



## **EPStress. Paksun EPS-KERROKSEN KUORMITUSKESTÄVYYS- TUTKIMUSOHJELMA**

E18 Paimio - Muurla projekti

### **MUURLAN KOERAKENNUSKOHDDE**

## Sisältö

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Tutkimuksen tavoitteet .....                                        | 3  |
| 2. Tutkimuskohde .....                                                 | 4  |
| 2.2 Alueen pohjasuhteet .....                                          | 4  |
| 3. Koerakenteen suunnittelu ja rakennekerrosten mitoituslaskelmat..... | 5  |
| 3. 1 Kevennyssuunnitelma.....                                          | 5  |
| 3.2 Rakennekerrosten suunnittelu .....                                 | 7  |
| 4. Koerakenteen toteuttaminen ja rakentamisen laadunvarmistus.....     | 8  |
| 4.1 Koerakenteen toteuttamisen aikataulu.....                          | 8  |
| 4.2 Keventeen rakentaminen .....                                       | 8  |
| 4.3 EPS-keventeen materiaalitutkimukset.....                           | 15 |
| 5. Tien poikkileikkausmittaukset.....                                  | 15 |
| 6. Kantavuus- ja tiiviysmittaukset .....                               | 16 |
| 7. Takaisinlaskennat .....                                             | 17 |
| 8. Yhteenveto ja jatkotutkimusehdotukset.....                          | 19 |

## 1. Tutkimuksen tavoitteet

'Paksun EPS-kerroksen kuormituskestävyys' - tutkimusohjelma (EPStress) oli TEKESin ja Suomen Muoviteollisuusliiton rahoittama tutkimushanke, jossa VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikassa tutkittiin EPS-materiaalin mekaanista käyttäytymistä ja mitoitus- ta rakenteiden keventeenä. Tutkimushankkeeseen sisältyi koerakentamiskohteita, joista yksi oli tässä esitetty Muurlan kohde. Muut koerakennuskohteet olivat katurakenteita. Muurlan kohde valittiin koerakennuskohteeksi, koska se oli vilkasliikenteinen, koska raskaan liikenteen osuus oli suuri, ja koska kohde oli lyhytikäinen. Kohde sijaitsi väliai- kaisella tieosuudella, joka käyttöäksi arvioitiin enintään 10 vuotta.

Eräänä merkittävänä ongelmana EPS-kevennerakenteiden käytössä oli tähän asti ollut puutteet päällysrakenteen mekaanisen mitoituksen tiedoissa ja menetelmissä. EPStress- tutkimusohjelmassa oli tavoitteena täsmentää EPS-keventeiden mitoitusmenetelmiä tuotteiden käytön tehostamiseksi ja kilpailukyvyyn parantamiseksi. Tällöin olisi mahdol- lista saada keventäminen teknisesti ja laadullisesti vertailukelpoiseksi menetelmäksi muiden pohjamaan parantamismenetelmien kanssa.

Muista koerakennuskohteista tehtyjen selvitysten perusteella (Vammalan Pesurikatu ja HVS-Nordic -koe) EPS-materiaali näytti toimineen mekanistisesti hyvin tierakenteessa urautumatta. Keventeen pinnalle syntyneet pysyvät muodonmuutokset (urautuminen) oli ollut vähäistä. Kevenne oli kokoonpuristunut kuormituksen yhteydessä, mutta pysyvät muodonmuutokset olivat lähes olemattomia. Muurlan kohteessa pyrittiin erityisesti sel- vittämään keventeen ja sen päällä olevien rakennekerrosten toimintaa raskaasti liiken- nöidyssä tiekohteessa sekä rakentamisen kannalta että käytännössä. Valitussa rakenne- ratkaisussa korvattiin tavanomainen EPS:n päällä oleva betonilaatta jäykemmällä kanta- valla kerroksella. Kohteen kevennysmateriaaliksi oli alkuperäisessä rakennussuunnitel- massa ehdotettu kevytsoraa.

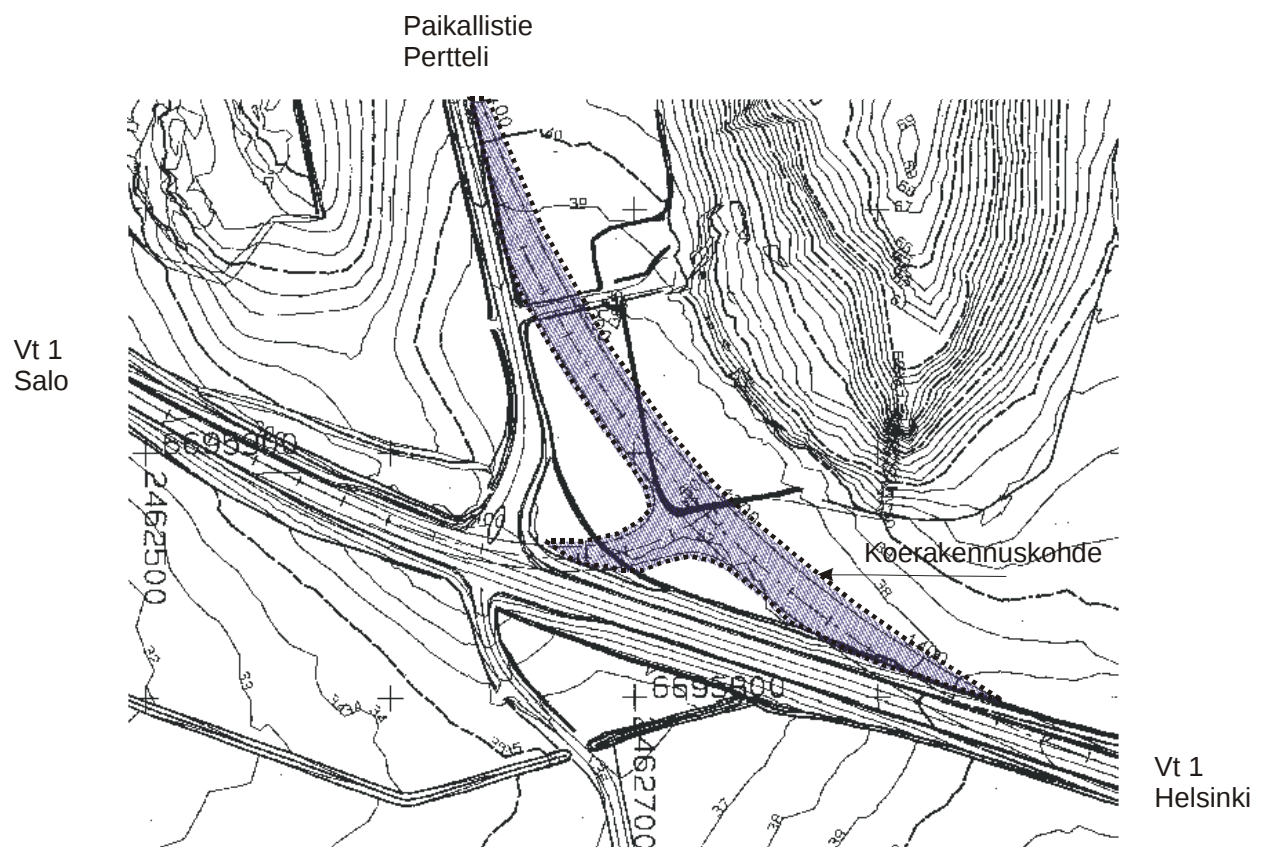
Suurimmaksi ongelmaksi EPS-kevennerakenteissa arvioitiin muodostuvan keventeen päälle tulevien rakennekerrosten käyttäytyminen. Sekä kuormitettuun keventeeseen että sen yläpuolisiin kerroksiin syntyvät suuret kimmoiset muodonmuutokset voivat aiheut- taa myös pysyvää muodonmuutosta näihin kerroksiin sekä päällysteeseen. Keventeen päälle tehtiin vähintään 700 mm paksuiset rakennekerrokset liukkaudentorjuntasyistä. Riittävän kantavuuden saavuttamiseksi rakenteen yläosan jäykkyyttä lisättiin stabiloi- malla kantavan kerroksen yläosaan 150 mm paksuinen komposiittikerros. Rakenteen tarkempi kuvaus on esitetty luvussa 4.

