



Paksun EPS-kerroksen kuormituskestävyys

Seppo Saarelainen



EPS-rakennuseristeteollisuus ry

Paksun EPS-kerroksen kuormituskestävyys. Espoo 2003. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Sisäinen raportti RTE50-IR-14/2003. 76 s + liite 3s.

Avainsanat: EPS, kuormituksenkestävyys, mitoitus, syklinen kuormitus, viruminen, koerakentaminen

Tiivistelmä

Yleistä

EPS-materiaaleja käytetään mm. rakenteiden routa- ja lämmöneristeinä sekä painuvilla pohjilla rakennetta keventävinä kerroksina. EPS-materiaalit poikkeavat ominaisuuksiltaan tavanomaisista mineraalisista materiaaleista. EPS-kevennerakenteiden käyttöä rajoittaviksi ongelmiksi nähtiin puutteet EPS-tuotteiden mekaanisista ominaisuustiedoissa sekä päällysrakenteen mekaanisen mitoituksen menetelmissä. EPStress-tutkimusohjelmassa oli tavoitteena täsmentää EPS-keventeiden mitoitusmenetelmiä tuotteiden käytön tehostamiseksi ja kilpailukyvyn parantamiseksi. Tällöin olisi mahdollista saada keventäminen teknisesti ja laadullisesti vertailukelpoiseksi menetelmäksi muiden pohjamaan parantamismenetelmien kanssa.

Ohjelmassa tehtiin seuraavat osatutkimukset:

- vanhan EPS Kevenne-tuotteen tilan ja ominaisuuksien tutkimukset Pesurinkadulla, Vammalassa materiaalin ominaisuuksien ja pitkäaikaismuodonmuutosten määrittämiseksi,
- EPS Kevenne-tuotteen laboratoriotestaus mitoitusominaisuuksien määrittämiseksi aksiaalisella puristuskokeella, puristusvirumakokeella ja syklisellä puristuskokeella,
- EPS Kevenne-tuotetta sisältäneen koetierakenteen testaus täysmittakaavassa HVS-laitteella sekä
- tierakenteiden koerakentaminen EPS-keventeelle asetettavien vaatimusten osoittamiseksi, sekä suojaavan teräsbetonilaatan tarpeen selvittämiseksi raskaasti kuormitetussa tierakenteessa.

Mekaaniset ominaisuudet laboratoriossa

Tässä tutkimuksessa selvitettiin laboratoriokokein EPS Kevenne-tuotteen mekaanisia ominaisuuksia, puristuslujuutta, virumista ja syklistä kuormituskestävyyttä laboratoriorakokein. Tuotteen nimellisjännitys (5 tai 10 %:n puristumaa vastaava puristusjännitys) ei

merkittävästi riippunut laboratoriokoemenetelmästä. Sitä vastoin havaittiin, että puristuskokeen näytekoolla ja suoritustavalla oli vaikutusta kimmomoduuliin. Mittaamalla muodonmuutokset halkaisijaltaan 100 mm:n sylinterinäytteen uumasta saatiin kimmomoduulin arvoja, jotka olivat vertailukelpoisia myös täysmittakaavan rakenteista mitattujen arvojen kanssa. Laadunvalvonnan puristuskoemenetelmää olisi syytä muuttaa niin, että myös kimmomoduuli voidaan määrittää luotettavasti. Tutkitun EPS kevennetuotteen pitkäaikaispuristuminen staattisessa kuormituksessa, viruminen, samoin kuin kokoonpuristuminen toistokuormituksessa alkoivat merkittävästi kasvaa, kun puristusjännitys ylitti raja-arvon, joka oli noin 40 % tuotteen nimellisjännityksestä σ_{10} (10% puristumaa vastaava puristusjännitys). Tämä raja-arvo vastasi jännitystä, jolla puristuma oli noin 0,5 %.

Koerakenteet

EPS Kevenne-tuotteen mekaanisia ominaisuuksia ja deformatumista testattiin täysmittakaavassa koetiekoneella (HVS) sekä tehtiin koerakenteita katukohteissa Helsingissä ja Espoossa sekä Helsinki-Turku-valtatien M9 tilapäisellä yhdystiellä Muurlassa. Aiemmin oli tehty tutkimus Vammalan Pesurinkadun EPS R-kevenneestä.

Mitoitusmenettely

EPS-tuotteita sisältävien rakenteiden jännityksiä ja muodonmuutoksia voidaan laskea maarakenteiden mekaanisessa mitoituksessa käytettävillä elementtiohjelmilla. Rajoittamalla EPS-materiaalin muodonmuutokset noin 0,4-0,5 %:iin, joka vastaa noin 40 %:n jännitystä puristuslujuudesta σ_{10} , rakenne toimii elastisesti, eikä tutkituissa EPS kevenne-rakenteissa havaittu merkittäviä pysyviä muodonmuutoksia päällysrakenteen aiheuttamasta staattisesta kuormituksesta, eikä myöskään tierakenteeseen kohdistuvasta 50 kN:n standardipyöräkuormasta.

Kokemukset koerakenteista

Pesurinkadun vanha EPS R-kevenne oli edelleen toimiva ja käytännössä alkumitoissaan. Muurlan koerakenteessa arvioitiin toteutetun rakenteen mittauksiin perustuneilla monikerroslaskelmilla, että päällysteen ja sidotun kantavan kerroksen kestoikä olisi noin 15 vuotta Turuntien liikenteellä (9000 ajoneuvoa/vrk, josta raskasta liikennettä 15 %). Tämä arviotulos saatiin olettamalla, että EPS-kevenneen päälle rakennetaan 0,7 metrin päällysrakenne, jossa on bitumistabiloitu kantava kerros, mutta ei betonilaattaa. Muurlan rakenne sijaitsi Turun moottoritien ja Vanhan Turuntien yhdystiellä, jonka arvioitiin olevan liikenteellä alle 10 vuotta moottoritien valmistumiseen asti. Kestoikää on mahdollista pidentää joko käyttämällä korkeamman lujuuden omaavaa EPS-tuotetta tai luojittamalla päällysrakenteen yläosaa.

Mitä tästä opimme

Todettiin, ettei EPS-tuotteen pysyvä puristuma ole tierakenteissa mitoituksen kannalta olennainen tekijä, kun lämpöeristävän EPS-keventeen päälle tarvitaan liukkaudentorjuntasyistä vähintään 0,5 metrin kivennäismaakerros. Edelleen todettiin, että EPS-kevenne voidaan toteuttaa ilman raskasta suojalaattaa, jos rakenne mitoitetaan analyyttisesti tarkistaen myös päällysteen muodonmuutokset. EPS-materiaalin suojaus öljy- ja liuotinvahinkoja vastaan ei edellytä betonilaatan käyttöä. Suojaus voidaan toteuttaa öljynkestävällä muovikalvolla, joka suojataan yläpuolelta mekaanista vaurioitumista vastaan geotekstiilillä. Tutkimustulosten perusteella voitiin päätellä, että EPS-tuote soveltuu myös paksuihin lattiarakenteisiin. Raskaasti kuormitetun lattia- tai perustusrakenteen suunnittelussa tulee tarkistaa, että EPS-materiaalin kuormitus ei ylitä tuotteen pitkäaikaista puristuslujuutta.

Lopuksi

Tutkimuksen perusteella voitiin päätellä, että EPS-kevennemateriaaleja sisältäviä rakenteita voidaan suunnitella ja mekaanisesti mitoittaa niin, että rakenteen kestoikä on arvioitavissa. Laboratoriomenetelmiä tulisi muuttaa niin, että määritettyjä parametrejä voidaan soveltaa myös mitoituslaskelmissa. EPS-rakenteita ja rakentamista tulisi kehittää edelleen niin, että rakenteiden käyttöikä on ennakoitavissa, ja että tuotteiden kilpailukyky paranee.

Todettiin, ettei EPS-tuotteen pysyvä puristuma ole tierakenteissa mitoituksen kannalta olennainen tekijä. Edelleen todettiin, että EPS-kevenne voidaan toteuttaa ilman raskasta arinaa, jos rakenne mitoitetaan analyyttisesti tarkistaen myös päällysteen muodonmuutokset. EPS-materiaalin suojauskaan öljy- ja liuotinvahinkoja vastaan ei edellyttäne betonilaatan käyttöä. Suojaus voidaan toteuttaa öljynkestävällä muovikalvolla, joka suojataan yläpuolelta mekaanista vaurioitumista vastaan geotekstiilillä.

Saarelainen Seppo. Loading capacity of a thick EPS layer. Espoo 2003.

Key words: EPS, strength under loading, mechanical design, cyclic loading, creep, test construction

Abstract

General

EPS products are used in frost and thermal insulation of structures, and in lightweight fills to reduce settlements on soft subsoils. EPS products are different materials compared to conventional mineral aggregates. One of significant problems in their application has been the lack of information concerning mechanical design properties and on the mechanical design methods. EPStress program aimed to specify design procedure to activate application of EPS products and to improve the competitiveness. Thus, lightweight filling should be developed to an application, technically and economically comparable with other subsoil improvement methods.

Laboratory testing

In EPStress program, mechanical characteristics like compressive strength, creep and cyclic compression were determined in laboratory tests on an EPS product. The compressive strength of the product (compressive strength at 5 a' 10% compression) was practically independent on laboratory testing procedure. Instead, the specimen size and procedure influenced on the determined elastic modulus. When the compression was measured in the middle part of the specimen with a diameter of 100mm, the determined modulus values were comparable to those, back-calculated from the full-scale structures. The modulus values determined from the total compression of the specimen were lower, even in the very same specimen and compression test. Thus, the standard compression testing procedure should be modified so that also the elastic modulus can be determined reliably. The long term compression (creep) of the tested EPS product under static loading as well as permanent compression under cyclic loading began significantly increase after the compressive stress exceeded a value, corresponding to about 40% of the compressive strength σ_{10} . This limit value corresponded to a compressive stress, resulting the compression of 0.5%.

Test construction

The mechanical properties and deformations of this EPS-product were tested in a full scale in accelerated pavement testing facility (Heavy Vehicle Simulator). Test embank-

ments were also constructed at street repair sites in Helsinki and Espoo, and at the construction site of the connecting road to Highway M9 (Helsinki-Turku) at Muurla, located about 100km west from Helsinki. Earlier an old lightweight EPS fill on Pesurinkatu street had been investigated in Vammala, western Finland.

Design procedure

Deformations and stresses in structures containing EPS products can be calculated applying finite element methods and programs used in the mechanical design of earth structures. If the deformations of EPS material are limited to less than 0.4-0.5%, which correspond to about 40% of the compressive strength σ_{10} , then EPS behaved elastically, with no significant, permanent creep or cyclic deformations due to the static overburden pressure or the standard wheel load of 50 kN.

Experience from the test construction

The old EPS lightweight fill at Vammala, Pesurinkatu, was found to be in original dimensions and well functioning. At Muurla site, from the multilayer design analysis based on pavement measurements after construction, one could conclude that the service life of the bound pavement layers would be about 15 years under the traffic of highway M9 (9000 vehicles/day, 15% of which are heavy) even without a protective concrete slab. In this case, the lightweight fill of EPS was overlain with a pavement with the thickness of 0.7m, strengthened with a bitumen-stabilised base layer. The test site was a temporary new road, connecting the highway to the old main road, and it was intended to be under traffic for less than 10 years. The lifespan could be lengthened either by applying a stronger EPS product or by strengthening pavement layers above.

Lessons to learn

The permanent compression of EPS100 and higher strength products is not a significant issue in the design of road pavements in Finland, because on the thermally insulating EPS layer, a more than 0.5m thick layer of mineral soil is needed to mitigate the icing in wintertime. Further, an EPS lightweight fill can be constructed without a concrete slab, if the overlay material and layer thickness are designed applying mechanistic multilayer calculations, and also controlling the strains of the bound surface. The protection of the EPS fill against oil- and solute spills may not demand a concrete slab on the top of the fill. The protection can be carried out with an oil-resistant plastic foil that is protected against mechanical damage from above using a geotextile. The tested EPS products also proved to be applicable in thick floor structures. If a lightweight fill is installed beneath a heavily loaded floor or foundation, one should control that the stress on the EPS fill does not exceed the long-term compressive strength of the product to be applied.

Finally

It could be concluded that structures containing thick EPS layers could be planned and mechanically designed so that the service-life of the structure can be estimated. Laboratory testing should be modified so that tested parameters can also be applied in design calculations. Applications of structures containing EPS should be further developed to ensure the service-life and economical feasibility in the construction.

Alkusanat

EPStress-tutkimusohjelma toteutettiin Muoviteollisuus ry:n EPS-rakennuseriste-teollisuuden aloitteesta. Rahoituksesta vastasi EPS-rakennuseristeteollisuuden lisäksi TEKES. Pesurinkadun kohdetutkimuksen suoritukseen osallistui panoksellaan myös Vammalan kaupunki. Muurlan kohteen toteutti Tiehallinnon tilauksesta Tieliikelaitos, joka teki myös rakennemittauksia omalla kustannuksellaan. Muurlan koerakenteen raudoituksen materiaalin toimitti Tammet Oy. Helsingin ja Espoon koerakennuskohteiden toteutuksesta vastasivat kaupungit, jotka luovuttivat kohdetietoja. Materiaalien laboratoriotutkimuksiin Vammalassa osallistui ThermiSol Oy. Virumakokeet suurilla EPS-näytteillä tehtiin UK-Muovi Oy:n tehdashallissa Iisalmessa.

Tutkimusta ohjasi ohjausryhmä, johon kuuluivat DI Simo Hoikkala ja DI Katja Outinen Muoviteollisuus ry:stä, DI Tapio Kilpeläinen ThermiSol Oy:sta, DI Minna Aronen UK-Muovi Oy:sta sekä DI Tom Johansson StyroChem Finland Oy:sta.

Tutkimuksen suorituksesta vastasivat VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikassa erikoistutkija Seppo Saarelainen, tutkija Rainer Laaksonen, tutkija Heikki Kangas, tutkija Leena Korkiala-Tanttu ja tutkimusharjoittelija Jukka Elomaa muun henkilökunnan avustamana.

Espoossa 18.09.2003 Seppo Saarelainen

Sisällysluettelo

Abstract	5
Alkusanat	8
1. Johdanto	12
1.1 EPS-materiaalien käyttö rakentamisessa	12
1.2 EPS-kerroksen suunnitteluvaatimukset	12
1.3 Tavoitteet	14
2. EPS-tuotteet.....	16
2.1 Polystyreenin valmistus	16
2.2 EPS:n raaka-aine.....	16
2.3 EPS-tuotteen valmistus.....	16
2.4 EPS-tuotteiden yleisiä ominaisuuksia.....	17
2.5 Tuotteet	19
1.6 Käyttöominaisuudet.....	20
1.7 Lujuusominaisuudet ja pitkäaikaiskestävyys.....	22
3. Lähtökohdat ja rakenteelle asetettavat vaatimukset.....	25
3.1 Tienpinnan pysyvä painuma	25
3.2 Jousto	25
3.3 Pysyvän deformaation hallinta	25
3.4 EPS:n vaikutus muihin rakenteen osiin	26
3.5 Päällysteen liukkaudentorjunta	26
4. Kuormituskestävyyden mitoitus.....	27
4.1 Johdanto	27
4.2 Mitoitusmenettely	27
4.2.1 EPS:n mitoitusominaisuudet	27
4.2.1.1 Yleistä.....	27
4.2.1.2 Kuivatiheys.....	27
4.2.1.3 Mekaaniset ominaisuudet.....	28
4.3 EPS-kevennetyn päällysrakenteen mitoitus.....	28
4.3.1 EPS:n pysyvien muodonmuutosten hallinta	28
4.3.2 Tuotteen EPS Kevenne ominaisuudet	29
1.1.3 Tulosten yleistäminen.....	36
1.1.1.1 EPS:n vaikutus päällä olevien kerrosten jäykkyyteen.....	37
1.1.1.2 Päällysteen kestävyys EPS-kevennetyn päällysrakenteen päällä	38

1.1.1.3	EPS:n suojaus liuottimia vastaan	38
1.4	Geotekninen mitoitus.....	38
1.4.1	Kompensaatorakenne	38
1.4.2	Osittain kompensoitu rakenne	39
1.4.3	Tien leventäminen	39
1.4.4	Noste.....	39
5.	Rakentaminen.....	40
5.1	Alustan valmistus.....	40
5.2	EPS-kerroksen rakentaminen.....	40
5.3	Päällysrakenteen rakentaminen.....	41
5.4	Päällystys	43
5.5	Laadunvarmistus.....	43
6.	Esimerkkejä.....	44
6.1	Koerakennuskohteet.....	44
6.2	E18 Paimio - Muurla projekti, Muurlan koerakennuskohde	45
6.2.1	Tutkimuksen tavoitteet	45
6.2.2	Tutkimuskohde	46
6.2.3	Alueen pohjasuhteet	47
6.2.4	Koerakenteen suunnittelu ja rakennekerrosten mitoituslaskelmat	48
6.2.4.1	Kevennyssuunnitelma	48
6.2.4.2	Rakennekerrosten suunnittelu	50
6.2.5	Koerakenteen toteuttaminen ja rakentamisen laadunvarmistus	51
6.2.5.1	Koerakenteen toteuttamisen aikataulu.....	51
6.2.5.2	Kevennetyn rakentaminen	52
6.2.5.3	EPS-materiaalitutkimukset.....	57
1.1.6	5. Tien poikkileikkausmittaukset.....	57
1.1.7	Yhteenveto.....	58
1.3	Vanha EPS-kevenne, Pesurinkatu, Vammala	58
1.3.1	Tausta	58
1.3.2	Tutkimukset.....	58
1.3.3	Kenttätutkimukset.....	61
1.3.4	Päällysrakenteen muodonmuutosten arviointi.....	63
1.1.5	Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset	65
1.4	EPS-kevennetyn rakenteen täysmittakaavan HVS-testaus	66
1.4.1	Tavoite.....	66
1.4.2	Koerakenne.....	66
1.4.3	Koerakenteen testaus	67
1.4.4	Johtopäätökset HVS-kokeista.....	69

7. Yhteenveto ja johtopäätökset	70
7.1 EPS-materiaalien mekaanisten ominaisuuksien määrittäminen.....	70
7.2 EPS-materiaalin kestävyys HVS-kuormituksessa	72
7.3 EPS-materiaalin pitkäaikaiskestävyys katurakenteissa.....	72
7.4 EPS-materiaalin käyttö tierakenteissa.....	72
8. Kirjallisuutta.....	73

Liitteet

Liite A: EPS-materiaalien tuoteominaisuuksia eri maissa

1. Johdanto

1.1 EPS-materiaalien käyttö rakentamisessa

EPS-materiaaleilla tarkoitetaan muottipaisutettuja EPS-solupolystyreenimuoveja (expanded polystyrene). Näitä käytetään erityisesti keventämään maarakenteen kuormitusta pehmeillä, painuvilla pohjamailla mm. tie ja katurakenteilla, sekä routa- ja lämpöeristeinä perustusten, lattioiden, liikennealueiden ja maanalaisten putkistojen suojauksissa. Lisäksi EPS-materiaaleja käytetään salaojalevyinä perustuksissa ja kuormituksen tasaukseen mm. tukiseinärakenteissa. Niitä voidaan käyttää myös vaimentamaan tien tai kadun tärinän tai melun päästöjä (Horvath 1995, Hoikkala 1998, Veglaboratoriet 1987 ym.).

Perinteisin EPS:n käyttötarkoitus on ollut seinä- ja kattorakenteiden lämmöneristys, mihin solumuovit alunperin kehitettiin. EPS:n käyttö kevennyksenä perustuu sen alhaiseen tiheyteen verrattuna perinteisiin täyttömateriaaleihin kuten maa tai betoni (vrt. EPS-keventeet yhdyskuntarakentamisessa 1999, Frydenlund 1986). EPS:n tiheys on vain n. 2 % maan, kallion tai betonin tiheydestä. Rakenteen painoa pienennetään rakentamalla osa rakenteesta tai penkereestä käyttäen kevyttäytettä. Lisäksi solumuovit ovat muita kevennysmateriaaleja, kuten vaahtobetonia, kevytsoraa tai kierrätettyjä jätteitä (esim. jauhettua kumia) kevyempiä. Siksi solumuoveja kutsutaan joissain lähdeeteoksissa 'ultrakeveiksi materiaaleiksi'. Vaikka EPS-materiaalit ovat kevyitä, niiden lujuus on riittävä kannattamaan maarakenteita ja ottamaan vastaan kuormia, jotka aiheutuvat erilaisista rakenteista, moottoriajoneuvoista, lentokoneista ja junista.

