

Tielaitos

Sorateiden kelirikkovaurioiden korjaaminen, väliraportti IV

Koerakenteet



**Tiehallituksen
sisäisiä
julkaisuja**

52/1992

Kuopio 1992

**Kuopion
tuotantotekninen
kehitysyksikkö**

Tiehallituksen sisäisiä julkaisuja
52/1992

**Sorateiden kelirikkovaurioiden
korjaaminen, väliraportti IV**

Koerakenteet

Tielaitos
Kuopion tuotantotekninen
kehitysyksikkö

Kuopio 1992

2. painos
Painatuskeskus Oy
Helsinki 1993

Julkaisua saatavana:
Kuopion tuotantotekninen
kehitysyksikkö

Tielaitos

Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde (90) 148 721

Kuopion tuotantotekninen
kehitysyksikkö
PL 1117
70101 KUOPIO
Puh. (971) 199 752

Asiasanat routa, routiminen, routavaurio, stabilointi, soratie

TIIVISTELMÄ

Tämä väliraportti on rajattu käsittelemään sorateiden kelirikkovaurioiden korjaamiseen tässä tutkimuksessa käytettyjä ratkaisutyyppejä, materiaalitutkimuksia ja koerakenteiden toteutusta. Väliraportissa esitetään myös koerakennuskohteiden alkutilanne sekä esiintyneet ongelmat tarkennettuina väliraportti I:ssä esitetystä.

Vuosien 1991 ja 1992 aikana rakennettiin yhteensä 17 erilaista koerakennetta viiden tiemestaripiirin alueelle. Nämä ratkaisut on raportissa jaettu kuuteen ryhmään niiden toteuttamistavan, vaikutusten sekä käytettyjen materiaalien perusteella. Ratkaisutyyppit ovat suodatinkankaan käyttö, geovahvisteet, teollisuuden sivutuotteet, stabiloinnit, kuivatusratkaisut sekä eristävän kerroksen käyttö.

Kustakin rakenneratkaisusta esitetään lyhyt kuvaus ja rakentamisen kulku selostetaan pääpiirteittäin. Erityistä huomiota kiinnitetään käytettyjen työmenetelmien, koneiden ja materiaalien käyttökelpoisuuteen, sopivuuteen sekä kehitystarpeeseen. Muita käsiteltäviä asioita ovat muun muassa käytetyt resurssit, rakennusaikaiset ongelmat ja niihin liittyvät parannus- ja korjausehdotukset.

Tutkimukseen liittyen tehtiin teollisuuden sivutuotteiden osalta materiaalitutkimuksia, joilla selvitettiin laboratoriossa muun muassa stabiloinneissa tarvittavat sideainemäärät ja tärkeimmät materiaaliominaisuudet. Tutkittavia ominaisuuksia olivat materiaalista riippuen lujuus, liukenevuus, kosteudenkestävyys, routakäyttäytyminen, dynaamisen kuormituksen kestävyys ja lämmönjohtavuus. On kuitenkin huomattava, että näiden materiaalien käyttäytymistä tierakenteessa sekä todellisia ympäristövaikutuksia ei vielä täysin tunneta, koska koerakenteiden seuranta on kesken. Koerakenteet on instrumentoitu. Lisäksi seurataan mm. kantavuutta ja sivutuotteiden kohdalla mahdollista liukenevuutta ympäristöön.

Tuhkan ja masuunikuonan käytöstä tierakentamisessa saatiin positiivisia kokemuksia. Sensijaan biotiitin ja Finnstabin käyttöä ei voi suositella ennen jatkotutkimuksia. Muiden materiaalien osalta tutkimustyö ei ole jatkossa välttämätöntä, mutta ainakin rikinpoistojätteen kohdalla siitä olisi selvää hyötyä.

Kustannusten sekä rakentamisaikojen vertailu on erittäin hankalaa vaihtelevien olosuhteiden takia. Kalleimmaksi ja eniten työtä vaativaksi osoittautui salaojamattojen käyttö. Myös kevytsorarakenne on hinnaltaan kallis ratkaisu. Sensijaan stabiloinnit, reunojen vahvistaminen geovahvisteella, sorasalaojan käyttö tien toisella puolella sekä suodatinkankaan käyttö

murskeen alla ovat edullisimmat ratkaisut. On kuitenkin huomattava, että materiaalien kuljetusten osuutta ei ole huomioitu kustannuksia laskettaessa.

Nopeimmin toteutettavia rakenteita olivat geovahvisteiden ja suodatinkankaan käyttö murskekerroksen alla ja masuunikuonastabilointi. Geovahvisteiden tai suodatinkankaan käyttö aiheutti rakentamisen aikana vähiten haittaa liikenteelle.

Tarkoituksenmukaisten koneiden käytön tärkeys korostui koerakentamisessa. Työn lopputuloksen, rakentamisajan ja taloudellisuuden kannalta sillä oli ratkaiseva merkitys. Esimerkiksi kapean kauhan käyttö sorasalaojan tekemisessä samoin kuin oikean tekniikan käyttäminen vanhan materiaalin talteen ottamisessa olivat ratkaisevassa asemassa. Stabiloinneissa parempien menetelmien kehittäminen sideaineen levittämiseen ja sekoitukseen on tärkeää.

ALKUSANAT

Sorateiden kelirikkovaurioiden korjaaminen -tutkimukseen liittyen on aiemmin ilmestynyt 3 väliraporttia. Väliraportissa I on selvitelty kelirikkovaurioiden syntymisen syitä ja esitetty alustavat koerakennevaihtoehdot. Väliraportti II sisältää Kemira Oy:n Siilinjärven Tehtailla sivutuotteena syntyvien prosessikipsin ja biotiitin materiaalitutkimuksia. Väliraportti III sisältää materiaalitutkimuksia jalostetuista teollisuuden sivutuotteista (granuloitu masuunikuona, lentotuhka, rikinpoistolopputuoteseokset ja Finnstabi).

Tässä väliraportissa esitellään toteutetut koerakenteet ja rakentamisen aikaiset kokemukset. Koerakenteet on toteutettu vuosina 1991-1992 Juuan, Pielaveden, Kiuruveden, Vilppulan ja Pirkkalan tiemestaripiirien alueilla. Rakenteiden käyttäytymistä on seurattu ja tullaan seuraamaan talvikausien 1991...1994 aikana muun muassa kullekin rakenteelle suunnitellun instrumentoinnin avulla.

Tutkimus on teetetty Kuopion Viatek-IPT Oy:llä ja työn seurantaryhmään ovat kuuluneet ins. Kari Kotro, DI Ari Könönen ja DI Harri Jyrävä Kuopion Viatek-IPT Oy:stä, DI Pentti Lahtinen Suomen Geotutkimus SGT Oy:stä, ins. Paavo Ollikainen Kuopion tiepiiristä, ins. Rauni Nieminen Hämeen tiepiiristä, tiemest. Niilo Olkkonen Juuan tiemestaripiiristä sekä DI Unto Miettinen ja ins. Asko Pöyhönen Kuopion tuotantoteknisestä kehitysyksiköstä.

Kuopiossa joulukuussa 1992

Tielaitoksen Kuopion tuotantotekninen kehitysyksikkö

Sisältö	
Tiivistelmä	3
Alkusanat	5
Sisällysluettelo	7
1. JOHDANTO	10
2. TUTKIMUSPROJEKTIN TAUSTAA	11
3. KOHTEIDEN LÄHTÖTILANNE JA KORJAUSRATKAISUT	13
3.1 Kohde 4, Juuka	13
3.2 Kohde 5, Juuka	14
3.3 Kohde 15, Pielavesi	14
3.4 Kohde 18, Pielavesi	14
3.5 Kohde 22, Kiuruvesi	15
3.6 Kohde 40, Pirkkala	16
3.7 Kohde 42, Pirkkala	16
3.8 Kohde 50, Vilppula	17
4. MATERIAALITUTKIMUKSET	19
4.1 Yleistä	19
4.2 Suoritetut tutkimukset	19
4.3 Pirkkalan murskeen stabilointi	20
4.4 Vilppulan murske	21
4.4.1 Granuloitu masuunikuona	21
4.4.2 Rikinpoistojäteseos 1 ja seos 2	22
4.5 Biotiitin ja prosessikipsin stabilointi sekä prosessi- kipsin käyttö Juuan murskeen stabilointiin	22
4.5.1 Prosessikipsi sideaineena	23
4.5.2 Biotiitti + prosessikipsi 1:1 -seoksen stabilointi	23
4.5.3 Biotiitti + murske 1:1 -seoksen stabilointi	24
4.6 Tuhka	25
4.7 Yhteenvedo tuloksista	26
4.8 Materiaalitoimittajat ja -määrät	26
4.8.1 Finnstabi-B	26
4.8.2 Granuloitu masuunikuona	26
4.8.3 Lohjan rikinpoistojäteseokset	26
4.8.4 Biotiitti ja prosessikipsi	28
4.8.5 Tuhka	28

5. RATKAISUTYYPIT	29
6. KOERAKENTAMINEN RATKAISUTYYPEITTÄIN	31
6.1 Suodatinkankaan käyttö	31
6.1.1 Suodatinkangas ja murske	31
6.2 Geovahvisteet	32
6.2.1 Geovahvistematto ja murske	32
6.2.2 Geovahvisteverkko ja murske	34
6.2.3 Geovahviste reunalla	36
6.3 Teollisuuden sivutuotteet	38
6.3.1 Biotiitti ja murske	38
6.3.2 Biotiitti ja kipsi	41
6.3.3 Voimalaitostuhka	42
6.4 Stabiloinnit	45
6.4.1 Kipsi-sementti stabilointi	45
6.4.2 Masuunikuonastabilointi	47
6.4.3 Rikinpoistojättestabilointi	49
6.4.4 Finnstabi stabilointi	52
6.5 Kuivatus	55
6.5.1 Hydromatto pystysuunnassa tien reunoilla	55
6.5.2 Sorasalaoja tien toisella laidalla	57
6.5.3 Sorasalaojat tien molemmin puolin	59
6.5.4 Vaakasalaojamatto	60
6.6 Lämpöeristys	63
6.6.1 Kevytsora	63
6.6.2 Voimalaitostuhka	66
7. INSTRUMENTOINTI	67
7.1 Koerakenteisiin asennetut instrumentit	67
7.1.1 Termoelementit	67
7.1.2 TDR-kosteussensorit	68
7.1.3 Routanousuanturit	68
7.1.4 Geovahvisteiden venymämittausjärjestely	69
7.2 Instrumenttien asennustyö	70
7.3 Instrumentoinnissa ja asennustyössä tehtyjä huomioita	71
8. RAKENTAMISESTA SAATUJA KOKEMUKSIA KOOTTUNA	72
8.1 Koneet	72
8.2 Materiaalit	74
8.3 Vanhan tiemateriaalin uudelleenkäyttö	74

9. MUITA KOKEILUJA TUTKIMUKSEN ULKOPUOLELTA	76
10. SEURANTAMITTAUKSET JA TUTKIMUKSEN JATKO	78
JOHTOPÄÄTÖKSET	79

- LIITTEET:
- Liite 1: Koerakennuskohteet
 - Liite 2: Muutoksia ja tarkennuksia väliraportti I:ssä esitettyihin tyyppiratkaisuihin
 - Liite 3: Käytettyjen materiaalien hintoja
 - Liite 4: Rakenteiden vertailutaulukko
 - Liite 5: Koerakenteiden seuranta
 - Liite 6: Toteutetut instrumentoinnit

1. JOHDANTO

Kuopion tuotantotekninen kehitysyksikkö aloitti tämän sorateiden kelirikkovaurioiden korjaamista käsittelevän tutkimuksen kesällä 1990 Kuopion Viatek-IPT Oy:n kanssa. Suomen Geotutkimus SGT Oy on tehnyt tutkimukseen liittyvät materiaalitutkimukset sekä koerakennuskohteiden instrumentoinnin.

Tutkimuksesta on aiemmin julkaistu kaksi väliraporttia. Vuonna 1991 julkaistu väliraportti I sisältää ongelmakartoituksen ja alustavat rakenneratkaisut. Vuonna 1992 julkaistu väliraportti II käsittelee prosessikipsin ja biotiitin materiaalitutkimuksia. Kolmas, vielä julkaisematon, väliraportti tulee sisältämään muiden tehtyjen materiaalitutkimusten tulokset. Tämä, järjestyksnumeroltaan neljäs väliraportti, käsittelee koerakenteiden rakentamista.

Tutkimustyö jatkuu koerakenteiden seurannalla ja saatujen tulosten analysoinilla. Tavoitteena on laatia suunnittelu- ja rakentamisohjeet edullisimmista ja käyttökelpoisimmista korjausmenetelmistä erityyppisille kelirikkovauriokohdille.

2. TUTKIMUSPROJEKTIN TAUSTAA

Projektin käynnistyessä kesällä 1990 aloitettiin sopivien koerakennuskohteiden etsiminen Kuopion-, Pohjois-Karjalan- ja Hämeen tiepiireistä. Tiepiirejä pyydettiin ehdottamaan tutkimukseen sopivia sorateiden ongelmakohtia, joista valittiin mahdollisimman monipuolinen ja erilaiset kelirikko-ongelmat hyvin kattava aineisto. Ehdotusten perusteella valittiin 53 koekohdetta, joissa selvitettiin tien ja pohjamaan rakenne kaivamalla koekuoppa ja ottamalla maanäytteitä.

Koekuoppatutkimusten sekä tehtyjen haastattelujen perusteella kunkin tutkimuskohteen olosuhteet eriteltiin tien rakenteellisten seikkojen ja pohjasuhteiden perusteella. Erityistä huomiota kiinnitettiin vesiolosuhteisiin. Esiintyvät pääongelmatyypit eriteltiin seuraavasti; routiminen (heitot, kallistelu,...), kantavuus (kevätkantavuus, "silmäkkeet",...), painuminen (lähinnä tien reunoilla) sekä näiden yhdistelmät.

Pääasialliset syyt edellä esitettyihin ongelmiin pyrittiin kartoittamaan. Routimisen osalta syiksi havaittiin kerrosten sekoittuminen ja materiaalin huono laatu (routivia), ohuet rakennekerrokset sekä usein erittäin suuret rakennekerrosten paksuusvaihtelut (sekä pituus että poikkisuunnassa). Kantavuusongelmien pääsyiksi koettiin puutteellinen kuivatus, pohjamaan heikko kantavuus ja liian ohuet rakennekerrokset (erityisesti reunoilla). Reunojen kantavuusongelmiin ja painumiseen vaikuttivat lisäksi liian kapea piennar ja jyrkät luiskat.

Ongelmakartoituksen ja koekuoppakohteiden jaottelun pohjalta karsittiin aineistoa ja valittiin 8 ongelmiltaan mahdollisimman erilaista koerakennuskohdetta, joihin kuhunkin suunniteltiin 1-4 erilaista rakenneratkaisua ongelmien korjaamiseksi. Lähtökohtana oli, että korjaaminen ei saa olla väliaikaisratkaisu, vaan sillä täytyy päästä pysyviin tuloksiin ja rakentaminen on toteutettavissa tiemestaripiirien omilla resursseilla. Muita kriteerejä olivat mm. edullisuus, suhteellisen ohuiden rakennekerrosten käyttäminen, rakenteiden muodonmuutoskestävyys ja paikallisten materiaalien hyödyntäminen. Rakenteilla ei pyritä täysin estämään routaliikeitä vaan tasoittamaan niitä (poikkeuksena eristeet). Koerakennuskohteet ja niissä esiintyneet ongelmat sekä suunnitellut korjausratkaisut esitetään tässä väliraportissa. Rakenneratkaisut kuvataan toteutuneessa muodossaan ja muutokset väliraportti I:ssä esitettyihin tyyppikuviin esitetään taulukoituna.

Tutkimusprojektiin liittyvä koerakentaminen ja rakentamisen suunnittelu tehtiin vuosien 1991-1992 aikana. Erilaisia rakenteita toteutettiin viiden eri

tiemestaripiirin alueella yhteensä 17 kpl. Koerakennuskohteet ja niissä toteutetut koerakenteet on esitetty liitteessä 1.

Ennen varsinaista koerakentamista aloitettiin edellä mainittujen kohteiden seuranta vaaituksin ja kantavuusmittauksin. Varsinainen instrumentointi tehtiin kuitenkin pääsääntöisesti vasta kunkin kohteen rakentamisen yhteydessä. Valmiita rakenteita seurataan muutamia vuosia, jonka jälkeen tehdään lopulliset arviot niiden käyttökelpoisuudesta. Ohjeluonnos ilmestyy kuitenkin jo aikaisemmin.

3. KOHTEIDEN LÄHTÖTILANNE JA KORJAUSRATKAISUT

Tässä luvussa esitetään väliraportti I:ssa esitettyä lähtötilannetta ja valittuja korjausratkaisuja koskeva tieto tarkennettuna. Lisätietoa on saatu tehtyjen seuranta-vaaitusten ja koerakentamisen yhteydessä.

Toteutetut ratkaisut ja niiden tavoitteet on esitetty koottuna liitteessä 1. Liitteestä ilmenee myös rakenteiden ja mittauslaitteiston tarkka sijoittuminen kohteissa. Liitteeseen 2 on koottu väliraportti I:n ilmestymisen jälkeen tehdyt muutokset koerakenteisiin. Väliraportin kuvien lisäksi on koerakentamissuunnitelmissa esitetty jokaisesta rakenteesta mallipoikkileikkaus.

3.1 Kohde 4, Juuka

1. Alkutilanne ja ongelmat

Tien rakennekerrokset ovat kokonaisvahvuudeltaan 10-15 cm. Paikoin tien reunoilla pohjamaa kuitenkin ulottuu aivan tien pintaan saakka. Sijaintipaikka on vanhaa järven pohjaa. Pohjamaa on laihaa savea, joka sisältää isojakin kiviä. Pohjaveden pinta on keväällä noin metrin syvyydellä tien pinnasta.

Tiellä esiintyy kantavuusongelmia ja paikoin epätasaista routimista. Tien reunat pehmenevät, halkeilevat ja sortuvat ja lisäksi esiintyy yksittäisiä reikiä. Keväällä ojissa, paikoin jopa tiellä, "seisoo" vettä. Epätasainen routiminen on selvintä paaluvälillä 78-103 (koerakenne geovahvistematto + murske) sekä paalulla 125 sijaitsevan rummun kohdalla (koerakenne kipsi-sementti-stabilointi).

2. Koerakenteet

Kohteessa pyritään kantavuuden parantamiseen kerrospaksuuksia kasvattamalla. Epätasaista routanousua tasoittavia rakenneratkaisuja suosittiin. Kuivattavia koerakenteita ei kokeilla (tasainen alue). Toteutetut rakenteet olivat biotiitti-murske kerros, murskekerros yhdessä suodatinkankaan tai geovahvistematon kanssa sekä kipsi-sementti-stabilointi.

3.2 Kohde 5, Juuka

1. Alkutilanne ja ongelmat

Tien pinnassa on noin 10 cm:n murskekerros ja tämän alla noin 50 cm:n kerros osittain pohjamaahan sekoittunutta soraa, jossa esiintyy paljon kiviä. Pohjamaa on hiekkamoreenia. Pohjavesi nousee keväällä lähes tienpinnan korkeudelle.

Ongelmana tiellä on heikko kevätkantavuus ja ojien tukkeutuminen reunojen levityksessä. Routaheittoja ei esiinny.

2. Koerakenne

Tien reunojen leviäminen pyritään estämään geovahvisteella. Kuivattavia rakenteita ei kokeilla.

3.3 Kohde 15, Pielavesi

1. Alkutilanne ja ongelmat

Tien rakennekerrosten paksuus vaihtelee välillä 20-60 cm. Alaosistaan ne ovat sekoittuneet alla olevaan, myöskin vaihtelevan paksuiseen ja voimakkaasti routivaan silttikerrokseen. Siltin alla oleva pohjamaa on hiekkaa.

Ongelmana ovat talvisin poikittaiset, koko tien levyiset routaheitot.

2. Koerakenne

Erityisesti routivan silttikerroksen vedensaintia pyritään rajoittamaan ratkaisulla, jossa tien molemmille reunoille pystysuuntaan asennetut salaojamatot kuivattavat rakennetta. Salaojamattojen keräämä vesi johdetaan salaojaputkia pitkin sivuojaan.

3.4 Kohde 18, Pielavesi

1. Alkutilanne ja ongelmat

Tiellä on noin 5 cm:n kulutuskerros, jonka alla on vaihtelevan paksuinen ja lievästi routiva noin 25 cm:n hiekkakerros. Todennäköisesti hiekka on van-

haa tierakennetta, joka on osittain sekoittunut alla olevaan moreenikerrokseen. Moreeni on voimakkaasti routivaa ja sisältää lohkareita.

Ongelmana on epätasainen routiminen tien poikkisuunnassa. Seurauksena on tien "kallistelu".

2. Koerakenne

Tien epätasainen routiminen johtuu todennäköisesti joko kalliopintaa tai hyvin vettä johtavaa kerrosta pitkin tien alle valuvasta vedestä, joka edesauttaa moreenin routimista. Routivan kerroksen paksuus tien alla todennäköisesti vaihtelee. Ongelma pyritään korjaamaan katkaisemalla veden virtaus tien alle tekemällä sorasalaoja veden valumapuolelle sivuojan kohdalle ja johtamalla sen keräämä vesi pois ongelmapaikalta.

3.5 Kohde 22, Kiuruvesi

1. Alkutilanne ja ongelmat

Kohde sijoittuu pituuskaltevaan rinteeseen. Tien rakennekerrosten paksuus vaihtelee pääosin 10-25 cm:n välillä ollen kuitenkin rinteiden yläpäässä, sorasalaojarakenteen kohdalla, hieman tätä paksumpi. Rakennekerrosten alaosa on sekoittunut pohjamaahan. Pohjamaa on pääosin savea, mutta rinteiden yläpäässä esiintyy lisäksi moreenia ja kallio on lähellä pintaa. Routavaaitusten ja kantavuusmittausten perusteella rajakohta on noin paalulla 120, jonka jälkeen kantavuus kasvaa ja routanousut pienenevät.

Kantavuusongelmat ja routaheitot ovat pääasiallisimpina ongelmina. Lisäksi tien reunat pyrkivät leviämään sivuille, jolloin ojat täyttyvät ja kuivatus ei toimi. Kohteessa esiintyy myös muutamia yksittäisiä reikiä ja silmäkkeitä.

2. Koerakenteet

Kohteessa kokeillaan kolmea erilaista rakenneratkaisua, joista kaksi perustuu kuivatuksen parantamiseen ja yksi kantavuuden lisäämiseen rakennepaksuutta kasvattamalla.

Paaluvälillä 50-100 rinteiden yläpäässä, jossa veden poisjohtaminen rakenteista on helpompi toteuttaa, kuivatusta tehostetaan tien alle vaakatasoon asennettavalla salaojamatolla. Maton keräämä vesi johdetaan tien keskilinjalla olevan salaojaputken kautta pois. Paaluvälillä 100-150 käytetään sorasalaojitusta tien molemmiin puoliin. Näillä rakenteilla pyritään kuivatta-

maan tien alla olevia kerroksia ja näin parantamaan kevätkantavuutta ja vähentämään routimista.

Kolmannessa korjausratkaisussa tien kantavuutta lisätään tekemällä biotiitti-kipsi-seoksesta omarakennekerros. Laboratoriokokeiden perusteella kerroksesta tulee lujituttuaan stabilointien kaltainen laattamainen rakenne. Rakenteen tarkoituksena on myös tasata routaheittoja.

3.6 Kohde 40, Pirkkala

1. Alkutilanne ja ongelmat

Kohde sijaitsee loivassa, tien pituussuuntaisessa rinteessä järven rannalla. Rakennekerrosvahvuudet keskitiellä vaihtelevat koerakenteen kohdalla 20-40 cm:n välillä. Reunoilla pohjamaa tulee paikoin lähes pintaan saakka. Vertailuosuudella kerrokset ovat hieman edellistä paksummat. Pohjamaa on lihavaa savea muuttuen syvemmällä saviseksi siltiksi. Pohjavesipinta on alle kahden metrin syvyydellä.

Ongelmana on heikko kevätkantavuus. Lisäksi paalulta 40 lähtien esiintyy silmäkkeitä ja tienreunan halkeilua. Reunat leviävät vähitellen ojiin päin.

2. Koerakenne

Kohteessa käytetään eristeenä toimivaa ja samalla lisäkantavuutta antavaa 20 cm:n tuhkakerrosta tierakenteessa. Materiaalien sekoittuminen pohjamaan estetään suodatinkankaalla.