## 2. Tutkimuskohde

Kohde sijaitsi väliaikaiseksi suunnitellulla tieosuudella, joka yhdisti rakenteilla olleen moottoritieosuuden välillä Paimio - Muurla sekä nykyisen valtatie 1 lähellä Muurlan Lasitehdasta (kuvat 1 ja 2).



Kuva 1. Koerakennuskohde.



Kuva 2. Koerakennuskohteen sijainti valtatiellä 1 (E18).

Keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL) kohteessa oli 9000 ajoneuvoa/vrk, josta raskaan liikenteen osuus oli 15 %. Kuormituskertaluvuksi (KKL) 10 vuoden mitoitusaikana saatiin 6 200 000.

### 2.2 Alueen pohjasuhteet

Alueella sijaitsi pehmeikkö, jonka syvyys keventeen kohdalla vaihteli välillä 14,5 - 16,5 metriä. Savikon yläosassa oli 0,8 - 1,7 metrin paksuinen kuivakuorisavi. Sen alla maa oli pääosin lihavaa savea, joka kerrostuman alaosissa muuttui karkeammaksi silttiseksi.

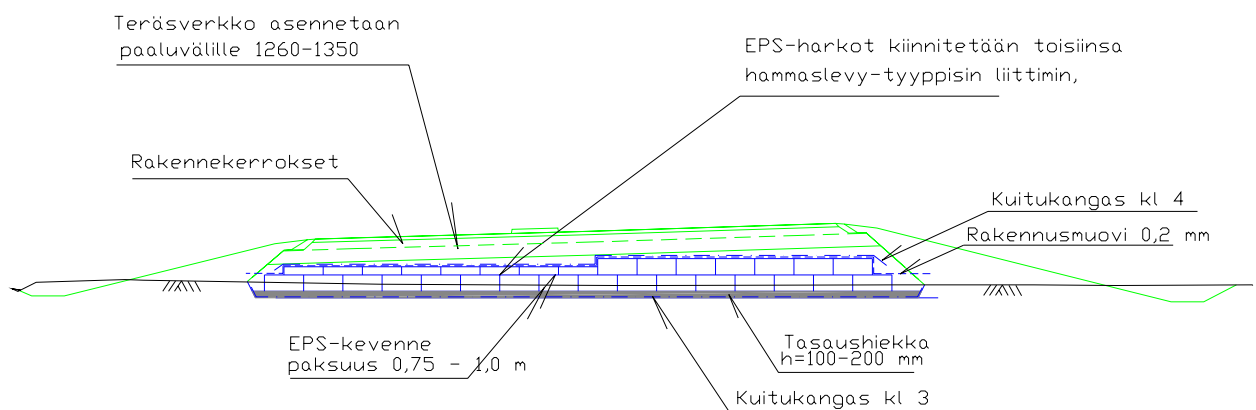
### 3. Koerakenteen suunnittelu ja rakennekerrosten mitoituslaskelmat

Ensin selvitettiin tiepenkereen vakavuus. Tiepenkereen stabiliteetti ilman kevennystä oli riittämätön, sillä varmuuskerroin oli 1,3 vaadittavan 1,5 sijasta. Kun rakennetta kevennettiin, sen stabiliteetti nousi hyväksyttävälle tasolle ( $F = 1,95$ ). Noin 1,5 metrin tiepenkereen kokonaispainumaksi kuormalla 32 kPa 10 vuoden mitoitusikäenä ilman ke-

vennyksiä arvioitiin 400 - 500 mm. Kokonaispainuma olisi saattanut olla hyväksyttävä ottaen huomioon rakenteen lyhyen käyttöiän, mutta painumaerot nykyisten rakenteiden sekä uusien rakenteen välillä sekä poikki- että pituussuuntaan edellyttivät painumien tasaamista. Näin kevennystä arvioitiin tarvittavan sekä lisäämään stabiliteettia että ta-  
saamaan painumia.