1.2 EPS-kerroksen suunnitteluvaatimukset

Kevyttäytekerroksen tulee täyttää mekaaniset ominaisuusvaatimukset, joita sille asetetaan niin pysyvyyden, lujuuden, deformaatioiden tms. suhteen. EPS-tuotteilta vaaditaan myös mittojen ja ominaisuuksien pysyvyyttä. Edelleen tuotteiden tulee kestää niihin kohdistuvat kuormitukset ja rasitukset sekä asentamisen että käytön aikana. Mekaanisten kuormitusten lisäksi tällaisia rasituksia ovat esimerkiksi lämpötilarasitukset, kemialliset rasitukset, biologiset rasitukset, kostuminen ym.

Aiemmin on havaittu solumuovilevyjen suhteellisen voimakasta, pysyvää kokoonpuristumista raskaasti kuormitetuissa maarakenteissa. Useimmiten kuitenkin pysyvän kokoonpuristumisen syytä tai syntytapaa ole selvitetty. Uusien materiaalien ja tuotteiden, jotka kestävät rasituksia paremmin kuin aiemmat, käyttöönoton esteenä voivat olla perusteettomat uskomukset.

EPS-materiaalien kuormitettavuus tunnetaan melko hyvin, kun tuotteita käytetään ohuehkoina levyinä lämmön- tai routaeristeissä. Matalaenergiarakentamisessa ja esimerkiksi maarakenteiden kevennyskäytössä EPS-kerrokset ovat merkittävästi paksumpia kuin routaeristeissä. Eräissä koerakennuskohteissa tehtyjen mittausten sekä laboratoriotutkimusten mukaan on saatu viitteitä siitä, että paksujen EPS-kerrosten (paksut lattiaeristykset, kevennerakenteet) kuormituskestävyys on parempi kuin nykyisin mitoituksessa sovellettavat arvot. Norjan tielaitos teki kevennekoerakenteen sillan päätytenkereeseen käyttäen EPS-blokkeja (Frydenlund & Aaboe 1996). Seurantamittausten mukaan oli EPS-blokkien pitkäaikainen kokoonpuristuma oli kuormituksella 52,5 kPa noin 1 %, kun taas mm. Suomessa käytössä olevan mitoitusmenettelyn mukaan vastaaville tuotteille voidaan sallia vain kuormitus 20 kPa 2 %:n kokoonpuristumalla.

Puristuslujuusvaatimuksesta sekä tierakentamisessa sovelletusta asfaltin alustan kantavuusvaatimuksesta seuraa jäykän arinan rakentamistarve EPS-kerroksen päälle (Tien kevennysrakenteet 1997). Liukkaussyistä EPS-kerroksen päällä on oltava vähintään 0,7 metrin paksuinen kerros kivennäismaata. Eräät esimerkit viittaavat siihen, että arinaa on mahdollista keventää, ja eräissä tapauksissa se voidaan mahdollisesti jättää pois. Näin rakenteen taloudellisuutta voitaisiin merkittävästi parantaa. Voimakkaasti kuormitettu EPS-täytteen pintakerros voitaisiin rakentaa myös jäykemmästä EPS-materiaalista. EPS-materiaaleja käytetään sekä kevennyksissä että routasuojauksissa (mm. Saarelainen & Kivikoski 2001, Refsdal 1987, Tränk 1989). Molemmissa on olennainen edellytys, ettei EPS-materiaali haitallisesti puristu kokoon, ja että kerroksen päälle tehty päällysrakenne saadaan riittävän kantavaksi.

Täysmittakaavan rakenteita on tehty ja seurattu mm. Norjassa ja Hollannissa (Frydenlund & Aaboe 1996, Dushkov 1997, O'Brien et al. 1999). EPS-materiaalien lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksia on tutkittu samoin, ja niitä tutkitaan nykyisille tehdastuotteille. EPS-materiaalien virumista staattisen kuorman alaisena on tutkittu ja tutkitaan kansainvälisen testausstandardin mukaisesti (EN 1606, Dushkov 1997). EPS-materiaalien pysyviä muodonmuutoksia syklisessä kuormituksessa on myös tutkittu (O'Brien 2002, SP 2534 (draft) 2687). Materiaalien vanhenemisen vaikutuksesta ominaisuuksiin on vähemmän tietoa. On kuitenkin todettavissa, että syklisen kuormituksen aiheuttamat pysyvät muodonmuutokset ovat lujemmilla materiaalityypeillä käyttötilassa vähäisiä (vrt. CROW 2000). Vammalassa 1980-luvun lopulla tehdyllä EPS-kevennetyllä Pesurinkadulla, jossa päällysrakenne oli noin 700 mm ilman lujitearinaa, ei mitään EPS:n kokoonpuristumiseen tai kadun kantavuuspuutteisiin viittaavaa epätaisaisuutta ollut havaittavissa (Saarelainen & Kangas 2001).

EPS-materiaalien käytön edellytyksenä on, että rakenteen toiminta voidaan hallita ja varmistaa pitkäaikaisesti. Kevennerakenteiden kilpailukyky riippuu kokonaiskustannustasolla ensiksikin siitä, mikä on sen kustannus suhteessa muihin pohjanvahvistusme-

netelmiin ja toisaalta siitä, miten kevennysrakenne vaikuttaa kunnossapitotarpeeseen (mm. painumien tasaaminen päällystämällä).

Tienrakentamisen peruskustannus lieene nykyisin noin 50 €/m². EPS-kevennetty tierakenne (0,5 metrin kerros, suojalaatta) maksaa nykyisin päällystettynä noin 100 €/m². Syvästabiloidun tierakenteen kustannus lieene 10 metrin syvyisellä pilaristabiloinnilla noin 130-170 €/m². Jos painuminen sallitaan, jolloin pintaa tasoitetaan päällystämällä, maksaa päällysteen uusiminen noin 30 €/m². Kevennys, jolla päällystys painuman takia voidaan välttää, vastaisi noin 1,5 päällystyskerran kustannusta, jolloin takaisinmaksuaika on selvästi alle 10 vuotta. Jos suojalaattaa voidaan keventää tai korvata edullisemmalla rakenteella, kevennys on vielä edullisempi.

Tärkeimmät, EPS-materiaalien käyttöä rajoittavat ongelmat liittyvät käsityksiin materiaalin kuormituskestävyydestä, pitkäaikaisdeformaatioista ja kostumisesta. Nämä käsitykset rajoittavat EPS:n käyttöä tierakenteissa. Viimeaikaiset tutkimukset viittaavat siihen, että EPS-materiaalin ominaisuudet ovat otaksuttua paremmat, ja niiden oikealla käytöllä olisi mahdollista päästä edullisempiin rakenteisiin, mikä lisäisi EPS:n kilpailukykyä. Tarkempi suunnittelu edellyttää käytettävän tuotteen mitoitusominaisuuksien selvittämistä ja käyttöönottoa.

1.3 Tavoitteet

Tavoitteena oli selvittää tietoa seuraavista ominaisuuksista:

- materiaalin jäykkyys päällysrakenteen mitoituksessa (EPS-tuotteiden kimmomoduuli käyttötilassa)
- materiaalin kokoonpuristuminen pitkäaikaiskuormituksessa
- pehmeän alustan vaikutus maarakenteiden tiivistystulokseen, alustan lujittamistarve
- kestävyys toistokuormituksessa
- mitoitusominaisuuksia paremmin kuvaavien mittareiden kehittäminen laboratoriotestausta varten

Kuormituskestävyyden hallitsemiseksi rakenteissa oli selvitettävä seuraavaa:

- EPS-materiaalien elastiset ja virumisominaisuudet
- EPS-materiaalin suojaustarve pysyviä muodonmuutoksia vastaan
- EPS-materiaalin vaikutus yläpuolisen rakenteen toteutukseen ja toimintaan tierakenteissa ja lattiarakenteissa.

- mitoitusmalli ja EPS:n mitoitusominaisuudet oli todennettava koekuormituksin ja koerakentamalla
- EPS:n käytön taloudellisuutta voitiin likimäärin selvittää koerakentamalla

Esitutkimuksessa käytiin läpi kirjallisuudessa esitettyjä, dokumentoituja käyttökohteita, joissa EPS-materiaalien kokoonpuristumista oli mitattu todellisissa rakenteissa (Kangas & Saarelainen 1999). Edelleen kerättiin tietoa EPS-materiaalien kokoonpuristumisoiminaisuuksista sekä niiden mekaanisista laskentamalleista.

2. EPS-tuotteet

2.1 Polystyreenin valmistus

Kivihiilestä, pyrolyysibensiinistä ja reformaatista valmistetaan bentseenia, josta yhdessä eteenin kanssa saadaan etyylibentseeniä ja edelleen dehydratoimalla styreenimonomeeria. EPS:n valmistuksessa käytettävät helmet valmistetaan suspensiopolymeroinnilla, jossa vesi, styreeni, pentaani ja apuaineet prosessoidaan reaktorissa, kuivataan, seuloetaan, käsitellään pinnoiteaineilla ja pakataan (Malen 2000).

2.2 EPS:n raaka-aine

Solupolystyreenin raaka-aine koostuu kiinteistä, 1-2 millimetrin läpimittaisista polystyreenihelmistä, joihin soluuntumisen aikaansaamiseksi on lisätty pentaania. Pentaani on useimmiten iso- ja n-pentaanin seosta.

EPS-tuotteen käyttötarkoituksen mukaan voidaan raaka-aine valita seuraavista tyypeistä:

- normaali, soluuntuva polystyreeni
- vaikeasti syttyvä, soluuntuva polystyreeni
- tarvittaessa myös erikoislaatuja, kuten öljynkestävä, soluuntuva polystyreeni

Em. raaka-ainetyypistä riippumatta eri tuotteiden valmistus tapahtuu samojen tuotantovaiheiden kautta.

2.3 EPS-tuotteen valmistus

EPS-tuotteen valmistuksessa erotetaan seuraavat vaiheet:

- esipaisutus
- stabilointi
- muottipaisutus

Ensimmäisessä vaiheessa polystyreenihelmiä paisutetaan lämmöllä vakioämpötilassa haluttuun tiheyteen. Esipaisutteen tiheys määrätään lopputuotteen vaatimusten mukaan. Lämmityksessä käytetään kylläistä vesihöyryä, joka pehmentää polystyreenihelmet plastiseen tilaan ja aikaansaa pentaanin höyrystymisen. Pentaanin höyrystyessä muodostuu helmen sisälle hienorakeisia umpisoluja, ja helmi paisuu.

Esipaisutus tehdään joko panos- tai jatkuvatoimisella laitteistolla lämpötilassa +90...+105 °C. Höyryn paisumisastetta ja tuotteen tiheyttä voidaan säätää höyryn sisältämän lämpömäärän ja höyrystämisaajan avulla.

Esipaisutuksen jälkeen helmet jäähtyvät, jolloin niiden ponneaine tiivistyy, ja niihin kehittyy alipainetta. Koska helmiin esipaisutuksessa jää myös vettä, on niitä kuivatettava. Tämän käsittelyvaiheen, stabiloinnin aikana helmissä olevaa pentaani korvautuu suurimmaksi osaksi ilmalla, ja paine-ero ilmaan tasoittuu. Stabilointiaika riippuu tuotteen tiheydestä, lämpötilasta, helmikoosta ja soluseinämiä vahvuudesta.

Kuivausta voidaan nopeuttaa leijupetikuivauksella, jolloin välivarastointiaika lyhenee. Kuivauslämpötilana on +40...+60 °C.

Esipaisutetuista, stabiloiduista EPS-helmistä valmistetaan polystyreenituotteita automatisoiduilla, panostoisilla suurmuoteilla ja jatkuvatoimisilla levymuottikoneilla.

Helmillä täytettyyn muottiin puhalletaan höyryä. Tällöin polystyreenihelmien lämmetessä niiden solukko ja pinta pehmenevät ja niiden soluissa oleva ilma-pentaaniseos laajenee. Helmet paisuvat täyttäen yhtenäisenä kappaleena muotin, kun helmien välissä oleva vapaa huokosilma puristuu pois. Paisuminen on esipaisutuksen verrattuna vähäistä, eikä se vaikuta juuri tuotteen tiheyteen.

Suurmuottipaisutuksessa valmistetaan suurharkkoja, blokeja. Blokimuotissa helmiä lämmitetään paineistetun höyryn virtauksella massan läpi. Massan lämpötila pyritään virtaussysteemillä pitämään tasaisena ja vakaana. Suurmuottikappale voidaan käyttää sellaisenaan tai siitä voidaan muodostaa levytuotteita lankaleikkauksella.

Levymuottikoneessa tuote valmistetaan kuten edellä, mutta lopputuotteen mittoihin.

Jatkuvatoimisessa levynvalmistuksessa esipaisutetut helmet syötetään tasaisena virtana liikkuvien teräsviirien väliin. Viirien alkupäässä helmet paisutetaan ja sintrataan yhteen höyryllä. Viiran loppupäässä tuote jäähdytetään, ja saadaan ulos jatkuvana nauhana. Levyn poikkileikkausmitat voidaan säätää haluttuun mittaan. Levyjen katkaisu ja muu työstö tehdään jälkikäsittelyssä.

2.4 EPS-tuotteiden yleisiä ominaisuuksia

EPS-tuotteet on uudelleen käytettävissä joko sellaisinaan tai sekoitettuna valmistusprosessiin uusio-EPS-tuotteen valmistamiseksi.

EPS-tuotteet ovat ympäristöystävällisiä ja kierrätettäviä. EPS-tuotteen raaka-aineena on öljy, joka on uusiutumaton luonnonvara. Lopullisessa tuotteessa öljypohjaisen raaka-aineen osuus on kuitenkin vain 2 % tilavuudesta; loput tilavuudesta on eristeenä toimivaa ilmaa. Tuotelaadun mukaan raaka-aineesta voidaan korvata 5. ..70 % rouhitulla kierrätysraaka-aineella. EPS-tuotteiden valmistuksessa hyödynnetään myös kertakäyttöisistä EPS-pakkauksista tulevaa uusioraaka-ainetta. Käytöstä poistetut EPS-tuotteet voidaan uudelleenkäytön lisäksi hyötykäyttää mm. murskaamalla ne rakeiksi ja kierrättämällä takaisin EPS-tuotteiden valmistukseen tai käyttämällä rakeita kevytbetonin, kevyttiilien ja muurausharkkojen valmistukseen. EPS-tuotteiden sisältämä energia voidaan hyödyntää valvotuissa olosuhteissa ja riittävän korkeassa lämpötilassa polttamalla ilman ongelmapästöjä. Kaatopaikkajätteenä EPS-tuotteet ovat maatumattomia eivätkä aiheuta haitallisia päästöjä.

EPS-tuotteet ovat normaaleissa käyttöolosuhteissa hajuttomia, pölyämättömiä ja myrkyttömiä. EPS-tuotteet eivät turmellu biologisesti. EPS-tuotteet eivät lahoa, mätäne eivätkä ne sisällä homesienten tarvitsemia ravintoaineita. Testatut EPS-tuotteet täyttävät pintamateriaalien päästöluokituksen MI-luokan mukaiset vaatimukset. EPS-tuotteiden työstö ja asentaminen ei edellytä erityisten suojavarusteiden käyttöä.

EPS-tuotteen kemiallinen kestävyys on hyvä ja se soveltuu käytettäväksi yhdessä tavanomaisten rakennusmateriaalien ja -tarvikkeiden kanssa. EPS kestää tavallisia happoja ja emäksiä. Se ei kestä orgaanisia liuottimia kuten bensiinejä, mineraaliöljyjä tai muita hiilivetyliuottimia. Esimerkiksi tien kevennyksissä on EPS-täyte peitettävä yläpuolisella suojauksella, joka voi olla läpäisemätön kalvo, laatta tms. kerros.

Kuivissa tai lähes kuivissa lattia-, seinä- ja kattorakenteissa EPS-tuotteen vettyvyys on hyvin vähäistä. Kosteusteknisesti vaativissa olosuhteissa (esim. routaeristykset) tulee käyttää tiiviydeltään parempia EPS-routa-laatuja. EPS-tuote on vesihöyryn läpäisevyydeltään muita muovieristeitä hengittävämpi materiaali. EPS-tuote ei siten toimi varsinaisena höyrynsulkuna.

EPS-tuotteet luokitellaan palaviksi rakennusmateriaaleiksi. EPS-tuotteita valmistetaan vaikeasti syttyvänä S-laatuuna, joka ei ylläpidä palamista. Palavia lämmöneristeitä saa käyttää paloluokkien PI...P3 rakennuksissa RakMK EI mukaisesti. EPS-tuotteille on tyyppihyväksytty myös tästä poikkeavia paloteknisiä käyttötapoja. Käytännön palotilanteessa syntyvistä EPS-muovin palamiskaasuista vaarallisin on hiilimonoksidi eli häkä. Palava EPS-tuote kuumentaa ympäristöään, jolloin voi syntyä mekaanisia palovaurioita.

Eristeen kuormituksesta riippuen lyhytaikainen lämmönkestävyys on + 100. ..+ 130 °C.

2.5 Tuotteet

EPS-tuotteet luokitellaan niiden puristuslujuuden mukaan. Puristuslujuudella σ_{10} tarkoitetaan yksiaksiaalista puristusjännitystä, joka aiheuttaa näytteessä 10 % puristuman testausstandardin EN 826 mukaisesti määritettynä. Kevennemateriaaleissa puristuslujuus σ_5 tarkoittaa 5 % kokoonpuristumaa vastaavaa puristusjännitystä. Käyttötarkoituksen mukaan tuotteet luokitellaan EPS 2000-tuoteluokituksen mukaisiin tuotenimikkeisiin:

Taulukko 2.1. EPS 2000-tuoteluokitus.

Käyttötarkoitus	Tuotteet	Puristuslujuus σ_{10} , kPa
Kattoeristeet	EPS 60S Katto	60
	EPS 100S Katto	100
	EPS 200 Katto	200
Seinäeristeet	EPS 60S Seinä	60
	EPS 80S Seinä	80
	EPS 100S Seinä	100
Lattiaeristeet:	EPS 60 Lattia	60
	EPS 100 Lattia	100
	EPS 150 Lattia	150
	EPS 200 Lattia	200
	EPS 240 Lattia	240
	EPS 300 Lattia	300
	EPS 400 Lattia	400
Routaeristeet:	EPS 120 Routa	120
	EPS 200 Routa	200
	EPS 300 Routa	300
	EPS 400 Routa	400
Kevenneet:	EPS Kevenne	Kohteen vaatimusten mukaan, puristuslujuus σ_5

Tuotteille on määritetty eri käyttötarkoituksia varten toiminnalliset ominaisuudet.

EPS 2000-tuoteluokituksen perusteena olevat toiminnalliset ominaisuudet ovat:

- dimensiot
- mittapysyvyys
- lämmönjohtavuus
- lujuusominaisuudet (lyhyt- ja pitkäaikainen puristuskestävyys, taivutuslujuus, leikkaukslujuus)
- kosteustekniset ominaisuudet
- vedenimeytyminen kokonaisupotuksessa
- vesihöyryn läpäisevyys

- ilmanläpäisevyys
- palo-ominaisuudet

Tuotekohtaiset toiminnallisten ominaisuuksien vähimmäisvaatimukset ilmenevät mm. tuotteelle myönnetystä tuotesertifikaatista. EPS-tuotteiden ominaisuuksia kirjallisuudessa esitettyjen tietojen mukaan on kuvattu liitteessä 1.

2.6 Käyttöominaisuudet

EPS-materiaaleja valmistetaan sekä muottipaisutettuina blokkeina että jatkuvatoimisilla linjoilla levyinä. Levykappaleet ovat yleensä erikoistuotteita, jotka ovat mm. raskaita ja lujia laatuja.

Tärkeimmät EPS-materiaalin tekniset ominaisuudet ovat vuorosuhteessa sen tiheyteen. Näitä ovat mm. lujuus, kokoonpuristuvuus ja lämmönjohtavuus. Myös tuotteiden valmistuskustannukset ovat vahvasti riippuvaisia tiheydestä.