3.7 Kohde 42, Pirkkala

1. Alkutilanne ja ongelmat

Kohde sijaitsee rinnepaikassa, jossa tie ylittää vanhan kuivuneen jokioman. Rakennekerrosten paksuus vaihtelee voimakkaasti ollen paksuimmillaan tien keskilinjalla jopa 90 cm. Reunoilla kerrokset ovat huomattavasti ohuempia, paikoin alle 5 cm. Paaluvälillä 0-50 kerrosvahvuudet keskilinjalla vaihtelevat välillä 15-50 cm ollen kuitenkin pääosin alle 30 cm. Paalun 50 jälkeen rakennekerrosten paksuus on hieman suurempi. Koko alueella rakennekerrokset ovat alaosistaan sekoittuneet pohjamaan ja ovat sen vuoksi ainakin niiltä osin routivia. Pohjamaa on savea, jossa esiintyy myös suuria kiviä.

Ongelmana on heikko kevätkantavuus varsinkin paaluväleillä 0-25 ja 40-70 ja tien pintaan muodostuvat savisilmäkkeet. Erityisen vaikea kohta on paaluvälillä 55-69 (reiät, kantavuus, reunan sortuminen). Korjaamiseen käytetty murske sekoittuu aina vähitellen pohjamaahan.

2. Koerakenteet

Ongelmiin pyritään löytämään ratkaisu parantamalla kantavuutta ja samalla estämällä rakennekerrosten sekoittuminen pohjamaahan. Rakennerratkaisuihin kokeillaan Finnstabi-stabilointia ja uuden murskekerroksen alle sijoitettavaa geovahvistemattoa.

3.8 Kohde 50, Vilppula

1. Alkutilanne ja ongelmat

Koeosuudella rakennekerrosten paksuusvaihtelu tien poikkisuunnassa on voimakasta. Reunoilla kerrokset ovat kauttaaltaan ohuet, 5-15 cm, keskitiellä kerrospaksuus vaihtelee 45-70 cm:n välillä. Ajokaistan keskellä kerrokset ovat yli 75 cm:n vahvuiset. Rakennekerrokset ovat osin sekoittuneet pohjamaahan, joka on savista silttiä.

Kohteen rakentamisen yhteydessä todettiin, että kaikkien instrumentoitujen tiepoikkileikkausten kohdalla, lukuunottamatta vertailuosuutta, oli rakennekerrosten alapuolella noin 10 cm:n paksuinen turvekerros. Paalulla 140 tie on rakennettu puutelan päälle. Tällä kohdalla rakennekerrokset ulottuivat hieman yli metrin syvyydellä olleeseen telaan saakka, jonka alapuolella oleva pohjamaa oli turvetta. Tarkempaa tietoa telarakenteen esiintymisestä tien alla ei ole, koska muiden instrumenttikaivojen kohdalla rakennetta ei todettu. Todennäköisesti telarakenne rajoittuu vain pienelle alueelle rakennetun masuunikuonarakenteen alla. Asian selvittäminen esimerkiksi maatutkamittauksella kuitenkin selventäisi lähtötilannetta.

Rakentamisaikana todettiin, että masuunikuona- ja kevytsorarakenteiden rajalla, noin paalulla 175 on tien alla lähde.

Ongelmana on heikko kevätkantavuus lähes koko alueella (plv 45-90, 100-145 ja 180-200) ja reunojen halkeilu ja painuminen. Raiteita muodostuu koko tarkkailuosuudella. Lisäksi paaluvälillä 155-200 on esiintynyt routakouhemia koko tien leveydeltä.

2. Koerakenteet

Koerakenteilla pyritään parantamaan tien heikkoa kevätkantavuutta (myös tien reunoilla) ja samalla, geovahvisteverkkoa lukuunottamatta, estämään pohjamaan sekoittuminen rakenteisiin. Stabiloinneissa syntyvä laattamainen rakenne sopii em. tarkoitukseen hyvin. Lisäksi stabiloitu rakenne tasoittaa epätasaista routimista. Kevytsorarakenteella parannetaan lämmöneristyskykyä ja siten vaikutetaan tien routakäyttämiseen.

4. MATERIAALITUTKIMUKSET

4.1 Yleistä

Suomen Geotutkimus SGT Oy suoritti materiaalitutkimukset materiaaleille, joita käytettiin Sorateiden kelirikkovaurioiden korjaaminen -projektin eri kohteissa.

Tässä luvussa on lyhyesti käsitelty Pirkkalan, Vilppulan ja Juuan tiemestari-piirien alueella käytettyjen materiaalien laboratoriossa suoritettut tutkimukset ja niiden tulokset. Käytetyt materiaalit olivat Kemira Oy Vuorikemian kehittämä Finnstabi-B, Suomen Kuonajaloste Oy:n granuloitu masuuni-kuona, Lohjan Ympäristöteknologia -jaoksen kehittämät rikinpoistojäteseokset, Kemira Fibresin voimalaitostuhka sekä Kemira Oy Siilinjärven tehtaiden biotiitti ja prosessikipsi. Yksityiskohtaisemmat tulokset näille materiaaleille suoritetuista tutkimuksista ja tuloksista esitetään tielaitoksen julkaisuissa Sorateiden kelirikkovaurioiden korjaaminen, väliraportti II, prosessikipsin ja biotiitin materiaalitutkimukset sekä väliraportti III, materiaalitutkimukset.

4.2 Suoritettut tutkimukset

Laboratoriossa tehtiin puristuskokeilla lujuusselvityksiä eri ikäisille näytteille. Tällä tavoin saatiin arvioitua materiaalin ajan myötä tapahtuvaa lujuuskehitystä. Lujuuskokeilla arvioitiin myös joidenkin näytteiden kosteuskestävyyttä vesipitoisuuden ja lujuuden välisen suhteen avulla.

Lujuusselvitysten lisäksi tutkittiin materiaalien tiiveyttä vedenläpäisevyysskokein. Vedenläpäisevyysskokeet suoritettiin vakiopainelaitteistolla usean vuorokauden kokeena.

Materiaaleista liukenevien aineiden määrää selvitettiin liukenevuusanalyysin. Liukenevuusanalyysit suoritettiin materiaalista riippuen vesiuuttosisesta suodoksesta tai ENA-testillä. Joidenkin materiaalien kokonaisalkuainepitoisuuksia tutkittiin myös typpihappouuttosisesta suodoksesta (HNO₃-uutto SFS 3044). Analyysit tehtiin AAS-laitteella käyttäen grafiittuuniteknikkaa.

Routakokeita suoritettiin vakiolämpötilakokeena joillekin materiaaleille.

Rikinpoistojäteseoksilla ja granuloitua masuunikuonaa sisältävillä seoksilla stabiloidun Vilppulan murskeen, Finnstabi-B -seoksella stabiloidun Pirkkalan murskeen sekä biotiitti + kipsi -seosten ja kipsillä stabiloidun Juuan murs-

keen lämmönjohtavuuksia tutkittiin lämmönjohtavuussondilla lujittuneista näytteistä. Lämmönjohtavuuksia verrattiin sitomattoman tiivistetyn murskeen lämmönjohtavuuteen.

Osalle näytteistä suoritettiin lisäksi dynaamiset kuormituskokeet. Kokeessa selvitettiin stabiloidun materiaalin dynaamista kuormituskestoa usean kuormasyklin ajan.

4.3 Pirkkalan murskeen stabilointi

Finnstabi-B

Pirkkalan murskeen stabilointiin valittiin esitutkimusvaiheessa useita erilaisia Finnstabi-B + sideaine -seoksia. Esitutkimusvaiheen kokeet ja seosvalinnat suoritettiin puristuskokeiden tulosten perusteella.

Esikokeissa todettiin, että Finnstabi-B:hen sekoitetulla sideaineella ja sideainemäärällä oli suuria vaikutuksia materiaalin lujuuteen. Soveliaimpia sideaineita olivat CaO ja masuunisementti. Myös sideainesuhteella oli vaikutusta materiaalien lujuuteen.

Murskeen stabiloinnissa tasaisesti parhaimmat lujuudet saavutettiin Finnstabi-B + CaO 8:1 -seoksella ja 16% sideainemäärällä. Laajemmat tutkimukset suoritettiin tällä seoksella.

Finnstabi-B + CaO 8:1 -seoksella stabiloidun murskeen murtolujuus vaihteli näytteen iästä riippuen välillä 11 MPa (30 vrk tulos) ja 14 MPa (90 vrk tulos).

Finnstabi-B + CaO 8:1 -seoksella stabiloitu murskekoekappale oli huomattavan tiivis. Tästä oli osoituksena hyvin alhaiset vedenläpäisevyydetulokset. Stabiloidun murskeen vedenläpäisevyyškertoimen arvo oli noin $8,4 \times 10^{-9}$ m/s, mikä vastaa siltin vedenläpäisevyyden arvoa.

Finnstabi-B + CaO 8:1 -seoksella stabiloidun näytteen liukenevuusanalyysit suoritettiin vesiuuttoisesta suodoksesta. Materiaalista liukenevien aineiden määrä jäi varsin vähäiseksi. Lisäksi liukenevuuksia saadaan todennäköisesti vieläkin pienennettyä, kun näyte stabiloidaan ja tiivistetään huolella (vrt. vedenläpäisevyydetulos).

Lämmönjohtavuuskokeilla saatiin stabiloidun murskeen lämmönjohtavuudeksi tulos $\lambda = 1,04 \text{ W/mK}$. Tulos vastaa tiivistetyn murskeen lämmönjohtavuutta.

Finnstabi-B + CaO 8:1 -seoksella stabiloidun näytteen lujuutta tutkittiin myös dynaamisella kolmiaksaalikokeella. Materiaali kesti erittäin hyvin dynaamista rasitusta. Dynaamisessa kuormituskokeessa ei havaittu syntyvään pysyviä muodonmuutoksia ollenkaan ja M_c -moduuliksi saatiin peräti 5300 MPa.

4.4 Vilppulan murske

4.4.1 Granuloitu masuunikuona

Esitutkimusvaiheessa Vilppulan murskeen stabilointia tutkittiin erilaisilla masuunikuona + sideaine -seoksilla. Lujuuskokeiden mukaan murske saatiin parhaiten lujittumaan seoksella, jossa oli käytetty sideaineena masuunikuona 30% + CaO 0,6% -seosta. 90 vrk ikäisillä näytteillä tällä seoksella saavutettiin noin kolminkertaiset lujuudet muihin näytteisiin verrattuna. 90 vrk murtolujuudet nousivat tällä seoksella stabiloiduilla näytteillä tasolle 2100 kPa.

Kosteuskestävyys oli masuunikuona + CaO -seoksilla stabiloitujen näytteiden kohdalla selvästi muita parempi. Pelkkä sitomaton murske ja masuunikuonalla stabiloitu murske hajosivat veteen näytteen kosteuden kasvaessa. Myös masuunikuona + sementti -seoksella stabiloitujen näytteiden koossa pysyminen ja lujuus oli heikompaa kuin masuunikuona + CaO -näytteiden.

Masuunikuonan lisäys murskeeseen lisäsi veden suotautumista näytteen läpi. Tämä johtui rakenteen huokoisuuden kasvamisesta. Ajan myötä (näytteen lujittuessa) saattaa suotautuminen kuitenkin jonkin verran pienentyä. Murske + masuunikuona 30% + CaO 0,6% -näytteen vedenläpäisevyys oli noin $3 \times 10^{-7} \text{ m/s}$.

Lämmönjohtavuus aleni masuunikuonalla käsitellyssä rakenteessa. Mitä enemmän rakenne sisälsi kuonaa sitä huokoisemmaksi rakenne tuli ja samalla lämmöneristyskyky kasvoi. Aktivaattorin käyttö (CaO) vastaavasti lisäsi lämmönjohtavuutta jonkin verran. Masuunikuona 30% + CaO 0,6% -rakenteen lämmönjohtavuus $\lambda = 0,8 \text{ W/mK}$ oli keskimäärin samaa luokkaa kuin sitomattoman tiivistetyn murskeen.

Masuunikuonan käyttö murskeen stabilointiin ei lisää rakenteen raskasmetallipitoisuuksia. Myös liukenevien aineiden määrä säilyy luonnontilaisella tasolla.

4.4.2 Rikinpoistojäteseos 1 ja seos 2

Rikinpoistojäteseoksilla 1 ja 2 saavutettiin selvästi murskemateriaalin - lujutta ja kantavuutta parantava rakenne. Varsinkin seosta 1 käytettäessä lujuskehitys oli tasaisen kasvava vielä 90 vrk kuluttua stabiloinnista. Seoksella 1 stabiloidulla murskeella saatiin 90 vrk murtolujuudeksi peräti 10 MPa. Seoksella 2 stabiloidulla näytteellä murtolujuus oli noin 5,8 MPa.

Stabiloidun rakenteen dynaaminen kuormituskesto oli jo 7 vrk lujittumisajan jälkeen parempi kuin sitomattoman kerroksen. Todennäköisesti kestävyys vielä paranee ajan myötä.

Stabiloitujen materiaalien vedenläpäisevyys- ja lämmönjohtavuusominaisuudet vastasivat luonnonmateriaalin arvoja. Murskemateriaalin alkuainepitoisuuksiin seokset tuovat jonkin verran muutoksia. Kerroksesta liukenevien aineiden määrä pysyy samalla tasolla tai jopa alenee, kun murskekerros stabiloidaan. Ainoa ongelmallinen seikka oli stabiloidun rakenteen suuri rikkipitoisuus ja tästä aiheutuva suurempi rikin liukenevuus. Rikin liukenevuutta voidaan todennäköisesti alentaa tiivistämällä rakenne niin, että kerroksen läpi suotautuvan veden määrä pienenee.

4.5 Biotiitin ja prosessikipsin stabilointi sekä prosessikipsin käyttö Juuan murskeen stabilointiin

Materiaalitutkimuksella haluttiin selvittää prosessikipsin ja biotiitin käyttömahdollisuuksia tien rakennekerroksissa. Laboratoriossa selvitettiin sekä pelkän kipsin ja kipsi + biotiitti -seosten stabilointia että näiden materiaalien käyttöä osana Juuan murskeen stabilointiin

Esivaiheessa selvitettiin mm. kipsin kovettamismahdollisuuksia sekä biotiitti + kipsi -seoksen stabilointia eri sideainevaihtoehdoilla. Murskeen stabilointiin käytettiin erilaisia kipsi + aktivaattori -seoksia. Jonkin verran kokeiltiin myös biotiitti + murske -seoksen stabilointia eri sideaineseoksilla.

Eri seosten stabiloinnin jälkeen laboratoriossa suoritettiin useita lujustutkimuksia ja materiaalien kosteuden kestävyyttä. Seuraavissa luvuissa on esitetty lyhyesti tutkimuksessa saatuja kokemuksia käyttökelpoisista rakenne-

vaihtoehtoista. Kipsin kovettaminen ei onnistunut halutulla tavalla, joten sen selvitykset on jätetty tästä kokonaan pois.

4.5.1 Prosessikipsi sideaineena

Prosessikipsi soveltui hyvin Juuan koekohteen tyyppisen materiaalin stabilointiaineeksi kun sen kanssa käytettiin sopivaa aktivaattoria.

Prosessikipsin kanssa tulisi käyttää masuunikuona + sementti -seosta tai sementtiä. Jo 10% kokonaissideainemäärällä saavutetaan riittävän hyvä lujuus.

Masuunikuona + yleissementti -seos oli prosessikipsin kanssa pelkkää yleissementtiä lupaavampi, koska se säilytti eri kosteudessa lujuuden paremmin, minkä lisäksi sen pitkäaikaislujuuskehitys oli parempi.

Vaikka prosessikipsillä stabiloitu murske osoittautui lievästi routivaksi, se tuskin muodostuu käytännössä ongelmaksi.

Yleissementti + kalkki -lisäaineella saatiin lujittuminen myös onnistumaan, mutta lujuudet olivat alhaisempia, lujittuminen vaati enemmän aikaa. Lisäksi materiaali imi vettä itseensä enemmän.

Masuunisementtiä ja yleissementtiä käytettäessä materiaalista tuli suhteellisen tiivis ($k = 10^{-8} \dots 10^{-9} \text{ m/s}$). Lämmönjohtavuusarvot olivat lähellä luonnonmateriaalin arvoja ($\lambda = 0,7 \dots 0,8 \text{ W/mK}$).

Jatkotutkimus olisi mielekästä keskittää prosessikipsi + masuunikuona + yleissementti -sideaineen kehittämiseen.

Sideainesovelluksiin löytyisi aivan uusia mahdollisuuksia mikäli dihydraattimuodossa oleva kipsi muutettaisiin vaikka osittain hemihydraatti-muotoon.

4.5.2 Biotiitti + prosessikipsi 1:1 -seoksen stabilointi

Biotiitti + prosessikipsi -seos oli lujitettavissa eri sideaineyhdistelmillä, joista parhaimmiksi osoittautuivat yleissementti sekä masuunikuona + yleissementti -seos. 30 vrk puristuslujuus näillä sideaineilla oli $\geq 3000 \text{ kPa}$ (sideainemäärä 15%).

Kosteuden vaikutus lujuuteen oli ratkaisevasti erilainen riippuen siitä, mitä sideainetta käytettiin. Kun sideaineena käytettiin masuunikuona + CaO -seosta, imi näyte runsaasti vettä (12% → 33%) samalla kun lujuuden pieneneminen oli noin 80%. Yleissementillä stabiloidun näytteen lujuus putosi hieman eli noin 20%, mutta masuunikuona + yleissementti -seoksella stabiloitu näyte säilytti lujuutensa likipitään samana.

Yleissementillä tai masuunikuona + yleissementti -seoksella stabiloitu biotiitti + prosessikipsi 1:1 -seos ei juurikaan roudi (routanousu < 1%). Useaan kertaan tapahtuva jäätyminen ja sulaminen voi löyhdyttää rakennetta mikäli vettä on runsaasti saatavissa.

Stabiloidun biotiitti + prosessikipsi 1:1 -seoksen lämmönjohtavuudet olivat kipsin luokkaa tai hieman pienemmät ($\lambda = 0,48...0,55$ W/mK). Vedenläpäisevyydet olivat myös kipsin luokkaa ($k \sim 10^{-6}$ m/s).

Biotiitti + prosessikipsi 1:1 -seoksesta on kehitettävissä tien rakennekerrokseen soveltuva materiaali kun sideaineena käytetään masuunikuona + yleissementti -seosta, joka parhaan lujuuden lisäksi säilyttää lujuuden myös kosteana. Suurin riski näyttäisi olevan useat jäätymis-sulamis-syklit, joiden vaikutukset nähdään paremmin koerakennetutkimuksessa. Jatkotutkimuksessa tulisi selvittää masuunikuona + yleissementti -seoksen optimaaliset seossuhteet, sideainemäärä ja aikalujittuminen. Näiden tutkimusten perusteella pystyisi myös arvioimaan seoksen käytön taloudelliset mahdollisuudet.

4.5.3 Biotiitti + murske 1:1 -seoksen stabilointi

Biotiitti + murske 1:1 -seos oli varsin hyvin lujitettavissa eri sideaineilla. Hyvin toimiviksi sideaineiksi osoittautuivat yleissementti ja masuunikuona + yleissementti -seos. Käytettäessä 15% sideainemäärää puristuslujuus oli 7 vrk kohdalla > 5 MPa kasvaen siitä masuunikuona + yleissementti -seoksella stabiloidun näytteen kohdalla aina 30 vrk kohdalla tasolle > 9 MPa. Aikalujittumisessa näkyi masuunikuonan aikaansaama parempi lujuudenkehitys ajan mukana, mikä jatkui melko pitkään myös 30 vrk jälkeen.

Kosteuden vaikutus stabiloitujen kappaleiden lujuuteen oli erilainen kuin biotiitti + kipsi -seoksessa. Sementillä stabiloidun näytteen lujuus putosi vähemmän kuin masuunikuona + yleissementti -seoksella stabiloidun näytteen. Vedellä kyllästettynä puristuslujuuden erot 30 vrk ikäisillä materiaaleilla eivät olleet kuitenkaan ratkaisevan suuria (yleissementillä 5,4 MPa ja masuunikuona + yleissementti -seoksella 4,4 MPa). Koska masuunikuona

na + yleissementti -seoksen lujuuskehitys ajan myötä on hitaampaa, voi 90 vrk tilanne olla päinvastainen.

Lämmönjohtavuusmittauksissa masuunikuona + yleissementti -seoksella stabiloidun biotiitti+murske -seoksen lämmönjohtavuus oli tutkittavista materiaaleista alhaisin ollen luokkaa $\lambda = 0,40$ W/mK. Seoksen vedenläpäisevyys osoittautui myös varsin pieneksi ($k = 10^{-9}$ m/s).

Masuunikuona + yleissementti -seoksella stabiloitu biotiitti+murske 1:1 -seos osoittautui lähes routimattomaksi (routanousu $> 0,2\%$). Useampi jäätymis-sulamiskerta ei näyttänyt vaikuttavan havaittavasti materiaalin lujuuteen.

Biotiitin ja murskeen sekoittaminen vaikuttaa erittäin mielekkäältä. Hyviksi sideainevaihtoehtoiksi osoittautuivat sekä yleissementti että masuunikuona + yleissementti -seos, joista jälkimmäistä voitaneen pitää hyvän pitkäaikaislujuuskehityksen vuoksi parempana. Riskejä lujuuden ratkaisevaan pienenemiseen kosteuden tai jäätymis-sulamisen seurauksena ei näyttäisi olevan.

4.6 Tuhka

Tuhkan raekokojakauman vuoksi materiaali tiivistyi erittäin hyvin ja kuivairtotilavuuspainoksi saatiin 11 kN/m³. Tuhkan tiivistettävyyttä näytti pysyvän hyvänä, vaikka vesipitoisuutta olisi jonkin verran vaihdeltu optimivesipitoisuuden molemmiin puoliin ($18,5\% \pm 0,5\%$).

Materiaalin lujuus vaihteli suuresti tiiveyden mukaan. Kuitenkin 95% tiiveysasteella saavutettiin jo yhtä hyvät tulokset kuin 98% tiiveydellä. Jos materiaalia käytetään rakennekerrokseen, tulee materiaali tiivistää vähintään 95% tiiveyteen.

Tuhkarakenne ei roudi ja todennäköistä on, että 4% sideainelisäys ei lisää routivuutta, vaan myös stabiloitu tuhka on routimatonta.

Tutkimuksissa päädyttiin 4% sideainepitoisuuteen ja tällä määrällä saavutettiin ajan myötä huomattavaa lujuuden kasvua. Tuhkan stabilointiin hyvin soveltuvia materiaaleja olivat masuunisementti ja masuunikuona + Ca(OH)₂ 1:1 -seos, joilla saavutettiin yli 11 MPa murtolujuuksia 90 vrk kokeissa.

Heti stabiloinnin jälkeen vedenläpäisevyyskokeeseen laitettujen näytteiden vedenläpäisevyys vastasivat luonnontilaisen hiekan vedenläpäisevyyden

arvoa. Näytteen lujittumisen seurauksena materiaali näytti samalla tiivistyvän, sillä noin kuukauden ikäisen näytteen vedenläpäisevyys oli pienentynyt oleellisesti ja vedenläpäisevyyskertoimen arvot vastasivat siltti- ja hiekkamoreenien vastaavia arvoja.

Materiaalista liukenevien haitallisten aineiden määrää tutkittiin ENA-testillä. Tuhkasta liukenevien haitallisten aineiden määrä jäi hyvin vähäiseksi. Tuhkan stabilointi vielä vähensi suurimmaksi osaksi näiden aineiden liukenevuuksia. Esimerkiksi sinkin liukoisuus jäi tasolle 30 mg/kg. Tuhkan sinkkipitoisuus on noin 75 g/kg, joten liukeneva määrä jää alle 0,5 % kokonaismäärästä.

4.7 Yhteenveto tuloksista

Saadut tulokset on taulukoitu taulukkoon 1, josta voidaan yhteenvetona vertailla eri materiaalien lujuus- ym. tuloksia.

4.8 Materiaalitoimittajat ja -määrät

4.8.1 Finnstabi-B

Finnstabi-B (rekisteröity tavaramerkki) on Kemira Oy Vuorikemiassa kehitteillä oleva kipsipohjainen sideaine. Finnstabin käyttöalueet ovat tulevaisuudessa syvä-, massa- ja kerrosstabilointi sekä tiivistysrakenteet.

4.8.2 Granuloitu masuunikuona

Suomen Kuonajaloste Oy jalostaa ja markkinoi Rautaruukki Oy:n kuonan granuloiduksi masuunikuonaksi. Nykyisin Suomen Kuonajaloste Oy:ssä tuotetaan granuloitua masuunikuonaa noin 100 000 t/a. Tuotantokapasiteetti on tällä hetkellä 200 000 t/a. Tulevaisuudessa on kuonaa mahdollista toimittaa jopa 400 000 t/a.

