakenne, sorapäällyste (SOP) / asfaltti (AB) | 62 000 / 70 000               |
| Piennarlevennys kuitutuhkarakennekerroksella. PAB-päällyste ja erotus kampaviivalla. Kapean ajoväylän piennarlevennyt kevyen liikenteen kulkuväyläksi haja-asutusalueella. | 52 500                         | Piennarlevennys murskerakenteella.                                                                        | 37 000                        |
| Pohjaveden suojausrakenne kuitusavesta tien luiskalle.                                                                                                                     | ?? ***                         | Pohjaveden suojausrakenne vakiintuneella menetelmällä (kuten bentoniittimattoa käyttäen [15a])            | 87 000                        |

\*) mukana "tehottomuuslisiä"

\*\*) myös sementti- ja bitumistabilointi ovat kilpailevia vaihtoehtoja, mutta näitä ei ole laskettu mukaan.

\*\*\*) pohjaveden suojausrakenteen toteuttaminen kuitusavella oli teknisesti niin keskeneräinen, ettei hintatasoa pystytty määrittämään oikein

### 3.3.2 Ekotehokkuus

Ekotehokas toiminta tuottaa enemmän arvoa vähemmillä vaikutuksilla. Projektissa on arvo esimerkiksi toiminnan arvo eli rakentamisen kustannukset, ja vaikutukset ovat esimerkiksi ympäristövaikutuksilla, kuten uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö.

Tässä yhteydessä on vertailtu seuraavien vaihtoehtojen ekotehokkuutta: 1) soratien perusparantaminen stabiloinnilla, 2) soratien perusparantaminen kuitutuhkarakennekerroksella ja 3) perinteinen kelirikkokorjaus, jossa käytetään 300 mm:n murskekorotusta.

Oletetaan, että tiekohteen käsiteltävä leveys on 6,0 metriä ja vertailtava pituus on 1000 metriä. Vaihtoehtojilla on seuraavat arvo- ja vaikutustekijät:

- 1) Stabilointi: kustannukset 44 000 euroa/km ja uuden murskeen käyttö kulutuskerroksessa 600 m<sup>3</sup>-rtr
- 2) Kuitutuhkarakennekerros: kustannukset 61 000 euroa/km ja uuden murskeen käyttö kulutuskerroksessa 600 m<sup>3</sup>-rtr
- 3) Perinteinen kelirikkokorjaus: kustannukset 52 400 euroa/km ja uuden murskeen käyttö murskekorotuksessa 1800 m<sup>3</sup>-rtr
- 4) Perinteinen kelirikkokorjaus: kustannukset 26 200 euroa/km ja uuden murskeen käyttö murskekorotuksessa 1800 m<sup>3</sup>-rtr

Ekotehokkuus = kustannukset / uuden murskeen määrä (€/m<sup>3</sup>-rtr)

- 1) 73
- 2) 101
- 3) 29
- 4) 15

joten tämän laskelman perusteella uusiorakentamisen eli stabiloinnin ja kuitutuhkarakennekerroksen vaihtoehdot ovat ekotehokkaampia kuin perinteinen kelirikkokorjausmenetelmä.

On kuitenkin huomattava, että tässä esitetty ekotehokkuuslaskenta antaa vielä erittäin suppean ja osittain vääristävän näkökulman ekotehokkuuteen. Uuden murskeen käyttövaihtoehto ei ole aina vertailussa "rangaistava" asia. Lisäksi olisi tarkasteltava mm. eri ratkaisujen materiaalien käsittelyssä ja kuljetuksessa kuluvaa energiaa ja energiankulutuksesta aiheutuvia päästöjä ilmaan. Tällöin voidaan arvottaa energiankulutuksesta aiheutuvat päästöt ja lisättävä ne rakentamiskustannuksiin. Lisäksi on otettava huomioon mm. se, että uuden murskeen käytöstä aiheutuva haitta vaihtelee tapauksittain, ja nykyisin näiden haittojen (pohjavesiin aiheutuvat haitat, esteettiset haitat, melu- ja pölyhaitat) ehkäisy otetaan huomioon ottopaikkojen ympäristöluvuissa. [15a].

### 3.3.3 Elinkaarikustannukset (tarkastelujänne 25 v; laskentakorko 5 %)

#### 3.3.3.1 Kulutuskerrosvaihtoehtojen vertailu

Pölynsidonnassa käytettävän kalsiumkloridin valmistuksessa muodostuu sivutuotteena nk. suotokakkua, joka sisältää kalsiumkloridin lisäksi muita kalsiumyhdisteitä. Suotokakkua voidaan sekoittaa murskeen sekaan, murskeen laadusta / hienoainespitoisuudesta riippuen 3 – 7 %, jolloin materiaalissa on valmiina pölynsidonta-aine. Pölynsidonnassa lisäksi suotokakku stabiloi murskemateriaalia ja pitää murskepinnan sulana pahimmilla "nollakeleillä".

Ajan mittaan (liikenteen ja ilmaston kuormituksesta johtuen) suotokakku hienonee ja kalsiumkloridi kulkeutuu pois rakenteesta, jolloin pölynsidonnassa ym. vaikutukset vähenevät. Tämän vuoksi suotokakkulisäys on tehtävä rakenteeseen

tarvittavin väliajoin, joita ei ole toistaiseksi määritetty. Suotokakku voidaan lisätä pintaan suoraan kohteessa esimerkiksi stabilointijyrsimellä. Ajoittain suotokakkulisäys voidaan tehdä murskeeseen valmiiksi sekoitettuna uusittaessa kuluuspintaa.

Taulukossa (4) on tehty elinkaarikustannuslaskelma, joka määrittää suotokakku-murskerakenteen kustannustehokkuuden edellytykset :

- Murske + suotokakkumurske -kulutuskerroksen kustannukset ovat arviolta 2,54 €/m<sup>2</sup>
- Referenssipintauksen (SOP) kustannukset on korkeimmillaan 2 €/m<sup>2</sup> (VE1) ja alimmillaan 1 €/m<sup>2</sup> (VE2)
- Uusi suotokakkukerros murskeen seassa on laskelmissa arvioitu 5 cm:n paksuiseksi, ja suotokakkulisäys on 6,5 %. Sen kustannukseksi on arvioitu 1,57 €/m<sup>2</sup>
- In-situ stabiloinnilla tehtävän suotokakkulisäyksen tien murskepintaan on arvioitu maksavan 0,73 €/m<sup>2</sup>

Kustannukset on arvioitu 1000 metrin pituista ja 6,5 metrin levyistä tieosuutta varten.

Referenssirakenteen (VE1 ja VE2) toimenpiteet ovat seuraavia:

- Pölynsidonta joka kevät (á 420 €/km)
- Uusi murskepinta 8 vuoden välein (á 13 000 €/km ... 6 500 €/km)

Käytännössä voidaan sitomattomaan kulutuskerrokseen lisätä mursketta aina tarvittaessa (esim. 2 – 6 vuoden välein), kun kulutuskerroksen paksuus on pienentynyt alle 2 senttimetriin, ja paikallisesti nopeasti kuluviin kohtiin, kuten kaarteisiin ja mäkiin. Olennaisia kulutuskerroksen kunnossapitotoimenpiteitä ovat myös tasaushöyläykset tai joskus pelkkä reikien paikkaus. Näiden tarve riippuu paitsi sääoloista, myös paljon kulutuskerroksen laadusta. Tielaitoksen ohjeen (TIEL 2230013) mukaan huonolla murskeella höyläystarve voi olla jopa 10 kertaa vuodessa, kun taas hyvällä murskeella voi olla, ettei joka vuosi tarvitse höylätä ollenkaan. [15a].