Kohteeseen oli alunperin suunniteltu osittainen kevennys, jolloin maapohjalle tulevaa kuormitusta olisi pienennetty osittain. Kevennetyn tiepenkereen nettokuormitus oli keskimäärin 15 kPa. Vaikka keventeen materiaali muutettiin EPS-keventeeksi, pyrittiin samaan nettokuormitukseen kuin alkuperäisellä kevennemateriaalilla, kevytsoralla. Koska kevennys oli osittainen, ei rakenteen mitoituksessa voitu juuri hyödyntää EPS:n merkittävästi kevyempää tiheyttä. Nettokuormituksen 15 kPa laskettiin aiheuttavan 180 - 250 mm painuman kymmenen vuoden käyttöiän aikana. Painumasta noin 50 - 80 mm arvioitiin tapahtuvan ensimmäisen vuoden aikana eli rakennusaikana ennen tieosuuden päällystämistä. Koska alueen kuivakuorikerros oli ohuehko, se pyrittiin säilyttämään mahdollisimman tarkasti ja rakennusalueelta poistettiin vain ruokamultakerros, jonka keskimääräinen paksuus oli noin 200 mm.

Tie koerakennusalueella oli kaarteessa ja keskellä sitä sijaitsi risteys. Kevennettäväksi suunniteltu alue sijoittui kahden nykyisen tiepenkereen välisille alueelle. Kaarrealue, poikkisuuntaan yksipuolinen kallistus (tien reunojen korkeusero luokkaa 400 mm) sekä tiepenkereen osittainen levennys nykyisen penkereen sivussa vaikeuttivat EPS-harkkojen asettelua. Siksi päädyttiin ratkaisuun, jossa EPS-kevennettä käytettiin vain kohteen paaluvälillä 1180 - 1350. Epämääräisen muotoiset kaarrealueet ja vanhan penkereen levennykset suunniteltiin toteuttavaksi tämän vuoksi kevytsorasta. Kuvassa 4 on esitetty koerakenteen tyypipiirustus.



Kuva 4. Koerakenteen tyypipiirustus.

Kevennysalueella oli risteys ja siihen liittyen liikenteen ohjauksen vaatima portaali sekä tievalaistus. Valaisin- ja portaalipylväät edellytettiin perustettaviksi paaluperustuksilla, jotka tehtiin ennen kevennysrakenteen tekoa.

### 3.2 Rakennekerrosten suunnittelu

Koerakennuskohteen päällysrakenteen mitoitus perustui samoihin kantavuusvaatimuksiin kuin kevytsorarakenteellakin. Laskentamenetelminä käytettiin Plaxis-elementtiohjelmaa sekä APAS-monikerroskalkentaa. Taulukossa 1 on esitetty APAS-laskelmissa käytetyt materiaalipaksuudet ja -parametrit.

Plaxis-laskelmissa pyrittiin mallintamaan erityisesti EPS:n pintaan tulevia jännityksiä ja muodonmuutoksia. Plaxis-ohjelmassa käytettiin ideaalielastisia materiaalimalleja. Kun komposiittikerroksen paksuus oli 180 mm, kokonaisrakennekerrospaksuus 700 mm ja EPS:n moduuli 7 MPa, saatiin 50 kN standardikuormalla EPS:n yläpintaan 23 kPa:n jännitys ja 0,1 % muodonmuutos. EPS arvioitiin toimivan elastisesti muodonmuutosten ollessa alle 0,4 - 0,5 %, joten EPS:iin ei laskelmien mukaan muodostuisi pysyviä muodonmuutoksia. Edellä esitetyissä laskelmissa ei mallinnettu teräsverkon vaikutusta.

*Taulukko 1. APAS- ja Plaxis laskelmissa käytetyt materiaalipaksuudet ja -parametrit.*

| Materiaali             | Paksuus (mm) | Moduuli MPa | Poisson luku |
|------------------------|--------------|-------------|--------------|
| Kulutuskerros AB + ABK | 100          | 4106        | 0,35         |
| Komposiittirakenne     | 150          | 2013        | 0,35         |
| Kantavan alaosa        | 50           | 280         | 0,35         |
| Jakava kerros KaM 0/90 | 400          | 150         | 0,35         |
| EPS                    | 1000         | 7 - 15      | 0,1          |
| Pohjamaa (KuSa)        | -            | 20          | 0,35         |

APAS-laskelmilla laskettiin keventeen päällä olevissa kerroksissa vallitsevat jännitykset ja niitä vastaavat muodonmuutokset. Laskelmia tehtiin suunnitteluvaiheessa usealle eri kerrospaksuudelle ja erityisesti komposiittirakenteen tarpeellisuutta sekä paksuusvaatimusta tutkittiin sillä. Tosin APAS:lla tehtyjä elinikä-laskelmia komposiittirakenteen osalta ei voitu pitää luotettavina, sillä APAS:ssa ei ollut sopivaa materiaalmallia eikä mitoituskriteeriä osittain hauraasti käyttäytyvälle komposiittirakenteelle. Laskelmien mukaan valitun komposiittirakenteen elinikä oli vain 4,5 vuotta, kun mitoituskriteerinä käytettiin komposiittirakenteen alapinnan vaakasuuntaista venymää. APAS-laskelmien mukaan EPS:n yläpinnan palautuva muodonmuutos oli 0,7 mm.

Koerakenteessa sovelletut lopulliset rakennekerrokset ja niiden osat päätettiin Tiehallinnon, Tieliikelaitoksen ja VTT:n välisessä suunnittelupalaverissa 11.9.2001, josta laadittiin erillinen muistio. Ne on esitetty myös taulukossa 2. Komposiittirakenteen osalta päädyttiin 150 mm paksuiseen rakenteeseen, vaikka se ei APAS-laskelmien mukaan ollutkaan riittävä. Todellisuudessa sen eliniän arvioitiin olevan laskennallista pidempi, mutta tätä ei pystytty laskennallisesti osoittamaan. Tämä johtui siitä, että komposiitille ei ollut määritettyä luotettavia materiaalmalleja eikä mitoituskriteereitä.