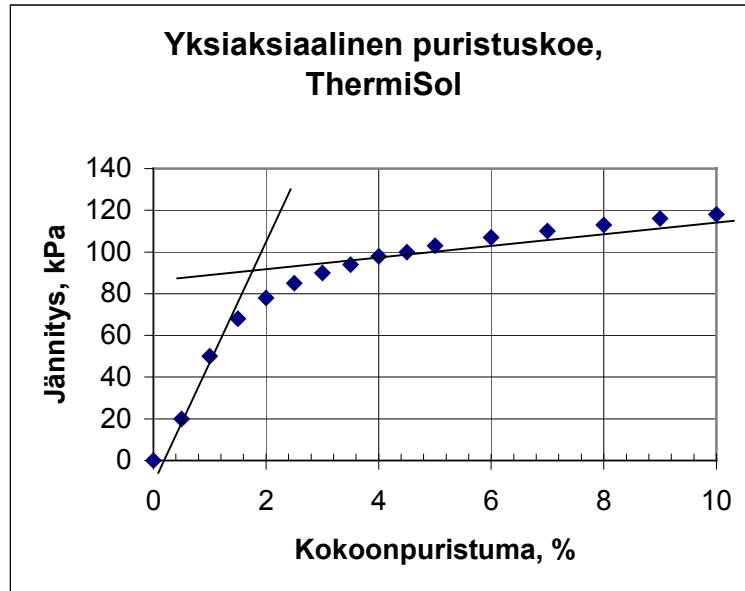
EPS-tuotteita valmistetaan eri tiheysluokissa. Maarakenteiden keventeinä on käytetty materiaaleja, joiden tiheys on 15-25 kg/m³. Raskaampia materiaaleja on käytetty tie- ja katurakenteiden routasuojauksissa ym. raskaasti kuormitetuissa rakenteissa. Luokiteltujen materiaalien muodonmuutosominaisuuksia kuvataan tuotespesifikaatioissa tunnusluvuilla, joita ovat:

- kokoonpuristumaa 2, 5 ja 10 % vastaava puristusjännitys, kPa
- kimmomoduuli (initialikimmomoduuli, joka määritetään alle 2%:n kokoonpuristumalla jännityslisäyksen ja muodonmuutoslisäyksen suhteena), MPa.

Esimerkki erään EPS-tuotteen kokoonpuristumakäyrästä on kuvassa 1. Sen mukaan 2 %:n muodonmuutosta vastaava jännitys näyttää olevan jo hiukan plastisella alueella. Kimmomoduuli on pienillä muodonmuutoksilla huomattavasti suurempi kuin suurilla muodonmuutoksilla (yli 2 %). Kuormitus tehdään nopeana puristuskokeena (noin 10 %/min).

EPS-tuotteet kokoonpuristuvat valmistuksen jälkeen rajoitetusti ilman kuormitustakin. Kun blokit poistetaan muotista, materiaali on vielä suhteellisen pehmeää, ja sen tilavuus jatkaa pienenemistä. Kutistuminen johtuu mm. siitä, että materiaali on valmistuksen jäljiltä vielä lämmin. Solut sisältävät jonkin verran pentaanikaasua, joka poistuu vähitellen materiaalista. Tilavuuskutistuman kokonaismääräksi on arvioitu alle 1 %.

EPS:n puristuslujuudeksi on nimitetty tiettyä muodonmuutosta vastaavaa jännitystä. Puhutaan 2, 5 ja 10 %:n puristuslujuudesta.



Kuva 2.1 Tyypillinen EPS-tuotteen yksiakselinen kokoonpuristumiskäyrä.

Materiaalin tuotekehityksessä on laadittu vertailuja eritiheyksisten tuotteiden muodonmuutosominaisuuksista. Karkeasti voidaan puristusjännitystä eri muodonmuutostasoilla tai kimmomoduulia arvioida esimerkiksi 10 %:n puristumaa vastaavan puristusjännityksen σ_{10} tai tiheyden perusteella. Puristusjännitys 10 %:n puristumalla on likimäärin yhtälön (1) mukainen (BASF 1997).

$$\sigma_{10} = 8,82\rho - 61,7 \quad (1)$$

jossa σ_{10} 10 % kokoonpuristumaa vastaava puristusjännitys, kPa
 ρ EPS-materiaalin tiheys, kg/m³

Vastaavasti on esitetty kuivatiheyden ja kimmomoduulin vuorosuhteelle muotoa (2) (CROW 2000).

$$E = 0,1284\rho^{1,368} \quad (2)$$

jossa E kimmomoduuli, MPa.

Tässä on huomautettava, että vaikka tuotteiden tiheys olisikin sama, niiden muodonmuutosominaisuudet voivat rajoitetusti poiketa mm. valmistusprosessista ja raaka-

aineen laadusta johtuen. Näin tuotetta voidaan paremmin kuvata käyttötarkoitusta varten puristuskokeen tulosten kuin tiheyden perusteella.

Haluttaessa arvioida kevennetyn tierakenteen painumista ja erityisesti EPS-kerroksen painumista pitkäaikaisesti tarvitaan tietoa EPS-materiaalin virumisominaisuuksista. Kokonaispainuma on välittömän (kimmoisen) painuman ja pitkäaikaisen painuman summa. Pitkäaikaispainumaominaisuuksia on rajoitetusti tutkittu. Löytyy kuitenkin dokumentoituja koerakennekohteita, joissa on voitu verrata laboratoriotulosten perusteella arvioitua painumista havaittuun (vrt. Frydenlund & Aaboe 1996).

Makrorakenteen mekaanisen toiminnan analysoinnissa ja rakenteen mitoituksessa tarvitaan tietoja materiaalin muodonmuutosominaisuuksista nopeassa kuormituksessa, Poissonin kerrointa sekä virumisparametreja. Tietyllä materiaalilla moduuli ja Poissonin kerroin sekä virumisominaisuudet sekä herkkyys syklisen kuormituksen vaikutuksille ovat jännitysriippuvia.

2.7 Lujuusominaisuudet ja pitkäaikaiskestävyys

EPS-eristeiden lujuusominaisuuksiin vaikuttavat eristeen tiheys, kuormitusaika, lämpötila ja suhteellinen kosteus. EPS-eristeiden lyhytaikainen puristuslujuus määritellään 10 % kokoonpuristumaa vastaavana jännityksenä. Pitkäaikainen puristuslujuus määritellään 2 % kokoonpuristumaa vastaavana jännityksenä (määritettynä laboratoriossa standardipuristuskokeella). EPS-eriste on mekaanisilta, kemiallisilta ja fysikaalisilta ominaisuuksiltaan hyvin kestävä materiaali, mikä johtuu sen raaka-aineena käytetyn kesto-
muovin ominaisuuksista. Auringon UV -säteily saattaa muuttaa suojaamattoman EPS-eristelevyn pinnan kellertäväksi ulko-varastoinnin aikana. Tämä ei kuitenkaan vaikuta haitallisesti eristelevyjen mekaanisiin ominaisuuksiin, eikä edellytä erityisiä suojaustoimia työmaalla tavanomaisen varastointijakson tai rakentamisaikataulun aikana.

Jos EPS-materiaalin nettopuristuma suurella näytteellä tehdyssä puristuskokeessa, jossa muodonmuutos mitataan näytteen uumasta, ei ylitä arvoa noin 0,5 %, muodonmuutos on palautuva, eikä kuormitus aiheuta hitaita virusmuodonmuutoksia eikä pysyviä syklisiä muodonmuutoksia (mm. Dushkov 1997). Tämä tuotteen kimmoinen maksimijännitys on likimäärin 40 % lyhytaikaisesta puristuslujuudesta σ_{10} .

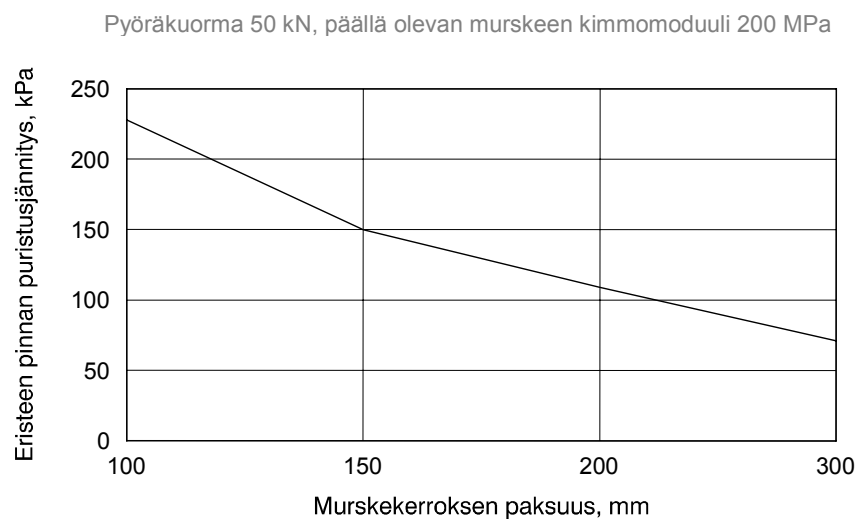
Tehtyjen laboratoriokokeiden perusteella (Saarelainen 2002) on ilmeistä, että tuotteen nimellispuristusjännitys (σ_5 , σ_{10}) ei merkittävästi muutu näytekokoa kasvatettaessa. Sen sijaan puristuskäyrästä tulkittu kimmomoduuli tai muodonmuutosmoduuli ovat sekä näytekoosta että muodonmuutoksen mittaustavasta riippuvia. Kun näytteen puristuminen mitataan sen päiden välillä, niin ilmenee noin 0,5-1 millimetrin "alkuklappi", ennen

kuin näytteen puristuminen linearisoituu jännityksen kasvaessa. Jos muodonmuutos mitataan näytteen uumassa, esimerkiksi kolmannespisteiden välillä, alkuklappi jää pois, ja näytteen puristuminen paremmin vastaa suuren kappaleen deformatumista. Lisäksi moduuli alenee voimakkaasti puristuman kasvaessa. Näin puristuslujuus σ_{10} voidaan määrittää pienellä näytteellä, kun taas kimmomodulaali tulisi määrittää suuremmalla näytteellä (esimerkiksi d 100 mm/h 200 mm) niin, että muodonmuutos mitataan uumassa.

Näin määritetty moduuli vastaa mittausten mukaan tuotteen kimmomodulaalia rakenteessa mm. liikkuvan pyöräkuorman rasituksessa sekä silloin, kun kokonaispuristusjännityksen aiheuttama puristuma rakenteessa on kimmoinen (enintään esim. 0,5 %) (ks luku 4.3, Kangas & Saarelainen 2001, Elomaa 2002).

Tehtyjen laboratoriotutkimusten ja kenttähavaintojen mukaan EPS-tuotteen pitkäaikaismuodonmuutos (viruminen) oli tierakenteissa (HVS-kokeet, Pesurinkadun vanha kevenne) olematonta, kun pysyvä kuormitus on alle kimmorajan. Poikkeuksena on rakenne, jossa EPS-tuotteeseen kohdistuu suuria, pysyviä kuormituksia, kuten raskas latiaakuormitus tai kantavan rakenteen perustuskuormitus.

Tuotteiden pysyvä kokoonpuristuminen toistokuormituksessa (esimerkiksi liikennekuormitus) on myös olematonta, jos EPS-tuotteeseen kohdistuva puristusjännitys on alla kimmorajan. Tämä tilanne toteutuu tierakenteessa, kun keventeen päälle on tehtävä liukkaudentorjunnan syistä vähintään 0,5 metrin kivennäismaarakanne. Suurempia puristusjännityksiä voi syntyä EPS-kerroksen yläpuolisia rakennekerroksia rakennettaessa. Tällöin voitaisiin sallia esimerkiksi 70 %:n kuormitus nimellislajuudesta, jolloin syntyvä pysyvä deformaatio jää muutama prosenttiin paksuudesta. Kun rakenne on valmis, muodonmuutokset eivät enää merkittävästi kasva. Puristusjännityksen suuruutta EPS-kerroksen pinnassa standardipyöräkuorman alla, kun välissä on paksuudeltaan vaihteleva murskekerros, jonka kimmomodulaali on 200 MPa, on esitetty kuvassa 2.2. Sen mukaan esimerkiksi EPS100-tuotteen päälle tarvitaan tiivistetty murskekerros, jonka paksuus on vähintään 250 mm, jos EPS-kerrokselle sallitaan puristusjännitystä enintään 70 kPa. Tällaisen suojakerroksen päällä voidaan ajaa kuorma-autolla täyden kuorman kanssa.



Kuva 2.2 Pyöräkuorman 50 kN aiheuttama puristusjännitys EPS-kerroksen pinnassa, kun murskekerroksen paksuus vaihtelee välillä 100...300 mm, ja murskekerroksen kimmomoduuli on 200 MPa.

3. Lähtökohdat ja rakenteelle asetettavat vaatimukset

3.1 Tienpinnan pysyvä painuma

Edellisen kohdan mukaisesti EPS-kerros saa merkittäviä pysyviä muodonmuutoksia, jos siihen kohdistuva puristusjännitys ylittää sen kimmoisen rajajännityksen. Tämä rajajännitys oli noin 40 % 10%:n muodonmuutosta vastaavasta puristusjännityksestä. Nykykäsitteen (Crow 2000) ja tehdyn testauksen mukaan puristusjännityksen ollessa alle em. kimmoisen rajajännityksen ei EPS-kerroksessa synny merkittävää virumista tai syklisen kuormituksen aiheuttamaa pysyvää muodonmuutosta.

3.2 Jousto

Kivennäismaata merkittävästi joustavamman EPS-kevennetyn tien liittyessä jäykkään rakenteeseen, esimerkiksi siltaan, voi syntyä jäykkyysero, joka tuntuu ajoneuvossa iskuvoimana. Tämä voidaan estää siirtymärakenteella, jolla vaste-ero muutetaan asteittain tietyllä minimimatkalla. Siirtymärakenteessa vastetta muutetaan esimerkiksi EPS-kerroksen paksuutta muuttamalla tai arinarakenteella.

3.3 Pysyvän deformaation hallinta

EPS-kevennetykseen kohdistuvia jännityksiä voidaan säätää yläpuolisella rakenteella. Tiellä tarvitaan liukkaudentorjuntasyistä 500-700 millimetrin paksuinen kivennäismaakerros. Rakenteen painosta johtuvat kuormitukset ovat pieniä. Määrääväksi tulee tällöin muuttuvasta kuormituksesta (esimerkiksi pyöräkuorma) aiheutuva puristusjännitys. Jännitystaso määräytyy toisaalta päällysrakenteen paksuuden ja toisaalta sen jäykkyyden perusteella. Pesurinkadulla päällysrakenteen paksuus oli 700 mm ja tienpinnan kantavuus noin 150 MPa. EPS-kevennetyksen (R-luokka) suurin puristusjännitys oli tällöin noin 35 kPa. HVS-kokeissa päällysrakenteen paksuus oli 500 mm ja pinnan kantavuus noin 60 MPa. Tuotteesta EPS150 rakennetun kevennekerroksen suurimmaksi puristusjännitykseksi mitattiin noin 70 kPa. Kummassakaan rakenteessa ei havaittu mainittavaa pysyvää kokoonpuristumaa liikennekuormituksen vaikutuksesta.

EPS-materiaalin suojauksen edellyttämää paksuutta ja kantavuutta voidaan arvioida laskennallisesti. Tarvittaessa voidaan näillä edellytyksillä määrittää arinan tarve ja jäykkyys.

3.4 EPS:n vaikutus muihin rakenteen osiin

Maakerroksen tiivistymiseen vaikuttaa materiaalin laadun ja kerrospaksuuden sekä tiivistyskoneen ominaisuuksien (täry, nimelliskuorma) ohella myös kerroksen alustan vaste. Kovalla alustalla yläpuolelle tiivistettävän kerroksen puristusjännitykset ovat suu-remmat kuin pehmeällä alustalla. Kun kerroksen jäykkyyshmoduuli on verrannollinen kerroksessa vaikuttaneeseen puristusjännitykseen, niin pehmeällä alustalla saavutettu kantavuus jää pienemmäksi kuin kovalla alustalla.

Rakennettaessa päällysrakennekerroksia EPS-keventeen päälle olisi nämä tiivistettävä ohuehkoina kerroksina, jolloin kantavuus saadaan maksimoiduksi. Tällä on merkitystä EPS-kerrokseen kohdistuvien puristusjännitysten lisäksi myös näiden kerrosten urautumiseen. Jos murskekerroksen tiiviys jää alhaiseksi, voi myös murskeessa syntyä liikennekuormitusten alaisena pysyviä muodonmuutoksia. Nämä ilmenevät päällysteen urautumisena. Päällysrakenteen yläosan jäykkyyttä voidaan parantaa myös raudoittamalla ylä rakenne.

3.5 Päällysteen liukkaudentorjunta

Lämmöneristeiden yhteydessä on havaittu, että syksyllä ja keväällä lämpötilojen voimakkaasti vaihdellessa jäätymispisteen molemmiin puolin syntyy poikkeuksellisen liukkauden riski päällysteen pintaan. Tämä johtuu siitä, että päällysteen alla olevien kerrosten lämpökapasiteetti, joka tasoittaa pintalämpötilojen vaihtelua, rajoittuu lämpöeristeen vuoksi. Kun pinnan lämpötila on jäätymispisteen alapuolella ja samalla aikaa ilman kastepiste tai härmistymispiste (paremmin: freeze point) (esim. Cote & Konrad 2002) on ilman lämpötilaa korkeampi, voi vesihöyry jäätymä tienpintaan mustaksi jääksi.

Jään muodostumista säätelee veden saatavuus. Jäätä muodostuu merkittävän paljon kondensoitumalla ilmasta tai sateen tuomasta vedestä. Jäätä on muodostuttava niin paljon, että tien kitka alenee. Liukkaita esiintyy talven mittaan kaikkialla päällysteellä. Ongelmallista on odottamaton liukkaus, joka on seurausta rakenteen jäätymisolojen muuttumisesta tien linjalla.

Nykyisten tierakenteen suunnitteluohjeiden mukaan tarvitaan liukkauden rajoittamiseksi lämpöeristeen päällä vähintään 0,7 metrin paksuinen kivennäismaarakanne (Tien kevennysrakenteet 1997). Muissa pohjoismaissa edellytetään ohuempaa suojakerrosta (Ruotsi 0,5 metriä, Norja 0,3 metriä). Todennäköinen kohtuullinen paksuus lienee noin 0,5 metriä. Liukkausriskin edellyttämiä rakennevaatimuksia lienee arvioitava suunnittelukohteen tilanteen mukaan.

4. Kuormituskestävyyden mitoitus

4.1 Johdanto

Maarakenteiden toimivuuden ja turvallisuuden määrittämiseksi on tarpeen selvittää rakenteen varmuustaso sortumista vastaan sekä rakenteen siirtymät (hetkelliset ja pysyvät). Tämä tarkoittaa sitä, että rakenne ja sen materiaalikerrosten mekaaninen käyttäytyminen määritetään joko kokemuseräisesti tai jos kokemusta ei ole, laskelmin niin, että materiaalien muodonmuutokset ja rakenteen siirtymät ovat hyväksyttäviä, ja että rakenteen kokonaisvakavuus on riittävä.

Lisäksi on rakenteessa varmistettava sellaiset olosuhteet, että materiaalien ja rakenteen toimivuus, pysyvyys ja turvallisuus voidaan taata. Tämä tarkoittaa, että rakenteessa olevien materiaalien turmeltuminen mm. kemiallisen vaikutuksen, jäätymisen, tulipalon, vettymisen tms. vaikutuksen seurauksena on estetty.

4.2 Mitoitusmenettely

4.2.1 EPS:n mitoitusominaisuudet

4.2.1.1 Yleistä

EPS-materiaaleja käytetään rakenteissa pääasiassa routa- ja lämmöneristeinä sekä kevyttäytteinä ja keventeinä. Mekaanisesti nämä tulee suunnitella niin, että niissä tapahtuvat muodonmuutokset pysyvän kuorman ja muuttuvien kuormitusten, kuten liikennekuorman vaikutuksesta pysyvät ennakoitavissa, hyväksyttävissä rajoissa. Kostumisella on merkitystä erityisesti routaeristeiden eristyskykyyn; keventeiden kostumisella on vähäisempi vaikutus keventeen toimintaan.