Uusiorakenteen toimenpiteet on arvioitu vaihtoehtoisesti seuraaviksi:

- VE3: Uusi suotokakkukerros murskeen seassa 5 vuoden välein (á 10 205 €/km)
- VE4: Suotokakkulisäys in-situ 3 vuoden välein (á 4 754 €/km)
- VE5: Suotokakkulisäys in-situ / uusi suotokakkukerros vaihdellen 3 vuoden välein

**Taulukko 4: Kulutuskerrosvaihtoehtojen LCC-laskelman tulos**

|                               | VE1    | VE2    | VE3      | VE4      | VE5     |
|-------------------------------|--------|--------|----------|----------|---------|
| Rakennuskustannusten nykyarvo | 13 000 | 6 500  | 16 536   | 16 536   | 16 536  |
| Toimenpiteiden nykyarvo       | 39 078 | 22 499 | 26 029   | 20769    | 31 845  |
| <b>Kustannusten nykyarvo</b>  | 52 078 | 28 999 | 42 565   | 37 305   | 48 381  |
| <b>Vuosikustannus</b>         | 3 695  | 2 058  | 3 020    | 2 647    | 3 433   |
| <b>Ero vs. VE1 / VE 2 [%]</b> |        |        | -18 / 47 | -28 / 29 | -7 / 67 |

Edellä mainituilla laskentaperusteilla jopa varsin tiheään toteutettu vaihtoehto VE5 olisi vuosikustannuksiltaan edullisempi kuin perinteinen vaihtoehto VE1.

Samoin suotokakkulisäystä (VE4) olisi vielä mahdollisuus tihentää ilman, että tämä kustannusetu kärsisi. Toisaalta, mikäli murskekerroksen hinta olisi 1 €/m<sup>2</sup>, olisivat kaikki suotokakku-murskevaihtoehdot merkittävästi kalliimpia. Näillä laskentaperusteilla tulee murskekerroksen kustannusten olla vähintään 1,9 €/m<sup>2</sup>, jotta suotokakku-murskevaihtoehdot olisivat taloudellisesti edullisempia vaihtoehtoja. Pilotkohteiden vastainen seuranta sekä pintausten menetelmien kehittäminen antavat tulevaisuudessa tarkemmat arviointimahdollisuudet.

### 3.3.3.2 Kelirikkokorjausten vertailu

Pilot 2003 (Pihtisalmentie; kuitutuhkarakenne) ja Pilot 2002 (Kyynärö-Kuohijoki; soratien stabilointi) menetelmien vaihtoehtona on vakiintunutta teknologiaa edustava kelirikkokorjaus, jossa tasatun tienpinnan päälle tulee suodatinkangas ja 30 cm:n murskekorotus. Soratieohjeessa (TIEL 2230013) on annettu tämän kelirikkokorjauksen vaihtoehtoiksi toki muitakin, kuten geovahvisteen käyttö, kuivatuksen parantaminen, stabilointi (tässä toteutettu sivutuotteilla, VE2) ja joskus myös lämpöeristeet [15a].

Kulumisesta, eroosiosta, painumista ja kelirikosta johtuvaa korjaustarvetta esiintyy 6 – 10 vuoden välein, mutta käytännössä rahoitus ei tähän riitä. Sen vuoksi muita vaihtoehtoja ovat sorateiden tasaus ja paikkaus. Lisäksi hoitoon kuuluvat syyssorastus joka 5. vuosi, ojitus joka 3. vuosi, ja pölynsidonta joka kevät.

Toteutettujen pilotrakenteiden toivotaan vaikuttavan siten, että korjaustarvetta esiintyy huomattavasti harvemmin ja että muita hoitotoimenpiteitä voidaan harventaa. Taulukossa (5) on esitetty vertailtavat ratkaisut. Pilotratkaisuihin ja niiden rakentamiskustannuksiin sisältyy murske- / murske + suotokakku -pintausta, mutta tämän osuus on jätetty pois LCC-laskelmista.

**Taulukko 5: Kelirikkokorjausten LCC-laskelmissa vertailtavat ratkaisut**

| Pilotrakenne                                                                          |                                | Referenssiratkaisu                                                                                        |                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Selitys                                                                               | Rakentamiskustannukset [€/km]* | Selitys                                                                                                   | Rakentamiskustannukset [€/km] |
| VE 2<br><br>Stabilointi tuhka-pohjaisella sideaineella. Vanhan soratien peruskorjaus. | 44 000                         | VE 1A (VE 1B)<br><br>Perinteinen kelirikkokorjaus (rakenteessa suodatinkangas ja 300 mm:n murskekorotus). | 52 400 (26 200)               |
| VE 3<br><br>Soratien kuitutuhkarakennekerros. Vanhan soratien peruskorjaus            | 61 000                         |                                                                                                           |                               |

Sorateiden vakiintuneisiin ylläpitotoimenpiteisiin kuuluvat (aikaisemmin mainittujen kulutuspinnaan liittyvien toimenpiteiden lisäksi):

- Syyssorastus (joka 5. vuosi) 4 800 €/km
- Ojitus (joka 3. vuosi) 3 000 €/km
- Kelirikon hoito, tasaus ja paikkaus 280 €/km

Kelirikkokorjauksen (VE1) ja muut edellä mainitut hinnat sisältävät välittömät työ- ja materiaalikustannukset, mutta eivät yleiskustannuksia ja katetta [Hannele Kulmala 24.11.2004].

Vaihtoehtojen VE2 ja VE3 arvioidaan olevan merkittävästi kestävämpiä ja vaativan harvemmin kunnossapitoa kuin VE1. Tämä perustuu aikaisemmista koerakenteista saatuihin kokemuksiin, mm. [16] ja [17]. Taulukon (5) eri vaihtoehtojen elinkaarikustannukset 25 vuoden tarkastelujaksolle on arvioitu seuraavien skenaarioiden perusteella:

- Syyssorastus jätetään pois (kulutuspintausta käsitelty erikseen)
- VE1: Hoito- ja kunnossapito (ojitus) tehdään joka 3. vuosi; VE1 toistetaan joka 8 vuosi ja kelirikon hoito vuosittain.
- VE2: Ojitus voidaan suorittaa harvemmin, sitä toistetaan 5 vuoden välein. Kelirikon hoito toistetaan joka 3 vuosi. VE2 uusitaan 15 vuoden välein, jolloin kelirikon hoitotoimenpiteiden ajankohdan laskenta käynnistyy uudelleen.
- VE3: Ojitus ja kelirikon hoito toistetaan VE2 mukaisesti. VE3 uusitaan 20 vuoden välein, jolloin kelirikon hoitotoimenpiteiden ajankohdan laskenta käynnistyy uudelleen.

Tulokset ovat taulukossa (6). Tulosten perusteella sekä VE2 että VE3 ovat kustannuksiltaan edullisempia vaihtoehtoja kuin vakiintunut kelirikkokorjauskäytäntö VE1a ylemmällä hintatasolla. VE1b eli kelirikkokorjaus alemman hintatason perusteella olisi taloudellisesti edullisempi kuin VE3, mutta jonkin verran kalliimpi vaihtoehto kuin VE2 esitettyjen skenaarioiden perusteella.

**Taulukko 6: Sorateiden kelirikkokorjausvaihtoehtojen LCC-laskelman tulos**

|                                           | VE1a    | VE1b   | VE2      | VE3      |
|-------------------------------------------|---------|--------|----------|----------|
| Rakennuskustannusten nykyarvo             | 52 400  | 26 200 | 44 000   | 61 000   |
| Toimenpiteiden nykyarvo                   | 92 392  | 53 602 | 29 908   | 31 733   |
| <b>Kustannusten nykyarvo</b>              | 144 792 | 79 802 | 73 908   | 92 733   |
| <b>Vuosikustannus</b>                     | 10 273  | 5 662  | 5 244    | 6 580    |
| Verrattuna VE1a / VE1b – ratkaisuihin [%] |         |        | -49 / -7 | -36 / 16 |

### 3.3.3.3 Kevyen liikenteen väylien vertailu

Projektissa on testattu erillistä kevyen liikenteen väylää sekä tien levennystä toteutettuna kuitutuhkarakenteella. Näiden vaihtoehtona on vakiintunut, asfalttipäällysteinen kevyen liikenteen erillinen väylä. Vaihtoehdot ovat taulukossa (7).