Taulukko 2. Koerakennuskohteen rakennekerrokset.

| Rakenteen osa                      | Kerrospaksuus (mm) | Materiaali                                                                |
|------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Kulutuserros                       | 40                 | AB 20/100                                                                 |
| Kulutuserros                       | 60                 | ABK 22/150                                                                |
| Kantava kerros, yläosa             | 150                | VBST + 1 % sementti Komposiitti                                           |
| Kantava kerros, alaosa             | 50                 | KaM 0/31                                                                  |
| Teräsverkko                        | -                  | 6/6 - 150/150 (B500K/F30)<br>plv. 1260 - 1350 jakavan kerroksen puoliväli |
| Jakavakerros                       | 400                | KaM 0/90                                                                  |
| Suojahiekka                        | 0 - 300            | Hieno murske 0/10                                                         |
| Kuitukangas                        |                    | kl 4                                                                      |
| Muovikalvo                         | 0,2 mm             | Rakennusmuovi                                                             |
| EPS 0.5 x 1.2 x 3.0 m <sup>3</sup> | 750 - 1250         | Puristuslujuus 100 kPa 5 % muodonmuutoksella                              |
| Tasaushiekka                       | 100 - 200          | -                                                                         |
| Kuitukangas                        | -                  | kl 3                                                                      |
| Pohjamaa                           | -                  | Kuivakuorisavi                                                            |

## 4. Koerakenteen toteuttaminen ja rakentamisen laadunvarmistus

### 4.1 Koerakenteen toteuttamisen aikataulu

Rakenne oli osa Tiehallinnon projektia E18 Paimio - Muurla, ja sen toteutuksesta vastasi Tieliikelaitoksen E18 projektitoimisto. EPS materiaalin kohteeseen toimitti Solupak Oy ja teräsverkon Tammet Oy.

Koerakenteen rakentaminen suoritettiin kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa rakennettiin alueen pohjatyöt, rummut, paalutettiin valaistuksen sekä liikenteen ohjauksen tarvittavat perustukset, rakennettiin kevenne ja sen päälle tuleva murskekerros kantavan kerroksen alapintaan. Tämä vaihe toteutettiin syksyllä 2001. Toinen vaihe toteutettiin vuoden 2002 kesällä. Toiseen vaiheeseen kuuluivat ylempien rakennekerrosten rakentaminen, teräsverkkojen asennus, päällystäminen sekä kohteen viimeistely.

Alustavat työt tehtiin syyskuussa 2001. EPS-harkkojen asennus alkoi syyskuun lopussa viikolla 39, ja se kesti runsaat kaksi viikkoa. Suojakerrosten rakentaminen alkoi viikolla 42.

### 4.2 Keventeen rakentaminen

Ennen varsinaista keventeen rakentamista rakennettiin keventeen alle tuleva poikittainen rumpu sekä paalutettiin pylväasperustukset. Sitten poistettiin ruokamulta tiealueelta ja asennettiin leikkauspinnalle kuitukangas, jonka päälle levitettiin 100 - 200 mm kerros asennushiekkaa. Koska rakennusaikana oli sateinen syksy, leikkauspinnan ja hiekkakerroksen kuivanapito oli hankalaa (kuva 5). Hiekka tasoitettiin (kuva 6) huolellisesti ja

mitattiin ennen harkkojen asennusta. Kohteessa käytettiin  $0,5 \times 1,2 \times 3,0 \text{ m}^3$  ja  $0,25 \times 1,2 \times 3,0 \text{ m}^3$  EPS-harkkoja. Harkot olivat laadultaan ns. leikattua laatua, jonka mittatarkkuus vastaa TYLT:ssä esitettyjä laatuvaatimuksia. EPS:n materiaalimenekki oli  $3320 \text{ m}^3$ . EPS:n kerrospaksuus oli 0,75 - 1,25 metriä (1,25 metriä korkea osuus vain riisteyalueella) ja rakenteen keskimääräinen leveys oli 18 metriä. Harkkojen väliin asennettiin hammaslevyn tyyppiset liittimet estämään harkkojen liukumista toistensa suhteen (kuva 7). Keventeen asentaminen sujui hyvin, eikä harkkojen saumoissa havaittu merkittävää 'irvistämistä' (kuva 8). Painumattomien pylväsperustusten vierusta täytettiin hiekalla EPS-harkkojen asennuksen jälkeen (kuva 9). Työteknisistä syistä harkot jouduttiin jättämään melko kauas asennuskohteesta. Ne kuljettiin edelleen paikoilleen kevyellä trukkityyppisillä traktorilla (kuva 10).

Harkot suojattiin limitettävällä 0,2 mm rakennusmuovilla, joka edelleen peitettiin 4. luokan kuitukankaalla. Kohteessa ei arvioitu tarvittavan jämäkämpää suojausta öljyvahinkoja vastaan, sillä rakenteen käyttöikä oli lyhyt (kuva 11). Rakennusmuovin asennus oli työlästä, koska käytetty muovi oli suhteellisen kapeaa, ja koska EPS-penger oli muodoltaan kaareva.

EPS-rakenteen päälle rakennettiin tasaus/suojauskerros hienosta murskeesta #0-16 mm. Kerroksen paksuus vaihteli 0 - 300 mm. Kerros muotoiltiin rakennekerrosten pohjan muotoiseksi ja sen paksummat osat (yli 200 mm) tiivistettiin tärylevyllä. Tierakenteen hankalasta muodosta (vaaka- ja pystysuuntainen kaarevuus) johtuen EPS-harkot jollakin



Kuva 5. Alueen yleiskuva tasaushiekkakerroksen levittämisen jälkeen.



*Kuva 6. Hiekkakerroksen tasausta EPS-harkkojen edessä.*

välipaaluilla olivat liian korkeita ts. niiden nurkat ulottuivat jakavaan kerrokseen. Suoja-kerroksen levitystyö näkyy kuvassa 12.



*Kuva 7. EPS-harkkojen väliin sijoitettu naulalevy-tyyppinen liitoskappale.*



*Kuva 8. Asennettujen EPS-harkkojen pintaa.*



*Kuva 9. Portaali-perustuksen ympäristö.*



*Kuva 10. EPS-harkkojen kuljetusta asennuspaikalle.*



*Kuva 11. Harkkojen suojausrakenteet.*



*Kuva 12. Suojakerroksen levitystä.*

Jakava kerros, jonka paksuus oli 400 mm, rakennettiin yhtenä kerroksena, ja se tiivistettiin vasta keväällä 2002. Rakentaminen tehtiin kaivukoneella, jotta EPS-harkkoja ei rikkottaisi. EPS-keventeen jatkona olevat kevytsorapenkereet rakennettiin vuoden 2001 lopulla. Niissä ongelmana oli kapean penkereen tiivistäminen.