4.2.1.2 Kuivatiheys

EPS-materiaaleja on aiemmin luokiteltu niiden kuivatiheyden perusteella. Kuivatiheys onkin suhteellisen luotettavasti määritettävissä oleva ominaisuus uusilla tehdastuotteilla. Kuivatiheyden määrittäminen vanhasta, kostuneesta materiaalista on vaativa tehtävä, sillä EPS-materiaalia ei saa laboratoriokokeessa lämmittää lämpötilaan yli 80 °C, sillä korkeammissa lämpötiloissa se alkaa kutistua. Veden höyrystyminen taas kiehumapis-

teen alapuolella on heikkoa. Tuotteiden valmistustekniikka on muuttunut myös niin, että saman tiheyden omaavasta EPS-vahtomuovista voidaan valmistaa erilaiset mekaaniset ominaisuudet omaavia tuotteita. Näin pelkkä kuivatiheys ei kuvaa tuotteen mekaanisia ominaisuuksia, joskin lujempien tuotteiden tiheys on yleisesti suurempi kuin pehmeämpien.

4.2.1.3 Mekaaniset ominaisuudet

Mekaanisia mitoituslaskelmia varten tarvitaan EPS-materiaaleista seuraavia ominaisuuksia:

- kimmomoduuli
- Poissonin kerroin
- paksuus
- suurin pysyvä puristusjännitys tai muodonmuutos
- suurin lyhytaikainen/toistuva puristusjännitys tai muodonmuutos

4.3 EPS-kevennetyn päällysrakenteen mitoitus

4.3.1 EPS:n pysyvien muodonmuutosten hallinta

EPS-materiaalissa tapahtuvat muodonmuutokset näkyvät osana kokonaismuodonmuutoksia rakenteen pinnan, esimerkiksi tienpinnan pysyvää painumaa. EPS-kerroksia sisältävä rakenne tulisi niin mitoittaa, että EPS-materiaalin muodonmuutokset ovat ennakoitavissa, eivätkä aiheuta ongelmia rakenteen pitkäaikaiskäytölle. Siirtymät ja muodonmuutokset ovat joko palautuvia tai pysyviä. Palautuvat muodonmuutokset määräävät rakenteen jouston (kimmoinen taipuma), kun taas pysyvät muodonmuutokset myötävaikuttavat rakenteen vaurioitumiseen ja palvelutasoon.

Muodonmuutoksiin vaikuttaa materiaaliin kohdistuva kuormitustila (puristus- ja leikkausjännitykset), joka määräytyy päällä olevien kerrosten painosta, ja ulkoisesta kuormituksesta, rakenteen kerrospaksuuksista ja kerrosten ominaisuuksista jne. EPS-kerroksessa ulkoisen kuormituksen aiheuttama puristusjännitys lasketaan päällä olevan kerrosgeometrian ja kerrosten jäykkyyden perusteella joko kerroslaskentaohjelmilla tai elementtilaskentaohjelmilla (esimerkiksi APAS tai Plaxis). Puristusjännitystä voidaan pienentää lisäämällä päällä olevien kerrosten paksuutta ja jäykkyyttä.

Materiaalia kuormitettaessa siinä syntyy kokonaismuodonmuutos (kokoonpuristuma), josta osa palautuu ja osa jää pysyväksi. Palautuva muodonmuutos on kimmoista ja palautumaton plastista muodonmuutosta. Jos kuormitus kestää kauan, kokoonpuristuma voi kasvaa ajan mittaan. Hitaasti syntyvä muodonmuutoksen lisäys on palautumaton, ja sitä nimitetään virumaksi. Jos lyhytaikaista kuormitusta toistetaan niin, että kullakin kuormituksella syntyy palautuvan muodonmuutoksen ohella pysyvän muodonmuutoksen lisäys, puhutaan syklisestä muodonmuutoksesta (toistokuormituksen aiheuttama muodonmuutos). Tällainen kuormitus on esimerkiksi tien pintaa kuormittava, etenevä pyöräkuorma (vrt. taulukko 4.1).

Taulukko 4.1 Pysyvän muodonmuutoksen osatekijät eri kuormitustilanteissa.

Kuormitus	Muodonmuutos		Viruma	Syklinen muodonmuutos
	Palautuva	Pysyvä		
Penkereen paino	x	x	x	
Pyöräkuorma	x	x		x

4.3.2 Tuotteen EPS Kevenne ominaisuudet

Puristuskokeet

Ohjelmassa tehtiin laboratoriotestausta EPS Kevenne-tuotteella. Tutkitun tuotteen kuivatiheys oli ThermiSol Oy:n tutkimusten mukaan noin 23 kg/m^3 . Standardipuristuskokeissa (Taulukko 4.2) sen puristusjännitykseksi 5 %:n kokoonpuristumalla saatiin vähintään 130 kPa (keskimäärin 138 kPa) ja 10 %:n kokoonpuristumalla vähintään 140 kPa (keskimäärin 155 kPa). VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan laboratoriossa tehtiin puristuskokeet sylinterinäytteillä, joiden halkaisija oli 100 mm ja korkeus 200 mm (Saarelainen 2002a). Kokoonpuristumaa mitattiin sekä näytteen päiden välillä että näytteen uuman keskiosassa pisteiden välin ollessa 100 mm. Kokoonpuristumaa 5 % vastaava puristusjännitys oli 147 kPa, ja 10 % puristumaa vastaava puristusjännitys noin 158 kPa (kuva 4.1). Jännitystasot eri laboratorioissa ja erilaisilla näytteillä olivat vertailukelpoisia.

Taulukko 4.2 EPS Kevenne. Yhteenvedo ThermiSol Oy:n testauksen tuloksista.



Laadunvalvonta / Eristeet

VTT / Tekes - Isora EPS 100 Kevenne.

02.02.2001/ra

Yhteenvedoraportti keskiarvoista:

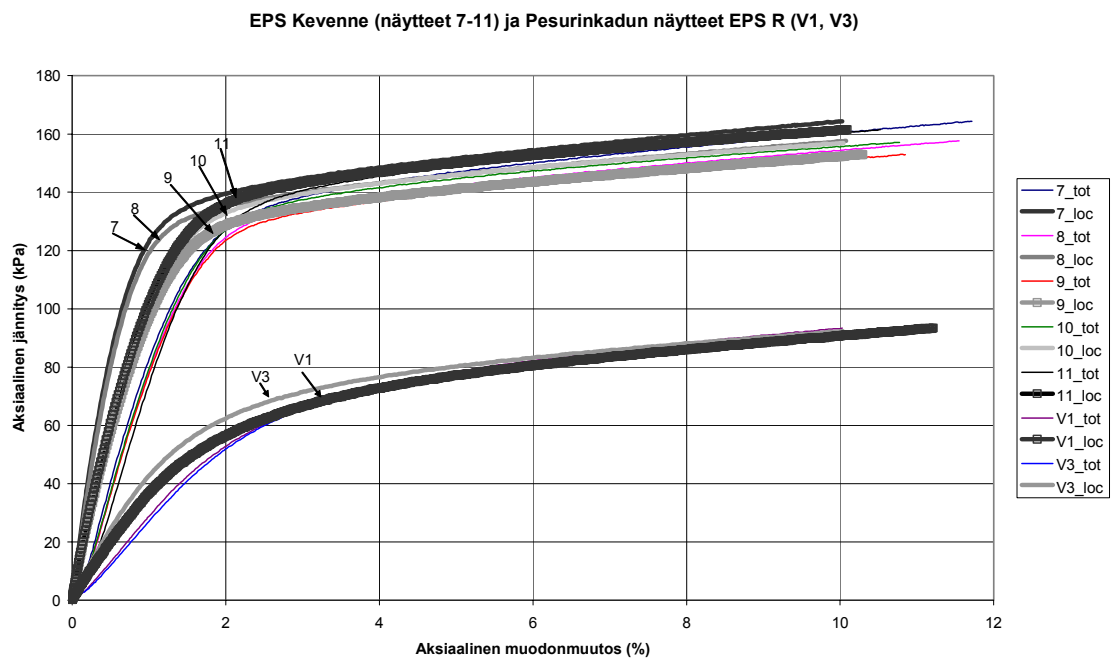
Blokki n.o	Kevenne n.o	Koko palan kuivatthietyys kg/m³	Lämmönjohtavuus		Lyhytaikainen puristuslujuus (SFS-EN826)									Veden absorptio/ 28 vrk (SFS-EN 12087/2A)			
			λ 10 - tiheys kg/m³	λ 10 - arvo W/m²K	Muoto	2%-puristumalla			5%-puristumalla			10%-puristumalla			Testikpl:n vahvuus mm	Tiheys kg/m³	Abs.-arvo t - %
						Tiheys kg/m³	Jännitys kPa	Kimmom. Mpa	Tiheys kg/m³	Jännitys kPa	Kimmom. Mpa	Tiheys kg/m³	Jännitys kPa	Kimmom. Mpa			
1.	2	21,8	-	-	☑	21,6	108,6	6,503	21,6	135,0	6,641	21,5	152,4	6,767	50	22,1	2,13
	2		-	-	☐	22,4	112,6	6,813	22,4	139,5	7,002	22,4	154,9	7,141	200	21,4	2,41
	4	21,5	22,2	0,0345	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.	1	23,2	-	-	☑	23,0	115,0	7,169	23,0	143,0	7,251	23,0	161,0	7,340	50	22,7	2,70
	1		-	-	☐	23,9	121,3	7,298	23,9	147,5	7,448	23,9	165,2	7,661	200	23,1	2,41
	5	23,8	23,7	0,0341	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.	3	21,6	-	-	☑	21,3	102,2	6,041	21,4	131,2	6,246	21,4	145,6	6,077	50	21,6	2,55
	3		-	-	☐	22,2	108,6	6,351	22,2	134,5	6,518	22,2	152,6	6,603	200	21,5	2,28
	4	21,5	21,8	0,0347	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Keskiarvot:		22,2	22,6	0,0344		22,4	111,4	6,696	22,4	138,5	6,851	22,4	155,3	6,932		22,1	2,41

2(9)

Puristuskokeiden tuloksista määritettiin myös materiaalin kimmomoduuli. Standardinäytteillä (ThermiSol Oy) saatiin moduulin arvoksi noin 7 MPa, kun taas VTT:n testaamilla suurilla näytteillä moduulin arvo oli keskimäärin 13-15 MPa (vrt. taulukko 4.2 ja kuva 4.1).

Vertailun vuoksi on todettava, että samalle materiaalille täysmittakaavan rakenteessa HVS-testauksen yhteydessä saatiin kimmomoduulin arvoksi noin 9,5-10,5 MPa. Tällöin EPS-kerroksen puristusmuodonmuutos oli noin 0,4-0,6 %.

Vastaavasti Pesurinkadun näytteillä (σ_{10} noin 90 kPa) kimmomoduuli oli VTT:n testauksessa noin 4 MPa ja ThermiSol Oy:n puristuskokeiden mukaan noin 2,5-3 MPa. Pesurinkadulla pudotuspainokokeen tuloksista takaisinlaskettu moduuli oli noin 6,9 MPa.



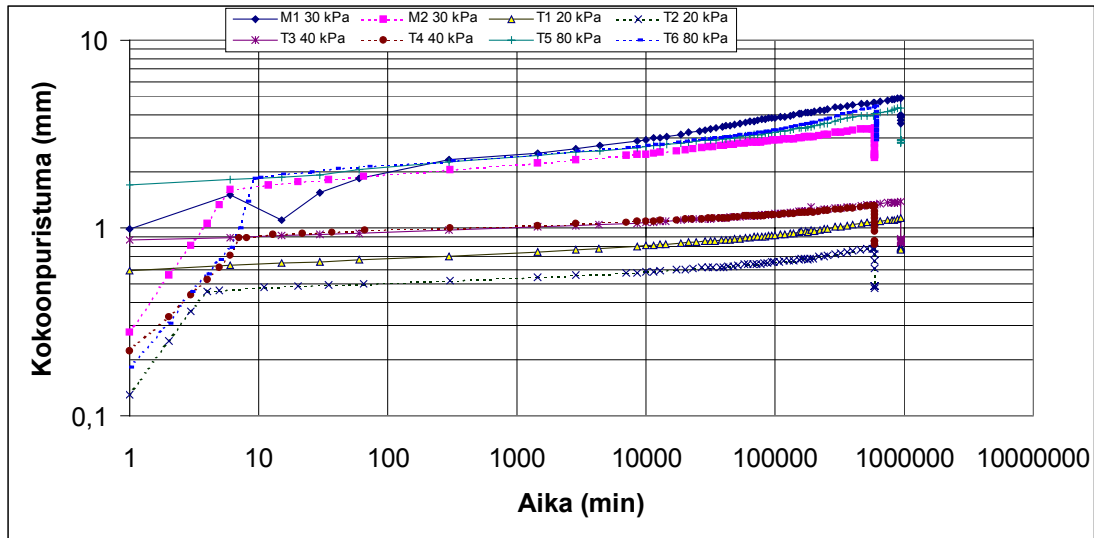
Kuva 4.1 EPS Kevenne. Puristuskokeet. Näytteiden jännitys-kokoonpuristumakäyrät. (loc=uumasta mitatut, tot= näytteen päistä mitatut).

Jos EPS Kevenne-tuotteelle sallitaan kimmoista muodonmuutosta enintään 0,5 %, niin kimmomoduulin arvolla 13 MPa olisi vastaava sallittu kimmainen maksimijännitys noin 65 kPa. Vastaavasti Pesurinkadun vanhalle R-luokan EPS:lle (σ_{10} noin 90 kPa), jonka kimmomoduuli oli 4 MPa, olisi kimmainen maksimijännitys ollut noin 20 kPa.

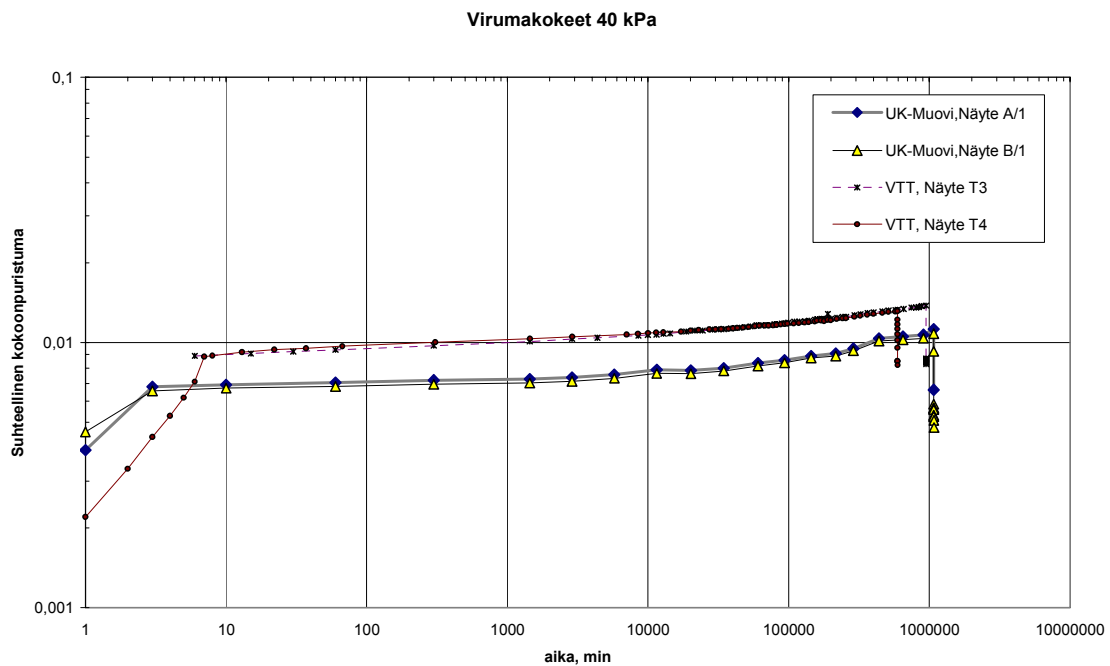
Virumakokeet

Virumakokeissa (kuva 4.2) oli puristusjännityksellä 40 kPa kokoonpuristuma 21 kuukaudessa yhteensä noin 1,3 %, ja siitä viruma (hidas puristuma) oli noin 0,4 %. Vastaa- vasti 80 kPa:n kuormituksella kokoonpuristuma oli noin 4,5 %, ja siitä viruma oli noin 2,5 %. 30 vuoden virumaksi arvioitiin 40kPa:n kuormituksella alle 1,5 %, kun taas 80 kPa:n kuormituksella viruma olisi noin 5 % (Saarelainen 2002b)

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan laboratoriossa tehdyistä virumakokeista sylinterinäytteillä (d100 mm, h100 mm) ja UK-Muovi Oy:n tehdashallissa Iisalmessa tehdyistä virumakokeista samaa valmistuserää olevilla suurilla EPS Kevenne-näytteillä (poikkileikkaus 700x700 mm², korkeus 400 mm) saatiin 40 kPa:n kuormituksella hyvin samankaltainen tulos (kuva 4.3).

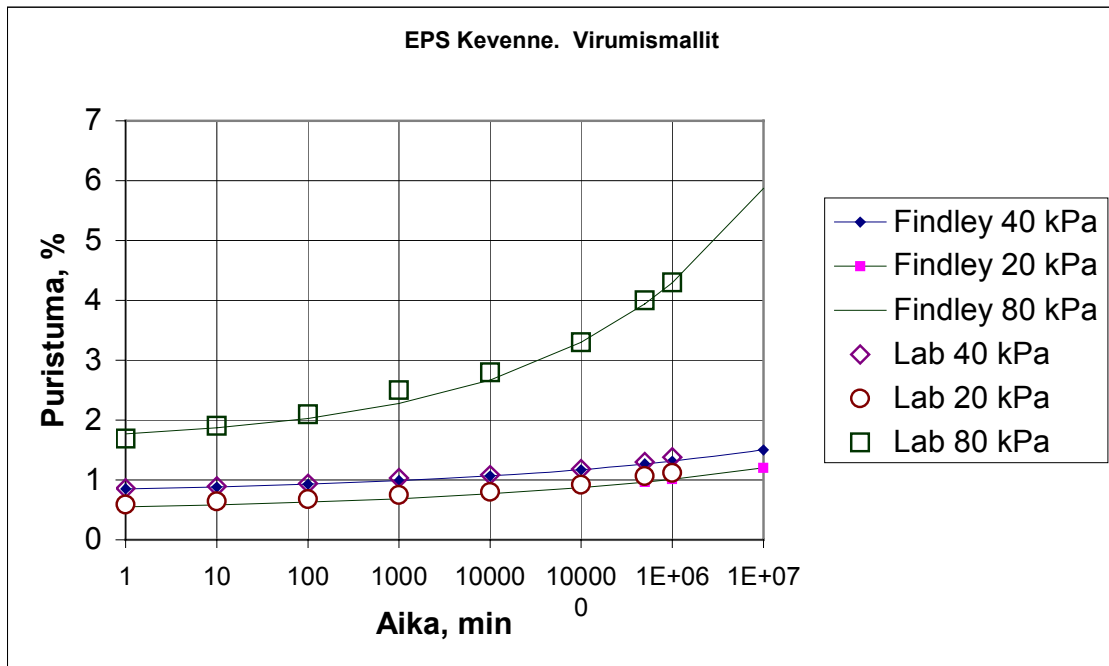


Kuva 4.2 Virumakokeet (log-log). Pesurinkadun näytteet (M1-M2) ja EPS Kevennenäytteet (T1-T6). Näytekooko d100 mm, h100 mm.



Kuva 4.3 Virumakokeet (log-log). EPS Kevennenäytteet T3 ja T4 (kuormitus 40 kPa) ja UK-MuoviOy:n tehdashallissa kuormitetut näytteet. Näytekooko 700x700x400 mm³, kuormitus 40 kPa.

Pitkäaikaista virumaa voidaan arvioida ekstrapoloimalla koetuloksista enintään ajalle, joka on 20 kertaa virumakokeen kesto. Ekstrapolointi voidaan luotettavimmin tehdä, jos koetuloksia on mallinnettu virumamallilla. Tällaisia on esittänyt mm. Horwath (1998). Seuraavassa tarkastelussa sovellettiin Findleyn mallia (3) (Horwath 1998).



Kuva 4.4 EPS Kevenne. Findleyn mallilla laskettu viruma ja laboratoriokokeissa määritetty viruma eri kuormituksilla.