Elinkaarikustannuslaskelma on tehty vain erillisille KLV-rakenteille. Piennarlevennys on todennäköisesti tehokkain toteuttaa varsinaisen ajoväylän päällysrakenteen peruskorjauksen tai uudelleenpäällystämisen yhteydessä. Tällöin myös rakennekerroksista tulee yhtäläisiä. Jyrkkien piennarten kohdalla kuitutuhkarakenteen toteuttaminen edellyttää vielä prosessin kehittämistä. Piennarlevennys murskerakenteella on toistaiseksi ilmeisesti edullisempi ratkaisu.

Kevyen liikenteen väylissä oletetaan tarvittavan seuraavat rakenteesta riippuvat kunnossapitotoimenpiteet normaalien hoitotoimenpiteiden lisäksi:

- VE1, perinteinen vaihtoehto: Päällysteen (AB) uusiminen 3 m leveällä väylällä joka 10. vuosi (á 13 600 €/km [2])

- VE2, perinteinen vaihtoehto: SOP-kulutuspinnan uusiminen 3 m leveällä väylällä joka 5. vuosi (á 6 050 € eli 50 % keskivertoarvosta 6 m leveälle tielle v. 2000 [2]).
- VE3, pilotrakenne: Murske + suotokakkupinnan uusiminen 3 m leveällä väylällä joka 5. vuosi (oletus aikaisempien kulutuserroslaskelmien perusteella: á 4 710 €/km)

LCC-laskelman tulokset ovat taulukossa (8). Uusiorakennevaihtoehdon VE3 elinkaarikustannusten taloudellinen edullisuus verrattuna perinteisiin vaihtoehtoihin näyttää olevan varsin selvä edellä mainittujen oletusten perusteella.

**Taulukko 7: Kevyen liikenteen väylävaihtoehdot**

| Pilotrakenne                                                                                                                                                 |                               | Referenssiratkaisu                                                                                                                       |                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Selitys                                                                                                                                                      | Rakentamiskustannukset [€/km] | Selitys                                                                                                                                  | Rakentamiskustannukset [€/km] |
| VE3<br>Kevyen liikenteen väylä, jossa kuitutuhkarakennekerros. Päällyste vaihtelee, esimerkiksi murske+suotokakkumurske (6). Erillinen haja-asutusalueen KLV | 63 000                        | VE1<br>Perinteinen helpporakenteinen KLV haja-asutusalueelle. Murskerakenne, AB-päällyste<br><br>VE2<br>Kuten edellinen, mutta SOP-pinta | 70 000<br><br><br>62 000      |

**Taulukko 8: Kevyen liikenteen väylävaihtoehtojen LCC-laskelmien tulokset**

|                                       | VE1    | VE2    | VE3       |
|---------------------------------------|--------|--------|-----------|
| Rakennuskustannusten nykyarvo         | 70 000 | 62 000 | 63 000    |
| Toimenpiteiden nykyarvo               | 13 475 | 15 431 | 12 041    |
| <b>Kustannusten nykyarvo</b>          | 83 475 | 77 431 | 75 014    |
| <b>Vuosikustannus</b>                 | 5 923  | 5 494  | 5 322     |
| Verrattuna VE1 / VE2 – ratkaisuun [%] |        |        | - 10 / -3 |

#### 3.3.3.4 Pohjaveden suojausrakenteiden vertailu

Vertailua ei ole tehty täsmällisen kustannusarvion puuttuessa. Merkittävimmän eron tulisi olla materiaalikustannuksissa. Mikäli kuitusaviratkaisu osoittautuu käytännössä toimivaksi (riittävän tiiviiksi ja kestäväksi) ratkaisuksi, se lienee kustannuksiltaan edullisempi kuin muut, kuten bentoniittimattoon tai bentoniittisaveen perustuvat ratkaisut. Pohjaveden suojausrakenteista ei ole tehty LCC-laskelmaa.



## 4. Projektin tulosten ympäristövaikutukset

### 4.1 Vaikutukset jätemäärään ja uusiutumattomien luonnonvarojen tarpeeseen

Projektin pilotrakentaminen perustuu teollisuuden sivutuotteiden (teollisuusjätteen) käyttöön tien rakennusmateriaaleina. Tällöin teollisuuden sivutuotteet korvaavat tierakenteessa uusiutumattomien luonnonvarojen eli kiviainesten käytön. Tämän lisäksi teollisuuden sivutuotteet, joille mahdollisesti ainoana vaihtoehtona on läjitys kaatopaikalle, tulevat hyötykäyttöön.

Kelirikkokorjauksen uudet menetelmät ovat teknisesti välittömästi toteuttamiskelpoisia siellä, missä tarvittavia teollisuuden sivutuotteita on saatavissa. Tämän vuoksi on taulukon (9) mukaisia, projektin kelirikkokorjauksen pilotkohteiden rakenteiden ja niiden referenssiratkaisujen materiaalikulutuksia (rakenteiden massatarpeita ilman sideaineita) käytetty seuraavissa laskelmissa, jotka antavat **indikaattorit** uusiutumattomien luonnonvarojen säästömahdollisuuksista, mikäli kaikki Suomessa ja Euroopassa paperiteollisuudessa muodostuvat tuhkat ja kuitusavet hyödynnettäisiin tierakentamisessa (tuhkana voidaan toki käyttää esimerkiksi kivihiilen poltossa syntyvää lentotuhkaa). Myös muut projektin pilotrakenteet (kevyen liikenteen väylät, piennarlevennykset ja pohjavedensuojaukset) ovat esimerkkejä mahdollisuuksista kierrättää teollisuuden sivutuotteita ja säästää uusiutumattomia luonnonvaroja, vaikka näistä ei olekaan tehty tässä erillisiä laskelmia.

**Taulukko 9: Kelirikkokorjauksen pilotkohteiden ja referenssiratkaisujen materiaalikulutukset. Määrät on annettu paikalle kuljetettavana massatarpeena (märkätonnia, paitsi eri sideainetuhka kuivatonna). Stabiloinnin sementtiä ja kuitutuhkan sideaineita ei ole mukana tässä.**

| Pilotrakenne                                                                                            |                                        | Referenssiratkaisu                                                                  |                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Stabilointi tuhkapohjaisella sideaineella. Vanhan soratien peruskorjaus.                                |                                        | Perinteinen kelirikkokorjaus (rakenteessa suodatinkangas ja 300 mm:n murskekortus). |                                        |
| Sideaineena tuhka-sementtiseos, 10 %; tästä tuhkaa, jonka $\rho \sim 0,75$ (kuiva, irt)t/m <sup>3</sup> | 158 t/km<br>n. 211 m <sup>3</sup> /km  | Murske (esim. #0-16 mm) ;<br>$\rho \sim 1,8$ (irt)t/m <sup>3</sup>                  | 1750 t/km<br>n. 970 m <sup>3</sup> /km |
| Soratien kuitutuhkarakennekerros. Vanhan soratien peruskorjaus.                                         |                                        | Perinteinen kelirikkokorjaus (rakenteessa suodatinkangas ja 300 mm:n murskekortus). |                                        |
| Kuitusavi 56 %;<br>$\rho \sim 0,85$ (irt)t/m <sup>3</sup>                                               | 855 t/km<br>n. 1006 m <sup>3</sup> /km | Murske (esim. #0-16 mm) ;<br>$\rho \sim 1,8$ (irt)t/m <sup>3</sup>                  | 1750 t/km<br>n. 970 m <sup>3</sup> /km |
| Lentotuhka 39 %; $\rho \sim 0,9$ (irt)t/m <sup>3</sup>                                                  | 599 t/km<br>n. 665 m <sup>3</sup> /km  |                                                                                     |                                        |