Jakavan ja kantavan kerroksen väliin asennettiin suunnitelman mukaiset teräsverkot paaluvälillä 1260 - 1350. Käytetyn teräsverkon langan vahvuus oli 6 mm ja teräs oli laatua B500K. Verkon silmäkoko oli 150 x 150 mm<sup>2</sup>. Verkot asennettiin siten, että verkon pituussuunta oli tien poikkisuuntaan, jolloin tarvittiin poikkisuuntaan 3 verkkoa. Reunimmaisissa verkoissa verkon pituussuuntainen lanka oli alapuolella ja keskimmaisessä yläpuolella. Näin asentaen verkko ei kohonut limitysalueelta kohtuuttomasti. Limitysleveys oli noin 300 mm. Verkot limitettiin vain poikkisuuntaan. Pituussuuntaan käytettiin puskusaumoja. Teräsverkot asennettiin kesäkuun lopussa 2002. Kuvassa 13 on esitetty asennettuja teräsverkkoja.

Kantavan kerroksen komposiitti tehtiin paikalla sekoittaen. Stabiloinnin paksuudeksi oli suunniteltu 150 mm. Stabilointijärsynnän aikana teräsverkoista havaittiin irtoavan yksittäisiä lankoja. Järsintä päätettiin sen vuoksi teräsverkkoalueen jäljellä olevalla alueella rajoittaa noin 120 - 130 mm:iin, jolloin teräslankojen irtoaminen saatiin hallintaan. Tapahtumasta laadittiin poikkeamaraportti, joka on tämän raportin liitteenä. Kuvassa 14 on esitetty kantavan kerroksen materiaalin levittämistä teräsverkon päälle.



*Kuva 13. Asennettuja teräsverkkoja.*



*Kuva 14. Kantavan kerroksen materiaalin levitys teräsverkon päälle.*

### 4.3 EPS-keventeen materiaalitutkimukset

EPS-harkkojen laatuvaatimukset on esitetty pohjavahvistustöiden kohdekohtaisessa työselityksessä sekä 'Tienrakennustöiden yleisten laatuvaatimusten ja työselityksien osan Penger- ja kerrosrakenteet, lisäykset ja muutokset vuonna 2000'.

EPS-materiaalin lyhytaikainen puristuslujuus (puristusjännitys) määritettynä SFS-EN 826 kokeella tuli vaatimusten mukaan olla 100 kPa 5 %:n kokoonpuristumalla. Materiaalin toimittaja Solupak Oy teki vaaditut puristuslujuuskokeet (taulukko 3). Jokaisesta toimitetusta harkkoerästä testattiin 6 - 8 näytettä. Harkkoeriä oli 9 kappaletta. Taulukossa esitetään toimituserien keskimääräiset arvot. Koekappaleen koko oli 50 x 50 x 50 mm<sup>3</sup>. Kaikki näytteet täyttivät lujuusvaatimuksen, jopa reilusti. Koetulosten kimmomoduulit sekä maksimipuristusvoima on esitetty taulukossa.

*Taulukko 3. Solupak Oy:n määrittämät EPS-keventeen kimmomoduulit ja puristuslujuudet 5 %:n muodonmuutostasolla.*

| Toimituserä | Max. voima, kPa | Puristuslujuus ( $\epsilon = 5 \%$ ) kPa | Kimmomoduuli MPa |
|-------------|-----------------|------------------------------------------|------------------|
| 1           | 131,3           | 113,9                                    | 4,6              |
| 2           | 139,9           | 122,6                                    | 4,8              |
| 3           | 128,3           | 111,0                                    | 4,4              |
| 4           | 144,4           | 127,5                                    | 5,2              |
| 5           | 132,6           | 111,4                                    | 4,4              |
| 6           | 137,6           | 116,4                                    | 4,1              |
| 7           | 166,4           | 144,6                                    | 6,5              |
| 8           | 185,0           | 163,2                                    | 7,2              |
| 9           | 163,8           | 141,7                                    | 6,2              |

## 5. Tien poikkileikkausmittaukset

Rakentamisen toteutumista seurattiin tien poikkileikkausvaaituksin. Taulukossa 4 on esitetty eri kerrosten toteutuneet paksuudet. Jakavan kerroksen yläpinnan vaaitus tehtiin kaksi kertaa: 19.12.2001 ja 24.4.2002. Mittausten mukaan kerroksen pinta olisi painunut neljän kuukauden aikana keskimäärin 28 mm. Mitattujen painumien vaihteluväli oli kuitenkin suuri, 0 - 83 mm. Keskimääräinen tulos vastasi hyvin suunnitelmavaiheen keskimääräistä arviota rakennusaikaisille painumille (50 - 80 mm/ 1 vuosi) edellyttäen, että mitattu painuma edusti pohjamaan painumaa.

Kantavan kerroksen ja päällysteen paksuudet laskettiin kerrosten yläpinnalta tehtyjen mittausten erotuksesta, joiden väliaika oli noin 3 kuukautta. Mittaustulokset antoivat hieman liian ohuita kerrostietoja. Kantavan kerroksen paksuus vaihteli mittausten mukaan paljon, 86 - 316 mm.

Taulukko 4. Maastomittauksiin perustuvat tiedot eri kerrosten paksuuksista.

| Kerros                                           | Keskiarvo, mm | Keskihajonta, mm | Minimi, mm | Maksimi, mm |
|--------------------------------------------------|---------------|------------------|------------|-------------|
| Pohjahiekka                                      | 183           | 36,8             | 66         | 257         |
| EPS                                              | 800           | 247              | 475        | 1273        |
| Suojahiekka                                      | 290           | 247              | 0          | 894         |
| Jakava: Tiivistämätön murske                     | 375           | 32               | 297        | 447         |
| Kantava:<br>vertailu jakavan yläpinnan tietoihin | 207           | 56               | 86         | 316         |
| Päällyste                                        | 99            | 18               | 73         | 142         |

Kantavan kerroksen pinnan tasaisuutta ja sivukaltevuutta mitattiin 80 metrin välein. Tasaisuutta mitattiin oikolaudalla molemmilta ajokaistoilta. Mittaustulokset on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Kantavan kerroksen pinnan tasaisuus ja sivukaltevuus.

|                                | Vasen kaista | Oikea kaista | Minimi, mm | Maksimi, mm |
|--------------------------------|--------------|--------------|------------|-------------|
| Poikkisuuntainen tasaisuus, mm | 2            | 1,2          | 0          | 4           |
| Pituussuuntainen tasaisuus, mm | 1            | 0,4          | 1          | 1           |
| Sivukaltevuus, %               | 3,1          | 2,8          | 2,5        | 3,3         |