Virumismallit olivat muotoa

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_o + m \left(\frac{t}{t_0} \right)^n \quad (3)$$

missä	ε_o on	alkupuristuma
	t_0	vertailuaika (esim. 1 min)
	m	kerroin
	n	eksponentti

$$\text{Kuormituksella 20 kPa saatiin: } \varepsilon(t) = 0,045 + 0,001 \left(\frac{t}{1} \right)^{0,125} \quad (4)$$

$$\text{Kuormituksella 40 kPa saatiin: } \varepsilon(t) = 0,075 + 0,001 \left(\frac{t}{1} \right)^{0,125} \quad (5)$$

$$\text{Kuormituksella 80 kPa saatiin: } \varepsilon(t) = 0,16 + 0,0017 \left(\frac{t}{1} \right)^{0,2} \quad (6)$$

Yhtälöistä (3)-(5) voitiin havaita, että jälkimmäinen, ajasta riippuva termi oli kuormituksilla 20 ja 40 kPa likimäärin vakio. Kuormituksella 80 kPa aikariippuva muodonmuutos (viruma) kasvoi suhteessa voimakkaammin kuin pienemmillä kuormituksilla. Alkumuodonmuutos (1. termi) kasvoi likimäärin suhteessa jännitykseen. Kun otetaan huomioon alkuklappi (0,03-0,04), niin havaittiin, että 80 kPa:n kuormituksella alkumuodonmuutos oli suhteessa suurempi kuin pienemmillä kuormituksilla. Tällä tavoin todettiin, että kimmomoduuli oli pienemmillä kuormituksilla noin 10 MPa ja 80 kPa:n kuormituksella noin 8 MPa.

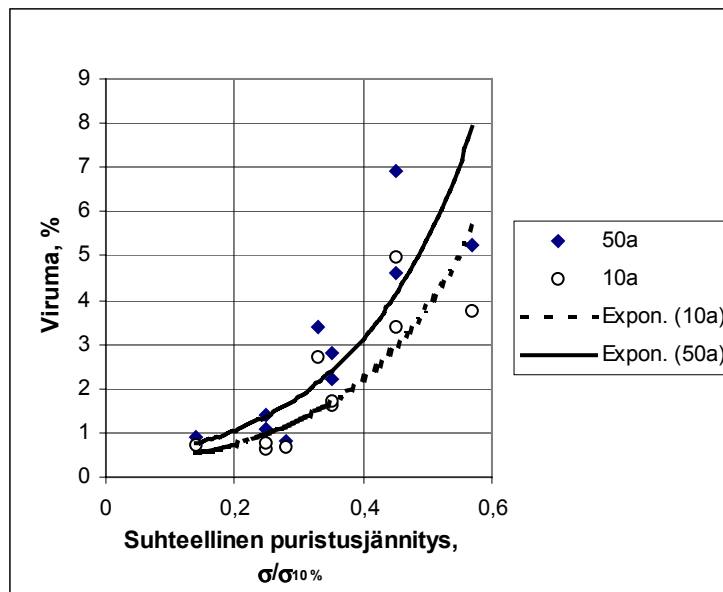
Tutkitulla EPS Kevenne-tuotteella, jonka puristusvastus σ_{10} oli vähintään 140 kPa, voitiin määrittää seuraavat ilmoitetut virumat (EN 13163:2001), taulukko 4.3.

Taulukko 4.3. Tutkitun EPS Kevenne-tuotteen alkupuristumat ja arvioidut virumat 10 ja 50 vuoden ajalla ($\sigma_{10} = 140$ kPa).

Puristusjännitys	Alkupuristuma %	Viruma (1 a) %	Viruma (10 a) %	Viruma (50 a) %
30 kPa (Pesurink)	2,3	1,7	2,7	3,4
20 kPa	0,52	0,38	0,73	0,88
40 kPa	0,87	0,43	0,68	0,83
(60 kPa, arv.)	1,0	0,9	1,2	1,6
80 kPa	1,75	2,25	3,75	5,25

Tuloksista voidaan todeta, että viruminen voimistui, kun puristusjännitys ylitti arvon 40 kPa. 10 vuoden viruma ylitti 2 %:n rajan, kun jännitys oli yli 60 kPa (noin 40 % σ_{10} :sta). Srijaran et al (2001) esittävät, että ilman virumaa maksimikuormitus voisi olla jopa 50% puristuslujuudesta (σ_5), mikä vastaa noin 45 % σ_{10} :sta.

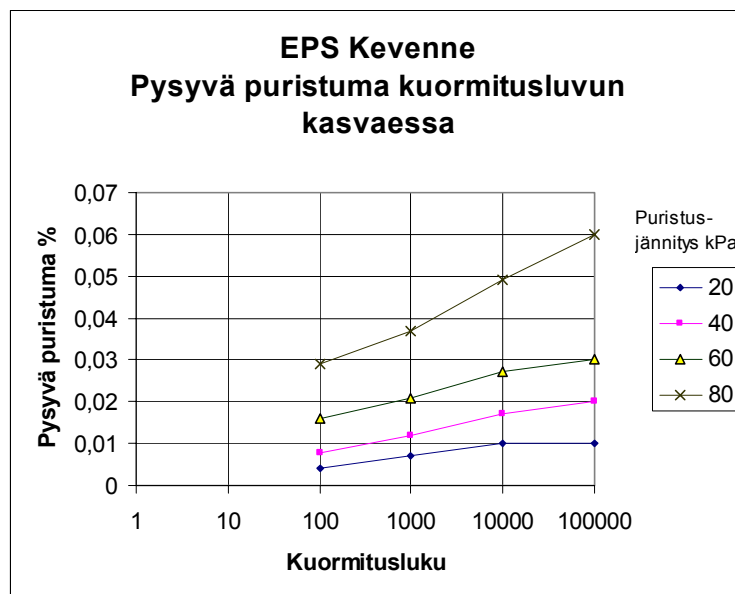
Eri tuotteiden viruma vaihtelee voimakkaasti jännitystasosta riippuen. Viruma näyttää vakioituvan, kun sitä verrataan puristusjännityksen ja 10 % puristusvastuksen suhteeseen, jota seuraavassa kutsutaan suhteelliseksi puristusjännitykseksi. Kuvan 4.5 mukaan on pitkäaikainen viruma alle 2 %, kun suhteellinen puristusjännitys on alle 30 %, ja viruma on alle 4 %, kun suhteellinen puristusjännitys on alle 40 %.



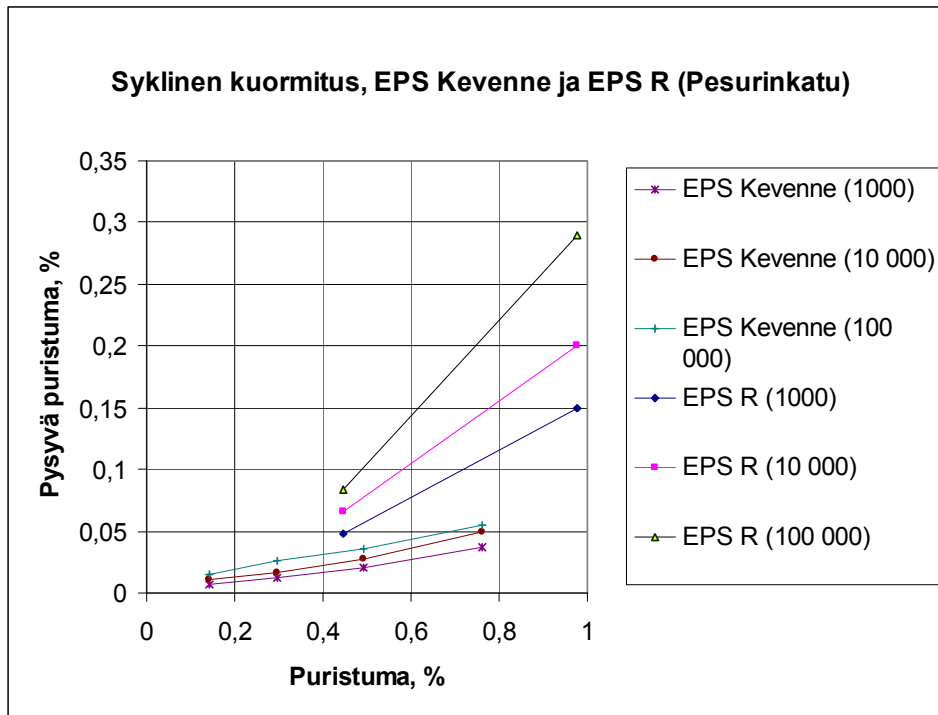
Kuva 4.5. Arvioitu 10 vuoden ja 50 vuoden viruma suhteellisen puristusjännityksen kasvaessa (SP 2001a, SP 2001b, tämän tutkimuksen virumakokeet).

Sykliset puristuskokeet

Syklisissä kuormituskokeissa (kuvat 4.6 ja 4.7) todettiin vastaavasti, että toistokuormituksen aiheuttama pysyvä kokoonpuristuma oli yleisesti ottaen pieni (alle 0,03 % 100 000 kuormituskerralla), mutta alkoi havaittavasti kasvaa, kun tutkitun EPS Kevennetuotteen (σ_{10} noin 150 kPa) jännitys ylitti arvon 60 kPa (Saarelainen 2002c).



Kuva 4.6. EPS Kevenne-tuotteen pysyvän puristuman kasvu kuormituskertaluvun mukaan eri puristusjännityksillä.



Kuva 4.7.. Pysyvän syklisen puristuman riippuvuus kokonaispuristumasta EPS Kevenne-tuotteella ja vanhalla EPS R-tuotteella eri kuormitusluvuilla.

Laboratorio- ja kenttätutkimusten mukaan voitiin arvioida, että jos tuotetta kuormitettaessa sen kokoonpuristuma oli alle 0,5 %, oli kokoonpuristuma käytännöllisesti katsoen kokonaan palautuvaa. Tällöin ei kokoonpuristuma myöskään kasvanut ajan mittaan, eli virumaa ei synny. Edelleen, jos kokonaiskuormituksen (penkereen paino ja pyöräkuorma) aiheuttama muodonmuutos ei ylittänyt em. kimmoista raja-arvoa, ei myöskään syklisiä lisämuodonmuutoksia syntynyt. Syklinen kuormitus voisi olla merkittävästi suurempi, jos kuormituskertaluku on vähäinen. Rakentamisen aikana voitaisiin näin sallia jopa 1 %:n kimmainen puristuma, joka vastaa tämän EPS-keventeen osalta noin 70% puristusjännityksestä σ_{10} .

4.3.3 Tulosten yleistäminen

Aiemmin on tuotteita luokiteltu kuivatiheyden perusteella, ja tuotteiden mekaanisia ominaisuuksia kuvattu samoin tiheyden avulla. Mekaaniset ominaisuudet lienevät kuitenkin paremmin verrattavissa muodonmuutosvastukseen, joka on materiaalin sisäisen rakenteen ja valmistustekniikan tulosta. Muodonmuutosvastuksen mittareita ovat esimerkiksi muodonmuutosmoduuli, puristuslujuus (maksimilujuus) ja normalisoitu puristusjännitys.

Taulukossa 4.4 on arvioitu eri tuotteiden mekaanisia ominaisuuksia niiden puristusjännityksen σ_{10} perusteella otaksumalla, että kimmoisen puristusjännityksen ja kimmomoduulin suhde puristusjännitykseen σ_{10} on vakio. Arvio on suuntaa-antava, ja muiden kuin testattujen tuotteiden ominaisuudet olisi selvitettävä tuotekohtaisesti.

Taulukko 4.4. Erilaisten EPS-tuotteiden arvioitu kimmainen puristusjännitys ja kimmomoduuli, kun kimmoiseksi puristumaksi arvioidaan 0,5 %.

Tuote	σ_{10} , kPa	$\sigma_e = 0,4 \times \sigma_{10}$ kPa	$E = \sigma_e / \epsilon_e$, MPa ($\epsilon_e = 0,005$)
EPS 90*	90	35	7
EPS 100	100	40	8
EPS120	120	48	10
EPS 150*	150	60	13
EPS 200	200	80	16
EPS 300	300	120	24
EPS 400	400	160	32

* laboratoriotulokset

Taulukon arvot arvioitiin niin, että kimmainen puristusjännitys σ_e oli 40 % puristusjännityksestä σ_{10} . Kimmomoduuli määritettiin kimmoisen puristusjännityksen ja muodonmuutoksen (0,5 %) suhteena.

4.3.3.1 EPS:n vaikutus päällä olevien kerrosten jäykkyyteen

Pehmeä alusta heikentää rakennekerrosten tiivistämistä. Staattisessa tilanteessa alustan jäykkyyden pieneneminen pienentää puristusjännityksen lisäystä kerroksen alapinnassa, jolloin esikuormitusvaikutus tiivistettävässä kerroksessa pienenee. Edelleen täryn amplitudin aiheuttama jännitysimpulssi pienenee, kun alustassa kehittyvä vastajännitys kehittyy heikommin kuin kiinteällä alustalla. Ilmiötä voidaan parantaa rakentamalla jäykkä kerros EPS:n ja päälle tiivistettävän kerroksen väliin. Parannusta saadaan aikaan myös tekemällä päällysrakenne ohuempina kerroksina, jolloin kantavuutta saadaan nostettua voimakkaammin. Vajaasti tiivistettyjen, paksujen kerrosten deformatuminen voi olla merkittävää raskaasti kuormitetuilla päällysrakenteilla. Koerakenteiden perusteella on kuitenkin ilmeistä, että jos liukkauden estämiseksi tarvittava minimipaksuus (yli 0,5 m) EPS-kerroksen päällä toteutuu, ei EPS:n muodonmuutos ylitä kimmorajaa, jolloin EPS:ssa ei synny urautumista lisäävää muodonmuutosta. Samoin on osoitettu, että riittävästi tiivistetty päällysrakenne on kestänyt urautumatta (Pesurinkatu, Vammala).

4.3.3.2 Päällysteen kestävyys EPS-kevennetyn päällysrakenteen päällä

Sidotun päällysrakenteen kestävyys mitoitetaan sidotun kerroksen alapintaan kehittyvän vetomuodonmuutoksen perusteella, joka on verrannollinen kuormitetun pinnan taipumasuppilon kaarevuussäteeseen. Tämä voidaan määrittää mitoitusohjelmilla (esim. APAS, Bisar). Pehmeämpi välikerros (EPS) jäykän ylärakenteen alla tasoittaa pinnan muodonmuutoksia. Tällöin päällysteen vaurioituminen ei ole arvioitavissa pinnan kantavuuden perusteella, vaan taipumasuppilon muodon mukaan.

4.3.3.3 EPS:n suojaus liuottimia vastaan

EPS-kevenne on suojattava liuottimien vaikutukselta. Suojaus tehdään joko rakentamalla päälle betonilaatta, jos laatta on tarpeen myös muista syistä, esimerkiksi kuormitusten suhteen. Jos EPS-kerrosta ei ole tarpeen suojata mekaanisesti betonilaatalla, niin EPS-kerroksen päälle levitetään polyeteenikalvo, jonka paksuuden olisi oltava vähintään 1 mm. Kalvo tulee limittää vähintään metrin levyisellä kaistalla. Kalvo suojataan yläpuolista kiviainesta vastaan vähintään 3. luokan geotekstiilillä.

4.4 Geotekninen mitoitus

4.4.1 Kompensaatorakenne

Kompensaatorakenne mitoitetaan niin, että päällysrakenteen paino pohjamaalla on painumisen kannalta riittävän pieni. Jos tierakenteen paino pohjamaalla ei ylitä esikuormitusta (konsolidaatiokuormitusta tai penkereen aiheuttama lisäkuormitus pohjamaalla on kompensoimalla eliminoitu, rakenne "kelluu" aiheuttamatta tienpinnan painumista. Tällainen rakenne voidaan tarvita siirtymäarakenteena painuvan tiepenkereen ja painumattoman rakenteen, esimerkiksi sillan, välillä.

Jos kevenne on pohjavedenpinnan yläpuolella, on EPS-keventeen paino sama kuin tuotteen kuivatiheys lisättynä sen sisältämällä vesipitoisuudella. Esimerkiksi, jos tuotteen tiheys on 25 kg/m^3 ja vesipitoisuus 5 tilavuus-%, mikä vastaa veden määrää tuotteessa noin 50 kg/m^3 , niin keventeen mitoittava tiheys on 75 kg/m^3 . Vesipitoisuus riippuu kevennekerroksen kuivatusoloista (Tien kevennerakenteet 1997):

- hyvissä kuivatusoloissa, kun EPS-kevenne on pysyvästi pohjaveden yläpuolella, niin vesipitoisuus on enintään 2 tilavuus-%,

- kun EPS-kevenne on ajoittain veden alla, mutta pääsääntöisesti veden yläpuolella, vesipitoisuus on enintään 5 tilavuus-%, ja
- kun EPS-kevenne on pysyvästi veden alla, sen vesipitoisuus on enintään 10 tilavuus-%. Tällöin se aiheuttaa nosteen, jonka suuruus vastaa tiheyttä 850 kg/m^3 .

4.4.2 Osittain kompensoitu rakenne

Normaalisti tien tai kadun kokonaispainuma ei saisi ylittää 300 mm, eikä painuma 10 vuoden aikana arvoa 150 mm. Toisaalta, jos painumarajoitteita ei ole, tulisi rakenteen paino ja kuormitus suunnitella niin, että painumaerot ovat toiminnallisesti hyväksyttäviä koko tien elinkaaren ajan.

4.4.3 Tien leventäminen

Painuneen tien leventäminen tulisi tehdä niin, että levennyksen painuma on yhtä suuri kuin vanhan tien jäljellä oleva painuma. Vanhan tien painuminen on selvitettävä geoteknisessä suunnittelussa. Levennyksen rakennekerrokset on suunniteltava niin, kevennyksellä painoa säätäen, että uuden tiepenkereen kuormitus aiheuttaa sen alla olevassa, luonnontilaisessa alusrakenteessa vastaavan painuman kuin vanhan tien jälkipainuma. Jos jälkipainuma on suuri, on kevennettävä myös vanhan tien pengertä tarvittaessa.

4.4.4 Noste

Jos kevennekerros joutuu veden alle, siihen kohdistuu vedenpaine, joka ilmenee nousuvoimana päällä oleviin rakennekerroksiin. Mikäli nostevoima on suurempi kuin rakenteen paino, tierakenne rikkoutuu keventeen noustessa. Tällaisia tilanteita saattaa ilmetä rakennusaikana esimerkiksi tulvan syntyessä työmaalla. EPS-kevenne voidaan suunnitella sijoitettavaksi rakenteessa pysyvästi veden alle. Tätä tilannetta on mitoituksen kannalta kuvattu yllä.

5. Rakentaminen

5.1 Alustan valmistus

Pohjamaalta poistetaan tarpeen mukaan kasvukerros sekä rakennetaan alustan kuivatus suunnitelman mukaan. Pohjamaan pinta tasataan suunnitelman mukaisesti. Tasatulle pohjamaalle levitetään geotekstiilin päälle tasauskerros hiekkaa, mursketta tai muuta kuivattuvaa materiaalia, jonka pinta tasataan suunnitelmakorkeuteen EPS-kerroksen alustaksi (esimerkkikuvat Muurlan koerakennuskohteesta, Korkiala-Tanttu 2002).



Kuva 5.1 Pohjamaan tasaus (kuva: L Korkiala-Tanttu).

5.2 EPS-kerroksen rakentaminen

EPS-kerroksen asentamista varten laaditaan sijoittelusuunnitelma, jossa esitetään se, miten EPS-blokeista saadaan aikaan tarvittava täyttö. Suunnitelmassa esitetään blokien limitys, sidonta toisiinsa jne.

EPS-blokit pyritään tuomaan kohteeseen mahdollisimman vähien välikuormausten kautta. Blokikoko on yleensä määritettävä niin, että bloki on käsiteltävissä asennuspai-kalla kahden miehen voimin (esimerkiksi bloki, jonka tilavuus on $0,5 \times 1,0 \times 4,0 \text{ m}^3$, painaa noin 50 kg).



Kuva 5.2 EPS-blokit kuljetetaan asennuspaikalle kuorma-autosta tai varastosta esimerkiksi etukuormaajalla (kuva: L Korkiala-Tanttu).



Kuva 5.3 . EPS-blokit asennetaan suunnitelman mukaisen sijoittelukaavion osoittamille paikoille käsityönä. Päällekkäisten EPS-blokien väliin asetetaan esim. Naulalevysiteet (kuva: L Korkiala-Tanttu).