Taulukon (9) esittämien määrien perusteella

- Suomessa voidaan peruskorjata yli 700 kilometriä soratietä vuosittain paperiteollisuuden vielä käytettävissä olevilla lentotuhilla (51 % \* 0,226 Mt = 0,115 Mt), kun tuhkaa käytetään 158 tonnia/km. Taulukon (6) perusteella tämä on mahdollista noin puolet pienemmillä vuosikustannuksilla kuin perinteinen kelirikkokorjaus. Periaatteessa tämä voisi mahdollistaa kaksinkertaisen kelirikkokorjausmäärän vuosittain nykyisellä vuosibudjetilla, eli ainakin 400 km vuosittain.
- Koko Euroopan alueella, paperitehtaiden ympäristössä, voidaan vastaa via tieverkostoja kunnostaa stabiloimalla ainakin 8 500 kilometriä paperiteollisuuden energiatuotannossa syntyviä tuhkia hyödynnettäessä.
- Mikäli 100 km kelirikkokorjausta tehdään stabiloimalla tai kuitutuhkarakenteella, säästetään 175 000 tonnia kiviainesta. Tämä on toki vielä

pientä verrattuna kiviaineksen kokonaiskäyttöön (2.2.3), mutta tämän lisäksi on otettava huomioon mm. kuljetukset:

- mikäli kuorma-autolla voidaan kuljettaa 40 m<sup>3</sup> kuormia, tarvitaan taulukon (9) mukaan yhtä tiekilometriä varten lentotuhkan kuljettamiseen 5 - 6 kuormaa ja vaihtoehtoisesti kiviaineksen kuljettamiseen 24 - 25 kuormaa. Polttoainekulutus ja kuljetuksista aiheutuvat ympäristövaikutukset on mahdollista laskea tunnettaessa kuljetusetäisyydet (ei ole tehty tälle projektille).
- Kuitutuhkarakenteella voidaan Suomessa korjata kelirikkovaurioitunutta soratieverkostoa yli 400 km, jos pyritään käyttämään mahdollisimman suuri osa kuitusavesta soratien peruskorjaukseen (vrt. luku 2.2.2). Taulukon (6) perusteella kuitutuhkamenetelmän vuosikustannukset ovat noin 36 % alemmat kuin perinteisen kelirikkokorjauksen. Tällöin voidaan nykyisellä budjettitasolla ja kuitutuhkamenetelmällä peruskorjata runsaat 300 km soratieverkostoa vuosittain (vrt. luku 2.2.1).
- Koko Euroopan alueella vastaavalla kuitutuhkarakenteella voitaisiin rakentaa tai peruskorjata kuitutuhkamenetelmällä lähes 2 500 km tieverkostoa.

#### **4.2 Sivutuoterakentamisen muut ympäristövaikutukset**

Projektin pilotkohteiden ympäristövaikutuksia on seurattu projektin aikana sekä maaperä- että lähialueen kaivovesinäytteiden avulla, mitkä olivat ainoa käytävissä oleva vaihtoehto mahdolliselle kulkeutumisen seurannalle pilotkohteista pohjavesiin.

Ympäristöseurannan loppuraportti oli jaettu ohjausryhmälle ja projektin arviointisijoille 8.11.2004 (raportti projektin [www-sivuilla](http://www.sivuilla)). Näiden lyhyen aikavälin tulosten perusteella haitta-aineiden määrä ei ole lisääntynyt rakenteiden ympäristössä. Seurantaa tullaan ympäristölupamääräysten perusteella jatkamaan ainakin vuonna 2005.

Rakentamisen aikana ja etenkin kesällä 2002 vallinneen kuivan hellesään aikana todettiin kuivan lentotuhkan ja muiden kuivien sideaineiden pölyävän ympäristöön mm. näiden komponenttien sekoittamisen aikana ja lentotuhkan ollessa varastokasassa ilman riittävää kostutusta tai peittämistä pressulla (pressua käytettiin yleensä, mutta kuormattaessa lentotuhkaa on suojapeite poistettava). Pölyäminen on siis otettava huomioon työntekijöiden suojavarusteissa, kuljetusten aikana sekä valittaessa välivarastoinnin ja sekoituspaikan sijainti.

Aikaisempien kokemusten perusteella sateinen sää ei sinänsä aiheuta ongelmia lentotuhkan käytössä. Projektissa käytettiin lentotuhkaa sideaineena ja seoksena kuitusaven kanssa, joten rankempikaan sade (joita esiintyi syyskuussa 2003) ei aiheuttanut ongelmia. Mikäli massiivirakenteet olisivat perustuneet pelkän lentotuhkan käyttöön, olisi tuhkan levitystä ollut vältettävä rankkasateen aikana ja jo tielle levitetyt, tiivistämättömät tuhkakerrokset olisi pitänyt peittää murskeella välittömästi tuhkan liettymisen välttämiseksi.

## 5. Kannanotot ja lausunnot

### 5.1.1 Teollisuuden näkemykset

#### Lentotuhka ja kuitulietteet, ml. siistauslietteet:

Metsäteollisuuden energiatuotannossa muodostuu vuosittain yli 250 000 tonnia lentotuhkaa ja sellun ja paperin tuotannossa noin 400 000 tonnia kuitulietteitä. Metsäteollisuuden tuotantolaitokset ovat sijoittuneet laajasti ympäri Suomea. Metsäteollisuus näkee hyötykäytön lisääntymisen mahdollisuudet varsin hyvinä, koska lentotuhkan ja kuitulietteiden saatavuus on alueellisesti hyvä, ja projektissa kehitetyt menetelmät teknisesti kilpailukykyisiä. Tulevaisuudessa teollisuus näkee tierakentamisen yhtenä tärkeimmistä hyötykäyttökohteista. Lentotuhkan ja kuitutuhkan hyötykäyttö alentaa jätehuollon kustannuksia ja parantaa toiminnan ekotehokkuutta merkittävästi. Koska suomalainen metsäteollisuus on kansainvälistä, projektissa hyödynnetyt sovellukset on siirrettävissä yritysten sisällä myös muualle Euroopan alueelle toteuttaviksi. [14b].

Mahdollisuus siistausjätteen hyötykäyttöön kaatopaikkasijoittamisen sijasta tehostaa siistausprosessia taloudellisesti sekä vähentää toiminnan ympäristövaikutuksia. Kukkia Circlet – projekti on mahdollistanut laajamittaisen yhteistyön eri toimijoiden ja eri teollisuuden alojen välillä. Projekti on herättänyt kiinnostusta myös Georgia-Pacific Finland Oy:n sisäryityksissä Euroopassa. Eräät tehtaat ovat jopa alkaneet tutkia omia mahdollisuuksiaan siistausjätteen käytölle tierakentamisessa. Tulokset pilotkohteista ovat lisänneet luottamusta sivutuotteen käyttömahdollisuuksiin turvallisesti. [14a].