4.8.3 Lohjan rikinpoistojäteseokset

Rikinpoistojäteseokset ovat Lohjan Ympäristöteknologia -jaoksen kehittelemiä sideaineseoksia, joiden pääkomponenttina on rikinpoistojäte. Rikinpoistojätteeseen sekoitetaan erilaisia teollisia sideaineita, kuten sementtiä ja

Materiaali	Ominaisuus				
	30 vrk lujuus [MPa]	90 vrk lujuus [MPa]	Dynaaminen Mr-moduuli [MPa]	Lämmönjohtavuus [W/mK]	Vedenläpäisevyyskerroin [x 10 ⁻⁹ m/s]
Pirkkalan Mk + Finnstabi-B + CaO 8:1 16%	12	14	5,3	1,0	8,4
Vilppulan Mk + granuli 30% + CaO 0.6%	1,2	2,1	-	0,8	270
Vilppulan Mk + Rikinpoistojäteseos 1 8%	5,3	10	0,55	1,0	1,8
Biotiitti + kipsi + maku + Se 1:2 15%	3,2	-	-	0,55	257 0
Biotiitti + Juuan Mk + maku + Se 1:2 15%	9,2	-	-	0,4	<1
Juuan Mk + kipsi + Se 1:1 10%	13,5	17, 5	-	0,7	-
Tuhka + MaSe 4%	5,2	11	-	- (ei roudi)	<4 00

Taulukko 1: Yhteenvedo materiaalitutkimusten tuloksista.

Merkinnät:

Mk = murske

granuli = granuloitu masuunikuona

kipsi = prosessikipsi

maku = masuunikuona (jauhettu)

Se = yleissementti

MaSe = masuunisementti

Ca(OH)₂:ta erilaisissa seossuhteissa. Rikinpoistojäteseosten määrät riippuvat saatavilla olevasta rikinpoistojättemäärästä. Vuotuinen rikinpoistojätteen tuotantomäärä pääkaupunkiseudulla on yli 50 000 t. Lisäksi huomattavia määriä rikinpoistojätettä syntyy muualla Suomessa.

4.8.4 Biotiitti ja prosessikipsi

Prosessikipsiä ja biotiittia syntyy sivutuotteena Kemira Oy Siilijärven tehtaalla. Syntyvän biotiitin määrä on noin 6 milj. t/a ja prosessikipsin määrä noin 1,4 milj. t/a (kosteus noin 20-30%).

4.8.5 Tuhka

Kemira Fibresin voimalaitostuhkaa muodostuu tehtaan käyttökapasiteetin ja siten energian tarpeen mukaan. Keskimäärin tuhkaa syntyy noin 9-10000 t/a.

5. RATKAISUTYYPIT

Nykyisin yleisin ratkaisu kelirikkovaurioiden korjaamisessa on kantavuuden parantaminen murskekerrosta kasvattamalla. Tällä tavoin tie saadaan nopeasti korjatuksi, mutta kokonaisuutta ajatellen ratkaisu ei ole taloudellinen. Murske pyrkii vähitellen sekoittumaan pohjamaahan ja saavutettu hyöty pienenee.

Murskeen sekoittumisongelma voidaan välttää käyttämällä suodatinkangasta murskeen alla. Suodatinkankaan käytöstä on saatu erittäin positiivisia tuloksia.

Suodatinkankaan käyttämistä hieman kehittyneempi ratkaisu on geovahvistematon käyttäminen uuden murskekerroksen alla. Matto sekä estää kerrosten sekoittumisen pohjamaahan että pienentää tarvittavia kerrospaksuuksia. Vahviste ottaa vastaan liikenteen kuormituksen aiheuttamia jännityksiä, pienentää rakenteen muodonmuutoksia ja jakaa jännityksiä laajemmalle alueelle. Geovahviste myös tasoittaa jossain määrin epätasaista routimista. Geovahvisteverkko ei erottele kerroksia toisistaan, mutta muilta osin toimii kuten geomattokin.

Geovahvisten käyttäminen reunan leviämisen estämisessä perustuu edellä mainittuihin etuihin. Lisäksi vahviste "ankkuroi" tien reunan estäen sen painumista ja leviämistä. Mikäli tilanteeseen haetaan parannusta muilla ratkaisuilla, joudutaan piennarta leventämään tai loiventamaan luiskaa. Molemmat tavat vaativat tien levittämistä ja materiaalien tarve on suurempi. Vaihtoehtona voi kuitenkin olla esim. Hämeessä kokeiltu ojan täyttämisen karkealla seulontajätteellä, joka tukee reunaa ja toimii samalla eräänlaisena salaojana.

Teollisuuden sivutuotteita pyrittiin tässä tutkimuksessa hyödyntämään kahdella eri tavalla: stabilointien sideaineena tai omana rakennekerrokseena. Biotiitti-murske- ja biotiitti-kipsi-rakenteissa sivutuote toimii runkoaineena ja sen ominaisuuksia pyritään parantamaan sementillä ja maasuunikuonalla. Kyseessä on siis stabiloinnin kaltainen rakenne. Kolmas kokeiltu sivutuote on voimalaitostuhka, josta tehty kerros kasvattaa tien kantavuutta ja toimii lämpöeristeenä.

Stabiloinneilla saavutetaan pitkälti samanlaisia hyötyjä kuin geovahvisteilla. Stabiloitu kerros muodostaa laattamaisen rakenteen, jolloin se kantavuuden paranemisen lisäksi tasaa epätasaista routimista sekä estää kerrosten sekoittumisen pohjamaahan. Stabiloinneissa tavoitteena on ollut mahdollisimman muodonmuutoskestävien ratkaisujen löytäminen. Vanhan tieraken-

teen materiaaleja voidaan tällä tekniikalla käyttää tehokkaasti hyväksi. Suurin ongelma on sopivan työtekniikan löytäminen.

Kuivatusratkaisut muodostavat kokonaan oman koerakenneryhmän. Niiden vaikutus perustuu tehostettuun kuivatukseen, joka vaikuttaa suoraan sekä tien kantavuuteen että routakäyttämiseen. Kerrosten vedensaannin pienentymisen myötä routimisen määrä vähenee ja vesipitoisuuden pienentyessä materiaalien kantavuus paranee.

Lämpöä eristävällä kerroksella (kevytsora ja tuhka) vaikutetaan suoraan tien alapuolisten kerrosten routakäyttämiseen. Samalla eristävä kerros antaa myös lisäkantavuutta ja ratkaisuissa käytetty suodatinkangas estää rakennekerrosten sekoittumisen pohjamaahan.

TOTEUTETUT RATKAISUT TYYPEITTÄIN	
PERUSRATKAISU:	Suodatinkangas + murske
GEOVAHVISTEET:	Geovahvistematto + murske Geovahvisteverkko + murske Geovahviste reunassa
TEOLLISUUDEN SIVUTUOTTEET:	Biotiitti + murske Biotiitti + kipsi Voimalaitostuhka
STABILOINNIIT:	Kipsi-sementti-stabilointi Masuunikuonastabilointi Rikinpoistojättestabilointi Finnstabi stabilointi
KUIVATUSRATKAISUT:	Hydromatto pystyasennossa reunoilla Sorasalaoja tien toisella puolella Sorasalaojat tien molemmin puolin Salaojamatto vaakatasossa tien alla
LÄMMÖNERISTYS:	Kevytsora Voimalaitostuhka (sivutuote)

Taulukko 2: Toteutetut koerakennerratkaisut ratkaisutyypeittäin

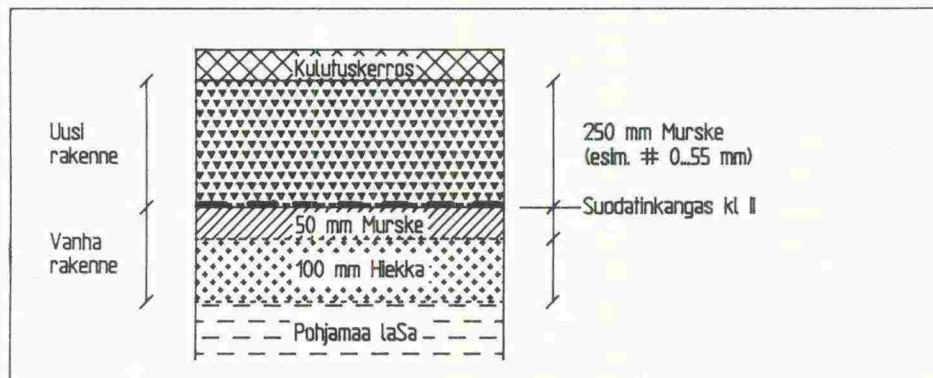
6. KOERAKENTAMINEN RATKAISUTYPEITTÄIN

6.1 Suodatinkankaan käyttäminen

6.1.1 Suodatinkangas ja murske (Juuka)

1. Koerakenne

Koerakenteena on vanhalle tienpinnalle asennettu suodatinkangas, jonka päällä on 25 cm # 0-50 mursketta ja 5 cm kulutuskerros.



Kuva 1: Rakennekerrokset, suodatinkangas ja murske

2. Rakentaminen

Tasatulle pinnalle tien pituussuuntaan levitettiin suodatinkangas, jonka päälle tehtiin edellämainitut murskekerrokset tiehöylällä levittäen.

3. Huomioita

Useimpiin muihin vaihtoehtoihin verrattuna rakenne on huomattavasti yksinkertaisempi ja helpompi toteuttaa. Ainoa tarvittava kone on tiehöylä. Miestyötä tarvitaan ainoastaan suodatinkankaan leikkaamisessa ja levityksessä.

Rakentaminen voidaan suorittaa liikennettä juurikaan häiritsemättä. Mikäli tienpinta on kova ja tasainen, voidaan pelkän suodatinkankaan päällä liikennöidä varovaisuutta noudattaen. Geovahvisteisiin verrattuna suodatinkangas kuitenkin rikkoutuu huomattavasti helpommin. Työn joustava toteuttaminen vaatii kankaan levitystyöhön vähintään 3 miestä.

4. Suoritteita

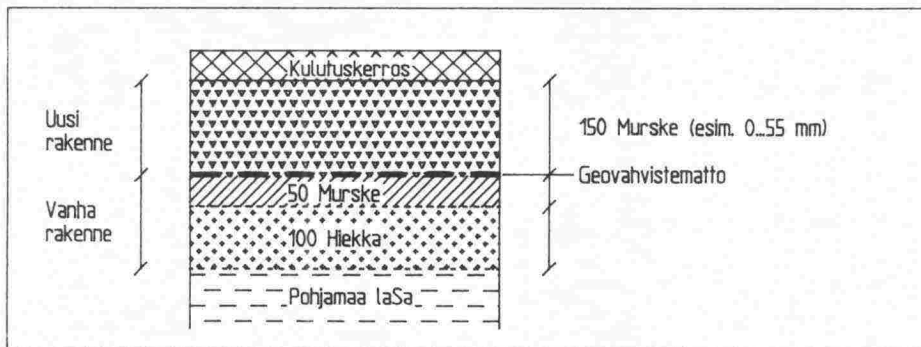
Toteutetun koerakenteen pituus on 40 metriä. Tiehöylällä tienpinnan tasaaminen kesti 5 minuuttia. Kankaan leikkaamiseen ja levittämiseen kului 3 mieheltä alle puoli tuntia. Lisäksi heidän on varmistettava suodatin-kankaan pysyminen suorassa ensimmäisten murskekuormien levittämisen aikana.

Työhön kuluva aika riippuu pääosin materiaalin kuljetusmatkasta.

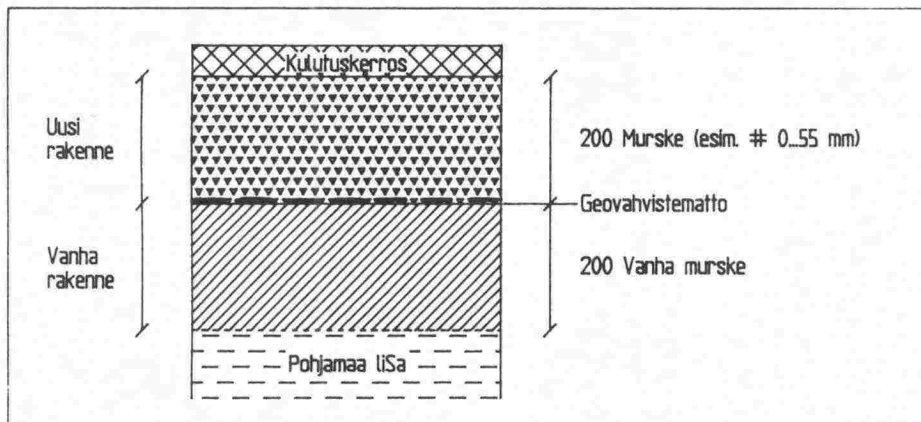
6.2 Geovahvisteet

6.2.1 Geovahvistematto ja murske (Juuka ja Pirkkala)

1. Koerakenne



Kuva 2: Rakennekerrokset, geovahvistematto ja murske (Juuka).



Kuva 3: Rakennekerrokset, geovahvistematto ja murske (Pirkkala).

Juussa ja Pirkkalassa koerakenteena on vanhan tienpinnan päälle asennettu geovahvistematto, jonka päällä on murskekerros. Juuan kohteessa käytetty kerrospaksuus on 15 cm (#0-50 mm) ja Pirkkalassa 20 cm (#0-65

mm). Lisäksi molemmissa kohteissa tehtiin uusi kulutuskerros. Juuan kohteessa käytetty mattotyyppi on Stabilenka 200/45 (lev.5.0 m) ja Pirkkalassa Televev 150/150 (lev. 5.2 m).

2. Rakentaminen

Tasatulle pinnalle levitettiin geovahvistematto tien poikkisuuntaan (6.5 m) siten, että limitys tien suunnassa oli vähintään 0.5 m. Maton päälle tehtiin edellä mainitut kerrokset murskeesta kuormatulla kuorma-autolla tiivistäen.



Kuva 4: Murskekerroksen rakentaminen geovahvistematon päälle.

3. Huomioita

Rakentaminen on yksinkertainen ja nopea toteuttaa. Rakentamiseen tarvittava aika riippuu pääasiassa kiviainesten kuljetusmatkoista. Rakentamistyössä tarvittava ainoa kone on tiehöylä.

Miestyötä tarvitaan geomaton leikkaamisessa, levityksessä sekä sen suorassa pitämisessä. Mattorullan joustavan käsittelyn takia sopiva ryhmä-koko on 3-4 miestä.

Rakentaminen voidaan tehdä liikennettä häiritsemättä. Mikäli tienpinta on kova ja tasainen, voidaan pelkän vahvistekudoksen päällä liikennöidä varovaisuutta noudattaen.

Vahvistematto täytyy suoristaa ennen murskeen levittämistä. Matto kannattaa kiristää (vetojännitys) ennen murskeen levittämistä, mikäli se on kohtuullisella työmäärällä toteutettavissa. Soratierakenteessa maton kiristäminen ei kuitenkaan ole ratkaisevaa, koska rakenteessa sallitaan pienet muodonmuutokset.

Kohteissa käytettyjen mattojen lujuus on huomattavasti suurempi kuin esimerkiksi Pirkkalassa käytetyn Telelev-geovahvisteverkon. Vahvistemattojen neliöhinta on kuitenkin vastaavasti hieman kalliimpi.

4. Suoritteita

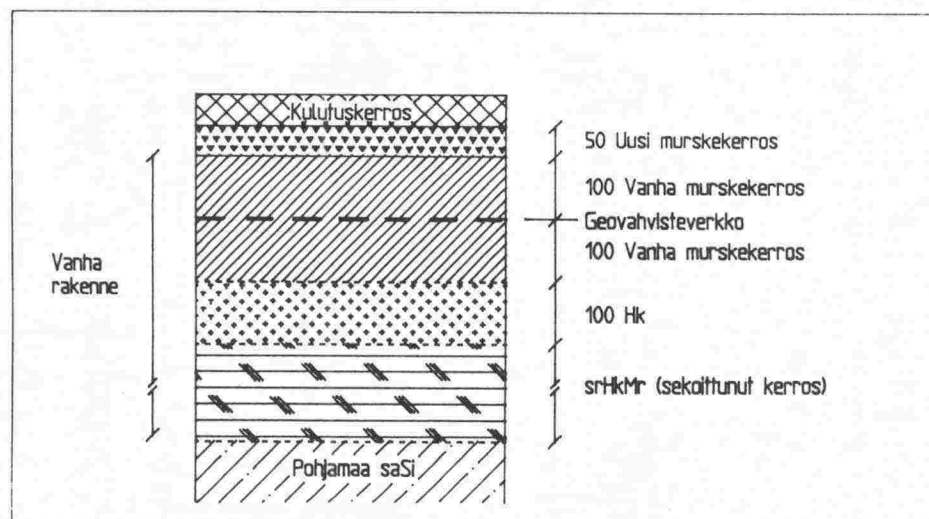
Juussa toteutetun koerakenteen pituus on 40 m ja Pirkkalassa toteutetun 34 m. Tiehöylällä tapahtuva tienpinnan tasaaminen ennen maton levitystä vei noin viisi minuuttia. Maton leikkaamiseen ja levittämiseen kului 3-4 mieheltä alle 0.5 tuntia. Lisäksi miesten täytyi vielä huolehtia vahvistematon suorassa pysymisestä ensimmäisten murskekuormien levittämisen aikana.

Rakentamistyöhön kuluva aika riippuu pääosin murskeen ajomatkasta.

6.2.2 Geovahvisteverkko ja murske (Vilppula)

1. Koerakenne

Koerakenteena on geovahvisteverkko (Kaitos Oy: Fortrac 35/20-20), jonka päällä on kulutuskerros mukaanluettuna vähintään 20 cm mursketta.



Kuva 5: Rakennekerrokset, geovahvisteverkko ja murske.

2. Rakentaminen

Alkuperäisestä tienpinnasta siirrettiin tiehöylällä tiepohjan tasauksen yhteydessä noin 10 cm mursketta tien reunoille. Geovahvisteverkko levitettiin tien pituussuuntaan siten, että keskellä limitys oli yli 1 m. Vanha murske levitettiin verkon päälle traktorikaivurilla. Lisäksi tielle levitettiin uutta mursketta siten, että päästiin rakenteen tavoitepaksuuteen. Lopuksi tehtiin uusi kulutuskerros.



Kuva 6: Geovahvisteverkon levitystä.

3. Huomioita

Rakenne on helppo ja suhteellisen nopea toteuttaa. Sen tekeminen ei häiritse liikennettä juuri ollenkaan, koska verkon päällä voidaan liikennöidä (varovaisuutta noudattaen) pohjan ollessa kova ja tasainen.

Tässäkin kohteessa tuli esille vanhan murskekerroksen käyttämiseen liittyvät vaikeudet. Siirrettäessä tiehöylällä mursketta tien reunoille, valui osa murskeesta sivuojiin. Todennäköisesti parempi tapa olisikin ollut murskeen kasaaminen välivarastoon. Näin menetellen rakennusaika olisi hieman lyhentynyt.

Traktorikaivuria tarvittiin murskeen siirtämiseen reunoilta takaisin tielle, sillä tiehöylällä työ ei onnistunut. Tien reunat ovat usein niin pehmeät, että liikkeessaan tiehöylä helposti aiheuttaa painumia. Mikäli vanha tienpohja on

kuitenkin niin leveä, että reunoille siirretyn murskeen saa tiehöylällä myös takaisin tielle, kannattaa tätä tapaa luonnollisesti käyttää.

Geoverkko täytyy suoristaa ennen murskeen levittämistä.

4. Suoritteita

Koerakenteen pituus on 50 m ja sen toteuttamiseen edellä kuvatulla tavalla, lukuunottamatta murskeen ajoa, kului noin 2.5 tuntia. Pelkästään uutta mursketta käytettäessä rakentamisaika vastaa suodatinkankaan käyttöä.

Vanhan murskeen irroitus ja sivuille kasaaminen kesti tiehöylällä noin 45 min. Lisäksi tiehöylällä viimeisteltiin lopullinen pinta.

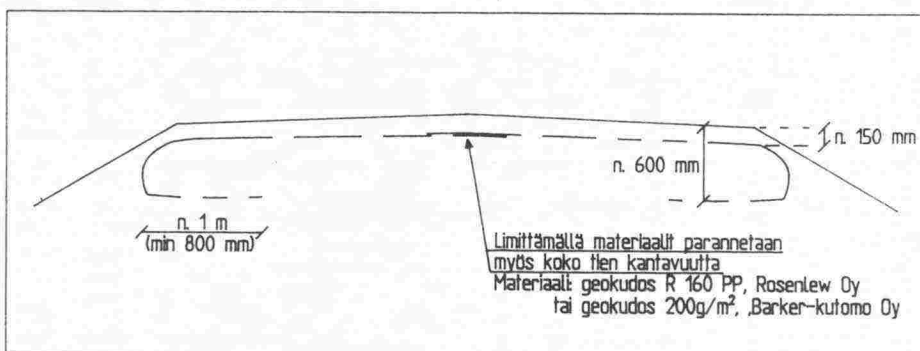
Vanhan murskeen nostelu takaisin reunoilta tielle vei traktorikaivurilla noin 1.5 tuntia. Työn yhteydessä voidaan myös parannella tien sivuoja.

Miestyötä tarvitaan geoverkon levittämiseen, johon kului kolmelta mieheltä noin 15 minuuttia. Lisäksi he huolehtivat verkon suorassa pysymisestä ensimmäisten murskekuormien levityksen aikana.

6.2.3 Geovahviste tien reunalla (Juuka)

1. Koerakenne

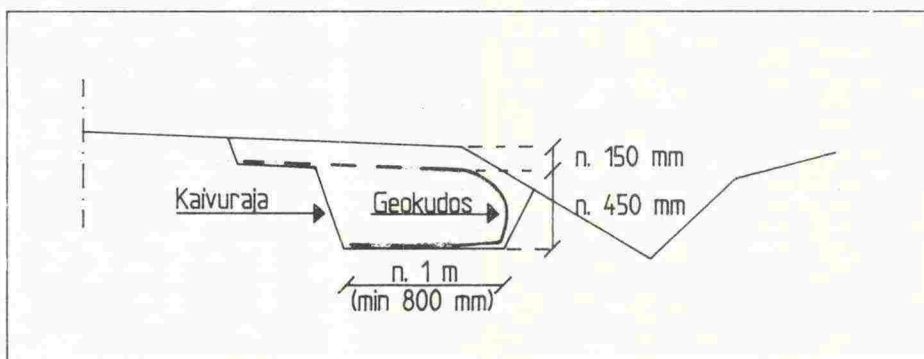
Koerakenteena on luiskan leviämistä estävät, geovahvisteella muodostettavat "pussit" tien reunoilla. Tien oikeassa reunassa on vahvisteena geokudos 200 (leveys 3.2 m) ja vasemmassa reunassa geokudos R 160 PP (leveys 3.3 m).



Kuva 7: Koerakenne, geovahviste reunoilla.

2. Rakentaminen

Rakenne toteutettiin kaivamalla leveäkauhaisella kaivinkoneella kuvan 8 mukainen kaivanto tien molemmille reunoille ja asentamalla geovahviste kuvan mukaisesti. Tien rakennekerrosten murske otettiin talteen ja kaivumaat läjitettiin ojan pohjalle uudelleen käyttöä varten. Rakenteen tiivistystyö suoritettiin kaivinkoneen kauhalla.



Kuva 8: Periaatepiirros reunavahvisteen käytöstä.

3. Huomioita

Koerakenteen huonoina puolina voidaan pitää häiriintyvän pohjamaan käsittelyä ja vaikeuksia vanhan maa-aineksen uudelleenkäytössä. Osa maamateriaaleista on sellaisia, että liikaa vettä saadessaan niiden tiivistäminen on vaikeaa. Kaivettavien maamassojen käsittelyn tulee onnistua ilman kuljetusta vaativaa välivarastointia.



Kuva 9: Geovahvistetta asennetaan tien reunaan.

Kivien tms. aiheuttaman massavajeen vuoksi kohteeseen käytettiin mursketta teoreettisesti laskettua enemmän. Tien pinnan viimeistelyssä jouduttiin myös käyttämään jonkin verran uutta materiaalia. Murske on järkevintä levittää kuorma-auton alusterällä, jolloin tiehöylää ei tarvita.

Vahvistekudos on suoristettava ennen täyttötyötä ja reunan tiivistykseen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Käytettyä paremman työtekniikan löytäminen reunojen tiivistämiseen olisikin eduksi.

Rakentamisen aikana liikenne voidaan ohjata kulkemaan toista kaistaa pitkin. Raskaat ajoneuvot on kuitenkin otettava huomioon.

4. Suoritteita

Koerakenteen pituus on 50 m (vahvistekudos tien molemmilla reunoilla) ja sen toteuttamiseen edellä kuvatulla tavalla kului noin 6 tuntia.