## 6. Kantavuus- ja tiiviysmittaukset

Kerrosten tiivistymistä ja kantavuutta seurattiin jyrän asennetulla dynaamisilla tiiviysmittauksilla, levykuormituskokein sekä päällysteen päältä tehdyin pudotuspainolaitemittauksin (PPL-mittaukset). Dynaaminen tiiviysmittaus antoi tulokseksi erilaisia valmistajakohtaisia tiiviysindeksin arvoja (esim. Bomag-jyrien Omega-arvo). Tiiviysindeksi on suoraan verrannollinen pinnan kantavuusmoduuliin, ja vuorosuhde on jyräkohtainen. Dynaamisten tiiviysmittausten mukaan kantavan kerroksen päältä mitatut tiiviysindeksin arvot EPS-penkereen alueella olivat 30, kun referenssirakenteen alueella (tavanomainen pengeri) ne olivat keskimäärin luokkaa 100. Näiden mittaustulosten vertailua kantavan kerroksen päältä tehtyihin levykuormituskoe tuloksiin on esitetty taulukossa 6. Molemmilla alueilla jyrättiin 6 - 8 ylityskertaa. Muita tiiviysmittauksia ei alueilla tehty.

Taulukko 6. Keskimääräiset tiivistystulokset ja kantavuudet kantavan kerroksen päältä.

| Rakenne        | Tiiviysindeksi, kantavan päältä | Kantavuus, MPa, kantavan päältä |
|----------------|---------------------------------|---------------------------------|
| EPS-kevennetty | 30                              | 80                              |

|                   |     |     |
|-------------------|-----|-----|
| Referenssirakenne | 100 | 180 |
|-------------------|-----|-----|

Jakavan ja kantavan kerroksien päältä tehtiin levykuormituskokeet, joiden tulokset esitetään taulukossa 7. Taulukossa on vertailtu kevytsora-alueen, normaalirakenteisen alueen (referenssi) ja EPS-alueen kantavuusarvoja toisiinsa. Kantavan kerroksen pinnalta tehtiin levykuormituskokeet 20 metrin välein molemmilta ajokaistoilta ja jakavan päältä keskimäärin 50 metrin välein. EPS-penkereen alueen kantavuutta kuvaava toistokuormituksen kantavuusmoduuli  $E_2$  vaihteli välillä 63 - 120 MPa keskiarvon ollessa vasemmalla kaistalla 88 MPa ja oikealla kaistalla 73 MPa. Koska kantavan kerroksen materiaali oli komposiittistabiloitu ja sen ikä mittausten aikana oli alle kuukauden, voitiin olettaa, että sen lujuus ajan suhteen kasvaisi merkittävästi.

Referenssialueella ei saavutettu kantavan kerroksen kantavuusvaatimusta 230 MPa, ja yllättäen kantavan kerroksen pinnan kantavuus oli alhaisempi kuin jakavan kerroksen. Tämä voi johtua siitä, että komposiittirakenne oli vielä lujittumassa mittaushetkellä.

*Taulukko 7. Eri kerrosten keskimääräiset kantavuudet eri alueilla.*

| Kerros                             | Alue       | $E_2$<br>MPa | $E_2$ MPa<br>vaatimus    | $E_2$ hajonta<br>MPa | $E_2/E_1$ | $E_2/E_1$<br>vaatimus |
|------------------------------------|------------|--------------|--------------------------|----------------------|-----------|-----------------------|
| Jakava<br>(Levykuormituskoe)       | EPS        | 28           | 39 (Odemark)             | 4                    | 1,6       | < 2,2                 |
|                                    | Kevytsora  | 61           | -                        | 6                    | 2,19      | <2,2                  |
|                                    | Referenssi | 202          | 110                      | 57                   | 1,9       | <2,2                  |
| Kantava<br>(Levykuormituskoe)      | EPS        | 80           | 129 (Odemark)            | 10                   | 1,8       | <2,0                  |
|                                    | Kevytsora  | 126          | -                        | 22                   | 2,0       | <2,0                  |
|                                    | Referenssi | 180          | 230<br>(TYLT, sitomaton) | 19                   | 1,9       | <2,0                  |
| Päällyste<br>(Pudotuspainomittaus) | EPS        | 289          | 274 (Odemark)            | 54                   | -         | -                     |
|                                    | Kevytsora  | 521          | -                        | 149                  | -         | -                     |
|                                    | Referenssi | 533          | -                        | 52                   | -         | -                     |

Taulukossa 7 on esitetty myös päällysteen pudotuspainomittausten tulokset sekä TYLTin ja Odemarkin menetelmällä arvioituja tavoitekantavuusarvoja EPS-rakenteelle. Kevytsorarakenteen päällysteen päältä mitatut kantavuudet olivat varsin korkeita ja lähellä referenssialueen tuloksia. Myös EPS-rakenteella päällysteen päältä mitatut kantavuudet olivat varsin kohtuullisia ja ylittivät Odemarkin kantavuuskaavalla arvioidut tavoitekantavuudet. Sitä vastoin kantavan ja jakavan päältä mitatut kantavuudet jäivät EPS-rakenteella alle tavoitekantavuuksien.

## 7. Takaisinlaskennat

Pudotuspainolaitteen tuloksista laskettiin taaksepäin eri kerrosten moduulit. Laskelmat tehtiin erikseen teräsverkkoalueelle paaluvälillä 1260 - 1350 ja lujittamattomalle alueelle 1180 - 1260. Laskelmien tulokset on esitetty taulukossa 8. Pudotuspainolaitemittaus tehtiin 28.10.2002, jolloin ilman ja päällysteen lämpötilat olivat + 2° C. Alhainen lämpötila lienee ollut yksi syy siihen, että tulkitut moduulit erityisesti päällysteen osalta oli-

vat selvästi suurempia kuin suunnitelmassa oli oletettu. Teräsverkkoalueella verkon alla olevien kerrosten moduulit olivat pienempiä kuin verkottomalla EPS-alueella. Tämä lienee johtunut pienestä mittausmäärästä, sillä teräverkkoalueella oli vain yksi pudotuspainolaitemittaus. EPS:n päällä olevien kerrosten moduulit olivat takaisinlaskentojen perusteella selvästi suurempia kuin suunnitelmavaiheessa oli arvioitu.