#### Suotokakku:

TETRA Chemicals Europe Oy (ent. Kemira Chemicals, Kokkola) valmistaa Euroopan ainoana valmistajana Kokkolassa kalsiumkloridia, jota käytetään mm. sora-ten pölynsidonnessa. Suotokakku muodostuu kalsiumkloridiprosessissa 20 000 – 22 000 tonnia vuodessa. Suotokakun laajamittainen testaus Kukkia Circlet -projektin pilotkohteissa kulutuskerroksen murskeen seassa antaa hyvän referenssin suotokakun käytön eduista ja käyttötavasta sekä mahdollisuuden kaupallistaa suotokakun käyttöä ja luoda uutta liiketoimintaa tukien nykyistä liiketoimintaa. Hyötykäyttö myös vähentää tuotannosta syntyvää ympäristökuormitusta ja alentaa jätteenkäsittelykustannuksia. [14c].

### 5.1.2 Tiehallinto. Lausunto [15a]

*Suomessa syntyy vuosittain n. 6 milj. tonnia jollakin tavalla hyödyntämiskelpoisia teollisuuden sivutuotteita ja uusiomateriaaleja. Niistä käytetään hyödyksi n. 30%. (TEKES, teknologiakatsaus 91/2000). Hyötykäyttökohteita ovat olleet mm. tiet, kadut, piha- ja pysäköintialueet, erilaiset täytöt, melu- ja maavallirakenteet sekä kaatopaikkarakenteet. Potentiaalia hyötykäytön lisäämiseen siis on.*

*Hyötykäyttöä estäviä tai hidastavia tekijöitä ovat mm. riittämättömät tiedot materiaalien käyttötavoista ja käyttöön liittyvistä riskeistä, riittämätön aika käyttöön vaadittavan ympäristöluvan hankkimiseen, kilpailukyvyttömyys verrattuna muihin materiaaleihin (ominaisuuksista tai kustannuksista johtuen) ja joskus myös materiaalin riittämätön saatavuus oikeaan aikaan ja oikeaan paikkaan.*

Tietopuutteita voi olla esim. materiaalien haitattomuudesta ympäristölle, mitoitusominaisuuksista ja niiden muutoksista ajan, sään, kuormitus- ym. rasitusten vaikuttaessa rakenteen elinkaaren aikana, rakentamisteknisistä ominaisuuksista, tarvittavista työmenetelmistä ja laitteista sekä materiaalin ja lopullisen tuotteen laatuvaihteluista. Varsinkin pohjamaan routiminen ja materiaalien jäätymis-sulamissyklit aiheuttavat Suomessa rakennusmateriaaleille suurempia rasituksia kuin etelämpänä Euroopassa.

Tietopuutteita voidaan poistaa tutkimusten ja koekohteiden avulla. Esim. metalliteollisuuden kuonista on Suomessa hyötykäyttökokemuksia jo yli 20 vuoden ajalta ja siksi niiden käyttöön ei katsota liittyvän merkittävästi suurempia riskejä kuin luonnon kiviainesten käyttöön. Nyt arvioitavana olevan Life - hankkeen pilottikohteissa käytetyistä materiaaleista on vähän kokemuksia ja hankkeessa saadut tutkimustulokset voivatkin edistää merkittävästi niiden hyötykäyttömahdollisuuksia.

Tutkimustulokset ovat tärkeitä myös siksi, että Suomessa on ympäristöviranomaisten toimesta valmisteltu asetusta, joka sallisi tiettyjen jättemateriaalien hyödyntämisen maarakentamisessa pelkän ilmoitusmenettelyn perusteella. Tämä antaisi paremman varmuuden sille, että uusiomateriaalia tosiaan voidaan käyttää rakennussuunnitelmien mukaisena ajankohtana. Ilmoitusmenettelyn salliminen edellyttää, että tutkimusten ja koekohteiden perusteella on voitu osoittaa, ettei materiaalin käytöstä ole haittaa ympäristölle ja käytössä on järjestelmä materiaalin laadun varmistamiseksi. Hankkeen tulokset palvelevat kokeiltujen materiaalien hyväksyttävyyden arviointia.

Vastaavasti tiehallinto on kehittämässä tienpidossa käytettävien uusien materiaalien teknisille ominaisuuksille hyväksymismenettelyä, jonka perusteella voidaan määrittää rakenteiden suunnittelussa käytettävät mitoitusparametrit alustavasti laboratorio- ja niitä tarkentavien kenttäkokeiden sekä lopulta myös käytännön kohteiden toimivuuden seurannan perusteella. Hyväksymismenettelyssä voidaan ottaa huomioon myös LIFE - hankkeesta saadut kokemukset.

LIFE- hankkeessa on pääosin keskitytty soratien kunnostukseen soveltuvien uusien materiaalien kokeiluun. Tiehallinnon T&K- ohjelmassa on tänä vuonna hanke, jossa kehitetään sorateille toimivuusvaatimuksia, joiden täyttämistä urakoitsija sitoutuu vastaamaan sopimusaikana ja saa vapaat mahdollisuudet valita edullisimmaksi katsomansa menetelmät ja materiaalit. Kehitettävillä, mahdollisimman objektiivisilla ja mitattavissa olevilla toimivuusominaisuuksilla tulee jatkossa olemaan suuri merkitys myös tällaisten koekohteiden seurantatulosten arvioinnissa. Koekohteen ja sen vertailukohteiden käyttäytymishistoria ennen toimenpiteitä tulisi selvittää vielä tarkemmin. Koeosuuksien sijainti on sidottava tarkasti tieosoitteeseen, jotta tutkimukseen sisältyvän seurannan lisäksi tien käyttäytymistä voidaan seurata pitkäaikaisesti myös teiden normaalin kuntoseurannan perusteella. Tehtyjen kokeilujen seurantahan on valitettavan usein jäänyt lyhyeksi tien toivottuun kestoikään verrattuna. Kokeiluja koskevat tiedot pitäisi raporttien lisäksi tallentaa myös tietorekistereihin, joista ne saataisiin helposti käytettäväksi ja yhdistettyä muualta saataviin tietoihin tehtäessä erilaisia tilastollisia analyysejä. Kohteiden kuntoseurannan lisäksi pitäisi ehkä kirjata tarkemmin ylös myös tehtyjä toimenpiteitä. Sorateiden kuntoahan on helppo parantaa hetkellisesti esim. kastelulla ja höyläyksellä, mutta toimenpiteiden toistuvuudessa voi olla tien laadusta riippuen suuria eroja.

Erilaisten materiaalien ja rakennevaihtoehtojen vertailun on perustuttava elinkaarikustannuslaskelmiin, joita tässä LIFE- hankkeessakin on esitetty. Sivutuotteen käytön ansiosta säästyvän luonnonmateriaalien merkitystä on korostettu hankkeen raporteissa. On kuitenkin otettava huomioon, että sivutuotteiden ja tavallistenkin sideaineiden käyttöön sisältyy aina ympäristön kannalta sekä positiivisia että negatiivisia vaikutuksia (esim. +luonnonmateriaalien säästö/- sideaineen valmistuksessa sidotun energian käyttö ja riskit haitta-aineiden leviämisestä tieympäristöön). Tutkimusten avulla saadaan uusiomateriaalien käyttöön liittyvät riskit hallintaan. Ainakin

osittain riskeille ja haitoille voidaan sopia hintoja, jotka otetaan mukaan elinkaarikustannuslaskelmiin ja ohjataan siten valitsemaan myös vaihtoehtoja, jotka ovat välittömiltä kustannuksiltaan kalliimpia, mutta ympäristövaikutuksiltaan parempia.

Kukkaa- hankkeessa esitetyt elinkaarikustannuslaskelmat perustuvat vielä melko niukkaan tietoon eri vaihtoehtojen vaikutuksista tien laatuun ja tienpitotarpeisiin. Jatko seurannat toivottavasti tarkentavat tietoja. Yleiset vaihtoehtovertailut ovat kuitenkin vain suuntaa-antavia. Vertailut on tehtävä tapauskohtaisesti kuljetuskustannusten suuren merkityksen vuoksi.