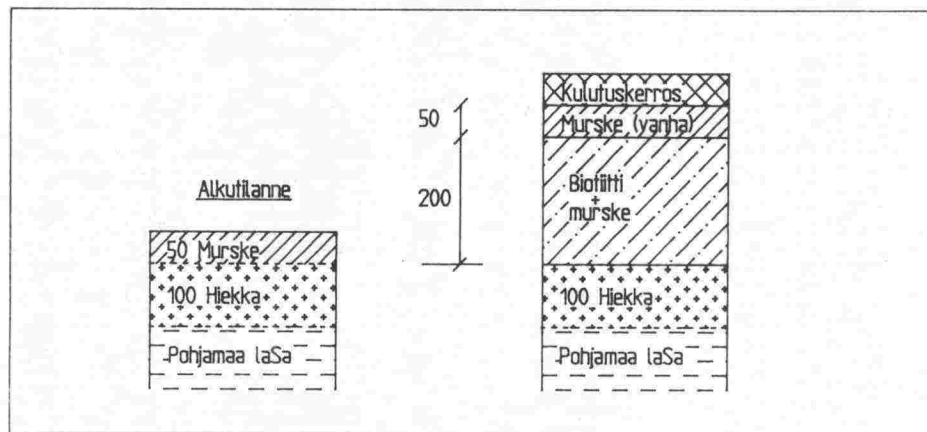
Kaivannon kaivaminen, vahvisteen levittäminen (2 miestä) ja kaivannon täyttäminen kaivinkoneella kesti noin 0.5 h/10 m.

Viimeistelyssä tarvitaan mursketta arviolta yksi kuorma/50 m vahvistettua reunaa.

6.3 Teollisuuden sivutuotteet

6.3.1 Biotiitti ja murske (Juuka)

1. Koerakenne



Kuva 10: Rakennekerrokset, biotiitti ja murske.

Koerakenteena on Kemiran Siilinjärven tehtaalla sekoitetusta biotiitti-murske-seoksesta (sekoitussuhde 1:1) tehty 20 cm:n rakennekerros, jonka päällä on kulutuskerros mukaanluettuna 10 cm mursketta. Massassa on käytetty sideaineena sementin ja masuunikuonajauheen 2:1 seosta 12 % runkoaineen kuivapainosta. Sekoitettua massaa varastoitii noin kuukausi ennen rakentamista.

2. Rakentaminen

Vanha kulutuskerros irroitettiin tiehöylällä ja massat työnnettiin tien reunoille. Tällöin tielle muodostui "kouru", joka tuki biotiitti-murske kerrosta reunoilta. Osa murskeesta oli tarkoitus käyttää uudelleen biotiitti-murske kerroksen päällä ja loput jättää tukemaan reunoja.

Biotiitti-murske tiivistettiin kerroksittain tiehöylällä ja kerroksen reunat pussitettiin suodatinkankaalla. Päälle levitettiin noin 10 cm mursketta käyttäen mahdollisuuksien mukaan hyväksi sivuille siirrettyä vanhaa materiaalia.



Kuva 11: Biotiitti-murske massan levitys käynnissä.

3. Huomioita

Vanhan kulutuskerroksen hyödyntäminen on hankalaa ja materiaalin hukka-prosentti kasvoi edellä kuvatulla tavalla toimien suureksi. Osa vanhasta materiaalista jätettiin lopullisessa rakenteessa tukemaan reunoja, jolloin biotiitti-murske kerroksen päällä käytettävissä olevan materiaalin määrä jäi

vähäiseksi. Mursketta kannattaa näiden kokemusten perusteella irroittaa vain sen verran, mitä aikaisemmin kuvatun kourun tekeminen välttämättä vaatii ja biotiitti-murske kerroksen päälle tuleva materiaali tuoda muualta. Mikäli vanhaa kulutuskerrosta kuitenkin halutaan käyttää tehokkaammin hyväksi, kannattaa se irroittaa tiehöylällä ja kasata traktorilla tai pyöräkuormaajalla erilliseen välivarastoon. Reunoille on joka tapauksessa tarpeellista siirtää materiaalia tukemaan tulevaa rakennetta.

Biotiitti-murske kerroksen reunat pussitettiin suodatinkankaalla. Kangas tukee reunoja rakennusaikana ja estää päällä olevan murskeen sekoittumisen kerrokseen. Rakenteen toimivuuden kannalta suodatinkankaalla ei ole merkitystä kerroksen lujittumisen jälkeen.

Biotiitti-murske kerroksen tiivistämisessä esiintyi ongelmia. Työ tehtiin tiehöylää käyttäen kerroksittain. Koerakentamisen aikana työssä kokeiltiin myös kuormattua kuorma-autoa, mutta tällöin biotiitti-murske kerros alkoi pursuilla pois renkaiden alta ja varsinaista tiivistymistä ei tapahtunut. Kuormatulla kuorma-autolla suoritettava tiivistäminen voidaan näiden kokemusten perusteella tehdä vasta murskekerroksen päältä. Tiivistymisen seuraaminen tässä rakenteessa on erittäin tärkeää, sillä huonosti tiivistetyn kerroksen lujittuminen ei tapahdu täydellisesti.

Levitettäessä mursketta biotiitti-murske kerroksen päälle, on varottava sekoittamasta kerroksia keskenään. Biotiitti on erittäin häiriintymisherkkä joutuessaan veden kanssa tekemisiin ja voi siksi tien pintaan joutuessaan aiheuttaa ongelmia. Ongelma voidaan välttää käyttämällä murskekerroksen alla suodatinkangasta.

Rakenne ei biotiitin häiriintymisherkkyiden takia sovi toteutettavaksi vesisateella. Biotiitti-murske massan lujittuminen heikkenee laboratoriokeiden perusteella huomattavasti, jos sen vesipitoisuus kasvaa yli 10%. Rakenteeseen tiivistetyn massan kosteus oli noin 3% eli se oli ehkä liiankin kuivaa. Tämäkin saattoi osaltaan vaikuttaa huonoon tiivistettävyyteen.

Liikenteelle rakentamisesta on haittaa ainoastaan massojen levitysvaiheessa ja rakentaminen voidaan tehdä kerralla koko tien leveydeltä.

4. Suoritteita

Koerakenteen pituus on 40 m ja sen toteuttaminen kesti noin 4 tuntia. Rakentamisaika riippuu pääasiassa materiaalien kuljetusmatkoista.

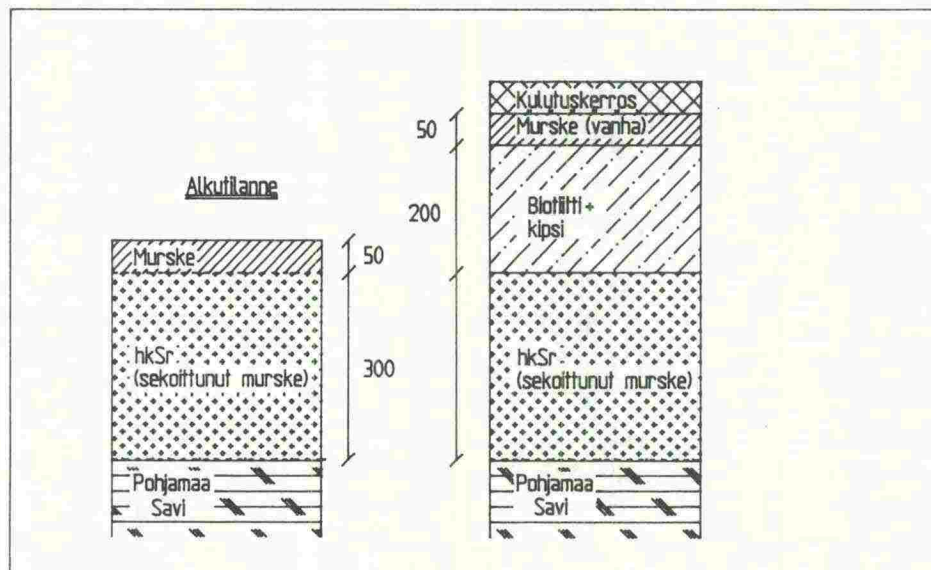
Tiehöylä oli käytössä koko rakennustyön ajan.

Suodatinkankaan leikkaus ja levitys vei kolmelta mieheltä noin tunnin tehokasta työaikaa.

6.3.2 Biotiitti ja kipsi (Kiuruvesi)

1. Koerakenne

Koerakenteena on Kemiran Siilinjärven tehtaalla sekoitetusta biotiitti-kipsi-seoksesta (1:1) tehty 20 cm:n rakennekerros, jonka päällä on kulutuskerros mukaanluettuna 10 cm mursketta. Massassa on käytetty sideaineena sementin ja masuunikuonajauheen 2:1 seosta 12 % runkoaineen kuivapainosta. Käytetty kipsi on dihydraattimuotoista prosessikipsiä. Sekoitettua massaa varastoitiin noin kuukausi ennen rakentamista.



Kuva 12: Rakennekerrokset, Biotiitti ja kipsi

2. Rakentaminen

Rakenne on periaatteeltaan sama kuin Juussa toteutettu Biotiitti-murske rakenne ja toteutuksen työtekniikka oli myös pääosin sama. Tässä kohteessa kokeiltiin rakentamista ilman reunoilla käytettävää suodatinkangasta.

3. Huomioita

Suodatinkankaan poisjättämisestä johtuen pinnalle tuleva murske pyrki varsinkin reunoilla sekoittumaan biotiitti-kipsi kerrokseen. Lisäksi biotiitti-kipsi kerros pyrki pursuilemaan reunoiltaan. Muuten tiivistystyössä esiintyneet ongelmat olivat samat kuin biotiitti-murske seoksellakin. Työtä helpot-

tamaan kannattaisi näiden kokemusten perusteella käyttää suodatinkangasta ainakin tien reunoilla.

Rakentamisaikana tehdyt huomiot ovat muilta osin samankaltaisia kuin biotiitti-murske kerrosta käytettäessä. Biotiitti-kipsi massa ei kuitenkaan ole yhtä herkkä kosteusvaihteluille. Sen lujittuminen alkaa laboratoriokokeiden perusteella heikentyä merkittävästi vasta, kun vesipitoisuus nousee yli 20%. Koerakennuskohteessa käytetyn massan vesipitoisuus oli noin 11%.

Liikenteelle rakentamisesta oli haittaa lähinnä biotiitti-kipsi massan levitystyön aikana. Silloinkin autot pääsivät kulkemaan tiellä, kun tiehöylä oli tasannut pinnan ja muutaman kerran renkaillaan tiivistänyt kerrosta. Tiivistämätön kerros kuitenkin upotti autoja ja pientä pölyämistä esiintyi massan hienorakeisuuden takia. Rakenne voidaan tehdä koko tien leveydelle kerralla.

4. Suoritteita

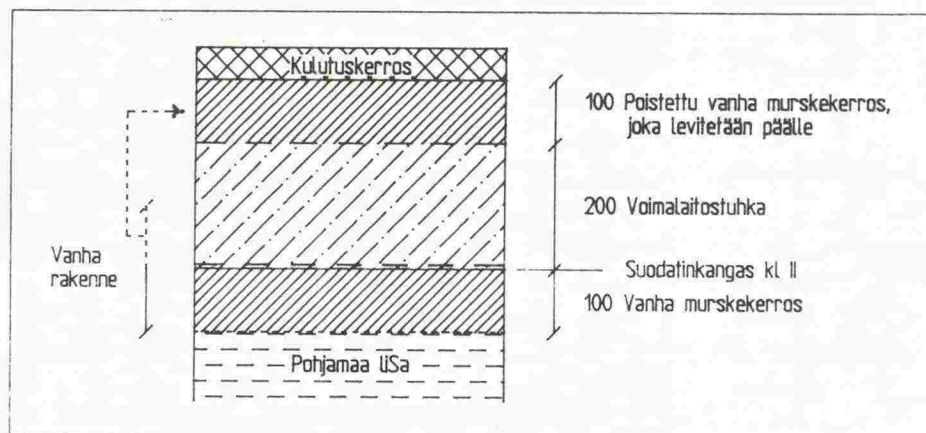
Koerakenteen pituus on 50 m ja sen toteuttaminen kesti noin 5 tuntia. Rakentamisajan pituus riippuu pääasiassa materiaalien kuljetusmatkoista.

Ainoa tarvittava kone oli tiehöylä, jota tarvittiin koko rakentamisen ajan.

Miestyötä ei tarvita ellei käytetä suodatinkangasta.

6.3.3 Voimalaitostuhka (Pirkkala)

1. Koerakenne



Kuva 13: Rakennekerrokset, voimalaitostuhkarakenne.

Koerakenteena on Säterin tuhkasta tehty 20 cm:n rakennekerros, jonka päällä on kulutuskerros mukaanluettuna noin 15 cm mursketta. Voimalaitostuhkaan on lisätty tehtaalla masuunisementtiä 4% tuhkan kuivapainosta ja massa on kostutettu valmiiksi optimikosteuteensa (n. 20%). Tuhkakerroksen alla käytettiin suodatinkangasta.

2. Rakentaminen

Alkuperäisestä tienpinnasta kerättiin varastokasaan noin 10 cm mursketta myöhempää käyttöä varten. Työ tehtiin kaivinkoneella ja kuorma-autolla. Tien pohja tasattiin tiehöylällä ennen suodatinkankaan levitystä. Tuhka levitettiin kankaan päälle tiehöylällä ja kerros tiivistettiin huolellisesti 3.5 tonnin valssiyrällä (6 ylityskertaa). Reunojen tiivistys suoritettiin lopullisesti vasta murskekerroksen päältä. Lopuksi tehtiin uusi 5 cm:n kulutuskerros.



Kuva 14: Voimalaitostuhkan levitystä.

3. Huomioita

Tuhka oli kokeilussa muodossaan helposti käsiteltävää. Pölyämistä ei rakentamisen aikana esiintynyt haitallisessa määrin. Kuljetuksen aikana on käytettävä suojapeitettä.

Liikenteelle aiheutetut haitat jäivät pieniksi, sillä autot pääsivät kulkemaan heti tuhkan tasaamisen jälkeen. Tuhka voidaan levittää koko tien leveydelle kerralla.

Reunojen tukemista, esimerkiksi kääntämällä alla oleva suodatinkangas reunoiltaan tuhkakerroksen päälle, kannattaa harkita. Ilman tukea reunojen tiivistäminen oli hankalaa ja ne pursuilivat helposti ulospäin. Tukea voi lisätä myös siirtämällä pohjan tasaamisen yhteydessä mursketta "kareeksi" reunoille kuten biotiitti-kipsi ja biotiitti-murske rakenteissa.

Valmiissa rakenteessa tuhkakerrokset täytyy peittää murskeella myös reunoiltaan.

Sateella veden kerääntyminen lammikoiksi tuhkan päälle on estettävä, koska tuhka voi liettyä liikenteen vaikutuksesta (suuret liikennemäärät). Sade ei kuitenkaan estä rakentamista.

4. Suoritteita

Koerakenteen pituus on 50 m ja sen toteuttaminen edellämainitulla tavalla kesti noin 7.5 tuntia. Osa ajasta oli kuitenkin kuormien odottelua. Rakentamiseen tarvittava aika riippuu suurelta osin kuljetusmatkoista.

Vanhan murskeen talteenotto kaivinkoneella ja kuorma-autolla kesti yhteensä noin 1 h 45 min ja pohjan tasaaminen sekä karheen tekeminen reunoille tiehöylällä noin 10 min.

Tuhkan ja murskeen levittäminen tehtiin tiehöylällä. Vanhan murskeen takaisin tuomiseen ja levittämiseen kului noin yksi tunti. Kuormausta suoritettiin pyöräkuormaajalla. Kuormausta on kuitenkin taloudellisempaa tehdä paikalla olevalla kaivinkoneella. Tällöin kuormaamiseen tarvittava aika hieman pitenee.

Mikäli tuhkakerrokset tehdään suoraan vanhan tierakenteen päälle ja rakentamisessa käytetään pelkästään uutta materiaalia, lyhenee rakennusaika arviolta kahdella tunnilla. Kokonaiskustannukset vastaavasti hieman kasvavat.

Tiivistäminen valssijyrällä suoritettiin kahdessa jaksossa ja työhön kului aikaa noin 1.5 tuntia.

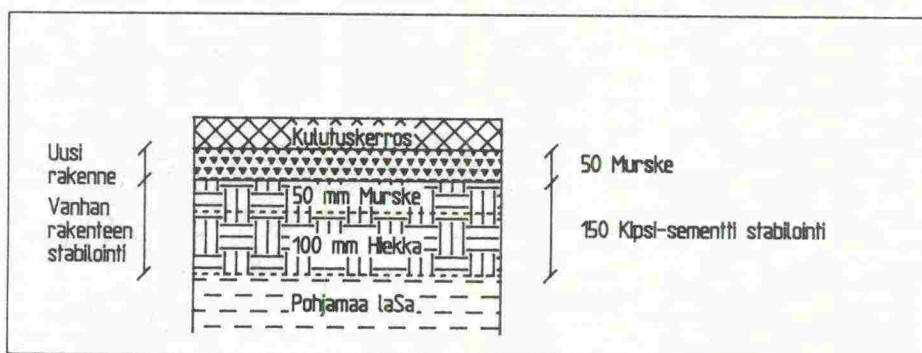
Suodatinkankaan leikkaamiseen ja levittämiseen kului aikaa kolmelta mieheltä noin 30 min. Lisäksi miesten oli varmistettava, että kangas pysyy suorassa ensimmäisten tuhakuormien levityksen aikana.

6.4 Stabiloinnit

6.4.1 Kipsi-sementti-stabilointi (Juuka)

1. Koerakenne

Koerakenteena on tien vanhan pinnan stabilointi. Sideaineena on Siilinjärven dihydraattikipsin ja yleissementin 1:1 seos, jota käytetään 10% stabiloitavan aineksen kuivapainosta. Stabiloinnin tavoitepaksuus on 15 cm ja sen päälle levitetään kulutuskerros mukaanluettuna 10 cm mursketta.



Kuva 15: Rakennekerrokset, kipsi-sementti-stabilointi.

2. Rakentaminen

Stabilointia varten irroitettiin kaivinkoneella ja tiehöylällä noin 20 cm vanhaa pintakerrosta koko tien leveydeltä. Irroitetulle pinnalle levitettiin kipsi ja suoritettiin sekoitus jousiäkeellä. Tämän jälkeen levitettiin sementti ja suoritettiin varsinainen sekoitus ajamalla äkeellä 4-5 ajokertaa kauttaaltaan. Kerros tiivistettiin kuormatulla kuorma-autolla ja päälle tehtiin tarvittavat murskekerrokset.

3. Huomioita

Kaivinkone tai traktorikaivuri on huomattavasti tiehöylää parempi työväline stabiloitavan runkoaineksen irrottamisessa. Rakentamisen yhteydessä toinen kaista irroitettiin tappiterällä varustetulla tiehöylällä ja toinen kaivinkoneella, jossa oli kynnellinen kauha. Kaivinkoneella irroitus oli vaivatonta ja nopeaa verrattuna tiehöylään, joka joutui siirtelemään massoja edestakaisin tiellä. Lisäksi kaivinkoneella irroitettaessa massoja ei mennyt hukkaan yhtä paljon kuin tiehöylällä, jolla massat helposti levisivät sivuojiin. Tiehöylää käytettäessä tarvitaan työmaalla kuitenkin yksi kone vähemmän.

Kipsin levitys hiekanlevittimellä ei onnistunut vaan se oli kipattava kuorma-auton lavalta suoraan matoksi tielle ja leviteltävä sitten kuorma-auton alusterällä. Syynä levittimen käytön epäonnistumiseen oli kipsin kosteus. Sementti levitettiin suoraan säkeistä tielle ja tasoiteltiin samoin kuin kipsikin. Mikäli sideaine joudutaan levittämään edellä kuvatulla tavalla, on kiinnitettävä erityistä huomiota sen levittämiseen tasaisesti koko alueelle.

Sekoitus suoritettiin maataloustraktorin jousiäkeellä. Sekoittumista on syytä seurata erittäin tarkasti sillä sideainekset mursketta huomattavasti kevyempinä eivät välttämättä sekoitu kunnolla pintakerrosta syvemmälle. Mikäli sekoittaminen ei äkeellä onnistu, täytyy työ tehdä tiehöylällä tai kaivinkoneella.

Tiivistämiseen sopi hyvin murskelastissa oleva kuorma-auto, mutta jyrää käyttämällä päästään parempaan lopputulokseen.

Stabilointi ei sovi tehtäväksi kovalla sateella, mutta tihkusade ei estä työtä. Tuuli saattaa sitävastoin haitata sideaineiden levitystä.

Rakentaminen voidaan toteuttaa aiheuttamatta liikenteelle erityistä haittaa.

4. Suoritteita

Koerakenteen pituus on 40 m ja sen toteuttaminen edellämainitulla tavalla, lukuunottamatta murskeen ajoa, kesti noin 2.5 tuntia.

Runkoaineksen irroittaminen kaivinkoneella vei hieman yli tunnin. Tiehöylää tai traktorikaivuria käytettäessä tarvittava aika on pitempi.

Sideaineiden levitys kesti välisekoituksineen yhteensä noin 45 min. Kuorma-autossa olisi hyvä olla alusterä, jolloin tiehöylää tarvitaan ainoastaan uuden pinnan tekemiseen.

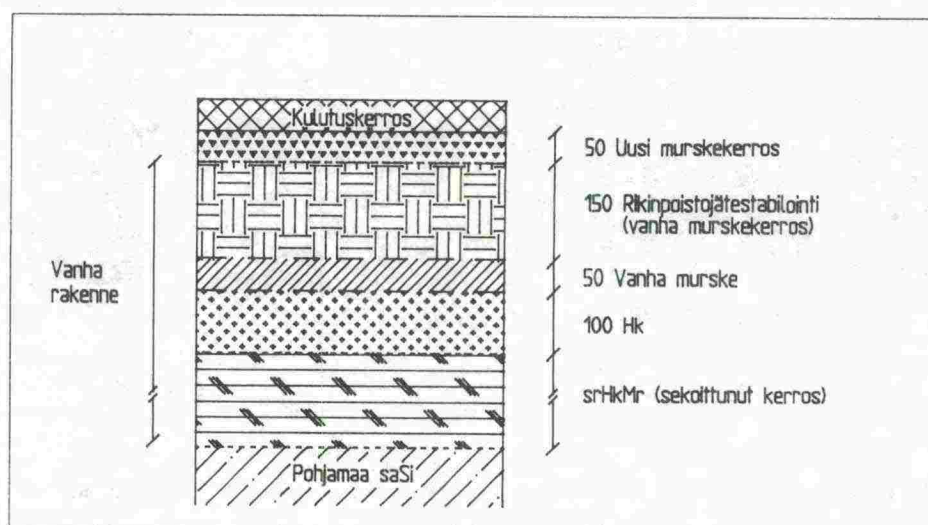
Sekoittaminen tehtiin jousiäkeellä. Äestä tarvittiin rakennuspaikalla odotusaikoinen noin 1.5-2 tuntia.

Tiivistystyö kuorma-autolla murskeen ajon yhteydessä kesti noin 15 min.

6.4.2 Masuunikuonastabilointi (Vilppula)

1. Koerakenne

Koerakenteena on tien vanhan pinnan stabilointi masuunikuonalla, johon on lisätty CaO:ta 2% masuunikuonan kuivapainosta. Kuonaa käytetään 30% stabiloitavan materiaalin kuivapainosta ja stabiloinnin tavoitepaksuus on 15 cm. Päällä on kulutuskerros mukaan lukien 10 cm mursketta.



Kuva 16: Rakennekerrokset, Masuunikuonastabilointi

2. Rakentaminen

Stabilointia varten irroitettiin tiehöylällä ja traktorikaivurilla noin 15 cm vanhaa mursketta. Murskeen alta tuli esille myös tien rakennekerroksissa käytettyä hiekkaa. Irroitetut massat sekoitettiin traktorin perään asennetulla jousiäkeellä ennen masuunikuonan levitystä. Levitys tapahtui kuorma-auton hiekanlevittimellä kerralla koko tien leveydelle. Kun puolet kuonasta oli levitetty tasaisesti koko alueelle suoritettiin sekoitus jousiäkeellä (3 ajokertaa kauttaaltaan). Tämän jälkeen levitettiin loput kuonasta ja suoritettiin lopullinen sekoittaminen äkeellä (4 ajokertaa).

Stabiloitu kerros tiivistettiin aluksi traktorikaivurilla ja myöhemmin kuormatulla kuorma-autolla ja kerroksen päälle tehtiin suunnitellut murskekerrokset.



Kuva 17: Sideaineen sekoitusta jousiäkeellä.

3. Huomioita

Tiehöylän käyttö irroitustyössä koettiin tässäkin kohteessa hankalaksi. Traktorikaivuri pystyi helpommin sekoittamaan irroitettuja kerroksia keskenään tasalaatuiseksi runkoaineeksi. Käytettäessä työssä tiehöylää tarvitaan kuitenkin yksi kone vähemmän.