Mitatut taipumasuppilot olivat muodoltaan hyvin laakeita. Keskimääräinen taipuma (D0) EPS-alueella oli 0,55 mm. Tämä viittaa siihen, että EPS levitti kuormituksen varsin laajalle alueelle. Näin rakenteen yläosiin ja päällysteeseen ei muodostu niin helposti vaurioita aiheuttavia vetojännityksiä, vaan rakenne kestää pidempään.

*Taulukko 8. APAS-ohjelmalla lasketut moduulit pudotuspainomittausten perusteella.*

| Materiaali                     | Suunnitelman moduuli MPa | Ilman teräsverkkoa laskettu moduuli MPa | Teräsverkko laskettu moduuli MPa |
|--------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|
| Kulutuserros AB + ABK 100 mm   | 4106                     | 19375                                   | 15750                            |
| Komposiittirakenne, 150 mm     | 2013                     | 875                                     | 780                              |
| Teräsverkko                    | ei                       | ei                                      | on                               |
| Kantavan alaosa, 50 mm         | 280                      | 400                                     | 343                              |
| Jakava kerros KaM 0/90, 400 mm | 150                      | 295                                     | 280                              |
| EPS 1000 mm                    | 7 - 15                   | 15                                      | 16                               |
| Pohjamaa (KuSa)                | 20                       | 90                                      | 90                               |

Rakenteen kestoikää arvioitiin uudelleen käyttämällä takaisinlaskettuja moduuleita kantavan kerroksen alapuoleisille materiaaleille. Pohjamaan mitoitusmoduuliksi valittiin 80 MPa, joka edustaa tilannetta, jossa pohjamaa on kosteampi kuin syksyllä 2002. Pohjamaa voitiin olettaa jäätymättömäksi, koska sen yläpuolella oli 1700 metrin kerrokset, joista 500 - 1000 mm oli lämpöeristävää EPS-materiaalia. Taulukossa 9 on esitetty tarkennetut kestoikälaskelmissa käytetyt moduulit ja iät. Niiden mukaan rakenteen kestoikä pelkän EPS:n alueella arvioitiin olevan alkuperäisen 4,5 vuoden sijaan 18,5 vuotta ja teräsverkkoalueella 11 vuotta. Teräsverkkoalueen alhaisemmat moduuliarvot voivat johtua ohuemmasta komposiittikerroksesta tai pienestä mittauspistemäärästä (1 piste).

*Taulukko 9. APAS-ohjelmassa käytetyt mitoitusmoduulit ja kestoiät.*

| Materiaali                     | Suunnitelman moduuli MPa | Ei teräsverkkoa: käytetty moduuli MPa | Teräsverkko: käytetty moduuli MPa |
|--------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Kulutuserros AB + ABK 100 mm   | 4106                     | 4106                                  | 4106                              |
| Komposiittirakenne, 150 mm     | 2013                     | 2103                                  | 2103                              |
| Teräsverkko                    | ei                       | ei                                    | on                                |
| Kantavan alaosa, 50 mm         | 280                      | 390                                   | 350                               |
| Jakava kerros KaM 0/90, 400 mm | 150                      | 350                                   | 280                               |
| EPS 1000 mm                    | 15                       | 15                                    | 15                                |
| Pohjamaa (KuSa)                | 20                       | 80                                    | 80                                |

|                  |     |      |    |
|------------------|-----|------|----|
| Kestoikä, vuosia | 4,5 | 18,5 | 11 |
|------------------|-----|------|----|

## 8. Yhteenveto ja jatkotutkimusehdotukset

Muurlan koerakennuskohteen tavoitteena oli selvittää keventeen ja sen päällä olevien rakennekerrosten toimintaa raskaasti liikennöidyssä tiekohteessa sekä rakentamisen kannalta että käytännössä. Valitussa rakenneratkaisussa korvattiin tavanomainen EPS-keventeen päälle tehty betonilaatta jäykistetyllä kantavalla kerroksella. Erityisenä mielenkiinnon kohteena oli selvittää, miten tällainen EPS:iä sisältävä rakenne olisi mahdollista mekanistisesti mitoittaa.

Ensimmäisen vaiheen rakennustyö, joka sisälsi alustavat työt, EPS-blokkien asentamisen sekä suojakerroksen levittämisen, sujui hyvin, eikä työn aikana havaittu ongelmia. Rakennusmateriaalien sekä työn laadun todettiin saatujen tietojen perusteella pääosin täyttävän laatuvaatimukset. Risteyalueella (paaluväli 1260 - 1320) todettiin satunnaisia mittauspöikileikkauksia, joiden keskiosissa EPS:n päälle tulevien kerrosten paksuus jäi hieman alle suunnitelmassa esitetyn minimipaksuuden 700 mm.

Vuonna 2002 rakennettiin kantava kerros sekä päällyste. Kantavan kerroksen rakentamisen yhteydessä asennettiin teräsverkko. Teräsverkkojen reuna-alueella niistä irtosi joitakin lankoja kantavan kerroksen stabilointijärsynnän yhteydessä, siksi kantavan kerroksen stabilointia ohennettiin muualla teräverkkoalueella 150 mm:stä 120 mm:iin.

Rakenteen vasteita seurattiin työn aikana eri vaiheissa. Vaaitusten perusteella voitiin arvioida, että rakennusaikaiset painumat vastasivat suunniteltuja painumia. Kantavuudet EPS-rakenteen eri kerrosten päältä mitattuna olivat pienempiä kuin keventämättömän rakenteen. EPS-rakenteen päällysteen pinnalta mitatut kantavuudet täyttivät arvioitut tavoitekantavuudet, sitä vastoin jakavan ja kantavan päältä mitatut arvot alittivat ne. Koska pintakantavuudet ylittivät tavoitteet, voitiin rakenne katsoa hyväksyttäväksi. Lisäksi EPS-rakenteen takaisinlasketut moduulit EPS-kerroksen päällä olivat suurempia kuin suunnitelmavaiheessa pystyttiin arvioimaan. EPS-rakenteen kestoikä takaisinlaskettujen moduulien arvoilla oli selvästi suunnitteluvaiheessa arvioitua 4,5 vuoden kestoikää pidempi eli 11 - 18,5 vuotta.