5.3 Päällysrakenteen rakentaminen

Blokien muodostamalle kevennystäytön yläpinnalle levitetään suojaksi öljyvahinkoja vastaan PE-muovikalvo, jonka paksuus on vähintään 1 mm. Tämä suojataan päälle tulevan murskekerroksen kivien tunkeutumista vastaan 4. luokan geotekstiilillä. Jos EPS-kerroksen päälle tehdään läpäisemätön betonilaatta, voidaan muovikalvo jättää pois.



Kuva 5.4 Valmiin kevennyksen päälle levitetään muovikalvo. Vaihtoehtoisesti suojaus voidaan tehdä päälle valetulla betoni-, kevytsorabetoni- tai EPS-betonilaatalla (kuva: L Korkiala-Tanttu).



Kuva 5.5 Kalvon päälle levitetään geotekstiili. Geotekstiilin päälle levitetään tasauskerros murskeesta, paksuudeltaan vähintään 200 mm. Murskeen suurin raekoko saa olla enintään #64 mm (kuva: L Korkiala-Tanttu).

Päälle tehtävät sitomattomat kerrokset levitetään ja tiivistetään murskeesta enintään 300 mm:n kerrroksina. Sidottu kantava kerros tehdään paikalla sekoittaen ja tiivistäen rakennesuunnitelman mukaan. Raudoitteiden tyyppi, sijoitus rakenteessa ja asennustapa määritetään rakennesuunnitelmassa.

5.4 Päälystys

Päälyste levitetään ja tiivistetään rakennekerrosten päälle.

5.5 Laadunvarmistus

EPS-keventeen alustan korkeus saa poiketa suunnitellusta enintään 50 mm. Alustan kantavuus on tarkistettava kantavuusmittauksin.

EPS-kevennetuotteen nimellimitat (paksuus, pituus, leveys) on mitattava, samoin sen pintojen suoruus laaduvalvontaohjeiden mukaisesti. EPS-keventeen valmistajan on toimitettava tuote-erän testaustulokset (puristuslujuus σ_5 , tiheys, vedenimeytyminen) laaduvalvontaohjeiden mukaisesti.

Työn aikana tarkastetaan, että blokien asettelu ja sidonta toisiinsa on suunnitelman mukainen.

Yläpuolisten rakennekerrosten materiaalin laatu ja kerrosten tiivistäminen määritetään laaduvalvontasuunnitelman mukaan. Tiivistettyjen kerrosten kantavuus suositellaan mitattavaksi jyräyksen aikana dynaamisen tiiviystarkkailun menetelmällä ja tarkistettavaksi pudotuspainokokein.

6. Esimerkkejä

6.1 Koerakennuskohteet

EPstress-tutkimusohjelmaan liittyen tehtiin koerakentamista, jossa tavoitteena oli selvittää EPS-kevennysten edellyttämiä rakenneratkaisuja ja niiden mitoitus erilaissa katu- ja tierakenteissa. Samalla saatiin tietoa EPS-kevennettuotteiden toiminnasta ja mekaanisista ominaisuuksista täysmittakaavassa, jolloin voitiin verrata laboratoriotestauksen tuloksia rakenteesta määritettyihin. Näin saatiin käsitys laboratoriomääritysten soveltuvuudesta rakenteen mekaanisiin mitoituslaskelmiin.

Koerakentamista tehtiin seuraavissa kohteissa:

- E18 Paimio-Muurla
- Meripellontien kevennys, Itäkeskus, Helsingin kaupunki
- Matinkartanontien painumakorjaus, Matinkylä, Espoon kaupunki
- Ruosilantien kevennys, Konala, Helsingin kaupunki

Vanhan EPS-keventeen tilaa ja ominaisuuksia tutkittiin Pesurinkadulla, Vammalan kaupungissa.

Seuraavassa kuvataan yksityiskohtaisemmin keventeen uudisrakentamista Muurlan koerakennuskohteessa Helsinki-Turku-moottoritien E18 tieosalla Paimio-Muurla sekä vanhan keventeen tilaa Pesurinkadulla, Vammalassa.

6.2 E18 Paimio - Muurla projekti, Muurlan koerakennuskohde



Kuva 6.1 Muurlan koerakenne. EPS-kevennetäytön yleiskuva (kuva: L Korkiala-Tanttu).

6.2.1 Tutkimuksen tavoitteet

EPStress-tutkimushankkeeseen sisältyi koerakentamiskohteena tässä esitetty Muurlan kohde, joka sijaitsi Muurla-Turku-moottoritien (E18) ja Vanhan Turuntien (Valtatie 1) välisellä yhdystiellä M9. Kohteen valintaperusteina olivat vilkas liikenne, raskaan liikenteen suuri osuus sekä ko. Tieosan llyhytikäisyys. Kohde sijaitsi väliaikaisella tieosuudella, joka on liikenteellä arviolta enintään 10 vuotta, minkä jälkeen tierakenne puretaan. Tiekohteen lyhytikäisyys mahdollistaa sen, että rakennetta ja materiaaleja voidaan haluttaessa tutkia perusteellisemmin käytön päätyttyä.

Muista koerakennuskohteista tehtyjen selvitysten perusteella (Vammalan Pesurikatu ja HVS-koe) todettiin, että EPS-materiaali oli toiminut mekanistisesti hyvin tierakenteessa urautumatta. Keventeen pinnalle syntyneet pysyvät muodonmuutokset (urautuminen) olivat olleet vähäisiä. Kevenne oli kokoonpuristunut kuormituksen yhteydessä, mutta pysyvät muodonmuutokset olivat olleet lähes olemattomia. Muurlan kohteessa pyrittiin erityisesti selvittämään keventeen ja sen päällä olevien rakennekerrosten toimintaa raskaasti liikennöidyssä tiekohteessa sekä rakentamisen kannalta että käytännössä. Koh-

teen kevennysmateriaaliksi oli alkuperäisissä rakennussuunnitelmassa ehdotettu kevytsoraa.

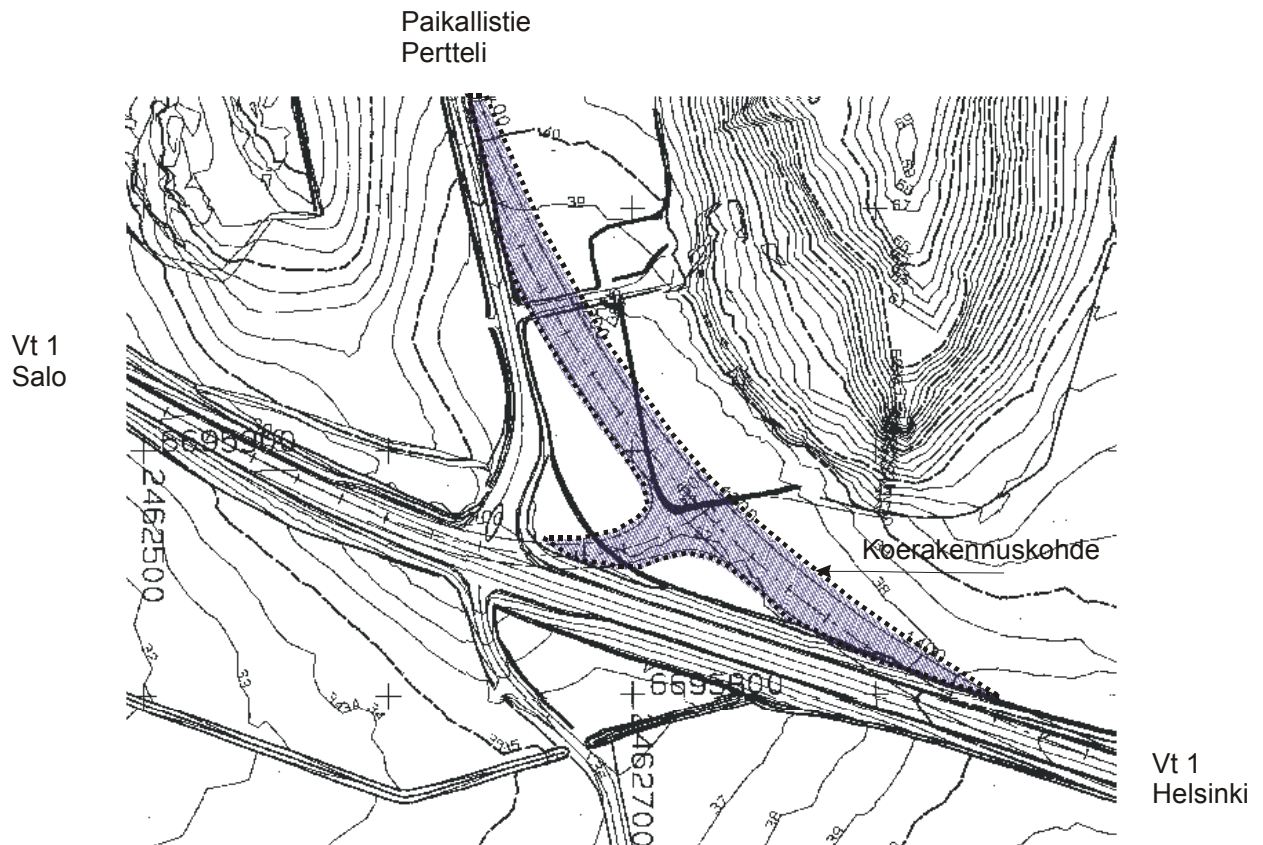
Tutkimushypoteesin mukaan suurimmaksi ongelmaksi EPS-kevennerakenteissa arvioitiin muodostuvan keventeen päälle tulevien rakennekerrosten käyttäytymisen. Sekä kuormitettuun keventeseen että sen yläpuolisiin kerroksiin syntyvät suuret kimmoiset muodonmuutokset voisivat aiheuttaa myös pysyvää muodonmuutosta näihin kerroksiin sekä päällysteeseen. Tässä kohteessa suunniteltiin keventeen päälle vähintään 700 mm paksuiset rakennekerrokset. Näin päällysteen alapuolisten rakennekerrosten kantavuutta voitiin kasvattaa. Riittävän kantavuuden saavuttamiseksi rakenteen yläosan jäykkyyttä kasvatettiin stabiloimalla kantavan kerroksen yläosa 150 mm paksuisella komposiitilla. Rakenteen tarkempi kuvaus on esitetty kohdassa 6.4.

6.2.2 Tutkimuskohde

Kohde sijaitsi väliaikaiseksi suunnitellulla tieosuudella M9, joka yhdisti rakenteilla olleen moottoritieosuuden Paimio – Muurla (E18) sekä vanhan Helsinki-Turku-valtatien 1 (kuvat 6.2 ja 6.3).



Kuva 6.2 Koerakennuskohde.

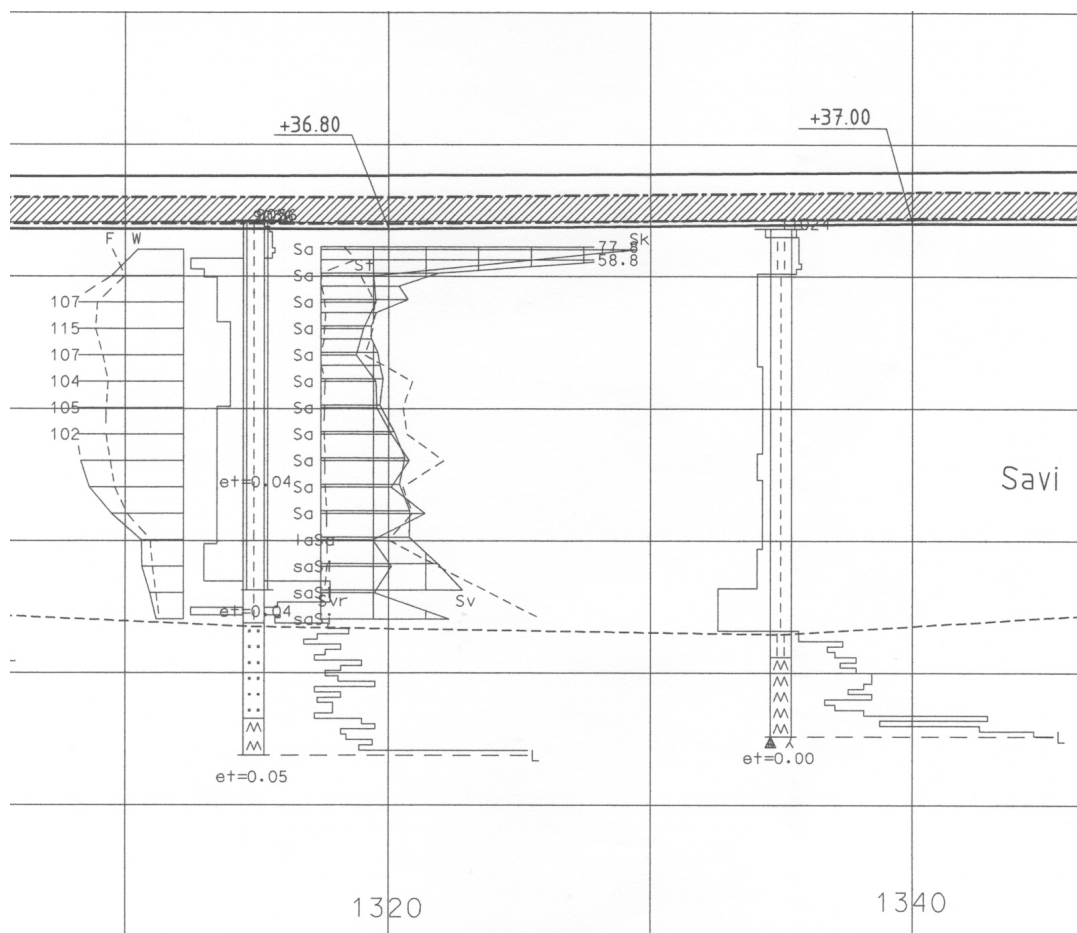


Kuva 6.3 Koerakennuskohteen sijainti.

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

6.2.3 Alueen pohjasuhteet

Alue oli pehmeikköä, jonka syvyys keventeen kohdalla vaihteli välillä 14,5 – 16,5 metriä. Savikon yläosassa oli 0,8 – 1,7 metrin paksuinen kuivakuorisavi. Sen alla olevat savikerrokset olivat pääosin lihavaa savea, mutta kerrostuman alaosista löytyi myös karkeampaa siltistä savea. Kuivakuoren alapuolella savikerrosten vesipitoisuus vaihteli välillä 43 - 115 %, siipikairalla määritelty suljettu leikkauslujuus oli 9 - 20 kPa, ja leikkauslujuus kartiokokeessa oli 6,7 – 20,9 kPa. Savi oli konsolidaatiotilaltaan normaalisti konsolidoitunutta tai lievästi ylikonsolidoitunutta. Kuvassa 3 on esitetty paino- ja siipikairauksia sekä näytetutkimustuloksia valtatie pituusleikkauksessa paaluvälillä 1305-1345. Esitetty leikkaus sijaitsi pehmeikön syvällä osassa.



Kuva 6.4 Pituusleikkaus yhdystien M9 paaluvälillä 1305 - 1345.

6.2.4 Koerakenteen suunnittelu ja rakennekerrosten mitoituslaskelmat

6.2.4.1 Kevennyssuunnitelma

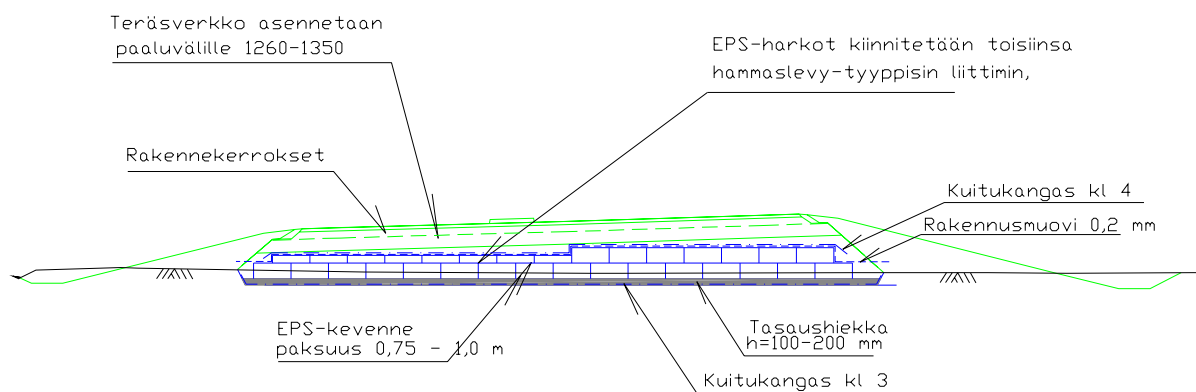
Koerakennuskohteen suunnitteluun osallistuivat YS-Konsultit Oy yhdessä VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan sekä Tieliikelaitoksen Länsi-Suomen yksikön kanssa.

Ensin selvitettiin tiepenkerein vakavuus. Tiepenkerein stabiilitetti ilman kevennystä osoittautui riittämättömäksi, sillä varmuuskerroin oli 1,3 vaadittavan 1,5 sijasta. Kun rakennetta kevennettiin, sen stabiilitetti nousi hyväksyttävälle tasolle ($F = 1,95$). Noin 1,5 metrin korkuisentiepenkerein kokonaispainumaksi kuormalla 32 kPa 10 vuoden mitoitusikänä ilman kevennyksiä arvioitiin 400 - 500 mm. Kokonaispainuma olisi saattanut olla hyväksyttävä ottaen huomioon koerakenteen lyhyen käyttöiän, mutta painumaerot nykyisten rakenteiden sekä uusien rakenteen välillä sekä poikkei- että pituus-

suuntaan ylittivät mitoituskriteerit, joten kevennystä arvioitiin tarvittavan sekä lisäämään stabiliteettia että tasaamaan painumia.

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

Koerakennusalue oli tien kaarteessa, ja alueen keskellä sijaitsi risteys. Kevennettäväksi suunniteltu alue sijoittui kahden nykyisen tiepenkereen väliselle alueelle. Kaarrealue, poikkisuuntaan yksipuolinen kallistus (tien reunojen korkeusero luokkaa 400 mm) sekä tiepenkereen osittainen kevennys nykyisen penkereen sivussa vaikeuttivat EPS-blokien asettelua mahdollisimman taloudellisesti. Siksi päädyttiin ratkaisuun, jossa EPS-kevennetä käytettiin maantiellä M9 vain paaluvälillä 1180 - 1350. Epämääräisen muotoiset kaarrealueet ja nykyisen penkereen kevennykset suunniteltiin toteuttavaksi tämän vuoksi kevytsorasta. Kuvassa 6.5 on esitetty koerakenteen tyypipoikkileikkaus.



Kuva 6.5 Koerakenteen tyypipoikkileikkaus.

Kevennysalueella oli risteys ja siihen liittyen liikenteen ohjauksen vaatima portaali sekä valaistus. Valaisin- ja portaalipylväät edellytettiin perustettaviksi paaluttamalla ennen kevennysrakenteen tekoa.

6.2.4.2 Rakennekerrosten suunnittelu

Koerakennuskohteen päällysrakenteen mitoitus perustui samoihin kantavuusvaatimuksiin kuin kevytsorarakenteellakin. Laskentamenetelminä käytettiin Plaxis-elementtiohjelmaa sekä APAS-monikerroslaskentaa. Taulukossa 2 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 toimii täysin elastisesti muodonmuutosten ollessa alle 0,4 - 0,5 %, joten EPS:iin ei laskelmien mukaan muodostunut pysyviä muodonmuutoksia. Edellä esitetyissä laskelmissa ei mallinnettu teräsverkon vaikutusta.

Taulukko 6.1 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 elinikälaskelmia komposiittirakenteen osalta ei voitu pitää luotettavina, sillä APAS-ohjelmistossa ei ollut sopivaa materiaalimallia 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 muodonmuutos (kimmoisuus) olisi ollut 0,7 mm.

Koerakenteessa sovellettava lopulliset rakennekerrokset on esitetty taulukossa 1. Komposiittirakenteen osalta päädyttiin 150 mm paksuiseen rakenteeseen, vaikka se APAS-laskelmien mukaan ollutkaan riittävä. Todellisuudessa sen elinikä lieneekin pitempi, mutta sitä ei pystytty laskennallisesti todistamaan, kun komposiitille ei ollut määritettävissä luotettavia materiaaalimalleja eikä mitoituskriteereitä.