Masuunikuonan sekoittumista runkoaineeseen on tarkkailtava sekoittamisen aikana. Tässä kohteessa sekoittuminen tapahtui silmämääräisesti arvioituna erittäin helposti ja seitsemän ylityskertaa jousiäkeellä riitti hyvin.

Stabilointi ei sovi tehtäväksi kovalla sateella, mutta tiikusade koerakentamisen aikana ei haitannut työtä lainkaan.

Rakentaminen voidaan suorittaa aiheuttamatta liikenteelle erityistä haittaa.

4. Suoritteita

Koerakenteen pituus on 50 m ja sen toteutus edellämainitulla tavalla, lukuunottamatta murskeen ajoa, kesti noin 3 tuntia.

Stabiloinnin runkoaineeseen irroittaminen tienpinnasta kesti yhteensä noin 2 tuntia. Työssä käytettiin pääasiassa tappiterällä varustettua tiehöylää (noin 1.5 tuntia), mutta myös traktorikaivuria käytettiin (0.5 tuntia).

Pelkästään toisella koneella tehtynä työ olisi kestänyt noin 2 tuntia. Tiehöylää tarvittiin myös lopullisen pinnan viimeistelyyn.

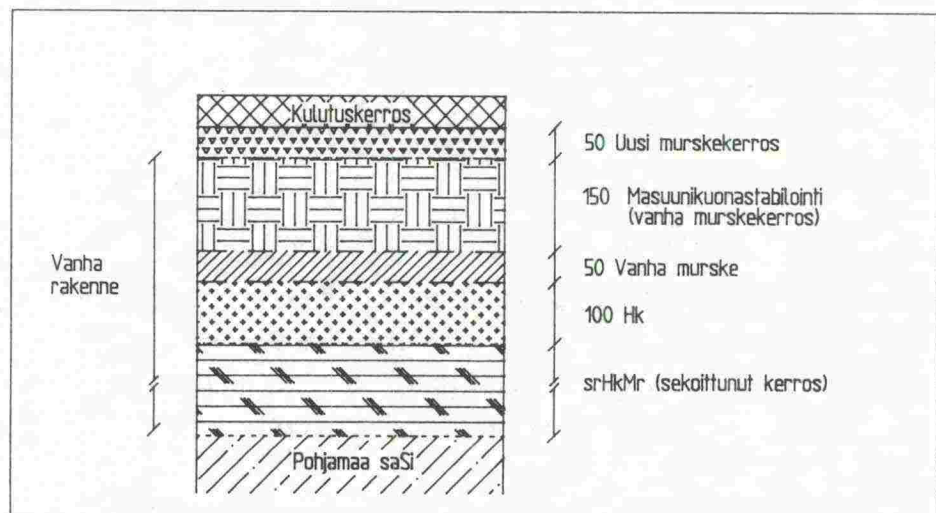
Masuunikuonan levitys tapahtui kuorma-autoon asennetulla hiekanlevittimellä ja sekoitus runkoainekseen jousiäkeellä. Aikaa kuonan levitykseen ja sekoitukseen kului yhteensä noin 50 min.

Stabiloitu kerros tiivistettiin työteknisistä syistä sekä traktorikaivurilla että kuormatulla kuorma-autolla. Normaalisti pelkkä kuorma-autolla tiivistäminen riittää, jolloin työ voidaan joustavasti tehdä mursketta kuljettavilla autoilla. Tässä kohteessa tiivistystyö kesti noin 15 min.

6.4.3 Rikinpoistojättestabilointi (Vilppula)

1. Koerakenne

Koerakenteena on tien vanhan pinnan stabilointi rikinpoistojätteellä (Lohja Oy:n seos n:o 1). Sideainetta käytetään 6.5% stabiloitavan murskeen kuivapainosta ja stabiloinnin tavoitepaksuus on 15 cm. Stabiloinnin päällä on kulutuskerros mukaan luettuna 10 cm mursketta.

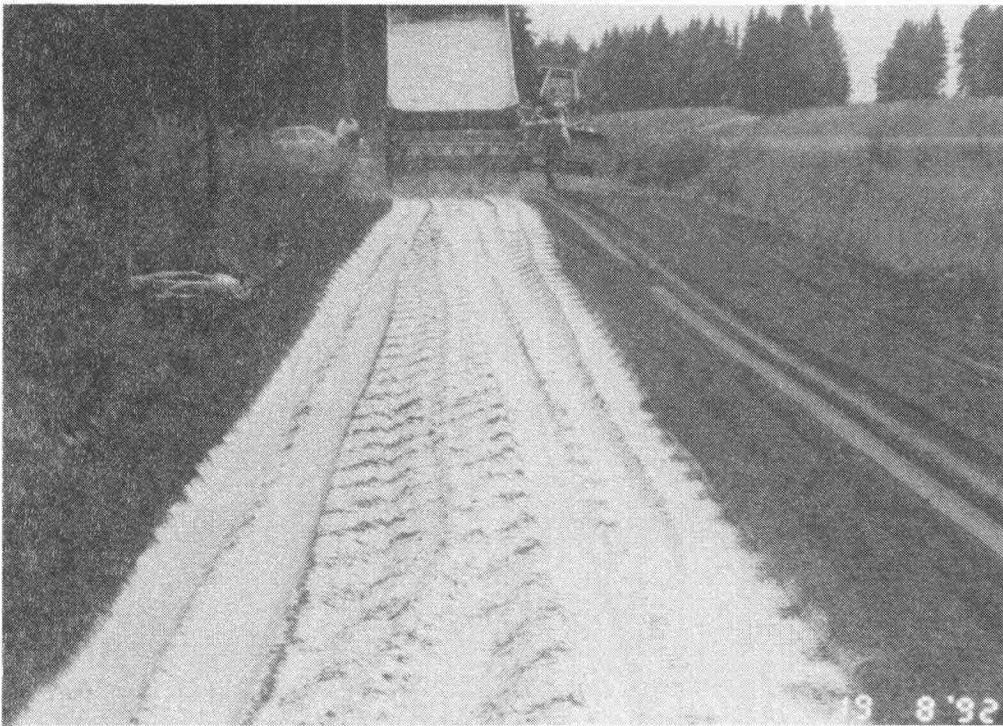


Kuva 18: Rakennekerrokset, rikinpoistojättestabilointi.

2. Rakentaminen

Stabilointia varten irroitettiin traktorikaivurilla noin 20 cm tien vanhaa pintakerrosta. Murskeen alta tuli osittain näkyviin myös tien rakennekerroksissa käytettyä hiekkaa. Stabiloinnin runkoaineksen irrottamisen jälkeen työ tapahtui pääosin kuten masuunikuonastabiloinnissakin. Rikinpoistojätteen levittäminen ja sekoitus runkoainekseen vaativat kuitenkin enemmän

työtä. Välisekoitus tehtiin jousiäkeellä ajamalla kauttaaltaan noin 10 ylityskertaa. Lopullinen sekoitus tehtiin "kääntämällä" irroitettu aines tiehöylällä, jolloin rikinpoistojäte vasta kunnolla sekoittui runkoainekseen.



Kuva 19: Rikinpoistojätteen levitystä hiekanlevittimellä.

Stabiloitu kerros tiivistettiin kuormatulla kuorma-autolla ja pintaan levitettiin suunnitellut murskekerrokset.

3. Huomioita

Sideaineen levittäminen hiekanlevitintä käyttäen oli hidasta. Rikinpoistojäte valui huonosti levittimen läpi ja pyrki tukkimaan sen. Lisäksi sideaine oli hankala saada valumaan lavalta alas. Tästä johtuen levitysvaiheessa kuorma-auto joutui liikkumaan useita kertoja irroitettun runkoaineksen päällä, jolloin kerros tiivistyi. Tiivistyminen vaikeutti sekoitustyötä.

Rikinpoistojätteen sekoittaminen runkoainekseen ei onnistunut jousiäkeellä vaan lopullinen sekoitus tehtiin tiehöylällä. Syynä saattoi olla runkoaineen pintakerroksen kosteuden sitoutuminen täysin kuivaan stabilointiaineeseen, jolloin seos oli liian kuivaa. Toinen mahdollisuus on, että rikinpoistojäte ei mursketta huomattavasti kevyempänä "painu" pintaa syvemmälle murskeeseen. Sekoittumista tapahtui äkeellä vain alle 10 cm:n syvyyteen saakka ja pintaan jäi hienojakoinen, huonosti tiivistyvä kerros. Sekoittaminen olisikin voitu tässä tapauksessa tehdä kokonaan tiehöylällä.

Stabilointi ei sovi tehtäväksi kovalla sateella, mutta tiikusade saattaisi näiden kokemusten pohjalta jopa parantaa sekoittumista. Rikinpoistojäte on sateella syytä suojata ennen levittämistä kastumisen estämiseksi. Kastuessaan se voi tukkia levityksessä käytettävän hiekanlevittimen. Lisäksi on huomattava, että tielle levitetty sideaine voi liettyä sateella ellei sitä ole ehditty sekoittaa runkoaineeseen. Myös kova tuuli haittaa pulverimaisen rikinpoistojätteen levittämistä.

Liikenteelle tämä korjaustoimenpide aiheutti haittaa lähinnä rikinpoistojätteen levityksen ja sekoituksen aikana, jolloin tien pinnassa oli noin 10 cm:n paksuinen huonosti kantava ja pursuileva kerros. Kohteen läpi pääsi kuitenkin ajamaan lähes koko ajan autolla. Liikenteelle aiheutettavaa haittaa voidaan pienentää tekemällä työ kaista kerrallaan, mutta tällöin tarvittava työmäärä kasvaa.

Pölyämistä esiintyi stabilointiaineen hienojakoisuuden takia, ei kuitenkaan haitallisessa määrin.

Rikinpoistojätettä voidaan näiden kokemusten perusteella käyttää kokeilussa muodossaan stabiloinnin sideaineena. Tämä kuitenkin vaatii paremman työtekniikan kehittämistä levitys- ja sekoitustöihin, esimerkiksi samanaikainen sideaineen levittäminen ja sekoitus. Vaihtoehtoisia mahdollisuuksia ovat sideaineen rakeisuuden muuttaminen karkeammaksi tai nesteyttäminen, jolloin työ voitaisiin todennäköisesti tehdä nykyisillä välineillä.

4. Suoritteita

Koerakenteen pituus on 50 m ja sen toteuttamiseen edellämainitulla tavalla lukuunottamatta murskeen ajoa kului noin 3.5 tuntia.

Stabiloinnin runkoaineeseen irrottamiseen tienpinnasta käytettiin traktori-kaivuria, jolloin työhön kului aikaa hieman alle 2 tuntia.

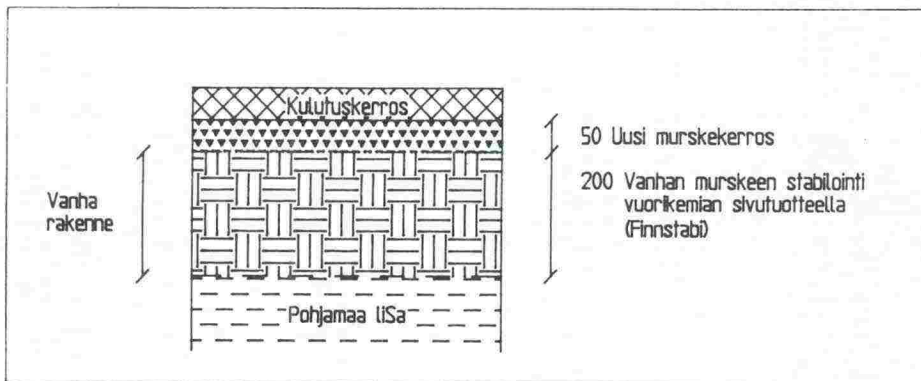
Rikinpoistojätteen levitys tapahtui kuorma-auton perässä olevalla hiekanlevittimellä ja sekoitus runkoaineeseen jousiäkeellä ja tiehöylällä. Aikaa näihin työvaiheisiin kului yhteensä noin 1.5 tuntia, josta levityksen osuus oli noin 20 min. Jousiäkeellä tehty välisekoitus kesti 25 min ja tiehöylällä tehty lopullinen sekoittaminen 45 minuuttia. Kokonaan tiehöylällä tehtynä sekoitus kestää suunnilleen yhtä kauan.

Stabiloidun kerroksen tiivistäminen murskekuormassa olevalla kuorma-autolla vei noin 15 min.

6.4.4 Finnstabi-stabilointi (Pirkkala)

1. Koerakenne

Koerakenteena on tien vanhan pinnan Finnstabi-stabilointi. Stabilointiaine sisältää Finnstabiä ja sammuttamatonta kalkkia suhteessa 8:1. Sideaineen määrä on 12% runkoaineksen kuivapainosta ja stabiloinnin tavoitepaksuus 20 cm. Stabiloidun kerroksen päällä on kulutuskerros mukaanluettuna 10 cm mursketta.



Kuva 20: Rakennekerrokset, Finnstabi-stabilointi.

2. Rakentaminen

Stabilointia varten irroitettiin kaivinkoneella noin 25 cm vanhaa rakennetta. Murskeen alta tuli esiin myös hieman pohjamaata. Irroitettut massat sekoitettiin jousiäkeellä ja suurimmat kivet ja savikokkareet kerättiin pois. Sideaineen levitystä kokeiltiin useilla eri tavoilla. Lopulta se valutettiin suoraan säkeistä tielle ja leviteltiin kaivinkoneella sekä jousiäkeellä tasaiseksi kerrokseksi ajoradalle. Sekoitus runkoainekseen tehtiin kaivinkoneella. Tien pinta tasattiin muotoonsa tiehöylällä ja tiivistäminen suoritettiin 3.5 tonnin valssiyrällä (4 ajokertaa kauttaaltaan). Stabiloinnin päälle levitettiin suunnitellut murskekerrokset.

3. Huomioita

Finnstabi on hienorakeista ja erittäin pölyävää. Sideaine sisältää lisäksi sammuttamatonta kalkkia, jolloin työn aikana on ehdottomasti käytettävä kunnollisia hengityssuojaimia. Myös silmäsuojaimet ovat tarpeelliset ainakin sideaineen levitystyössä. Stabilointia ei voida edellä kuvatulla tavalla suorittaa asutuksen läheisyydessä.

Työstä aiheutui myös liikenteelle haittaa. Autot likaantuivat ja hienoraakeinen sideaine upotti niitä. Hitaasti ajettaessa haitat kuitenkin pienenevät. Rakennuspaikalla on edellämäinittujen seikkojen takia tarpeen käyttää liikenteen ohjausta. Työn tekeminen kaista kerrallaan vähentää liikennehaittoja, mutta samalla lisää työmäärää.

Stabilointiaineen levittäminen tielle tuotti koerakennusaikana vaikeuksia. Hiekanlevittimen käyttö ei onnistunut, koska sideaine ei valunut kunnolla lavalta alas. Samasta syystä myös suoraan lavalta matoksi vetäminen oli erittäin hankalaa ja hidasta (ajokertoja tarvittiin niin monta, että samalla myös irroitettu runkoaines tiivistyi uudelleen). Sideaineen takertuminen lavaan johtui ainakin osaksi sadekuurosta kuormaamisen aikana, jolloin sammuttamaton kalkki pääsi reagoimaan veden kanssa. Rakentaminen ei näiden kokemusten pohjalta onnistu sateella.

Sideaineen sekoittaminen runkoainekseen ei onnistunut suunnitellulla tavalla. Jousiäkeellä sideaine saatiin sekoittumaan ainoastaan pintakerrokseen ja loppu aines jäi irtonaisena pintaan. Sekoittaminen jouduttiinkin tekemään kaivinkoneella, jolla työ onnistui kohtuullisen hyvin. Tiehöylällä työ tuskin onnistuu joustavasti, koska sekoitettavan kerroksen paksuus on 20 cm.

Finnstabi-stabilointiaineen levittämisen ja runkoainekseen sekoittamisen jälkeen materiaali oli helposti käsiteltävää. Pölyäminen loppui lähes kokonaan ja kerros kesti liikenteen kuormituksen tiivistämättömänäkin. Jyräyksen jälkeen kerros oli erittäin tiiviin tuntuinen.

Kokemusten perusteella tuntuukin siltä, että stabilointi Finnstabilla on käyttökelpoinen ratkaisu, kun sideaineen levittämisessä ja sekoituksessa esiintyvät ongelmat on saatu ratkaistua. Nykyisessä muodossaan sen käyttöä ei kuitenkaan voi suositella. Sammutetun kalkin käyttö sammuttamattoman sijasta sekä sideaineen nesteyttäminen, kosteana massana käyttäminen tai muuttaminen rakeiseen muotoon olisivat tutkimisen arvoisia asioita. Lisäksi työhön sopivien koneiden löytäminen on tärkeää. Levittämisessä voisi kokeilla esim. maataloudessa kalkin levittämiseen käytettyä levitintä ja sekoittamisessa maatalouden kyntöauraa tai syvä-äestä. Samanaikaisesti tapahtuva sideaineen levitys ja sekoitus vähentäisi liikenteelle ja ympäristölle aiheutuvia haittoja.

Tiivistäminen voidaan suorittaa kuormatulla kuorma-autolla kuten muissakin stabilointikohteissa, mutta jyrää käyttämällä kerros saadaan tiivistettyä paremmin.

4. Suoritteita

Koerakenteen pituus on 50 m ja sen toteuttaminen edellämainitulla tavalla ilman murskeiden ajoa kesti noin 7 tuntia. Tehokas rakentamisaika ilman viivytyksiä oli kuitenkin arviolta noin 4.5-5 tuntia.

Runkoaineksen irroittaminen tienpinnasta pyöräalustaisella kaivinkoneella kesti noin 1.5 tuntia. Traktorikaivuria käytettäessä aika on hieman yli 2 tuntia.

Irroitettu materiaali on hyvä sekoittaa tasalaatuiseksi massaksi ja samalla rikkoo aineksessa esiintyvät kokkareet. Työ onnistui parhaiten jousiäkeellä, mutta myös tiehöylää voi käyttää. Aikaa työhön kului 10-15 min.

Sideaineen levittäminen kuorma-autolla oli erittäin hidasta. Puolet sideaineesta saatiin purettua kuorma-auton lavalle ja levitettyä sieltä tielle noin kahdessa tunnissa. Helpommin levitys tapahtui kuitenkin rikkomalla suursäkit suoraan tielle. Lopun sideaineen levitys tällä tavalla kaivinkonetta apuna käyttäen kesti noin 40 minuuttia eli koko sideainemäärä voidaan levittää hieman alle 1.5 tunnissa.

Sekoitustyö kaivinkoneella kesti noin 1 h 15 min. Traktorikaivurilla työ on hieman hitaampaa.

Ennen tiivistämistä tapahtuva tasoitus tiehöylällä vei noin 10 min ja itse tiivistystyö jyräämällä 40 min. Kuorma-autolla tapahtuva tiivistäminen on hieman nopeampaa.

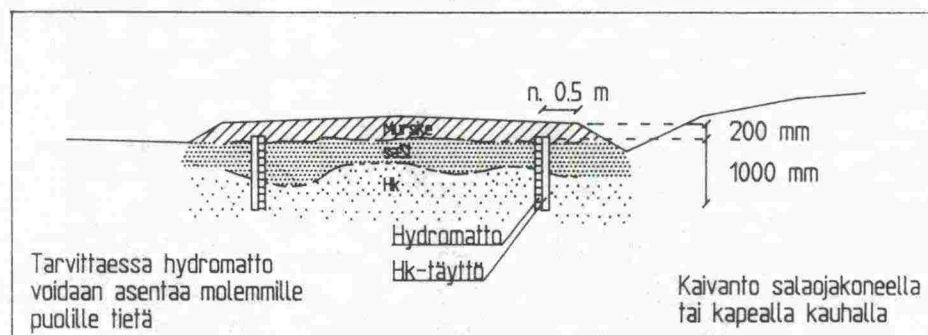
Rakentamisen aikana paikalle on tarpeellista järjestää liikenteenohjaus. Liikenteenohjaajien käyttö on harkinnan varaista jokaisella kohteella, mutta ainakin käytetyllä sideainekoostumuksella, sideaineen muodolla sekä työmenetelmillä liikenteenohjaus oli välttämätöntä liikenteen vähäisyydestä riippumatta. Liikenteenohjaajien lisäksi tarvittiin apumies avustamaan sideaineen levittämisessä.

6.5 Kuivatus

6.5.1 Hydromatto pystysuunnassa tien reunoilla (Pielavesi)

1. Koerakenne

Koerakenteena on tien molemmilla reunoilla pystyasennossa oleva hydromatto (Finndrain).



Kuva 21: Koerakenne, hydromattokuivatus.

2. Rakentaminen

Traktorikaivurilla kaivettiin tien molemmille reunoille noin 1.2 m syvä pituussuuntainen kaivanto, johon 1.0 m korkea salaojamatto asennettiin pystysuuntaan ohuen salaojasorakerroksen päälle. Salaojamaton sisään sijoitettiin ennen asennusta salaojaputki (veto 65) siten, että se kulkee koko matkalla maton alaosassa. Salaojan keräämät vedet johdettiin purkuputkella (100 mm pvc) tien sivuojaan. Kaivanto täytettiin hydromaton kohdalla salaojasoralla ja purkuputkien kohdalla kaivumailloin. Täyttötyö tapahtui alussa kaivinkoneen kauhalla, myöhemmin pyöräkuormaajalla. Lopullinen pinta tasattiin kuorma-auton alusterällä.

3. Huomioita

Työn lopputuloksen ja taloudellisuuden kannalta oikean kaluston käyttö on ratkaisevaa. Koekohteessa kaivu suoritettiin traktorikaivurin ojakaivulla, jolloin kaivannosta tuli huomattavasti suunniteltua leveämpi. Tämä aiheutti salaojasoran menekin kasvamista ja vaikeuksia maton asentamisessa.

Myös liian suuren kaivannon "ylimääräisten" kaivumaiden kuljetus muodostaa kustannuksia, jotka olisivat kokonaan vältettävissä. Kaivussa tulisikin ehdottomasti käyttää kapeaa kauhaa (esim. kaapelikaiva). Vaihtoehtoisena ratkaisuna voisi kokeilla ketjukaivulaitteen tai salaojakoneen käyttöä.

Rakentamisen aikana liikenne pääsee kulkemaan toista kaistaa pitkin. Raskas liikenne tulee kuitenkin ottaa huomioon.



Kuva 22: Hydromattokaivannon täyttötyötä.

4. Suoritteita

Toteutetun koerakenteen pituus on 50 m ja sen toteuttaminen edellä kuvulla tavalla kesti 2 työvuoroa, josta 11-12 tuntia oli tehokasta työaikaa.

Traktorikaivuria tarvittiin koko työn ajan, lukuunottamatta lopussa tapahtunutta pinnan tasoitusta. Pyöräkuormaajan käyttö täyttövaiheessa toisaalta nopeutti työtä, mutta samalla myös aiheutti yhden ylimääräisen koneen tarpeen. Taloudellisinta työ onkin tehdä kokonaan traktorikaivurilla.

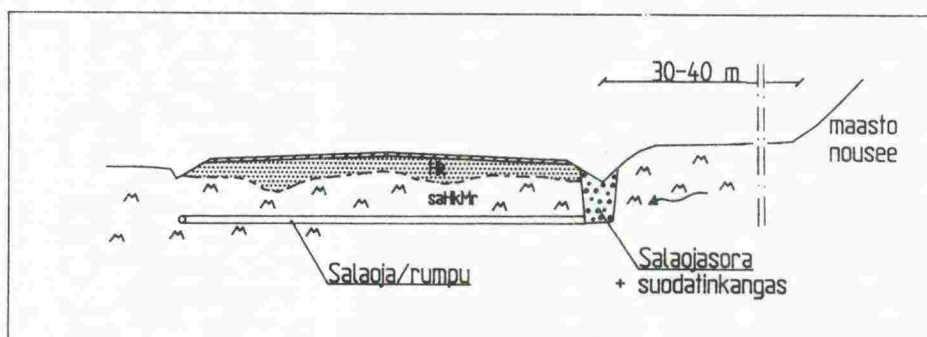
Kaivannon kaivunopeus oli noin 10m/25 min ja täyttönopeus noin 10m/20 min. Lisäksi traktorikaivurilla kaivettiin salaojien poistoputkia varten tarvittavat kaivannot. Kaivamiseen tarvittava aika riippuu suurelta osin kaivumaiden kuljetustarpeesta.

Apumiehiä tarvittiin salaojamaton asentamisessa lähes koko rakentamisen ajan. Tarvittavan 2-3 miehen ryhmän tehokas työpanos oli noin 8 tuntia. Miehiä tarvittiin salaojamaton asentamisessa kaivantoon, kaivannon täyttötyössä sekä purkuputkien asentamisessa.