## **2. Pilotkohteittaiset arviot**

### **2.1 Vanhan soratien peruskorjaus stabiloimalla tuhkapohjaisilla si-deaineilla**

Stabilointiin käytettiin kolmea eri sideaineseosta: A) 6% lentotuhkaa + 4% yleissementtiä B) 6% lentotuhkaa + 4% FTC:tä (= 1,3% Finstabia + 1,3% kalkkia + 1,3% sementtiä) E) 3% lentotuhkaa + 3 rikinpoistolopputuotetta (sisältää kalkkia) + 4 % yleissementtiä.

Vertailurakenteena stabiloinneille oli kelirikkokunnostus suodatinkankaalla + 300 mm 0/32 murskekerroksella + 20 mm 0/16 murskekerroksella (Kulutuskerros 20 mm on liian ohut sekä tiivistettävyyden että tasoitusmahdollisuuksien kannalta. Sen olisi pitänyt olla vähintään 50 mm). Lisäksi tehtiin yksi koeosuus pelkällä syyssorastuksella (20 mm kerros mursketta) ja yksi suotojätevertailurakenne (50 mm 0/32 mursketta + 50 mm suotojätēmurskeseosta).

Kantavuusmittaustulosten perusteella stabiloinnit paransivat kantavuutta enemmän kuin pelkät murskelisäykset. Tulosten arviointia vaikeuttaa kuitenkin kantavuuksien suuresta vaihtelusta ja vähistä mittauspisteistä johtuva epävarmuus. Lisäksi mittaukset ennen kunnostustoimenpiteitä oli tehty kahtena keväänä ja toimenpiteiden jälkeiset mittaukset kesällä ja syksyllä. Yleensä sorateiden kevätkantavuuden arvioidaan olevan pohjamaasta ja rakennekerrosmateriaaleista riippuen 40-80% kesän/syksyn kantavuudesta. Kesällä ja syksylläkin kantavuudet voivat kuitenkin vaihdella paljon riippuen kosteusolosuhteista. Toisaalta keväälläkin voidaan saada virheellisen hyviä kantavuuksia, jos rakenne on jossain varjoisassa kohdassa vielä jäässä mitaushetkellä.

Epäselväksi jää sivutuotteiden osuus kantavuuden parantumisessa, koska pelkästään 4%:in sementtilisäykselläkin saadaan aikaan merkittävä lujittuminen. Lujuuden vaihtelu on melko suurta ja liian suuri lujuus voi aiheuttaa routivassa rakenteessa sekä suurista routanousueroista että pehmeän alustan päällä olevan jäykän kerroksen murtumisesta aiheutuvaa halkeilua ja epätasaisuutta.

### **2.2 Vanhan soratien peruskorjaus käyttäen kuitutuhkarakennekerrosta**

200mm paksu kuitutuhkarakennekerroksen koostumus oli 55% kuitusavea (paperikuituja ja kaoliinisavea), 39% lentotuhkaa ja 6% sementtiä.

Tällainen hienorakeinen materiaali on routivaa ja kastuessaan pehmenevää, jos lentotuhkalla ja sementillä aikaansaadut lujittumissidokset purkautuvat jäätymissulamissykliä vaikutuksesta. Kokeilukohteessa kantavuudet ovat huonoja, eikä lujittumisreaktioiden kantavuutta parantavasta vaikutuksesta ole varmuutta, koska toimenpiteiden jälkeiset mittaukset on tehty kesällä. Tämän rakenteen toimivuuteen sisältyy riskejä ja sen käyttäytymistä on syytä seurata tarkasti. Rakenne vaikuttaa saavutettuihin tuloksiin nähden myös kalliilta, koska siinä käytettiin melko runsaasti sideainetta (6%) ja pintaan lisättiin 10 cm mursketta. Kuitutuhkakerros on myös niin tiivis, että se lisää riskiä pinnassa olevan murskeen liiallisesta pehmenemisestä sateella.

### **2.3 Kevyen liikenteen väylän rakentaminen käyttäen kuitutuhkarakennekerrosta**

Samaa materiaalia kuin edellä käytettiin vanhan soratien kunnostukseen, on tässä käytetty uuden kevyen liikenteen väylän rakentamiseen. Saadut kantavuustulokset ovat paljon alle normaalien vaatimusten ja niin heikkoja, että on syytä välttää järeän kunnossapitokaluston käyttöä ainakin keväällä. Merkittäviä vaurioita ei vuodessa ole tullut, mutta käyttäytymistä on syytä seurata tarkasti.

### **2.4 Piennarlevennys kuitutuhkarakennekerroksella**

Tulosten perusteella materiaalin lujuudet näyttävät jäävän mm. tiivistämisongelmien takia sen verran huonoiksi, ettei sen käyttö voi suositella. Tälle piennarosuudelle voi mennä joskus raskaampikin kuormitus ja silloin piennarlevennyksen kestävyys on kantavuusmittaustulosten perusteella kyseenalainen.

### **2.5 Pohjaveden suojaus kuitusavikerroksella**

Veden läpäisevyysherktoimet eivät täytä tieluiskan pohjaveden suojauskenteille asetettavia vaatimuksia.

### **2.6 Soratien kulutuskerroksen pölynsidonta suotokakkumurskeella**

Suotokakkumurske toimii pölynsidontamateriaalina. Tulosten perusteella siitä ei kuitenkaan saa sekoittaa murskeeseen niin paljoa kuin kokeilukohteessa, koska kulutuskerros tulee silloin liian pehmeäksi. Lisäksi on otettava huomioon ympäristöön joutuvan kalsiumkloridin määrä. Sen tulisi jäädä vähäisemmäksi kuin perinteisellä keväisin tehtävällä kalsiumkloridilisäyksellä, jotta suotokakkumursketta voisi perustella ympäristövaikutuksiltaan parempana menetelmänä.

Soratien kulutuskerros ei pölyä, jos se pysyy riittävän kosteana. Suolan lisäksi kosteana pysymistä edistää, jos kulutuskerroksessa on riittävästi hienoaainesta. Sorasta tai kalliolouheesta tehdyssä kulutuskerrosmurskeessa on yleensä liian vähän hienoaainesta, ellei siihen erikseen sekoiteta savea tai kivituhkaa (esim. kalliomurske 0/3). Lisäys on nykyään tehty yleensä murskaustyön yhteydessä. Lisäys voidaan tehdä myös tiellä (ns. savisora). Raaka-ainemuodeltaan sopivaa moreenia murskattaessa saadaan suoraan erinomaista soratien kulutuskerrosmursketta. Suotokakku ja kuitusavi voivat korvata näitä muita lisähienoaineita, mutta kilpailevia vaihtoehtoja siis on. Tärkeää olisi, ettei hienoaineksen lisäys jää tekemättä silloin, kun se olisi tarpeellinen. Lisäyksen on oltava oikean suuruinen ja sekoittumisen murskeeseen hyvä, jotta soratien kulutuskerros pysyisi kiinteänä, tasaisena ja pölyämättömänä mahdollisimman pitkään.

#### **5.1.3 Tampereen teknillinen yliopisto. Lausunto [15b]**

Otsikossa mainitun LIFE-hankkeen nimettynä ulkopuolisena arvioitsijana olen tutustunut hankkeesta julkaistuihin raportteihin, joiden perusteella totean arviointilausuntonani seuraavaa.