Taulukko 6.2 Koerakennuskohteen rakennekerrokset.

Rakenteen osa	Kerrospaksuus (mm)	Materiaali
Kulutuseros	40	AB 20/100
Kulutuseros	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) 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 ³	750 - 1250	Puristuslujuus 100 kPa 5 % muodonmuutoksella
Tasaushiekka	100 - 200	-
Kuitukangas	-	kl 3
Pohjamaa	-	Kuivakuorisavi

6.2.5 Koerakenteen toteuttaminen ja rakentamisen laadunvarmistus

6.2.5.1 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 loppujen rakennekerrosten rakentaminen sekä kohteen viimeistely.

Alustavia töitä tehtiin syyskuussa 2001. EPS-blokien asennus alkoi syyskuun lopussa viikolla 39 ja kesti reilut kaksi viikkoa. Suojakerrosten rakentaminen alkoi viikolla 42.

6.2.5.2 Keventeen rakentaminen

Ennen varsinaista keventeen rakentamista rakennettiin keventeen alle tuleva poikittainen rumpu sekä paalutettiin pylväasperustukset. Sitten poistettiin ruokamulta tiealueelta, asennettiin leikkauspinnalle kuitukangas, jonka päälle levitettiin 100 - 200 mm kerros asennushiekkaa. Koska rakennusaikana oli sateinen syksy, leikkauspinnan ja hiekkakerroksen kuivanapito oli hankalaa (kuva 6.6). Hiekka tasoitettiin (kuva 6.7) huolellisesti ja mitattiin ennen blokien 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-blokeja. Blokit olivat laadultaan ns. leikattua laatua, jonka mittatarkkuus täytti tierakenteiden yleiset laatuvaatimukset (TYLT 1994). EPS-keventeen materiaali-menekki oli 3320 m^3 . EPS:n kerrospaksuus oli 0,75 - 1,25 metriä (1,25 metriä korkea osuus vain risteysalueella), ja rakenteen keskimääräinen leveys oli 18 metriä. Blokien väliin asennettiin hammaslevyn tyyppiset liittimet estämään blokien liukumista toistensa suhteen (kuva 6.8). Keventeen asentaminen sujui hyvin eikä blokien saumoissa havaittu merkittävää ”irvistämistä” (kuva 6.9). Painumattomien pylväasperustusten vierusta täytettiin hiekalla EPS-blokien asennuksen jälkeen (kuva 6.10). Työmaateknisistä syistä jouduttiin blokit jättämään melko kauas asennuskohteesta. Ne kuljetettiin edelleen paikoilleen kevyellä trukkityyppisille traktorilla (kuva 6.11).

Blokit suojattiin limitettävällä 0,2 mm rakennusmuovilla, joka edelleen peitettiin 4. luokan kuitukankaalla. Kohteessa ei katsottu tarvittavan jämäkämpää suojausta öljyvahinkojen varalta, sillä rakenteen suunniteltu käyttöikä oli lyhyt (kuva 6.12). Rakennusmuovin asennus oli vaikeaa, koska käytetty muovi oli suhteellisen kapeaa ja EPS-penger oli muodoltaan kaareva.

EPS-rakenteen päälle rakennettiin taseus/suojauskerros hienosta murskeesta 0/16. 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-blokit jollakin välipaaluilla olivat liian korkeita ts. niiden nurkat ulottuivat jakavaan kerrokseen. Suoja-kerroksen levitystyö näkyy kuvassa 6.13.



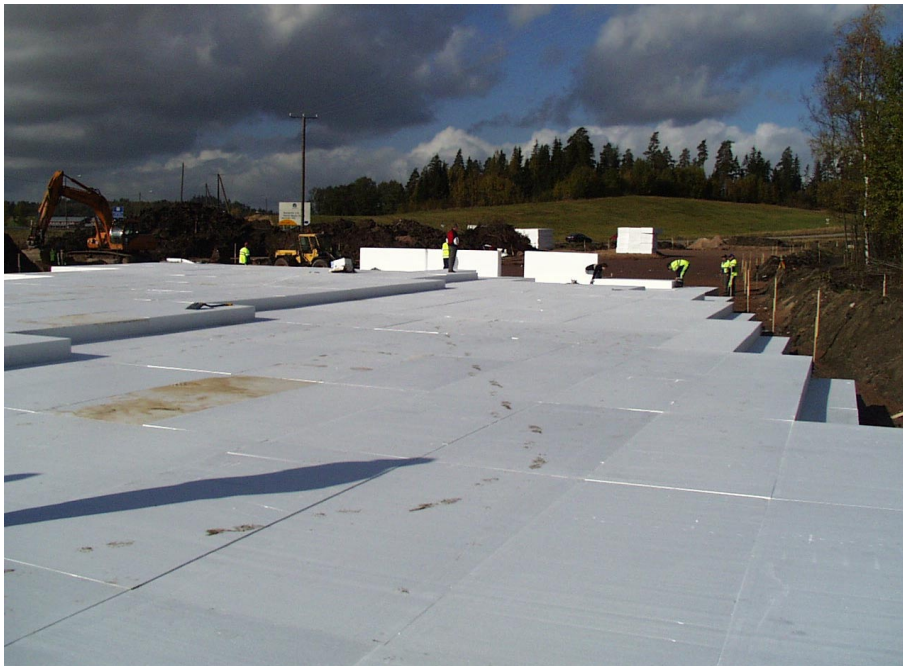
Kuva 6.6 Alueen yleiskuva tasaushiekkakerroksen levittämisen jälkeen (kuva: L Korkiala-Tanttu).



Kuva 6.7 Hiekkakerroksen tasausta EPS-blokien edessä (kuva: L Korkiala-Tanttu).



Kuva 6.8 EPS-blokien väliin sijoitettu naulalevy-tyyppinen liitoskappale (kuva: L Korkiala-Tanttu).



Kuva 6.9 Asennettujen EPS-blokien pintaa (kuva: L Korkiala-Tanttu).



Kuva 6.10 Portaali-perustuksen ympäristö (kuva: L Korkiala-Tanttu).



Kuva 6.11 EPS-blokkien kuljetusta asennuspaikalle (kuva: L Korkiala-Tanttu).



Kuva 6.12 Blokien suojausrakenteet (kuva: L Korkiala-Tanttu).



Kuva 6.13 Suojakerroksen levitystä (kuva: L Korkiala-Tanttu).

Jakava kerros, jonka paksuus oli 400 mm, rakennettiin yhtenä kerroksena, eikä sitä ole vielä tiivistetty. Rakentaminen tehtiin kaivukoneella, jotta EPS-blokeja ei rikottaisi. Rakentaminen jatkui seuraavana keväänä jakavan kerroksen yläpinnasta ylöspäin.

EPS-keventeen jatkona olevien kevytsoraosien rakentamisessa oli ongelmana kapean pengerlevityksen tiivistäminen.

6.2.5.3 EPS-materiaalitutkimukset

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

EPS-materiaalin lyhytaikainen puristuslujuus määritettynä SFS-EN 826 kokeella tuli vaatimusten mukaan olla 100 kPa 5 %:n kokoonpuristumalla. Materiaalin toimittaja Solupak Oy teki puristuslujuuskokeet (taulukko 6.3). Jokaisesta toimitetusta blokierästä testattiin 6 - 8 näytettä. Blokieriä oli 9 kappaletta. Taulukossa esitetyt arvot ovat toimituserien keskimääräisiä arvoja. Koekappaleen koko oli 50 x 50 x 50 mm³. Kaikki näytteet täyttivät edellytetyn lujuusvaatimuksen. Koetulostenmaksimipuristusvoima esitetään taulukossa 6.3.

Taulukko 6.3 Muurlan EPS-keventeen määritetyt puristuslujuudet 5 %:n muodonmuutostasolla. Solupak Oy 2001.

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

6.2.6 5. Tien poikkileikkausmittaukset

Rakentamisen toteutumista seurattiin tien poikkileikkausvaaituksiin. Taulukossa 4 esitetään eri kerrosten toteutuneet paksuudet.

Taulukko 6.4 Maastomittauksiin perustuvat tiedot eri kerrosten paksuuksista suhteessa leikkauspintaan.

Kerros	Keskiarvo, mm	Keskihajonta, mm	Minimi, mm	Maksimi, mm
Pohjahiekka	183	36.8	66	257
EPS	997	241	562	1479
Suojahiekka	1346	179	995	1667
Tiivistämätön murske	1700	201	1347	2087

6.2.7 Yhteenveto

Ensimmäisen vaiheen rakennustyö sujui hyvin, eikä työn aikana havaittu ongelmia. Rakennusmateriaalin sekä työn laadun todettiin saatujen tietojen perusteella pääosin täytävän laatuvaatimukset. Risteysalueella (paaluvälillä 1260 - 1320) havaittiin joitakin poikkileikkauksia, joiden keskiosissa EPS:n päälle tulevien kerrosten paksuuden arvioitiin jäävän hieman alle suunnitelmassa esitetyn minimipaksuuden 700 mm. Tilannetta saattoivat muuttaa rakennustyön aikaiset painumat, jos kantavan kerroksen pinta tasoitettaisiin vastaamaan teoreettista pintaa.

6.3 Vanha EPS-kevenne, Pesurinkatu, Vammala

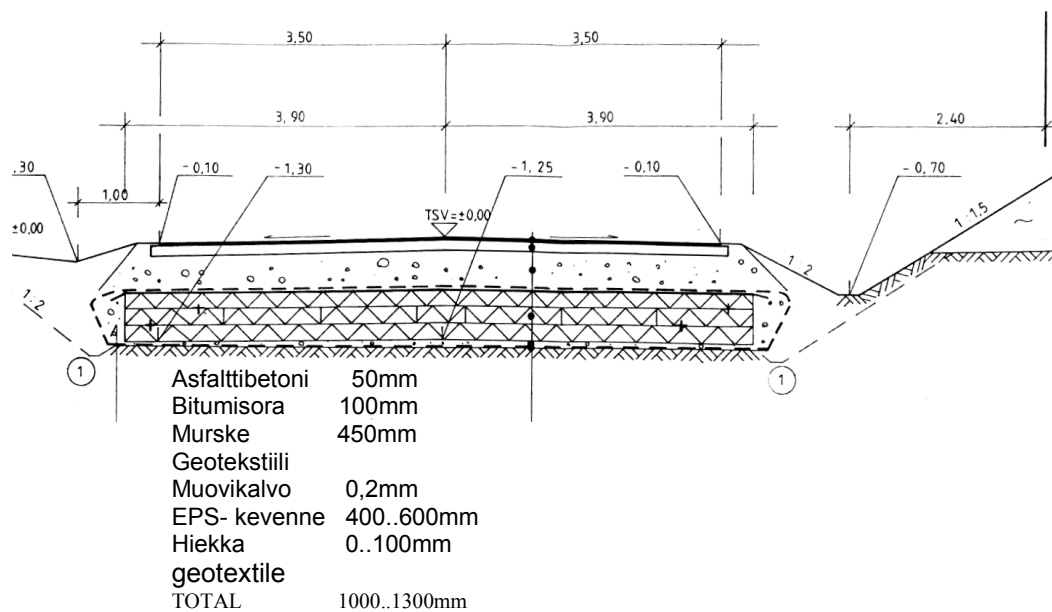
6.3.1 Tausta

EPStress-ohjelman puitteissa päätettiin selvittää vanhan EPS-keventeen tilaa ja pitkäaikaistoimintaa tien päällysrakenteessa. Suomessa todettiin olevan saatavissa niukasti dokumentoitua tietoa EPS-täytteistä liikennekuormituksen alaisena. Kohteeksi valittiin Pesurinkadun EPS-kevennys Vammalassa. Katu oli rakennettu vuonna 1987. Katu oli teollisuusalueelle johtava kokoojakatu.

Tarkoituksena oli tutkia EPS-materiaalin mekaanista käyttäytymistä ja materiaalin vaurioitumista EPS-kevennettyjen päällysrakenteiden mekaanisen mitoituksen parantamiseksi. Kohteen EPS-täyte oli R-luokan EPS-materiaalia (17 kg/m^3), eikä sitä oltu suojattu jäykisteellä (betonilaatta, raudoite tms.). Tutkimuksen teki VTT Yhdyskuntatekniikka yhdessä Vammalan kaupungin ja ThermiSol Oy:n kanssa syksyllä 1999 (Kangas & Saarelainen 1999).

6.3.2 Tutkimukset

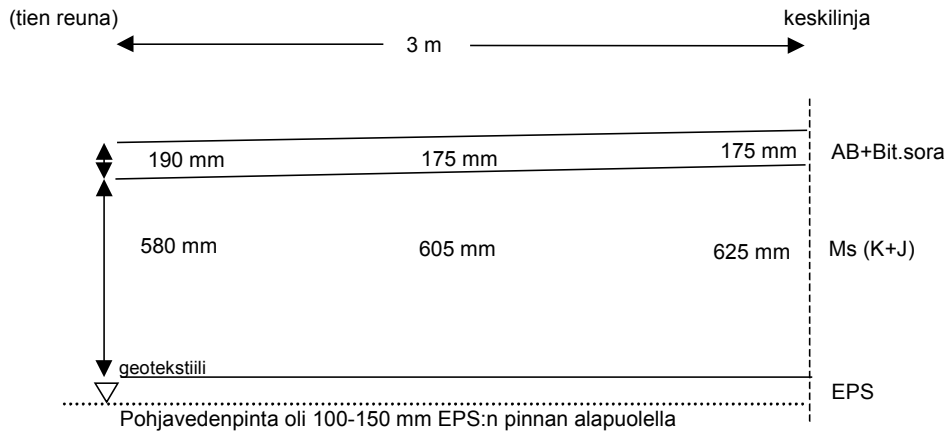
Kadun oli rakentanut vuonna 1987 Vammalan kaupunki. Alusrakenne oli turvetta, pehmeää savea ja silttiä. Painumien pienentämiseksi päällysrakennetta kevennettiin EPS-kerroksella, jonka paksuus oli 400-600 mm. Tämän päälle tiivistettiin noin 600 mm:n kantava/jakava kerros murskeesta, joka erotettiin EPS-alustasta geotekstiilillä. Sitomatoman murskekerroksen maksimiraekoko oli #70 mm. Tämän päälle rakennettiin bitumilla sidottu kantavan kerroksen alaosa paksuudeltaan 100 mm ja asfalttipäällyste, jonka paksuus oli 50 mm (kuva 6.14). Kadun koko pituus oli 1,6 kilometriä, josta EPS-kevennyksen pituus oli noin 440 metriä. EPS-kevennyksen rakentamisesta lähtien kadulla oli ollut 48 tonnin painorajoitus.



Kuva 6.14 Pesurinkadun rakennepoikkileikkaus (1986).

Päällysrakenteen kunnan arvioimista varten tehtiin pudotuspainomittauksia, joista määritettiin pinnan kantavuus. Mittaukset tehtiin koko kadun pituudella 20 metrin välein molempiin suuntiin. Mittaukset tehtiin kaistan ulommassa pyöräurassa. Päällysteen pinnan tasaisuus mitattiin pituussuuntaan IRI:n (International Roughness Index) määrittämiseksi ja poikkisuuntaan urautumisen määrittämiseksi. Mittaukset tehtiin PTM-mittausajoneuvolla.

EPS-täytteen tilan selvittämiseksi täyte avattiin koekuopassa. Suuret näytekalvat otettiin myöhempää laboratoriotestausta varten. Niillä tehtiin normaali standarditestaus sekä virumakokeet ja sykliset kuormituskokeet. Koekuoppa kaivettiin katurakenteen poikki keskilinjalle asti. Päällysrakenteen (päällyste, kantava ja jakava kerros) paksuus oli keskimäärin 210 mm paksumpi kuin suunniteltu. Pinnassa oli sidottujen kerrosten paksuus noin 170 mm (suunnitelmassa 150 mm). Sitomattoman kantavan/jakavan kerroksen paksuus oli noin 640 mm (suunnitelmassa 450 mm). Pohjavedenpinta oli kaivun aikana lähes EPS-kerroksen yläpinnassa. Kuoppa tehtiin alkusyksyllä, jolloin vedenpinnat olivat suhteellisen alhaalla. Näkyvä EPS-pinta oli ehyt ja vahingoittumaton. Joitakin paikallisia, murskeen kivien aiheuttamia painaumuksia havaittiin (kuvat 6.15, 6.16a ja 6.16b). Tulevaa laboratoriotestausta varten otettiin näytteet.



Kuva 6.15 Kerrospaksuudet koekuopassa.

EPS-näytteiden ominaisuudet tutkittiin laboratoriossa. Näytteiden mukaan märkätiheys oli pintakerroksessa $130\text{--}200\text{ kg/m}^3$ ja syvemmillä $130\text{--}162\text{ kg/m}^3$. Kuivatiheys oli 17 kg/m^3 . Vesipitoisuus 11-18 tilavuus-%, mikä oli varsin korkea kosteus EPS-materiaalille. Korkean vesipitoisuuden arvioitiin johtuneen siitä, että EPS-täyte oli ollut veden alla pitkiä aikoja.



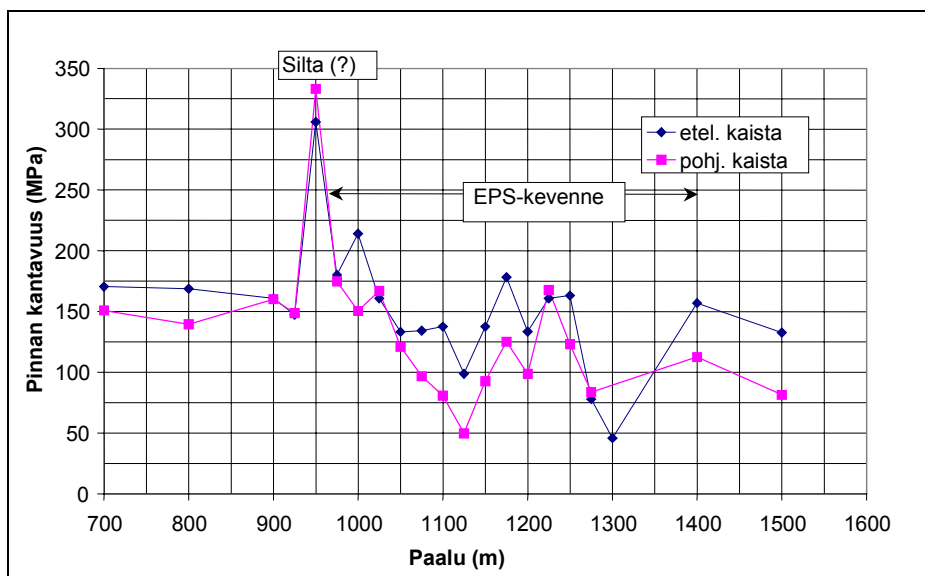
Kuva 6.16a Pesurinkadun tutkimuskohde (kuva S Saarelainen).



Kuva 16.6b Esiin kaivettu EPS-pinta koekuopassa Pesurinkadulla (kuva H Kangas).

6.3.3 Kenttätutkimukset

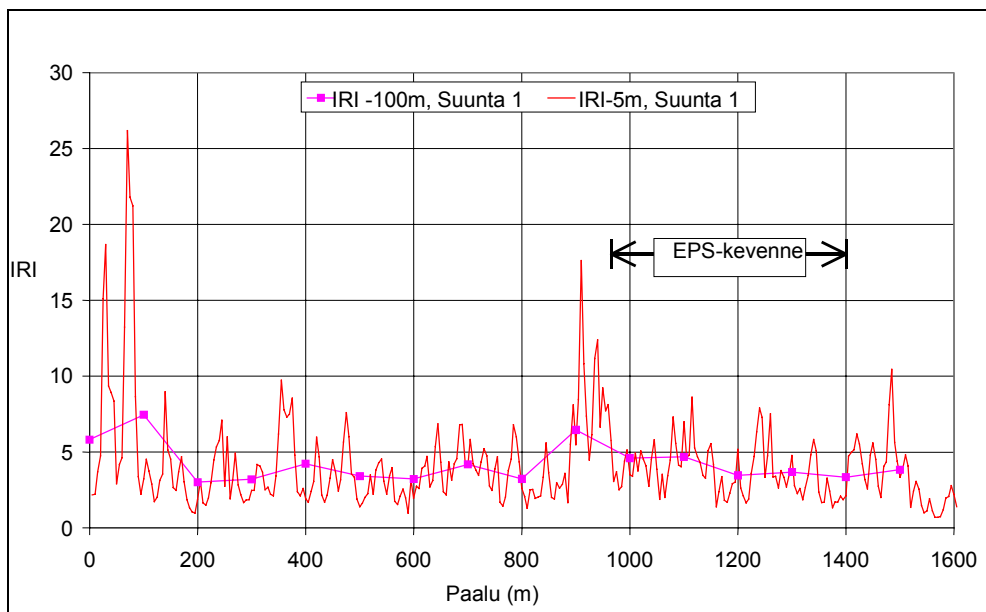
Kadun pinnan kantavuutta mitattiin pudotuspainolaitteella (Dynatest M8000). Mittaukset tehtiin kadun molemmilla kaistoilla ulomman pyöräuran kohdalla 20 metrin välein. Määritetty pinnan kantavuusmoduuli katulinjalla on esitetty kuvassa 6.17. Havaittiin kantavuuden olleen hiukan alemmalla tasolla EPS-täytteen kohdalla kuin muualla katulinjalla.