6.5.2 Sorasalaoja tien toisella puolella (Pielavesi)

1. Koerakenne

Koerakenteena on 50 metrin pituinen sorasalaoja tien toisella puolella (puoli, jolta vesi valuu tierakenteisiin) sivuojan kohdalla.



Kuva 23: Koerakenne, sorasalaoja tien toisella puolella.

2. Rakentaminen

Sorasalaojan kaivu tapahtui ojakauhalla varustetulla traktorikaivurilla. Kauhan leveys oli kynsien kohdalla 20 cm ja yläreunasta 60 cm. Kauhan muodosta johtuen kaivannon yläreunasta tuli liian leveä. Kaivussyvyys oli noin 65 cm ojan pohjasta.



Kuva 24: Sorasalaojan tekoa

Suodatinkangas asennettiin kaivannon pohjalle ja salaojasora osin kipattiin suoraan kuorma-autosta kaivantoon ja osin nostettiin sinne traktorikaivurilla. Suodatinkankaan reunat käännettiin salaojasoran päälle, jolloin suodatinkangas muodosti pussin sorasalaojan ympärille.

Soralaojan päästä kaivettiin traktorikaivurilla purkuputki tien ali.

3. Huomioita

Kaivantoon virtasi rakentamisen aikana vettä noin 15...20 cm pohjan yläpuolella sijaitsevasta kerroksesta.

Rakentamiskustannuksiin vaikuttaa ratkaisevasti kaivettavan ojan koko, joka määrää suoraan tarvittavan soran määrän. Kokonaisuuteen vaikuttavat myös kaivumaiden poiskuljetustarve ja -matka sekä käytettävän salaojasoran kuljetusmatka.

Täyttötyössä voisi kokeilla esim. tien reunojen sorastuksessa käytettävää laitetta.

Liikenne pääsee kulkemaan toista kaistaa pitkin koko ajan.

4. Suoritteita

Toteutetun koerakenteen pituus on 50 m ja sen toteuttaminen edellä kuvulla tavalla kesti 5 tuntia.

Kaivu traktorikaivurilla kesti noin 2.5 tuntia. Täyttötyö kankaan levityksiin puolestaan vei 2 tuntia. Lisäksi traktoria tarvittiin purkuputken asentamisessa.

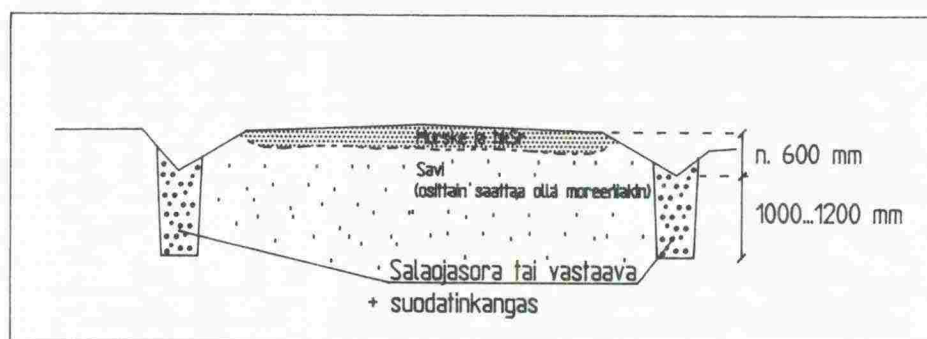
Suodatinkankaan sekä purkuputken asennustyössä tarvittiin 2 miestä, jotka olivat työssä mukana noin 3 tuntia.

Kaivumaiden kuljetukseen tarvitaan kuljetusmatkasta riippuen vähintään yksi kuorma-auto.

6.5.3 Sorasalaojat tien molemmin puolin (Kiuruvesi)

1. Koerakenne

Koerakenteena ovat tien molemmilla puolilla sijaitsevat sorasalaojat, joiden keräämä vesi johdetaan koerakenteen päästä sivuojiin (rinnepaikka). Sorasalaojien syvyys ojanpohjasta on noin 1.0-1.2 m ja leveys alle 70 cm.



Kuva 25: Koerakenne, sorasalaojat tien molemmin puolin.

2. Rakentaminen

Sorasalaojan kaivu ja täyttö tehtiin pyörälustaisella kaivinkoneella. Muilta osin työ tapahtui kuten Pielavedellä (kts. kohta 5.2.2).

3. Huomioita

Kaivinkone oli tehokas ja nopea työkonne koerakenteen rakentamisessa, mutta liian suuren kauhankoon johdosta kaivumaiden kuljetustarve lisääntyi ja salaojasoran menekki kasvoi suunniteltua huomattavasti suuremmaksi. Rakentamiseen sopisi paremmin kapealla kauhalla varustettu traktorikaivuri.

4. Suoritteita

Toteutetun koerakenteen pituus on 50 m. Tien vasemmalla puolella sorasalaojan pituus on kuitenkin vain 35 m lähelle pintaa tulevasta kalliosta johtuen. Rakentaminen kesti 7-8 tuntia.

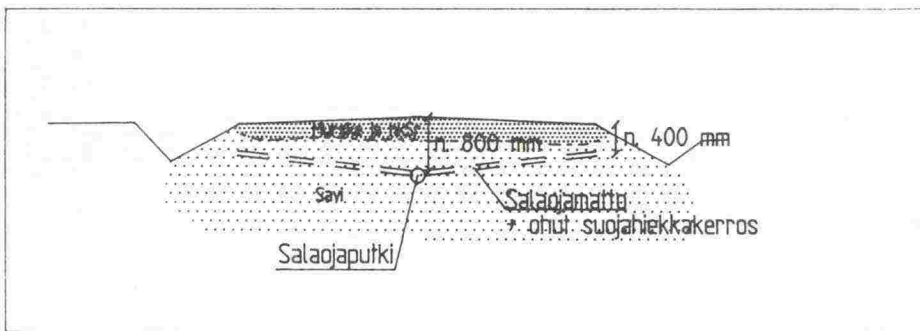
Kaivutyön kesto riippuu kaivumaiden kuljetustarpeesta. Tässä tapauksessa kaivunopeus oli noin 25 min/10m. Kankaan levitys (2 miestä) ja salaojan täyttö kestivät noin 20 min/10 m.

Kaivumaiden kuljetukseen tarvitaan kuljetusmatkasta riippuen ainakin yksi kuorma-auto.

6.5.4 Vaakasalaojamatto (Kiuruvesi)

1. Koerakenne

Koerakenteena on vaakatasossa tien alla oleva salaojamatto (Filtram 1B1). Maton syvyys tien pinnasta on tien keskellä noin 80 cm ja laidoilla noin 40 cm, minimikaltevuuden ollessa 10%. Tien keskilinjalla on salaojaputki, jonka kautta maton ja sen molemmin puolin olevan ohuen hiekkakerroksen keräämä vesi johdetaan pois. Vanha pohjamaa sekä rakennekerrokset käytetään uudelleen ja uutta mursketta pyritään käyttämään ainoastaan kulutuskerroksessa.



Kuva 26: Koerakenne, vaakasalaojamatto

2. Rakentaminen

Salaojamaton asentamista varten tarvittava kaivutyö suoritettiin pyöräalustaisella kaivinkoneella yksi kaista kerrallaan. Pinnasta irroitettiin kaivinkoneella vanha murske ja massat kasattiin tien reunoille. Salaojamaton asennusta varten tarvittava "kouru" kaivettiin pohjamaahan siten, että se ulottui leveydeltään hieman yli tien keskilinjan.

Maton alle tuleva tasoitus/suojahiekka tuotiin traktorilla kaivannon pohjalle. Kaivinkoneen kauhalla tehtynä hiekan levittely oli kankeaa ja paremmaksi keinoksi koettiin traktorin etukuormaajan käyttö myös levitystyössä.

Hiekan päälle levitettiin salaojamatto ja salaojaputki. Niiden keräämä vesi johdetaan sivuojaan koerakenteen päästä lähtevää purkuputkea pitkin.

Maton päälle tuleva hiekkakerros tuotiin ja levitettiin traktorilla. Traktori liikkui aina aikaisemmin salaojamaton päälle levitetyn hiekkakerroksen päällä, jolloin se ei vaurioittanut mattoa. Hiekan levityksen jälkeen vanha pohjamaa nosteltiin takaisin salaojamaton päälle ja tiivistettiin kaivinkoneella. Pintaan levitettiin vanha murske.



Kuva 27: Salaojamaton asennustyötä.

Tien toisella kaistalla tehtiin samat toimenpiteet ja lopuksi pintaan levitettiin uusi kulutuskerros koko tien leveydelle.

3. Huomioita

Rakentaminen edellä kuvatulla tavalla toteutettuna oli erittäin suuritöinen. Suurimmat ongelmat aiheutti kahdessa vaiheessa tapahtuva rakentaminen. Mikäli liikenteen voi katkaista töiden ajaksi ja rakentamisen suorittaa koko tien leveydelle kerralla, tilanne helpottuu huomattavasti.

Vanhan murskeen kasaaminen tien reunoille ei ole hyvä keino, koska materiaali sekoittuu helposti muihin aineksiin ja leviää ojiin. Parempi vaihtoehto olisi kuormata se suoraan kuorma-auton lavalle ja siirtää erilliseen välivarastoon tai irroittaa materiaali kaivinkoneella/tiehöylällä ja siirtää se sitten esim. traktorin etukauhalla tai pyöräkuormaajalla välivarastoon.

Hiekan levittäminen maton molemmin puolin onnistui parhaiten traktorin etukuormaajalla, mutta myös miestyötä tarvittiin viimeistelyssä. Näin ohutta (5 cm) hiekkakerrosta oli kuitenkin erittäin vaikeaa saada tehtyä ja hiekkaa kului huomattavasti teoreettista enemmän. Suojahiekkakerroksen poisjättämistä kannattaa harkita, jos salaojamaton rikkoutumisvaara on pieni.

Salaojamaton asennuksessa suurin hankaluus oli pieni "patti", joka pyrki jäämään maton alle tien keskellä. Tämä aiheutui siitä, että toista puolta

kaivettaessa kaivinkone ei pystynyt toimimaan tarkasti aikaisemmin asennetun salaojamatton vieressä maton rikkoutumisvaaran vuoksi. Patti poistettiin mahdollisuuksien mukaan lapiotyönä. Edellä mainittu ongelma poistuisi, jos liikenne voitaisiin katkaista töiden ajaksi ja kaivu suoritetaan kerralla koko tien leveydellä. Toinen ratkaisu ongelmaan olisi käyttää keskitiellä jonkinlaista suojaseinämää, joka suojaisi salaojamattoa toista puolta kaivettaessa ja mahdollistaisi näin toisen puolen kaivun aivan maton reunaan saakka.

Tehtäviä töitä voi osittain suorittaa limittäin. Tällöin työn kokonaisaika lyhenee, mutta vastaavasti traktorin käyttöaika pitenee.

Rakenne ei sovellu toteutettavaksi sateisella säällä, koska rakennettaessa joudutaan kaivamaan pohjamaata

Liikenteelle rakentamisesta on selvää haittaa.

4. Suoritteita

Koerakenteen pituus on 50 m ja sen toteuttamisessa edellämainitulla tavalla kului noin 2 työvuoroa. Töitä hidasti hieman samaan aikaan tapahtunut mittalaitteiden asennustyö.

Kaivinkonetta tarvittiin koko rakentamisen ajan.

Etukuormaajalla varustetun traktorin tarve riippuu vanhojen rakennekerrosten talteenottotavasta sekä hiekan levitystavasta. Tässä kohteessa traktoria käytettiin hiekan levityksessä noin 2*2 tuntia (yksi puoli kerrallaan). Työn voi kuitenkin tehdä myös kaivinkoneella. Haittapuolena tällöin on rakentamiseen tarvittavan kokonaisajan piteneminen.

Tiehöylää tarvittiin ainoastaan lopullisen pinnan viimeistelyyn.

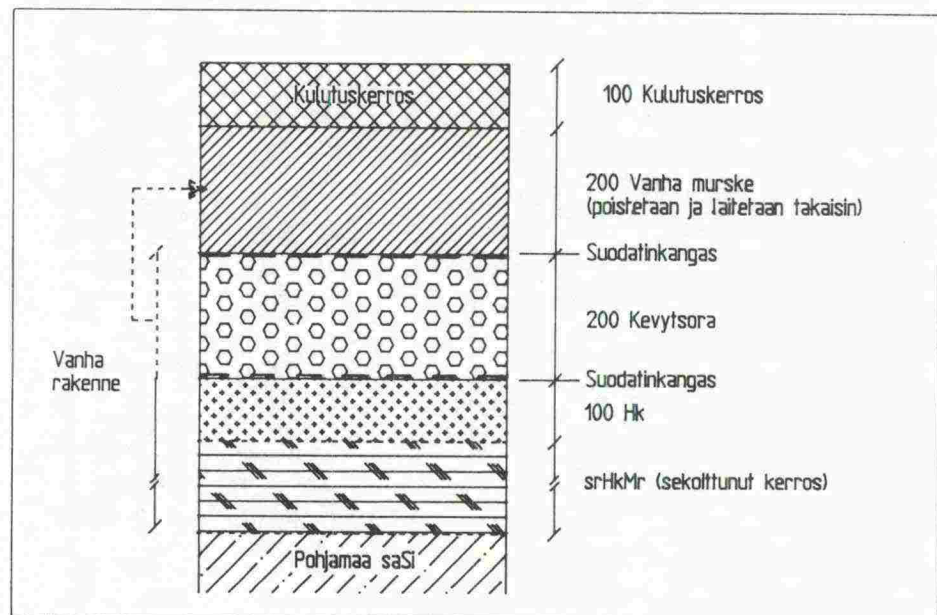
Rakentamisessa tarvitaan 2-3 työmiehen ryhmä, joka huolehtii kaivinkoneen ohjauksesta, salaojaputken asennuksesta, maton leikkaamisesta ja levityksestä sekä hiekkakerroksen viimeistelystä. Ryhmän tehokas työaika oli noin 7-8 tuntia.

6.6 Lämpöeristys

6.6.1 Kevytsora (Vilppula)

1. Koerakenne

Koerakenteena on 20 cm:n paksuinen kevytsorakerros, jonka päällä on noin 20 cm mursketta ja 10 cm:n paksuinen kulutuskerros.



Kuva 28: Rakennekerrokset, kevytsorarakenne.

2. Rakentaminen

Tien pinnasta siirrettiin noin 20 cm vanhaa mursketta varastokasaan myöhempää käyttöä varten. Murskeen talteenotto tapahtui irroittamalla pinta ohuina kerroksina tiehöylällä ja siirtämällä se karheeksi keskelle tietä, josta traktori kantoi murskeen varastokasaan. Samalla tielle muodostuneen "kourun" reunat muodostavat tuen kevytsorakerroksen reunoille. Viimeinen irroitettu kerros työnnettiin reunoille lisätueksi. Kourun pohja tasattiin ja suodatinkangas levitettiin tien poikittaissuuntaan siten, että molempiin reunoihin jätettiin kangasta kääntövaran verran.

Kevytsora tuotiin paikalle rekalla, josta se kipattiin tielle pieniin kasoihin. Levittäminen tapahtui traktorin lumikauhalla koko tien leveydelle kerralla. Viimeistely tehtiin lapiotyönä. Reunoilla olevat suodatinkankaan päät käännettiin kerroksen päälle ja näin saatiin kevytsora pussitettua.

Suodatinkankaan päälle tuotiin vanha murske varastokasasta traktorin etukuormaajalla. Kone liikkui loko ajan aikaisemmin suodatinkankaan päälle levitetyn murskekerroksen päällä (kuva 29), jolloin vältettiin kankaan rikkoutuminen ja kevytsoran pursuilu kuormituksen alla.



Kuva 29: Murskeen levitystä kevytsorakerroksen päälle.

Suodatinkankaan asentaminen, kevytsoran levitys ja murskeen levittäminen kevytsoran päälle tapahtuivat osittain samanaikaisesti.

Vanhan murskeen lisäksi koeosuudelle tuotiin uutta #0-35 mm:n murskettä siten, että kevytsoran päälle saatiin suunniteltu noin 30 cm:n murskekerros. Uutta murskettä käytettiin, koska vanhaa materiaalia ei saatu talteen aivan suunniteltua määrää (20 cm:n kerros). Murskeen lopullinen levittäminen ja pinnan viimeistely suoritettiin tiehöylällä.

3. Huomioita

Kevytsora katkaisee veden kapillaarisen nousun, jolloin ohut kulutuskerros kuivuu ja lisää pölynsidonnan tarvetta. Kulutuskerroksen vahvuudeksi valittiin 10 cm, koska paksu kerros pysyy pidempään kosteana ja näin pienentää pölyhaittoja.

Rakentamisaikana liikenne jouduttiin katkaisemaan 30-45 minuutiksi kevytsoran levityksen aikana. Ennen liikenteen päästämistä kevytsorakerroksen päälle, täytyy suodatinkankaan päällä olla vähintään 5 cm murskettä (raskailla ajoneuvoilla enemmän). Murske tasaa kevytsorakerrokseen

tulevia kuormituksia vähentäen sen pursuilua ja suojaa samalla suodatinkangasta rikkoutumiselta. Pelkästään kevytsorakerroksen päällä olevan suodatinkankaan päällä liikennöinti ei ole mahdollista.

Rakentamistyössä oli mukana kaksi traktoria. Tämä ei ole välttämätöntä, mutta työn sujuvuuden kannalta se oli eduksi. Yhdellä traktorilla toimitaessa rakentamisaika pitenee arviolta ainakin tunnilla ja liikenteelle aiheutettu häiriö pitenee.

Suodatinkankaan käyttäminen kevytsorakerroksen alapuolella ei ole kaikissa tapauksissa välttämätöntä. Tarpeellisuus täytyy harkita pohjamaan laadun perusteella. Suodatinkankaan käyttäminen reunojen pussittamiseen kuitenkin selvästi helpottaa rakennustyötä (pursuilu reunoilla vähenee). Kevytsorakerroksen päällä olevan suodatinkankaan käytölle vaihtoehtoisina ratkaisuin voidaan käyttää joko bitumiruiskutusta tai sementti-imeytystä kerroksen pinnan sitomisessa. Nämä ratkaisut ovat kuitenkin suodatinkankaan käyttöä hieman kalliimpia; bitumiruiskutus maksaa noin 10 mk/m² ja sementti-imeytys noin 5 mk/m².

Rakenne ei sovellu toteutettavaksi kovalla sateella pohjamaan häiriintymisvaaran takia.

4. Suoritteita

Koerakenteen pituus on 50 m ja sen toteuttamisessa edellämainitulla tavalla, lukuunottamatta uuden murskeen tuontia, kului hieman yli 4 tuntia.

Tiehöylää tarvittiin vanhan murskeen talteenottamisessa, joka kesti noin 1.5 tuntia, sekä lopullisen pinnan viimeistelyssä.

Etukuormaajalla varustettu traktori oli mukana vanhan murskeen talteenottamisessa sekä levittämisessä takaisen tielle. Tehokas työaika oli noin 3.5 tuntia. Lisäksi mukana oli lumikauhalla varustettu traktori, jolla levitettiin kevytsora ja kuljetettiin vanhaa mursketta varastokasasta takaisin tielle. Sen tehokas työaika oli noin 2 tuntia.

Miestyötä tarvittiin suodatinkankaan leikkaamisessa, asentamisessa sekä kevytsoran tasoittamisessa. Kolmen miehen ryhmän tehokas työpanos oli noin 2 tuntia.

6.6.2 Voimalaitostuhka (Pirkkala)

Rakenne on käsitelty jo aikaisemmin teollisuuden sivutuotteiden yhteydessä.

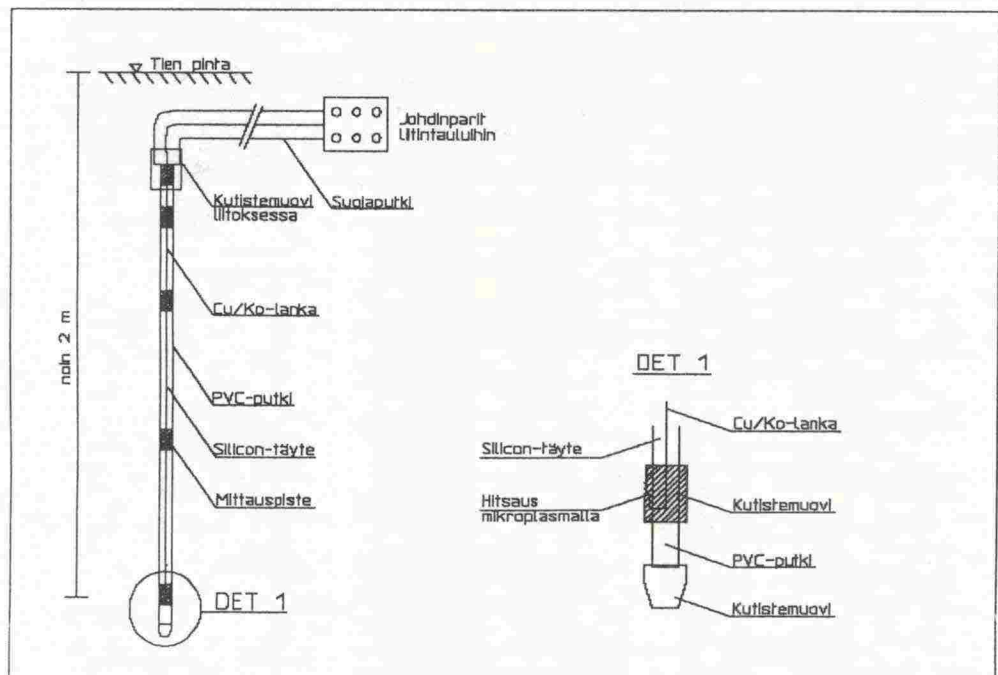
7. INSTRUMENTOINTI

Eri rakenneratkaisujen toiminnan seuranta ja mallintamista varten asennettiin koerakenteisiin sähköisiä mittauslaitteita, joilla voidaan mitata tien alus- ja päällysrakenteen lämpötila- ja kosteusjakaumaa, tienpinnan vertikaalisuuntaisia liikkeitä sekä yhden kohteen osalta geovahvisteen muodonmuutoskäyttäytymistä. Rakennettujen koekohteiden instrumentointi on toteutettu liitteen 6 koontitaulukon mukaisesti.

7.1 Koerakenteisiin asennetut instrumentit

7.1.1 Termoelementit

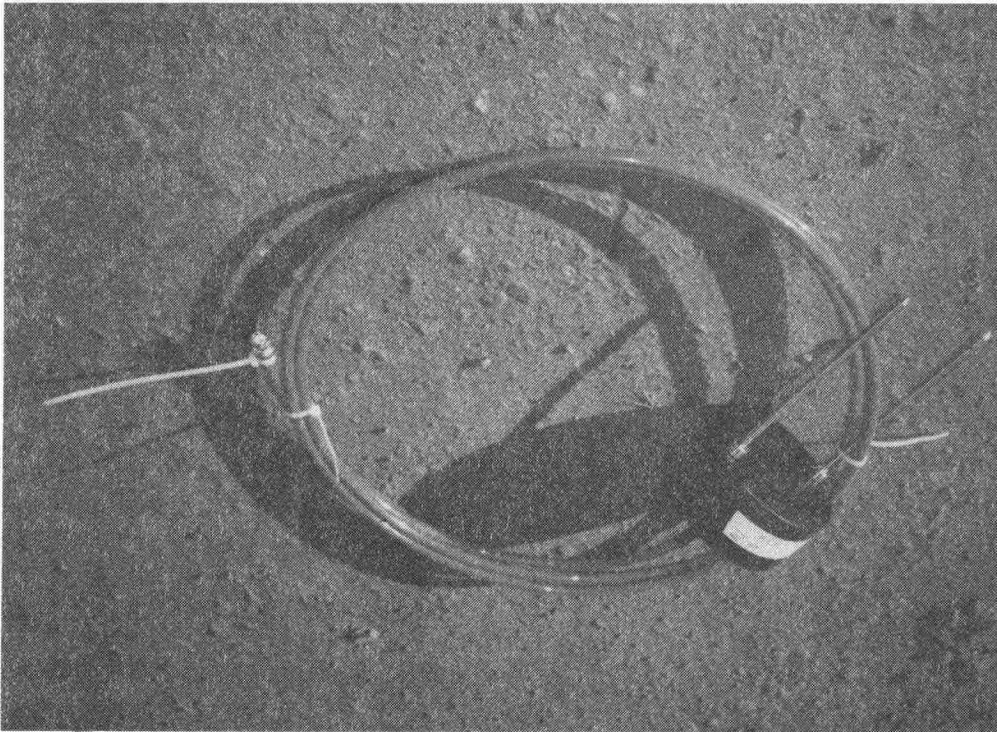
Koerakenteiden lämpötilajakauman selvittämiseksi asennettiin kuhunkin kohteeseen termoelementtisauvat, pääsääntöisesti tien keskilinjan ja reunan kohdalle. Termoelementit koostuvat elementtisauvaan eri tasoille asennetuista termoparin mittausjuotoksista, siirtojohdoista ja johdinliittimistä sekä laitteiden suojarakenteista. Termoparina toimii kuparikonstantaani johdinpari, jonka toinen pää eli mittauspiste on juotettu mikroplasmalla yhteen toisen pään muodostaessa liitinpään. Mittauspään ja liitinpään välinen lämpötilaero aiheuttaa pienen mitattavan potentiaalieron. Termoparin mittauslaitteessa potentiaaliero muutetaan tunnettuun referenssilämpötilaan suhteutettuna todelliseksi lämpötila-arvoksi. Kuvassa 30 on esitetty termoelementtisauvan rakenne.