#### **Yleistä**

Erilaisten teollisuuden sivutuotteiden nykyistä laajamittaisempi hyödyntäminen maarakentamisessa on kiistämättömän tärkeä asia sekä maarakentamisessa käytettävien uusiutumattomien kiviainesvarojen nykyistä säästeliäämpään käyttöön että sivutuotemateriaalien tarpeettoman läjittämisen ja varastoinnin välttämiseen liittyvien tavoitteiden kannalta. Rajoittimena sivutuotemateriaalien nykyistä laajemman hyötykäytölle on kuitenkin monia paitsi teknisiä ja lainsäädännöllisiä myös puhtaasti ennakoluuloista johtuvia esteitä. Paljolti nämä ennakoluulot perustuvat puutteelliseen tietämykseen materiaalien teknisistä ja ympäristövaikutuksiin liittyvistä ominaisuuksista, mutta ennen muuta riittämättömään käytännön kokemukseen niiden teknisestä toimivuudesta erilaisten rakennusratkaisujen osana sekä vajavai-siin kokemuksiin sivutuotteita käyttäen toteutettavien rakenteiden raken-

tamisesta. Näissä tarkoituksissa nyt puheena olevan hankkeen kaltaiset demonstraatioprojektit näyttelevät erittäin tärkeää roolia matkalla kohti ympäristövaikutuksiltaan hallittua, kestävän kehityksen periaatteiden mukaista maarakentamista.

### **Arvioitavan hankkeen ansiot ja jatkokehitystarpeet tulevissa hankkeissa**

Arvioitavana olevassa hankkeessa on tehty useita erilaisia kokeiluja kelirikko-ongelmista kärsivien soratiekohteiden korjausrakenteilla, pohjaveden suojausrakenteella, erillisillä kevyenliikenteenväylän rakenteilla sekä pienarlevennysrakenteella. Raportoitujen seurantamittausten perusteella rakenteet ovat toimineet pääsääntöisesti hyvin ja tehtyjen käyttäjätyytyväisyyskyselyjen mukaan väylien käyttäjät ovat olleet toteutettuihin rakenteisiin varsin tyytyväisiä. Näillä perusteilla varsinkin väylärakenteisiin liittyvien kokeilujen voidaan katsoa saavuttaneen hyvin niille asetetut tavoitteet. Koikeiltu pohjaveden suojausrakenne sen sijaan ei täyttänyt sille asetettuja tavoitteita, mihin liittyviä syitä raporteissa onkin analysoitu.

Työn alussa mainittujen sivutuotemateriaalien käytön esteiden poistamiseksi on kuitenkin jatkuttava. Tältä kannalta arvioitavana olevan hankkeen opetuksina ja sen pohjalta tunnistettavissa olevina jatkokehitystarpeina voidaankin todeta seuraavaa:

- Sivutuotemateriaalien käyttöön perustuvien koekohteiden suunnittelussa on lähtökohtana aina oltava selkeä ajatus toteutettavan rakenteen toimintatavasta ja käytettävän sivutuotemateriaalien edullisten ominaisuuksien hyödyntämisestä kyseessä olevassa rakennekokonaisuudessa. Arvioitavana olevan hankkeen tapauksessa tilanne on varsin ilmeinen kelirikko-kohteiden korjausrakenteiden sekä erillisen kevyen liikenteen väylän rakennekokeilujen osalta. Toteutetun piennarlevennysrakenteen kohdalla saavutettavat edut tavanomaisista karkeista murskatuista kiviainesmateriaaleista tehtyyn rakenteeseen verrattuna jäävät sen sijaan jossain määrin arveluttamaan. Erityisesti näin on, koska rakenteesta otettujen näytekappaleiden puristuslujuustulokset ovat jääneet huomattavan alhaisiksi, jolloin jopa toteutetun ratkaisun turvallisuus raskaan ajoneuvon väistäessä poikkeustilanteessa tien pientareelle mietityttää.
- Toteutettavien rakenteiden periaatteellisen toiminta-ajatuksen rinnalla erittäin tärkeää olisi pyrkiä kehittämään myös niiden teoreettisia mitoitusmalleja, joiden perusteella sivutuotemateriaalien käyttöön pohjautuvien rakenneratkaisujen käyttöä voitaisiin paremmin ohjeistaa ja samalla voitaisiin luoda edellytyksiä myös niiden todellisen kestävyysajan ja käyttöiän nykyistä luotettavammalle ennakkoinnille. Luotettavat arviot eri rakenneratkaisujen käyttöiästä ovat puolestaan välttämätön perusedellytys paikkansa pitävien elinkaarikustannusvertailujen tekemiselle esimerkiksi suhteessa tavanomaisiin materiaaleihin käyttäen toteutettuihin referenssirakenteisiin.
- Rakenneratkaisujen toimivuuteen ja kestävyysajan liittyvien johtopäätösten tekemisessä avainasemassa ovat teoreettisten mitoitusmallien ohella niiden verifiointia palvelevat, hyvin suunnitellut sekä huolellisesti tehdyt, paikannetut ja dokumentoidut seurantamittaukset. Erityisen haasteellisia ne ovat nyt puheena olevassa hankkeessa esillä olevien soratien korjausrakenteiden tyyppisissä kohteissa, joissa useimpia päällystetyille teille normaalisti sovellettavia tien rakenteellisen kunnon ja palvelutason mitausmenetelmiä ei sellaisenaan voi soveltaa.
- Sivutuotemateriaaleja käyttäen toteutettujen maarakenteiden elinkaaren aikaisten kokonaisvaikutusten näkökulmasta nyt raportoitua hanketta enemmän huomiota on jatkossa syytä kiinnittää myös pohdintoihin siitä, mitä ovat periaatteiltaan ja materiaaleiltaan tavanomaisista ratkaisuista poikkeaviin rakenteisiin kohdistettavat toimenpiteen silloin kun tarkasteltava rakenne on saavuttanut käyttöikänsä päätepisteen. Sivutuotemateriaaleja sisältävien rakenneratkaisujen tapauksessakin tämän täytynee

normaalisti tarkoittaa sitä, että ne on mahdollista käyttää hallitusti uudelleen joko samassa tai jossain muussa rakennekokonaisuudessa.

Yhteenvedona arvioitavana olleesta hankkeesta voidaan todeta sen olevan yksi tärkeä askel pitkällä mutta silti erittäin tarpeellisella matkalla kohti kestävän kehityksen periaatteiden mukaista maarakentamistekniikkaa. Kokeillut rakenneratkaisut ovat pääosin osoittautuneet toimiviksi ja hanke on myös merkittävästi kartuttanut sivutuotemateriaaleihin perustuvien rakenneratkaisujen käytännön toteutukseen liittyvää kokemusta. Tulevien hankkeiden puitteissa tehtävän jatkokehitystyön suuntaviivojen osalta haluan viitata yllä mainittuihin näkökohtiin.

#### 5.1.4 Ympäristökeskus. Lausunto [15c]

Allekirjoittanut on ollut mukana Suomen ympäristöhallinnon (SYKE) puolesta käynnistämässä ja kehittämässä teollisuuden sivutuotteiden hyötykäyttöä lähes kymmenen vuotta lähtien vuodesta 1997. Tässä yhteydessä käsitellään metsäteollisuuden lietteiden, sivutuotteiden ja tuhkien seosten hyötykäyttöä ympäristörakenteissa sekä Suomessa ja kansainvälisellä tasolla.

Tähän liittyen on allekirjoittanut ollut mm. järjestämässä yhdessä Ramboll Finland Oy:n kanssa (silloinen SCC Viatek Oy) useita kansainvälisiä aiheeseen liittyviä seminaareja ollen niissä joko puheenjohtajana tai varapuheenjohtajana. First International Workshop on the Use of Paper Industry Sludges in Environmental Geotechnology and Construction pidettiin Suomessa 1997, toinen vastaava workshop pidettiin New Yorkissa 1998, kolmas jälleen Suomessa 1999, seuraava Espanjassa 2000 ja viides Manilassa v. 2001. Lisäksi Suomessa pidettiin vuonna 2002 pelkästään slovenialaisille ko. aihetta käsittelevä viikon seminaari.