Päällysteen päältä tehtyjen pudotuspainolaitemittausten mukaan rakenne toimi varsin hyvin. EPS-rakenne toimi mittausten mukaan suunnitellulla tavalla levittäen liikennekuormituksen aiheuttamat muodonmuutokset laajalle alueelle, jolloin sidotuille kerroksille aiheutuvat rasitusten (vetojännitysten) arvioitiin pysyvän sallituissa rajoissa. Mittaustulokset viittasivat siihen, että rakenteen yläosiin sijoitettu sidottu kantava kerros toimii hyvin ja tasaa EPS-keventeen päällä olevien sitomattomien kerrosten alhaisemmasta jäykkyydestä aiheutuvia, kimmoisia muodonmuutoksia.

EPS-kevennettä sisältävä rakenne, jossa jäykistävä kerros on rakenteen yläosassa, voidaan mitoittaa melko luotettavasti APAS-tyyppisellä monikerrosohjelmalla. Suunnitelmavaiheessa on aiheellista arvioida EPS:n päälle tulevien kerrosten moduuleja varovaisesti. Mitoitusarviota voidaan tarkentaa käyttämällä rakenteesta mitattuja tai takaisinlaskettuja moduuleja, jolloin voidaan varmistua rakenteen toiminnasta.

Tutkimusten perusteella voitiin päätellä seuraavaa:

- EPS-kevennerakenteen kestoikäarvioksi saatiin yli 10 vuotta Turuntien liikenteellä (yli 6,2 milj. kuormituskertaa), kun kriteerinä käytettiin stabiloidun kantavan kerroksen alapinnassa ilmenevän halkeilun riskiä.
- Käytetyn EPS100 Kevenne-materiaalin takaisinlaskettu kimmomoduuli oli noin 15 MPa.
- Rakenne voitiin mitoituksen perusteella toteuttaa ilman jäykistys- ja suojalaattaa.
- EPS-kevenne ei tulle saamaan merkittäviä pysyviä deformaatioita.
- Urautuminen selviää seurannassa.

Koerakenteen käyttäytymistä oli tässä vaiheessa tutkittu vain rakennusaikana (runsaan vuoden ajan). Rakenteen tarkemman analysoinnin kannalta olisi toivottavaa, että kesällä 2003, ennen tieyhteyden avaamista liikenteelle, tehtäisiin kantavuusmittaukset (pudotuspainolaitemittaukset 20 metrin välein) uudelleen päällysteen päältä. Lisäksi jatkotutkimuksilla tulisi määrittää koerakenteen mekaanisia ominaisuuksia, kevennetyn rakenteen painumista sekä todellisen liikennekuormituksen alaista käyttäytymistä ja urautumista esimerkiksi kolmen - neljän vuoden ajalla.



## POIKKEAMARAPORTTI

|                           |                           |                  |                        |
|---------------------------|---------------------------|------------------|------------------------|
| Liiketoiminta:            | Urakointi                 | Raportin numero: | 5                      |
| Prosessi:                 | Sopimusten toteutus       | Päivämäärä:      | 23.7.2002              |
| Sopimus/urakka/työpaikka: | E18 päällysrakenteet 2002 | Laatija:         | 14265<br>Asta Tähtinen |
| Kohde:                    | E18 Paimio – Muurla, M9   |                  |                        |

|                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |            |                                                                                                                       |  |                      |                   |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----------------------|-------------------|
| 1. Poikkeaman tyyppi:                                 | Tuotepoikkeama (tekniinen, mikä):                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            | Plv 1260 – 1350 jakavan kerroksen yläpintaan asennetut teräsverkot ovat rikkoutuneet stabilointijärsinnän yhteydessä. |  | Raportti asiakkaalle | Sisäinen raportti |
|                                                       | Toiminnallinen poikkeama (mikä):                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |                                                                                                                       |  |                      | X                 |
| 2. Havainnon tekijä:                                  | Urakointi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | X          | Vienti                                                                                                                |  |                      |                   |
|                                                       | Konsultointi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |            | Urakoitsija/alihankkija                                                                                               |  |                      |                   |
|                                                       | Lautta                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |            | Asiakas                                                                                                               |  |                      |                   |
|                                                       | Muu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |            |                                                                                                                       |  |                      |                   |
| 3. Poikkeaman kuvaus ja syy:                          | Stabilointijärsinnän yhteydessä jakavan kerroksen yläpintaan asennetuista teräsverkoista on irronnut yksittäisiä teräslankoja. Kohteella kantavan kerroksen suunniteltu paksuus oli 170 mm ja stabiloinnin suunniteltu paksuus 150 mm. Stabilointijärsintä aloitettiin pl. 1260 vasemmasta reunasta 150 mm:n syvyisenä. Koko järsintäkaistalta eli n. 2,5 m matkalta nousi yksittäisiä teräslankoja pintaan. Loppu teräsverkko osuudesta stabiloitiin n. 120 – 130 mm:n vahvuisena. Teräslankoja nousi eniten pintaan teräsverkko-osuuden molemmissa päissä. |            |                                                                                                                       |  |                      |                   |
| 4. Korjaavat toimenpiteet aikataulu ja vastuuhenkilö: |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |            |                                                                                                                       |  |                      |                   |
| 5. Raportin vastaanottajat:                           | Tieliikelaitos, E18 Paimio – Muurla projekti<br>Pekka Lehto, Seppo Salin, Paavo Kivari                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |            |                                                                                                                       |  |                      |                   |
| 6. Käsittely: (asiakas)<br><b>Rasti ko ruutuun</b>    | Huomautus                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |            | Ei korjaustoimenpiteitä                                                                                               |  |                      |                   |
|                                                       | Muistutus                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |            | Korjaustoimenpiteet                                                                                                   |  |                      |                   |
|                                                       | Sakko                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |            | Muu                                                                                                                   |  |                      |                   |
| 7. Asiakkaan kommentit:                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |            |                                                                                                                       |  |                      |                   |
| 8. Toimenpiteet toistumisen estämiseksi:              | Teräsverkko tulee asentaa riittävän syvälle ja varmistaa ennen stabilointia, ettei verkko ole kantavaa kerrosta rakennettaessa nousut ylös.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |            |                                                                                                                       |  |                      |                   |
| 9. Toimenpide-päivä:                                  | Korjattu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Dokumentti |                                                                                                                       |  |                      |                   |
|                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |            |                                                                                                                       |  |                      |                   |
| Allekirjoitukset                                      | Päiväys:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |            | Päiväys:                                                                                                              |  |                      |                   |
|                                                       | Asiakas:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |            | Sopimuksen vastuuhenkilö                                                                                              |  |                      |                   |