Kuva 30: Termoelementtisauvan rakenne

7.1.2 TDR -kosteussensorit

TDR (Time Domain Reflectometry) -menetelmällä voidaan määrittää tutkitavan väliaineen dielektrisyysarvoa sekä lisäksi epäsuoraan laskennallisesti volumetrinen vesipitoisuus. Mittaus sensori koostuu koaksiaalikaapelin päähän nailonsylinterin pohjaan kiinnitetyistä terästangoista, jotka toimivat maassa mittaussignaalin yhdensuuntaisena siirtolinjana. Mittaus tilanteessa generoidaan mittaussignaalilla (esim. Tektronix 1502) koaksiaalikaapelin liittipäähän sähkömagneettinen pulssi, joka siirtolinjassa edetessään heijastuu linjan epäjatkuvuuskohdissa. Heijastusten väliset ajat rekisteröidään, jolloin siirtolinjan pituuden ollessa tunnettu, saadaan dielektrisyys määritettyä. Dielektrisyiden ja volumetrisen vesipitoisuuden välillä on tunnettu matemaattinen yhteys. TDR -kosteussensori on esitetty kuvassa 31.



Kuva 31: Vesipitoisuuden määrittämiseen käytetty TDR -kosteussensori

7.1.3 Routanousuanturit

Tien vertikaalisuuntaisten liikkeiden, pääasiassa routanousujen ja roudan sulamisvaiheen sulamispainumien mittaamiseen käytetään kuvan 32 mukaista mittausjärjestelyä, jossa asennettiin tien pohjamaahan routarajan alapuolelle ankkurointiputket ja tämän yläpäähän kiinnitettiin kierreholkin avulla teräsvaijerin alapää. Yläpäästään teräsvaijeri liittyy mekaanisesti koteloituun lineaariseen monikierrospotentiometriin, joka puolestaan on kiinnitetty tien kerrosrakenteeseen n. 0.2 m:n syvyyteen asennettuun ja

tien pinnan vertikaaliliikkeitä myötäilevään teräslevyyn. Mittaustilanteessa potentiometriin syötetään vakio tasajännite sekä luetaan ulostulojännite, joka on suoraan verrannollinen tiehen asetetun teräslevyn vertikaaliliikkeisiin.



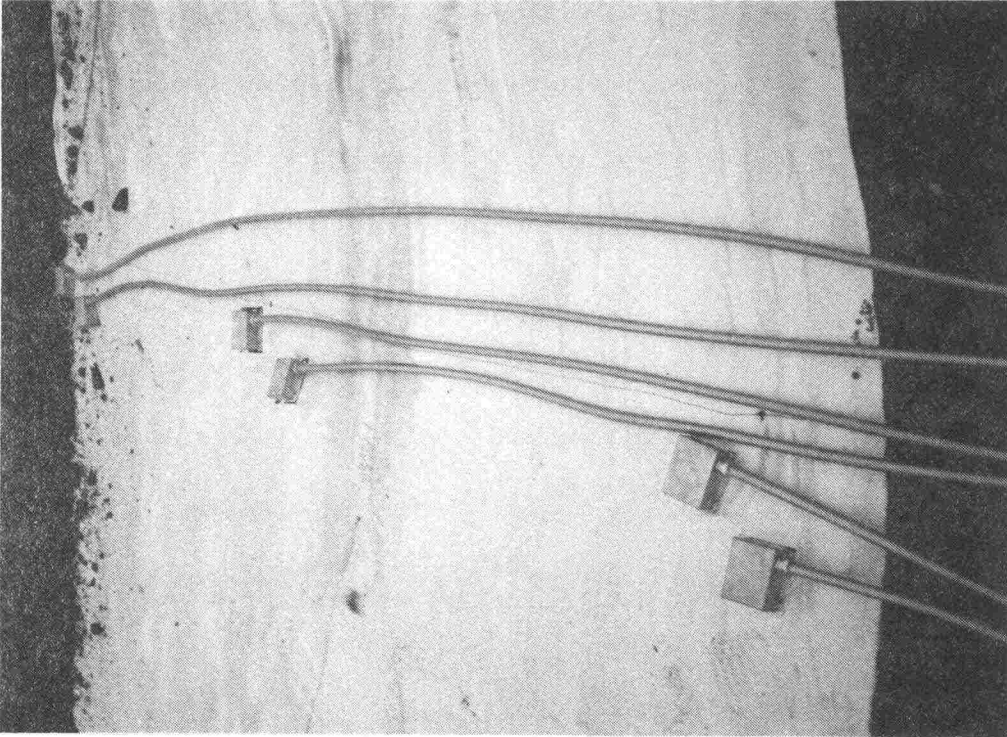
Kuva 32: Tienpinnan vertikaaliliikkeiden mittausanturi

7.1.4 Geovahvisteen venymämittausjärjestely

Juuan kohteessa 4 asennettiin koerakenteen osana olevaan geovahvisteseen koerakenteessa muodostuvien horisontaalisuuntaisten jännitysten aiheuttamien muodonmuutosten mittaamiseksi vastusvenymäliuskekatekniikkaan perustuva kuvan 33 mukainen mittausjärjestely.

Kukin mittauspiste sisältää mittaavan ns. aktiivisen liuskan sekä ns. dummy-liuskan eli lämpötilan vaihtelujen kompensoimiseksi mittaavan liuskan rinnalle kytketyn liuskan. Liuskat on suojattu ja kaapeloitu siten,

että mittaaminen tapahtuu lukemalla vakio syöttöjännitettä vastaava vahvistettu suhteellinen muodonmuutosarvo.



Kuva 33: Geovahvisteen venymämittausjärjestely

7.2 Instrumenttien asennustyö

Seurantamittausjärjestelmien suunnitellun mukaiselle toiminnalle on edellytyksenä oikein ja huolellisesti suoritettut mittausantureiden asennustyöt. Tutkittavaan rakenteeseen asennettu mittauslaite muuttaa aina jossain määrin rakenteen alkuperäistä olotilaa ja toimintaa, mutta mittausjärjestelmän tarkoituksenmukaisella valinnalla ja oikein suoritettulla asennustyöllä voidaan minimoida mittausanturin itsensä vaikutusta mitattavaan suureen.

Kaikki kohteissa käytetyt mittausanturit asennettiin kootusti samoihin poikkileikkauksiin, jolloin asennusjärjestys oli aina sama. Ensimmäisessä työvaiheessa kaivettiin poikkileikkaus auki n. 1.5 m:n syvyyteen mahdollisimman kapeakauhaista kaivinkonetta käyttäen.

Kaivannon häiriintymättömään seinämään asennettiin porrasmaisesti TDR-kosteussensorit tasoille -1.4 m, -0.7 m ja -0.4 m tien alkuperäisestä pinnasta lukien pääsääntöisesti sekä tien keskilinjan että reunan kohdalle. Siirtokaapelit pyrittiin sijoittamaan mittauspäiden kanssa samalle tasolle, jolloin routanousueroista johtuvat kaapeleihin kohdistuvat vetorasitukset

minimoituvat. Seuraavassa vaiheessa kaivanto täytettiin kerroksittain tiivistäen tasoon n. -0.4 m tien pinnasta.

Termoelementtisauvat asennettiin kaivannon reunan läheisyyteen n. 0.3 m:n päähän alkukaivannon reunasta kairattuun reikään. Johtimet tuotiin kaivannon kautta liitinkaivoihin. Elementit asennettiin pääosin tien tasausviivalle sekä reunaan. Routanousuantureita varten kairattiin n. 3 m syvät reiät (ϕ 1.25") alkukaivannon reunalle tehdyn matalan kaivannon pohjalle. Ankkuriputket lyötiin routarajan alapuolelle ja putket katkaistiin kaivannon pohjan tasalta. Putkien päihin tehtiin kierteet vaijerin lukitusholkille ja vaijerin suojauskumi kiristettiin paikalleen. Kaivannon täyttötyön kanssa samanaikaisesti asennettiin tierakenteen liikkeitä myötäilevä anturin yläosa, jonka muodostaa koteloitu potentiometri ja tämän päälle pultattu teräslevy. Lopuksi kaivanto täytettiin ja tiivistettiin alkuperäiseen tasoonsa.

Geovahvisteen venymäliuska-asennukset ja suojaukset tehtiin laboratorioolosuhteissa, jonka jälkeen instrumentoitu geovahviste levitettiin koerakentamisvaiheen yhteydessä.

7.3 Instrumentoinnissa ja asennustyössä tehtyjä huomioita

Koerakentamiskohteiden instrumentointi on suunniteltava tarkoin rakenteiden toiminnan kannalta olennaisten ilmiöiden ja suureiden esiin saamiseksi. Suunnitelmat on saatava toteutusvaiheeseen laitteiden pitkät toimitusajat ja rakentamisen vaatima aika huomioiden.

Mittauslaitteet on voitava asentaa häiriintymättömään rakenteeseen todellisten mittaustulosten saamiseksi. Termoelementtisauvojen asentamista varten tehtyjen reikien on oltava mahdollisimman ahtaat asennettavalle elementille konvektiota aiheuttavan tyhjätilan vähentämiseksi. Ongelmia aiheuttaa esim. pohjavesipinnan alapuolelle hiekkakerrokseen kairatun reiän aukipysyminen elementtisauvan asentamisen ajan. Routanousuantureiden ankkuroinnin onnistuminen tulisi varmistaa ennen asennuksen jatkamista. Ankkurointi olisi tarkoituksenmukaisinta ajaa maahan reiän kairauksen yhteydessä, jolloin asennuksesta jäisi yksi työvaihe pois. Asennuskaivanto tulisi tiivistää kunnollisesti alkuperäiseen tiiveyteensä alkupainumien minimoimiseksi. Instrumentoidun geovahvisteen levityksen jälkeen olisi vahviste tarkoituksenmukaisinta esijännittää, jotta vahviste kykenisi ylipäätään toimimaan rakennetta vahvistavana osana.

8. RAKENTAMISESTA SAATUJA KOKEMUKSIA

8.1 Koneet

Sopivan kaluston käytön tärkeys työn lopputuloksen ja taloudellisuuden kannalta korostui koerakenteiden toteutuksessa. Esimerkiksi tarvittavat materiaalmäärät olisi voitu eräissä tapauksissa (sorasalaojat ja hydromatto) lähes puolittaa. Lisäksi oikean kaluston valinta helpottaa ja nopeuttaa työtä huomattavasti.

Kaivannon tekeminen sorasalaojaa tai hydromattoa varten on taloudellista vain käyttämällä kapeaa kauhaa. Hydromattokaivannon tekemisessä voitaisiin lisäksi kokeilla peltosalaojakoneita tai erillisiä ketjukaivulaitteita sekä mahdollisesti kaapeliauroja. Täyttötyössä voitaisiin hyödyntää pientä kuormaajaa (kääntyvyys tiellä hyvä), sivulle purkavaa kauhaa tai reunojen sorastukseen tarkoitettua laitetta.

Mikäli geovahviste asennetaan vanhan tienpinnan alapuolelle, olisi tien pituussuuntaan levitettävän vahvisten levitykseen mahdollista kehittää kaivinkoneeseen asennettava lisälaitte, jonka avulla kaivinkone voisi kaivaa "etupuolelta" ja samalla levittää ja kiristää vahvisten takanaan. Kaivettu materiaali siirrettäisiin tällöin suoraan kiristetyn geovahvisten päälle. Kuvattua tekniikkaa käytettäessä liikenteelle aiheutettu haitta ja vaikeudet vanhan tiemateriaalin uudelleenkäytössä pienenisivät.

Stabiloinneissa vanhan pinnan repiminen onnistui parhaiten kaivinkoneella tai traktorikaivurilla. Niillä stabiloitavan runkoaineen irroitus työ oli vaivatonta ja nopeaa verrattuna tiehöylään, joka joutui siirtelemään massoja edestakaisin tiellä. Kovien tai huomattavasti yli 10 cm paksujen kerrosten irroittamisessa tiehöylän käyttö on kyseenalaista. Tappiterällä pinnan sai irroitettua kohtuullisella työmäärällä noin 15 cm:n syvyyteen asti, mutta sitä syvemmälle mentäessä kaivinkoneen tai traktorikaivurin käyttäminen oli ehdottomasti parempi vaihtoehto. Lisäksi traktorikaivuria tai kaivinkonetta käytettäessä massoja ei mennyt hukkaan yhtä paljon kuin tiehöylällä, jolla niitä helposti levisi ojiin. Tiehöylää käytettäessä työmaalla tarvitaan yksi kone vähemmän.

Stabilointien sideaineiden levityksessä käytettävän tekniikan kehittäminen paremmin työhön sopivaksi on tärkeää. Toteutetuissa koekohteissa stabilointiaine yritettiin levittää hiekanlevittimellä, mutta ainoastaan masuunikuonan levitys onnistui hyvin. Myös rikinpoisto jätte levitettiin hiekanlevittimellä, mutta työ ei ollut joustavaa. Kipsi levitettiin kuorma-auton lavalta matoksi ja Finnstabi sekä sementti rikkomalla säkit suoraan tielle.

Ongelmia levitystyössä aiheutti lähinnä hienorakeisten materiaalien "tarttuminen" kuorma-auton lavaan kiinni sekä aineiden huono valuvuus levittimen läpi.

Stabiloinneissa esiintyi ongelmia myös sekoitusvaiheessa. Ainoastaan kipsisementti- ja masuunikuonastabiloinneissa sekoittuminen näytti silmämääräisesti arvioiden onnistuvan hyvin työhön käytetyllä jousiäkeellä. Näidenkin osalta on syytä varmistaa sekoittumisen tapahtuminen koko suunnitellulla stabilointipaksuudella. Rikinpoistojätteen ja Finnstabin osalta sekoittaminen ei onnistunut äkeellä. Molemmat materiaalit ovat hienojakoisia ja kevyitä, jolloin ne "jäivät kellumaan" raskaamman runkoaineksen päälle. Sekoittumista tapahtui ainoastaan pinnassa. Rikinpoistojättestabiloinnissa lopullinen sekoitus tehtiinkin tiehöylällä ja Finnstabi-stabiloinnissa kaivinkoneella. Molemmilla tavoilla sekoitus onnistui silmämääräisesti arvioiden kohtuullisesti, mutta lopulliset päätelmät sekoituksen onnistumisesta (kaikissa stabiloinneissa) voidaan tehdä vasta myöhemmin otettavien koekappaleiden perusteella. Hienorakeisten sideaineiden sekoituksessa täytyy näiden kokemusten perusteella käyttää jousiäestä tehokkaampia menetelmiä. Kysymykseen voisivat tällöin tulla esim. kyntöauran tai syvääkeen käyttö, tai sellaisen sekoitusmenetelmän kehittäminen, jossa pyörivät terät suorittavat sekoituksen tehokkaasti.

Stabiloinneissa esiintyneiden ongelmien johdosta kannattaa yhtenä vaihtoehtona harkita myös sideaineiden sekoittamista erillisessä varastokasassa tai sekoitusasemalla murskeeseen (kts luku 8). Tällöin kustannukset kuitenkin kasvavat ja rakennusaika pitenee. Myös erikoisesti sementin ja kalkin levittämiseen tarkoitettujen levitintraktorien käyttömahdollisuutta sideaineiden levittämisessä kannattaa tutkia. Erilaisten jyrshinten käyttö irroituksessa ja sekoittamisessa voisi myös tulla kysymykseen.

Koerakentamisessa tiivistystyö suoritettiin pääasiassa kuormatulla kuorma-autolla. Jyrällä päästäisiin parempaan lopputulokseen, mutta ainakaan saatujen kokemusten perusteella tämän kaltaisessa rakentamisessa ei ole mitään estettä kuorma-auton käytölle tiivistystyössä.

Koneiden tehokas käyttö on työn taloudellisuuden kannalta tärkeää. Siksi rakennustyö tulee suunnitella siten, että odotusaikoja ei tule. Aina tämä ei kuitenkaan ole mahdollista ja silloin tulisi koneille järjestää "välitöitä" lähistöltä. Tällaisia voisivat olla esimerkiksi ojien perkaus ja tien pinnan höyläys.

8.2 Materiaalit

Biotiitti-murske ja biotiitti-kipsi seoksia käsiteltäessä oli vaikeuksia massan huonon tiivistettävyyden takia. Jatkotutkimuksilla pitäisikin selvittää tiivistettävyyden parantamista.

Voimalaitostuhka tuntui käyttökelpoiselta materiaalilta. Valmiiksi optimikosteudessaan oleva tuhka helpotti rakentamista huomattavasti, sillä materiaali ei pölissyt juuri lainkaan ja tiivistyi helposti. Kokoonpuristuminen oli kuitenkin erittäin voimakasta, mikä haittasi erityisesti reunojen tiivistystyötä.

Finnstabi-stabiloinnissa käytetty sideaine sisältää sammuttamatonta kalkkia, joka on haitallista hengitettynä. Materiaalitutkimuksilla kannattaisikin selvittää aineen korvaamista jollakin muulla komponentilla. Finnstabi on lisäksi erittäin hienorakeista ja voimakkaasti pölyävää. Pölyhaittojen takia voitaisiinkin selvittää sideaineen käyttömahdollisuuksia esimerkiksi kosteana, nesteytettynä tai rakeisessa muodossa. Tällöin myös sideaineen levittäminen ja sekoittaminen runkoainekseen todennäköisesti helpottuisivat.

Vaikka rikinpoistojäte on hienojakoista materiaalia, mainittavia pölyhaittoja ei kuitenkaan esiintynyt. Sekoittamisessa esiintyneet ongelmat olivat kuitenkin pitkälti samankaltaisia kuin Finnstabilla. Rikinpoistojätteenkin osalta lisäselvitys sopivamman käyttömuodon löytämiseksi olisi hyödyksi.

Masuunikuonan osalta koerakentaminen onnistui rakennusteknisessä mielessä hyvin. Kuona oli käytetyssä muodossa helppoa käsitellä ja sen kuljetus, levittäminen ja sekoitus onnistuivat ongelmitta.

Kipsi-sementti-stabiloinnissa ei esiintynyt ongelmia, jotka vaatisivat lisätutkimuksia materiaalien osalta. Esiintyneet vaikeudet johtuivat lähinnä työtekniikasta sekä käytetyistä laitteista.

8.3 Vanhan tiemateriaalin uudelleenkäyttö

Koerakentamisen yhteydessä todettiin, että vanhan tien rakennekerrosten hyödyntäminen uudessa rakenteessa tuottaa ongelmia. Materiaalin talteenottotapa, siihen kuluva aika sekä uuden materiaalin kuljetusmatka ratkaisevat, kannattaako uudelleenkäyttö ylipäänsä ollenkaan.

Nyt toteutetuissa rakenneratkaisuissa vanhan murskeen käytöllä oli suunniteltu päästävän selviin säästöihin materiaalikustannuksissa. Toisaalta

uudelleenkäyttö kuitenkin lisäsi työmäärää ja kustannuksia. Lisäksi käyttökelpoista materiaalia oli tien pinnassa useimmiten vähän ja pohjamaata pyrki sekoittumaan siihen talteenottovaiheessa.

Oikean työtavan valinta on työssä ensiarvoisen tärkeää. Parhaisiin tuloksiin päästiin kaivinkone-kuorma-auto yhdistelmällä tai irroittamalla pinta tiehöylällä ja kasaamalla materiaali varastokasaan traktorin etukauhalla. Yritettäessä siirtää murske tiehöylällä tien reunoille myöhempää käyttöä varten kasvoi materiaalihukka liian suureksi.

Vanhojen rakennekerrosten jättäminen uuden rakenteen alle kasvattaa koko rakenteen kantavuutta. Näin rakenteen lisättäviä kerrospaksuuksia voidaan pienentää verrattuna vaihtoehtoon, jossa osa vanhasta rakenteesta olisi käytetty uuden rakenteen osana. Useimmissa rakenteissa kerrospaksuuksia ei tässäkään tapauksessa kuitenkaan voida ratkaisevasti pienentää rakenteen toimivuuden takia. Esimerkiksi vahvisteiden päällä olevaa murskekerrosta ei voida pienentää ratkaisevasti käytetyistä ja kevytsoran sekä tuhkan päällä on joka tapauksessa oltava riittävä suojakerros.

Yllämainittujen seikkojen pohjalta vanhan tiemateriaalin uudelleenkäytön taloudellisuus täytyy harkita tapauskohtaisesti.

Vanhan murskeen hyötykäyttöä voidaan tehostaa käyttämällä korjausrakentamisessa hyväksi erilaisia vanhan pintakerroksen stabilointeja. Tutkimuksessa saatujen kokemusten perusteella tämän kaltainen vanhojen rakennekerrosten uudelleenkäyttö tuntuu perustelluilta.

Pohjamaahan ulottuvien laaja-alaisten kaivu ym. toimenpiteiden toteuttamista tulee harkita tarkkaan niiden vaatiman suuren työmäärän takia. Tutkimuksessa tätä ryhmää edustaa lähinnä Kiuruvedellä toteutettu vaakasuunnassa tien alla oleva salaojamatto. Vanhaa tienpintaa tulisikin pitää lähtökohtana, johon parannusta haetaan lähinnä tienpinnasta ylöspäin suuntautuvilla toimenpiteillä. Entinen murskekerros kannattaa kuitenkin mahdollisuuksien mukaan hyödyntää tehokkaasti.

9. MUITA KOKEILUJA TUTKIMUKSEN ULKOPUOLELTA

Yleisimmin käytetty korjausratkaisu on kantavuuden lisääminen murskekerrosta kasvattamalla. Käytetyt kerrospaksuudet ovat tällöin yleensä 20-25 cm. Samassa yhteydessä tapahtuva suodatinkankaan käyttö kerrosten sekoittumisen estämisessä on myös lisääntynyt ja tulokset ovat olleet poikkeuksetta positiivisia.

Eristeiden käyttöä routaheittojen tasaamisessa on kokeiltu, mutta joissain tapauksissa tilanne on jopa pahentanut. Eriste katkaisee veden kapillaarisen nousun, jolloin tien pinta kokemusten perusteella helposti pölisee.

Tien pituussuuntaisessa rinteessä on Hämeen tiepiirissä kokeiltu noin 1.8 m syvää, tien keskelle sijoitettua salaojaa (täyttö karkealla hiekalla). Salaojan keräämä vesi johdetaan pois kaivannon pohjalle asennettua salaojaputkea pitkin. Ennen kokeilua tien pintaosa pyrki "valumaan" veden mukana rinnettä alaspäin, mutta ongelma on poistunut korjauksen jälkeen.

Samoin on kokeiltu tien reunan painumisen ja leviämisen estämistä täyttämällä oja karkealla seulontajätteellä, jolloin siihen muodostuu tavallaan salaoja. Seulontajäte tukee samalla tien reunaa estäen sen leviämistä (ojat eivät tukkeudu) ja parantaa kantavuutta. Tulokset ovat olleet erittäin positiivisia.

Kolmas Hämeessä tehty kokeilu on murskeen stabilointi sementillä. Sideaine sekoitettiin murskeeseen erillisessä varastokasassa kuukautta ennen rakentamista ja valmis massa levitettiin tielle. Sideainetta käytettiin noin 2% murskeen kuivapainosta ja stabiloidun kerroksen paksuus rakenteessa oli 20 cm. Kokemusten perusteella tämäkin ratkaisu on toiminut. Kokeilusta saa lisätietoa Tampereen teknillisen korkeakoulun ja Tie- ja vesirakennuslaitoksen Hämeen piirin yhdessä julkaisemasta raportista "Sementillä stabiloitu moreenimurske tien päällysrakenteessa".

Palaturpeen käyttöä eristeenä tierakenteessa on tutkittu päällystetyillä teillä Keski-Pohjanmaan ja Oulun tiepiirien alueilla, mutta ratkaisu sopii periaatteessa aivan samoin myös sorateille. Käytetty turvekerroksen paksuus on ollut 20-35 cm. Saavutetut tulokset ovat olleet positiivisia. Eristeellä on onnistuttu pienentämään huomattavasti routanousuja ja tasaamaan epätasaista routimista.