Lisäksi EU on rahoittanut Suomessa käynnistettyä metsäteollisuuden sivutuotteiden hyötykäytön kehitystyötä. Tutkimushanke voittikin EU-palkinnon vuonna 1999 innovatiivisuudellaan johtuen mm. luonnonvarojen säästymisestä ko. menetelmässä.

Edellä mainitun perusteella voidaan todeta, että Suomessa aloitettu metsäteollisuuden sivutuotteiden hyötykäytön kehitystyö on jo nyt globaalisessa tiedossa ja käytössä. Lisäksi voidaan mainita, että amerikkalaisten yhteistyökumppaneiden kanssa on todettu useassa eri yhteydessä, että Suomi on metsäteollisuuden sivutuotteiden hyötykäytön tutkimuksessa ja käytännön sovellusten kehittämisessä maailman johtava maa. Ramboll Finland Oy on tämän tutkimuksen ja soveltamisen johtava taho Suomessa.

Nyt, kun ko. sivutuotteita tutkitaan edelleen tässä Kukka Circlet hankkeessa, on ko. projektia pidettävä erittäin positiivisena tutkimuksena, josta saadaan edelleen lisää tuloksia ja käytännön kokemuksia Suomen ja kansainväliseen käyttöön ja tarpeisiin. Menetelmällä säästetään kallisarvoisia luonnon materiaaleja ja voidaan samalla hyödyntää metsäteollisuuden sivutuotteita, jotka vielä noin 10 vuotta sitten kuormittivat mm. kaatopaikkojen tilatarvetta. Suomessa tapahtuneen kehitystyön ansiosta metsäteollisuuden sivutuotteita voidaan nykyään käyttää mm. kaatopaikkojen pinta- ym. rakenteissa.

Tässä lausunnossa ei oteta kantaa ympäristökelpoisuuteen ja niihin liittyviin raja-arvoihin, koska ne ovat sekä Suomessa ja EU:ssa edelleen kehityksen alla ja kuuluvat ympäristölupaviranomaisille.



## 6. Yhteenveto

Kukkia Circler -projektin pilotrakentamisen avulla pyritään osoittamaan, että näiden pilotrakenteiden edustamat uusiomaarakentamisen ja erityisesti vähäliikenteisten, mutta alueellisesti tärkeiden soraiteiden perusparantamisen ratkaisut ovat teknisesti, taloudellisesti ja ympäristön kannalta kilpailukykyisiä perinteisiin ja luonnonvarojen enemmän kuluttaviin ratkaisuihin verrattuna.

Vaikutusten arvioinnin raportissa on pyritty ennakoimaan projektin pilotrakenteiden vaikutuksia, jolloin on otettu huomioon aikaisemmista vastaavista koerakenteista ja eri referenssirakenteista saadut kokemukset ja lukuisat aikaisemmat sekä myös projektin tarkoituksiin tehtyjen laboratoriotestien tulokset. Kukkia Circler projektin aikana on projektin pilotkohteiden seurannassa päästy kuitenkin vasta alkuun, sillä eri vaikutuksista ja kilpailukykyisyydestä saadaan todellisia vastauksia vasta pidemmällä aikavälillä.

Investointina ovat useimmat ratkaisusta lupaavan edullisia vaihtoehtoja perinteisiin ratkaisuihin verrattuna. Kokonaistaloudellisuus on kuitenkin vielä todentamatta. Kunnossapitotarpeet riippuvat näiden rakenteiden kulumis- ja vaurioitumisnopeudesta, joten todellisia kunnossapitokustannustietoja ei ole vielä käytettävissä.

Projektin tulosten seurannan kannalta pyritään projektin ohjausryhmän toimesta varmentamaan se, että projektin pilotkohteita seurataan systemaattisella tavalla vielä tulevana vuosinakin. Tähänkin mennessä projekti on tuottanut runsaasti raportteja, joita on täydennetty suunnitteluohjeella ja audiovisuaalisella materiaalilla, jotka kaikki ovat saatavilla projektin www-sivujen kautta:

(<http://www.tieliikelaitos.fi/tieliikelaitos/yhteistyokumppanit/>)

## VIITTEITÄ JA TIETOLÄHTEITÄ

- [1] Kuusisto, H. 2004. Vähäliikenteisten teiden hoidon, ylläpidon ja korvausinvestointien kustannukset. Tiehallinto, Palvelujen hankinta. Tiehallinnon selvityksiä 5/2004. 26 s. + liitt. 1 s. ISSN 1457-9871, ISBN 951-803-206-8, TIEH 3200854
- [2] Mitä maksaa – Tienpidon kustannuksia. Tiehallinto 2001
- [3] Haavikko, H. 2000. Sorateiden uusien perusparannusteknologioiden taloudellisuus. Diplomityö. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennustekniikan osasto, Rakentamistalous.
- [4] Metsäteollisuus ry – ympäristök. Tuhka- ja lietetilastoja. Jenni Vainio 7.12.2004
- [5] CEPI (Conferation of European Paper Industries). Statistic 2002 ([www.cepi.org](http://www.cepi.org))
- [6] The European paper industry on the road to Sustainable Development. CEPI. sustreport03-141308A.pdf ([www.cepi.org](http://www.cepi.org))
- [7] Tiehallinnon toiminta- ja taloussuunnitelma (TTS) 2005-2008. ([www.tiehallinto.fi](http://www.tiehallinto.fi))
- [8] Maa- ja kiviainesten ottomäärät ja ottamislupatilanne 2002. ([www.ymparisto.fi/julkaisut](http://www.ymparisto.fi/julkaisut))
- [9] Kalliokiviainekset. GTK/palvelut / tutkimus ja kartoitus / kiviainekset ([www.gsf.fi](http://www.gsf.fi))
- [10] Tierakenteen suunnittelu. Suunnitteluvaiheen ohjaus. Editä Prima Oy, Helsinki, 2004. TIEH 2100029-v-04 (pdf-tiedosto: [www.tiehallinto.fi/julkaisut](http://www.tiehallinto.fi/julkaisut)). ISBN 951-803-403-6.
- [11] Sorateiden hoito ja kunnostus. Tielaitos. Helsinki 2005. TIEL 2230013. ISBN 951-726-064-4. (pdf-tiedosto: [www.tiehallinto.fi/julkaisut](http://www.tiehallinto.fi/julkaisut)).
- [12] Kevyen liikenteen väylien hoito. Menetelmätieto. Tielaitos. Helsinki 1999. TIEL 2230054. (pdf-tiedosto: [www.tiehallinto.fi/julkaisut](http://www.tiehallinto.fi/julkaisut)).
- [13] Kevyen liikenteen suunnittelu. Tielaitos ja Suomen Kuntaliitto, Helsinki 1998. TIEL 2130016. ISBN 951-726-431-3. (pdf-tiedosto: [www.tiehallinto.fi/julkaisut](http://www.tiehallinto.fi/julkaisut)).
- [14] Kommentit partnereilta: a) Georgia-Pacific Finland Oy, b) Finncao Oy, c) Kemira Oyj / Tetra Chemicals Europe Oy
- [15] Kommentit arvioitsijoilta: a) Tuomo Kallionpää, b) Pauli Kolisoja, c) Jouko Saarela
- [16] Lahtinen, Pentti 2001. Fly Ash Mixtures as Flexible Structural Materials for Low-Volume Roads. Väitöskirja. Helsingin teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto. Tiehallinnon raportti 70/2001. ISBN 951-726-826-2.

- [17] Haavikko, H. 2000. Sorateiden uusien perusparannusteknologioiden taloudellisuus. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan osasto, rakentamistalous.