Yleisesti voidaan kuitenkin todeta, että ylivoimaisesti "suosituin" korjaustoimenpide vielä tänäkin päivänä on kipata murskekuorma sinne mistä ei enää muuten pääse kulkemaan. Näin tie saadaan nopeasti kuntoon, mutta

pitimmällä tähtäimellä tilanne ei juurikaan parane. Uusi materiaali sekoittuu vähitellen pohjamaahan ja lopulta ollaan taas lähtötilanteessa. Lisäksi näin syntyy joihinkin paikkoihin "murskepusseja", joiden kohdalla murskekerroksen paksuus saattaa olla jopa yli metrin. Kun muutaman metrin päässä rakennepaksuus voi olla vain 10 cm, on selvää, että routakäyttäytymisessä on eroja. Murskeen lisääminen tällä tavoin tielle on perusteltua vain silloin, kun tarvitaan nopeita ensiapuratkaisuja.

10. SEURANTAMITTAUKSET JA TUTKIMUKSEN JATKO

Koerakenteiden toimivuuden selvittämiseksi niiden seuranta on tarkoitus jatkaa vielä ainakin kaksi vuotta. Tapahtuvasta seurannasta on tehty erillinen luettelo, joka on esitetty liitteellä 5. Muilta osin seurannan toteuttamisesta päätetään myöhemmin.

Kertyvän seurantatiedon perusteella tehdään vuoden 1993 aikana luonnos erilaisista korjausvaihtoehdoista sorateiden kelirikkovaurioiden korjaamiseksi. Tätä luonnosta tarkistetaan myöhemmin saatavan mittaustiedon sekä kokemusten perusteella. Lopullinen raportti valmistunee vuonna 1994.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Toteutetuista rakenteista selkeimpiä toteuttaa olivat ne, joissa uusi rakenne tuli kokonaan vanhan tienpinnan yläpuolelle. Näissä tapauksissa kuljetusmatkat olivat tärkein työn kestoon vaikuttava tekijä.

Uuden murskekerroksen tekeminen on "perinteinen" ja helppo korjaamistapa. Geovahvisteen tai suodatinkankaan käyttäminen murskekerroksen alla parantaa lopputulosta. Kustannuksiltaan geovahvisteen käyttö on kuitenkin keskimääräistä kalliimpi korjausratkaisu.

Teollisuuden sivutuotteiden käyttäminen omana rakennekerroksenaan (biotiitti-kipsi, biotiitti-murske ja tuhka) oli rakentamisen kannalta hieman edellämainittuja työläämpiä toteuttaa. Suurin ero murskekerroksratkaisun eduksi muodostui kuitenkin kuljetusmatkoissa, jotka ovat sivutuotteilla yleensä huomattavasti pitempiä. Myös sivutuotteiden hinnoittelukäytäntö tulee vaikuttamaan käytön kannattavuuteen. Tutkimuksessa sivutuoteratkaisut ovat kustannuksiltaan keskitasoa. Sivutuotteita tuottavien tehtaiden tai voimalaitosten lähiympäristössä ne ovat kuitenkin varsin varteenotettava vaihtoehto. Biotiitin osalta on vielä tarvetta lisätutkimuksiin materiaalin huonon tiivistettävyyden takia.

Stabiloinnit ovat tulevaisuudessa yksi kilpailukykyisimmistä vaihtoehdoista korjausrakentamisessakin. Ongelmana on tällä hetkellä lähinnä sopivien työtapojen löytäminen ja sideaineiden pitkät kuljetusmatkat. Stabilointien etuna puolestaan on vanhan rakenteen tehokas hyödyntäminen. Menetelmän käyttöä pistemäisten kohteiden korjaamisessa kannattaa myös harkita. Kustannuksiltaan stabiloinnit ovat tutkittujen korjausratkaisujen joukossa keskimääräistä halvempia.

Nyt tutkittujen erilaisten stabilointien totuttamistavoissa ja työmäärissä ei rakentamisen osalta ollut ratkaisevia keskinäisiä eroja. Poikkeuksena kuitenkin Finnstabi-stabilointi, joka oli hieman muita työläämpiä toteuttaa. Sen kohdalla tarvitaan vielä jatkotutkimuksia sideaineen osalta ennenkuin tätä stabilointia voidaan alkaa käyttää yleisesti. Käytetyssä muodossa pölyhaitat olivat niin suuret, että stabilointia ei voi kokeillussa muodossaan suositella käytettäväksi. Finnstabin ja rikinpoistojätteen kohdalla sopivamman työtekniikan tai sideaineen muodon (esim. rakeistaminen tai nesteytys) löytäminen parantaisi tilannetta.

Tutkitut kuivatukseen perustuvat ratkaisut, lukuunottamatta tien toiselle puolelle tehtävää sorasalaojaa, olivat keskimääräistä työläämpiä ja kalliimpia toteuttaa. "Jättemaiden" ja täyttömateriaalien kuljetusmatkoilla on suuri

vaikutus kustannuksiin ja työn sujuvuuteen. Kuivatusratkaisuissa on myös selvitettävä, voidaanko rakenteen keräämä vesi johtaa pois ongelma-alueelta. Tasaisilla alueilla tämä voi olla vaikeaa.

Yksittäisiä kokeiluja tutkimuksessa olivat reunan vahvistus vahvistekaalla ja kevytsoran käyttäminen eristeenä tierakenteessa. Reunan vahvistaminen on yksi halvimmista rakenteista ja siksi sen käyttäminen tuntuu monissa tapauksissa hyvältä ratkaisulta. Rakenteen toimivuutta suunnittelussa muodossa ei tässä tutkimuksessa pystytä varmuudella tutkimaan, koska koeosuudelle ajettiin erehdyksessä rakentamista seuranneena talvena noin 20 cm mursketta. Reunojen käyttäytymistä seurataan tästä huolimatta.

Lämmöneristysratkaisuja tutkimuksessa on mukana kaksi. Kevytsoran käyttäminen eristeenä on keskimääräistä huomattavasti kalliimpi korjausratkaisu. Pirkkalassa toteutettu voimalaitostuhkasta tehty eristävä kerros on huomattavasti edullisempi vaihtoehto. Kummankaan rakenteen toteuttamisessa ei esiintynyt mainittavia ongelmia.

Kaikkien ratkaisujen kohdalla on kuitenkin todettava, että saadut tiedot ja kokemukset perustuvat laboratoriokokeisiin ja koerakenteiden toteuttamiseen. Varsinainen rakenteiden seuranta ja tulosten analysointi sekä sivutuotteiden ympäristövaikutusten tutkiminen todellisissa olosuhteissa on vielä lähes kokonaan tekemättä.

Koerakentamista varten esitettiin jo väliraportti I:ssä 8 kpl koerakentamiskohteita, jotka sijaitsevat Kuopion, Pohjois-Karjalan sekä Hämeen tiepiireissä. Näihin kohteisiin rakennettiin vuosien 1991 ja 1992 aikana yhteensä 17 erilaista koerakennetta.

Seuraavassa toteutetut rakenteet kohteittain eriteltynä. Paaluvälin kohdalla suluissa olevat luvut ilmoittavat instrumentoidun poikkileikkauksen paikan koeosuudella.

KOHDE	KOERAKENNE	VAIKUTUS	PAALUVÄLI
4 Juuka	Biotiitti + murske	kantavuus	0...40 (20)
	Suodatinkangas + murske	kantavuus	40...80 (60)
	Geovahvistematto + murske	kantavuus	80...120 (100)
	Kipsi-sementti stabilointi	kantavuus	120...160 (140)
	Vertailu		160...200 (180)
5 Juuka	Geovahviste reunassa	reunan kantavuus	50...100
	Vertailu		0...50
15 Pielavesi	Hydromatto	kuivatus	50...100 (70)
	Vertailu		0...50 (30)
18 Pielavesi	Sorasalaoja	kuivatus	40...90
	Vertailu		0...40, 90...150
22 Kiuruvesi	Biotiitti + kipsi	kantavuus	0...50 (20)
	Salaojamatto	kuivatus	50...100 (80)
	Sorasalaojat	kuivatus	100...150 (120)
	Vertailu		-40...0 (-25)
40 Pirkkala	Voimalaitostuhka	kantavuus routiminen	20...70 (40)
	Vertailu		-30...20 (0)
42 Pirkkala	Finnstabi stabilointi	kantavuus	0...50 (40)
	Geovahvistematto + murske	kantavuus	50... 84 (65)
50 Vilppula	Geovahvisteverkko + murske	kantavuus	20...70 (40)
	Rikinpoistojättestabilointi	kantavuus	70...120 (100)
	Masuunikuonastabilointi	kantavuus	120...170 (140)
	Kevytsora	routiminen	170...220 (200)
	Vertailu		-30...20 (0)

MUUTOKSIA JA TARKENNUKSIA VÄLIRAPORTTI I:SSÄ ESITETTYIHIN
 TYYPPIRATKAISUIHIN

KOHDE	MUUTOS VÄLIRAPORTTI I:SSÄ ESITETTYYN
4:	Jalostetusta kipsistä tehty kerros on korvattu samanpaksuisella biotiitti-murske kerroksella. Suodatinkangasta käytetään ainoastaan reunojen pussittamiseen.
5:	Käytetty geovahviste oikealla reunalla on geokudos 200 ja vasemmalla geokudos R 160 PP. Vahviketta ei ole viety koko tien yli.
15:	Käytetty hydromatto on Finndrain.
22:	Jalostetusta kiillejätteestä tehty kerros on korvattu samanpaksuisella biotiitti-kipsi kerroksella. Suodatinkangasta ei käytetä (poikkeuksena reunojen "pussitus" tarvittaessa).
40:	Tuhka on Säterin voimalaitostuhkaa (mukana poltettua lietettä ja turvetta).
42:	Stabiloinnissa käytetty vuorikemian sivutuote on Finnstabi.
50:	Suodatinkangasta ei käytetä pelkästään kevytsorakerroksen alla vaan kevytsora "pussitetaan" kokonaan sen sisään. Lisäksi kevytsorarakenteen kohdalla käytetään 10 cm:n kulutuskerrosta. Bitumi-sementti stabilointi on korvattu samanpaksuisella maasuunikuonastabiloinnilla.

KÄYTETTYJEN MATERIAALIEN HINTOJA

Ilmoitetut hinnat eivät sisällä kuljetuksesta aiheutuvia kustannuksia vaan ovat ns. tehtaan hintoja.

CaO	n.450	mk/tn
Geokudos 200, Barker-kutomo Oy	5.95	mk/m ²
Geokudos R 160 PP, Rosenlew Oy	4.00	mk/m ²
Geovahvisteverkko, Fortrac 35/20-20	14.50	mk/m ²
Geovahvistematto, Stabilenka 200/45	26.00	mk/m ²
Geovahvistematto, Televev 150/150	25.00	mk/m ²
Hydromatto, Finndrain P32	50.00	mk/m ²
Kevytsora	150.00	mk/m ³
Kuonajauhe (KJ 400)	267.00	mk/tn
Masuunihiekka (-kuona)	34.00	mk/tn
Masuunisementti (M40/91 LH SR)	500.00	mk/tn
Salaojamatto, Filtram 1B1	35.00	mk/m ²
Sementti	475.58	mk/tn

Tuhka, rikinpoistojäte, kipsi ja biotiitti ovat periaatteessa ilmaisia. Niihin sekoitetut lisäaineet (CaO, sementti ja masuunikuona) kuitenkin aiheuttavat kustannuksia samoin kuin itse sekoitustyö. Finnstabin hinta ei ole vielä tiedossa.

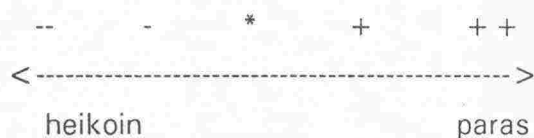
Biotiitti-murske ja biotiitti-kipsi rakenteissa käytettiin stabiloinnissa kuonajauhetta, ei masuunihiekkaa. Tuhkarakenteessa lisäaineena taas oli masuunisementti, jossa kuonajauhetta ja sementtiä on sekoitettu keskenään (tässä tapauksessa noin suhteessa 7:3). Varsinaisessa masuunikuonastabiloinnissa stabilointiaineena oli masuunihiekka, johon oli lisätty CaO:ta 2% sen kuivapainosta.

RAKENTEIDEN VERTAILUTAULUKKO

RAKENNE	HINTA	AIKA	LIIK.	RAK.
PERUSRATKAISU:				
Suodatinkangas + murske	+	++	++	+
GEOVAHVISTEET:				
Geovahvistematto + murske	-	++	++	+
Geovahvisteverkko + murske	-	++	++	+
Geovahviste reunassa	++	*	-	+
TEOLLISUUDEN SIVUTUOTTEET:				
Biotiitti + murske	-	+	*	-
Biotiitti + kipsi	*	+	-	--
Voimalaitostuhka	+	*	+	+
STABILOINNIT:				
Kipsi-sementti-stabilointi	+	+	*	*
Masuunikuonastabilointi	+	++	*	+
Rikinpoistojättestabilointi	+	+	-	-
Finnstabi-stabilointi	+	*	--	--
KUIVATUSRATKAISUT:				
Hydromatto pystysuunnassa molemmilla reunoilla	--	--	-	*
Sorasalaoja tien toisella puolella	++	+	*	+
Sorasalaojat tien molemmin puolin	*	-	*	+
Salaojamatto vaakatasossa tien alla	--	--	--	-
LÄMMÖNERISTYS:				
Kevytsora	--	+	--	*
Voimalaitostuhka (sivutuote)	+	*	+	+

Taulukossa vertaillaan eri ratkaisujen toteuttamiskustannuksia, rakentamiseen tarvittavaa aikaa, liikenteelle ja ympäristölle aiheutettuja haittoja sekä viimeisenä rakenteen toteuttamisessa esiintyneitä ongelmia ja ratkaisujen vaatimaa kehitystyötä.

Arvosteluasteikko on seuraava:



Kustannuksia laskettaessa ei ole huomioitu kuljetusten osuutta eikä käytettyjen massojen sekoittamisesta tehtaalla aiheutuneita kuluja.

Vertailutaulukkoa tarkasteltaessa on huomattava, että toteutetut rakenteet eivät aina ole täysin vertailukelpoisia keskenään. Rakentamisessa käytetyt menetelmät eivät aina olleet tarkoituksenmukaisimpia. Erityisesti sivutuotteiden ja stabilointien kohdalla tulevaisuudessa tapahtuva kehitystyö ja sopivampien työmenetelmien löytyminen parantavat niiden asemaa esitetystä. Taulukko on tehty tässä väliraportissa kuvatulla tavalla toteutettujen rakenteiden rakentamisesta saatujen kokemusten pohjalta ja on lähinnä suuntaa antava.

SORATEIDEN KELIRIKKOVAURIOIDEN KORJAAMINEN KOERAKENTEIDEN SEURANTA

Tutkimuksen aikana rakennettujen koerakenteiden seuranta jatketaan vähintään 2 vuotta. Seuraavassa esitetään tiivistettynä seurannan sisältö.

Routavaaitukset

Koerakenteet vaaitaan seuraavalla sivulla olevan ohjeen mukaisesti. Mittausajankohdat täytyy harkita tilanteen mukaan, kuitenkin siten, että syksyllä vaaitaan lähtötilanne ja viimeinen mittaus tapahtuu vasta kun kaikki routa on sulanut. Yhteensä vaaituksia tehdään vuoden aikana noin 4-6 kpl. Routavaaitusten yhteydessä kirjataan esiintyneet vauriot sekä edellisen mittauskerran tehdyt hoito- ja korjaustoimenpiteet.

Kantavuusmittaukset

Keväällä 1993 mitataan kantavuus kaikilta koeosuuksilta. Sopivin ajankohta on pahimpana kelirikkoaikana. Mittauksessa on pyrittävä käyttämään samaa kalustoa kuin aikaisempina vuosina, jolloin tulokset ovat paremmin vertailukelpoisia.

Vesinäytteet, pvp-pinta sekä kuivattavien rakenteiden keräämä vesimäärä

Niiden rakenteiden kohdilta, joissa on käytetty erilaisia teollisuuden sivutuotteita otetaan pohja- ja pintavesinäyte kerran vuodessa. Voimalaitostuhkarakenteen kohdalla ensimmäisenä vuonna kahdesti. Näytteet tutkitaan puolueettomassa vesilaboratoriossa. Vesinäytteiden ottamisen yhteydessä mitataan myös pohjavesipinnat sekä kuivattavien rakenteiden keräämän veden määrä [l/min].

Maatutkamittaukset

Stabilointien toteutunut paksuus mitataan maatukalla. Samassa yhteydessä selvitetään Vilppulan tiemestaripiirissä olleessa kohteessa löytyneen puutelan tarkka sijainti.

Koekappaleet

Stabiloinneista otetaan kesällä 1993 koekappaleet niiden lujuuden selvittämistä varten.

Instrumenttien mittauskierrokset

Koerakenteiden käyttäytymistä seurataan niihin asennettujen mittalaitteiden avulla. Kohteesta riippuen mitattavia suureita ovat routanousu, kosteus, lämpötila sekä geovahvisteen venymät. Työn suorittavat SGT Oy sekä Oulun yliopisto. Mittausten lukumäärästä päätetään vasta myöhemmin, mutta alustavasti on kaavailtu, että syksyllä tehtävän vertailumittauksen lisäksi tehtäisiin keväällä kolme mittauskierrosta.

SORATEIDEN KELIRIKKOVAURIOIDEN KORJAAMINEN
SEURANTAVAAITUKSET

Kelirikkotutkimukseen liittyvä seuranta jatkuu edelleen syksyllä 1992. Mittauksia on vaaitusten osalta kuitenkin kevennetty aikaisemmasta. Tästä eteenpäin tehdään seuraavaa:

- * vaaitaan keskilinja 5 m:n välein (heitot ja painumat tarkemmin)
(kohteessa 5 myös molemmat reunat ja niiden etäisyys keskilinjasta)
- * vaaitaan poikkileikkaukset instrumentoiduilta poikkileikkauksilta sekä vertailupoikkileikkaukset niille 5 m edellisten vierestä (kts. vaaitukset kohteittain)
- KL, ± 1 , ± 2 , ± 3 , tien laita (korko ja sivumitta) sekä mahdollisuuksien mukaan oja (korko ja sivumitta)
- * vaaitaan poikkileikkaukset mahdollisilta ongelmakohtilta (tien "kallistelu jne.)
- * tien vauriot kirjataan ylös (kuopat, heitot, reunan painumat ja sortumat, kantavuusongelmat, ...)
- * edellisen mittauskerran jälkeen tehdyt hoito- ja korjaustoimenpiteet kirjataan ylös

Seurannassa käytetään edelleen vanhaa lomakepohjaa.

Vaaitukset kohteittain:

<u>Kohde</u>	<u>Paaluväli</u>	<u>Poikkileikkaukset</u>
4	0 ... 200	20, 25, 55, 60, 95, 100, 135, 140, 175 ja 180
5	0 ... 100	20, 70 ja 90
15	0 ... 150	25, 30, 65, 70 ja 90
18	0 ... 150	55, 70 ja 110
22	-50 ... 150	-30, -25, 15, 20, 75, 80, 115 ja 120
40	-30 ... 80	0, 5, 40 ja 45
42	0 ... 90	35, 40, 65 ja 70
50	-30 ... 220	0, 5, 40, 45, 100, 105, 140, 145, 195 ja 200

TOTEUTETUT INSTRUMENTOINNIT

KOHDE/RAKENNE	MITATTAVA OMINAISUUS/INSTRUMENTTIEN ASENNUSPISTE				PAALU
	KOSTEUS	LÄMPÖTILA	ROUTANOUSU	VENYMÄT	
KOHDE 4: JUUKA					
Biotiitti + murske	KL, R	KL, R	KL, A, R	-	20
Suodatinkangas + murske	KL, R	KL, R	KL, A, R	-	60
Geovahvistematto + murske	KL, R	KL, R	KL, A, R	KL, A, R	100
Kipsi-sementti stabiointi	KL, R	KL, R	KL, A, R	-	140
Vertailu	KL, R	KL, R	KL, A, R	-	180
KOHDE 15: PIELAVESI					
Vertailu	KL, R	KL, R	KL, R	-	30
Hydromattokuivatus	KL, R	KL, R	KL, A, R	-	70
KOHDE 22: KIURUVESI					
Vertailu	KL, R	KL	KL, A, R	-	-25
Biotiitti + kipsi	KL, R	KL, R	KL, A, R	-	20
Vaakasalaohjamatto tien alla	KL, R	KL, R	-	-	80
Sorasalaohjat tien molemmin puolin	KL, R	KL, R	R	-	120
KOHDE 40: PIRKKALA					
Vertailu	KL, R	KL, R	-	-	0
Voimalaitostuhka	KL, R	KL, R	-	-	40
KOHDE 42: PIRKKALA					
Finnstabi stabiointi	KL, R	KL, R	-	-	40
Geovahvistematto + murske	KL, R	KL, R	-	-	65

TOTEUTETUT INSTRUMENTOINNIT

KOHDE/RAKENNE	MITATTAVA OMINAISUUS/INSTRUMENTTIEN ASENNUSPISTE				PAALU
	KOSTEUS	LÄMPÖTILA	ROUTANOUSU	VENYMÄT	
KOHDE 50: VILPPULA					
Vertailu	KL, R	KL, R	-	-	0
Geovahvisteverkko + murske	KL, R	KL, R	-	-	40
Rikinpoistojättestabilointi	KL, R	KL, R	-	-	100
Masuunikuonastabilointi	KL, R	KL, R	-	-	140
Kevytsora	KL, R	KL, R	-	-	200

Taulukossa esiintyvät merkinnät:

KL = tien keskilinja

A = ajokaistan keskilinja

R = ajoradan reuna

TIEHALLITUKSEN SISÄISIÄ JULKAISUJA

- 33/1992 Ympäristöosaaminen tielaitoksessa. Kehittämiskeskus
- 20/1991 Routavaurio- ja kuivatustutkimus: Kalliokohdetutkimus. TIEL 4000003
- 21/1991 Routavaurio- ja kuivatustutkimus: Pituushalkeamat osa I; routanousun vaikutus halkeamatodennäköisyyteen. TIEL 4000004
- 22/1991 Routavaurio- ja kuivatustutkimus: Pituushalkeamat osa II; tien rakenne- ja olosuhdetekijöiden vaikutus tien routanousuihin. TIEL 4000005
- 34/1992 Routavaurio- ja kuivatustutkimus: Pituushalkeamat osa III, elävät pituushalkeamat ja niiden syntymistodennäköisyys routivassa tierakenteessa. TIEL 4000017
- 35/1992 Routavaurio- ja kuivatustutkimus: Kuivatustutkimus osa I sekä roudan syvyyshavainnot. TIEL 4000018
- 36/1992 Aurusviitoituslaitteet; täydentävä vertailututkimus. Tampereen tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 37/1992 Tielaitoksen oma kalusto 1991. TIEL 4000019
- 38/1992 Ohituskaistatien turvallisuus. TIEL 4000020
- 39/1992 Omajohtoiset työt 1991; Vuokrattu kuljetus- ja konekalusto. TIEL 4000021
- 40/1992 Neuraaliverkkomallin käyttö autokannan ennustamisessa. Tutkimuskeskus
- 41/1992 MEPLAN-esiselvitys, liikenteen ja maankäytön vuorovaikutusmall. Tiensuunnittelu
- 42/1992 Pehmeikölle perustettavan tiepenkereen geotekniset laskelmat. Geopalvelukeskus
- 43/1992 Pehmeikölle rakennettavien tieleikkausten geotekniset laskelmat. Geopalvelukeskus
- 44/1992 Saven varaan perustetut alikulkukäytävät. Geopalvelukeskus
- 45/1992 Tielaitoksen pudotuspainolaitteiden vertailu; Saarijärvi 8-9.7.1992. TIEL 4000023
- 46/1992 Tielaitoksen liiketaloudelliset laskelmat; Tilinpäätösanalyysi ja ennakoiva tulossuunnitelma, yleisohje. Talous- ja tietotuki
- 47/1992 Liikenneympäristön tilaselvitys, melu. Kehittämiskeskus
- 48/1992 Tielikenneonnettomuudet eri nopeusrajoituksilla vuonna 1991. TIEL 4001828-92
- 49/1992 Pyöräkuormaajien ja traktorien seurantatutkimus. TIEL 4000024
- 50/1992 Liuoslevittimien käyttökokeilu. TIEL 4000025
- 51/1992 Sorateiden kelirikkovaurioiden korjaaminen, väliraportti III: Materiaalitutkimuksia jalostetuista teollisuuden sivutuotteista. Kuopion tuotantotekninen kehitysyksikkö