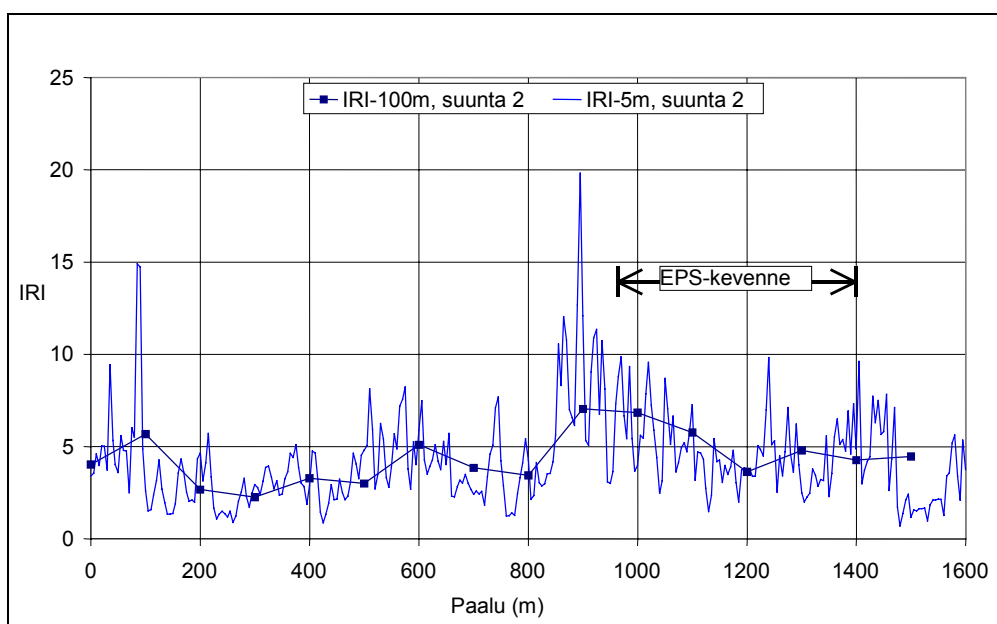
Kuva 6.17. Pesurinkatu. Mitattu kantavuus 28.10.1999.

Mittausten mukaan oli pinnan kantavuus EPS-osuudella yhtä suuri tai hiukan pienempi kuin viereisellä pehmeiköllä. EPS-täytteen osuudella kantavuus oli alimmillaan noin 50 MPa, mikä arvioitiin alhaiseksi arvoksi teollisuuskadulle. Huolimatta alhaisesta kantavuusarvosta urautumismittausten tuloksissa ei ollut havaittavissa mitään poikkeavan suuria muodonmuutoksia EPS-alueella suhteessa muuhun katuun.

Mitattuja pituussuuntaisen tasaisuuden IRI arvoja (mm/m) on esitetty kuvissa 6.18 ja 6.19 sekä 5 että 100 m:n tasaisuusindeksit on esitetty. Lukuun ottamatta muutamaa paikallista, korkeampaa arvoa EPS-osuuden tasaisuus erosi vain vähäisesti liittyvien katuosuuksien tasaisuudesta. Mitattua urautumista on esitetty kuvassa 6.20.



Kuva 6.18 Mitatut IRI-100m and IRI-5m-arvot, suunta 1 (pohjoinen kaista).

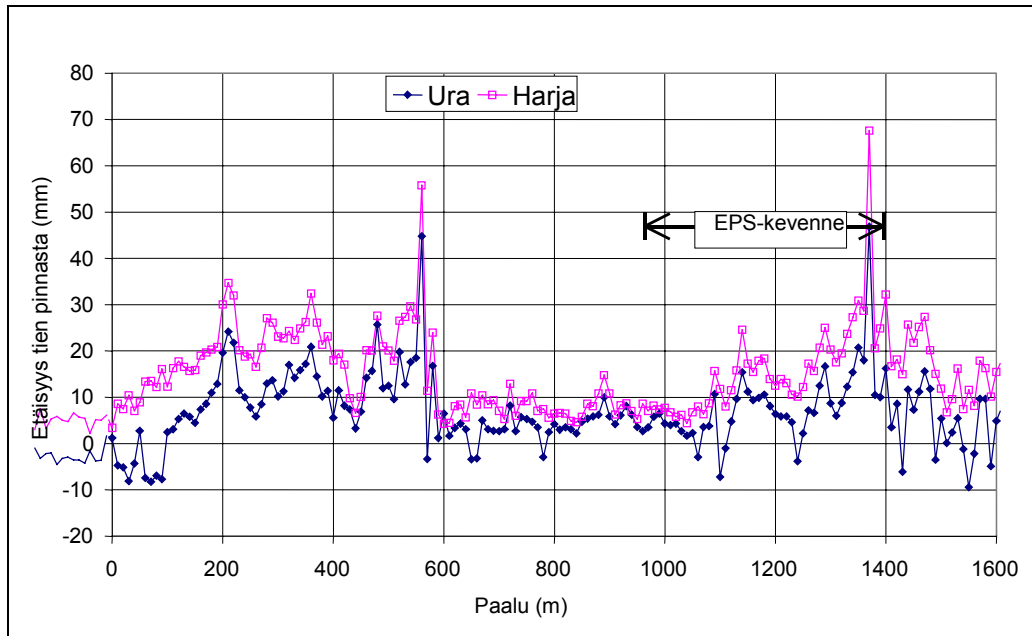


Kuva 6.19 Mitatut IRI-100m ja IRI-5m-arvot, suunta 2 (eteläinen kaista).

6.3.4 Päällysrakenteen muodonmuutosten arviointi

Päällysrakenteen muodonmuutosten laskenta perustui kenttämittauksista määritettyihin arvioihin. Pudotuspainomittauksin määritettyä taipumasuppiloa mallinnettiin Mod-comp3-takaisinlaskentaohjelmalla (1994). Päällysrakennekerrosten paksuus määritettiin koekuopasta. Kerrosmateriaalit otaksuttiin lineaarikimmoisiksi. Mallinnettu taipuma-

suppilo edusti koekuopan lähellä mitattuja. Eri kerrosten kimmomoduulin arvot määritettiin takaisinlaskennalla. Tulokset on esitetty taulukossa 6.5.



Kuva 6.20 Uran syvyys ja harjanteen korkeus Pesurinkadulla. Mittaukset tehtiin tiemittausautolla PTM. Mitatun urasyvyyden ja harjanteen korkeuden erotus kuvaa tien poikkileikkauksen poikittaista epätasaisuutta.

Lineaarikimmoinen malli näytti tässä tapauksessa toimineen hyvin, vaikka laskentaohjelma perustui perinteelliseen monikerrosrakenteen kimmoteoriaan, joka ei ehkä ole tällaiselle rakenteelle sopiva. Takaisinlaskennassa todettiin, että sitomattoman kantavan kerroksen kimmomoduuli oli alhainen. Ilmeisesti EPS-alustalla ei mursketta saatu niin tiiviiksi kuin kovemmalla alustalla. EPS-kerroksen kimmomoduulin arvoksi arvioitiin noin 6,9 MPa. Tämä oli vertailukelpoinen kirjallisuudessa esitettyjen arvojen sekä myöhemmin määritettyjen laboratorioarvojen kanssa.

Taulukko 6.5 Päälysrakennekerrosten takaisinlasketut moduuliarvot.

Kerros	Paksuus ¹	Moduuli ²	Poissonin kerroin ³
	[mm]	[MPa]	
AC+Bit. sora (lämpöt. +5°C)	180	6600	0,35
Murske	590	104,0	0,35
EPS	600	6,9	0,10
Alusrakenne	∞	46,5	0,40

¹ Koekuoppamittaus

² Takaisinlaskettu ohjelmalla Modcomp3. Taipumasuppilo mitattiin koekuopan lähellä

³ Kirjallisuusarvo

Pyöräkuorman aiheuttamaa deformatumista rakenteessa mallinnettiin Bisar-elementtiohjelmalla (Bisar 1998). Laskennassa käytettiin pudotuspainomittauksista määritettyjä kerrosmoduulien arvoja. Maarakenteen ja pyöräkuorman 50 kN aiheuttamia muodonmuutoksia ja jännityksiä on esitetty taulukossa 6.6.

Pesurinkadulla oli rakentamisesta lähtien voimassa 48 tonnin painorajoitus. Tietoja toteutuneista liikennemääristä ei ollut käytettävissä. Näin ollen ei ollut mahdollista määrittää liikennesäätöä standardiaakseleina.

Taulukko 6.6. Lasketut puristusjännitykset ja resilienssimuodonmuutokset EPS-kerroksen pinnassa.

Kuormitus	Pystyjännitys kN/m ²	Pystysuora muodonmuutos %
Päällysrakenne	16,1	0,32
Pyöräkuorma, 50kN	5,3	0,11
Yhteensä	21,4	0,43

EPS-materiaalin muodonmuutokset ovat kimmoisia ja palautuvia, kun puristuma on alle 0,4-0,5 % (Duškov 1997). Mallintamisen perusteella EPS-materiaalin staattinen kuormitus (21,4 kPa) oli alle rakenteessa käytetyn EPS-tuotteen kimmorajan (0,4 x 90 kPa=36 kPa).

Pitkäaikaisten virumakokeiden mukaan olisi Pesurinkadun EPS- materiaalin puristuma (alkupuristuma + viruma) 30 kPa:n puristusjännityksellä 10 vuoden aikana ollut noin 5 %, mikä tarkoittaa 0,6 metrin kerroksessa enintään noin 30 mm tai yhtä 200 mm:n levyä kohti noin 10 mm. Puristusjännitys oli todellisuudessa pienempi (16 kPa), ja yksiaksiaalinen puristuskoe antaa ylisuuren kokoonpuristuman. Tutkimuksissa arvioitiin ylimmän levyn puristumaksi nimellismatasta (200 mm) noin 3-7 mm. Pysyvällä kokoonpuristumalla ei ollut merkitystä sen enempää keventeen kuin päällysrakenteen toiminnalle.

6.3.5 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Tutkitun EPS-keventeen vesipitoisuus oli 130-200 kg/m³. Tuotteen kuivatiheys oli 17 kg/m³. Havaittu vesipitoisuus, 11-18 vol-% oli korkea, ja sen arvioitiin johtuvan siitä, että EPS oli pitkiä aikoja (mm. näytteenoton aikana) veden alla. Korkeasta vesipitoisuudesta huolimatta tutkitun EPS-tuotteen mekaaniset ominaisuudet eivät poikenneet saman tuotteen kuivan tilan ominaisuuksista.

Tien tasaisuusmittausten mukaan epätasaisuusluku IRI oli hiukan korkeampi EPS-kevennetyllä päällysteellä kuin saman kadun keventämättömällä osalla. epätasaisuuden

vaihtelu oli kuitenkin suurta, eikä EPS-kevennetyn osuuden epätasaisuus poikennut merkittävästi muun kadun epätasaisuudesta.

EPS-kevennetyn katuosuuden kantavuusmoduulit olivat alhaisempia kuin muilla kadun osuuksilla. Alin mitattu arvo oli noin 50 MPa. Vaikka EPS-keventeen moduuli oli alhainen, eivät sen puristusjännitykset ylittäneet kimmorajaa, jolloin plastiset, pysyvät muodonmuutokset olivat vähäiset. Päällysteen kestävyys joustavalla alustalla ei ole ennakoitavissa pelkästään kantavuuden perusteella. Päällystevaurioita ei kevenneosuudella havaittu.

Mahdollinen urautuminen ja päällysteen väsymisvaurio voi aiheutua myös sitomattoman tai sidotun kantavan kerroksen pysyvistä muodonmuutoksista. Kun EPS-kerroksen muodonmuutos oli alle kimmorajan (alle 0,4 - 0,5 %), EPS toimi elastisena materiaalina, jolloin siinä ei kehittynyt mainittavia pysyviä syklisiä tai virumismuodonmuutoksia.

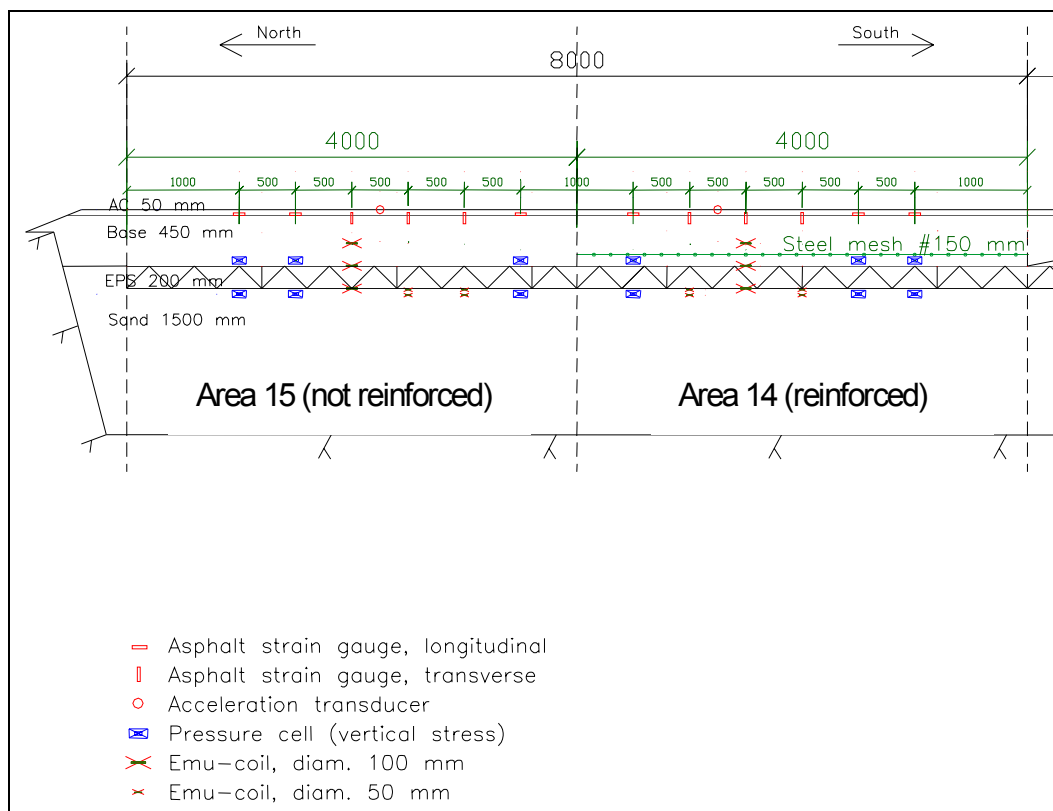
6.4 EPS-kevennetyn rakenteen täysmittakaavan HVS-testaus

6.4.1 Tavoite

HVS-testauksen (Heavy Vehicle Simulator) tavoitteena oli määrittää EPS-materiaalin mekaanisia ominaisuuksia täysmittakaavan syklisessä kuormituksessa kuormituskestävyysmitoitusta varten. Kuormitustestaus tehtiin HVS-koetiekoneella talvella 2001 (Elomaa 2002).

6.4.2 Koerakenne

Testattava tierakenne, jonka pituus oli 8 metriä tehtiin koalueella olevaan betonikaloon, jonka leveys oli noin 6 metriä. Pohjalle rakennettiin 1,5 metrin paksuinen alusrakenne hiekasta kerroksittain tiivistäen. Tämän päälle asennettiin EPS-kevennekerros blokeista, joiden mitat olivat 200x1200x5000 mm³. EPS-kevenne oli peräisin samasta valmistuserästä kuin laboratoriotestauksissa käytetty materiaali. EPS-kerroksen päälle levitettiin geotekstiili, ja sen päälle 450 mm kantavan kerroksen mursketta rakeisuudeltaan #0-60 mm. Puolella koerakenteesta murskekerroksen alaosaan, noin 100 mm EPS-kerroksen yläpuolelle, asennettiin pistehitsattu teräsverkko, joka oli tehty 6 mm:n harjateräksestä, ja jonka silmäkoko oli 150x150 mm². Päällysteeksi levitettiin 50 mm:n kerros asfalttibetonia. Päällysteen pintaan merkittiin 8x1 m²:n kuormitusalue.



Kuva 6.21. Pituusleikkaus EPS-koerakenteesta ja siihen asennetut mittauslaitteet.

6.4.3 Koerakenteen testaus

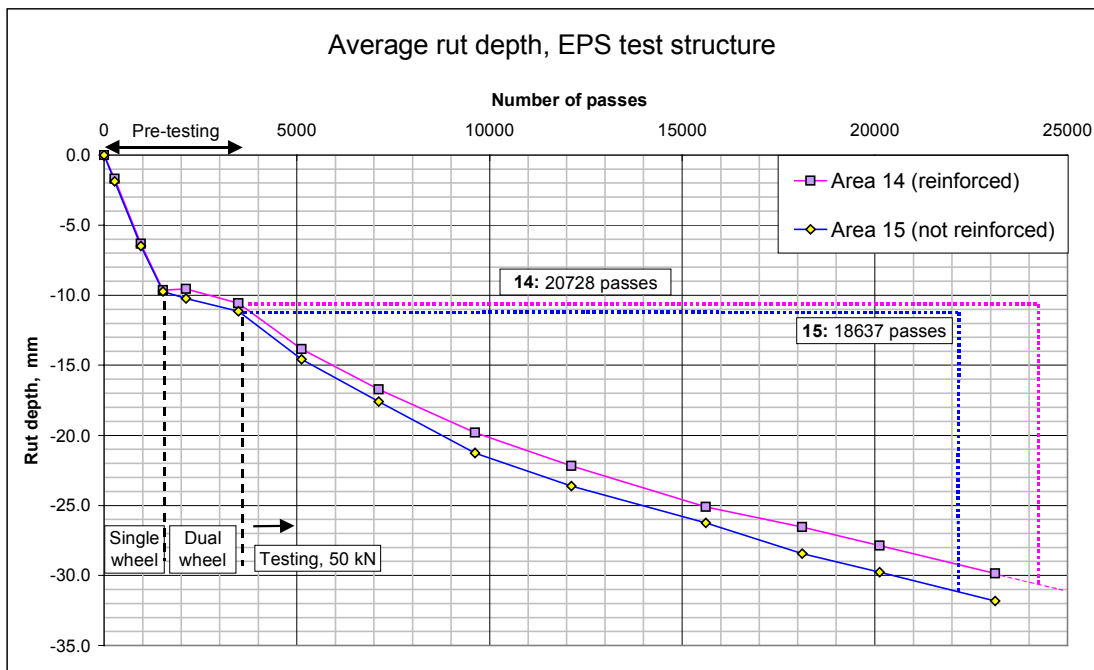
Koerakenteen jäykkyys määritettiin kantavuusmittauksin pudotuspainolaitteella. Takaisinlaskemalla määritettyjä materiaalikerrosten kimmomoduuleja on esitetty taulukossa 6.7. Niiden mukaan EPS-tuotteen kimmomoduuli oli 10,5 MPa.

Taulukko 6.7. Pudotuspainomittauksen taipumasuppilon perusteella takaisin lasketut rakennekerrosten kimmomoduulit Vahvistetussa ja vahvistamattomassa rakenteessa (Elomaa 2002).

Kerros	Kimmomoduuli E (MPa)	
	Vahvistettu rakenne	Vahvistamaton rakenne
Asfaltti	5900	5900
Murske, yläosa 250 mm	54	50
Murske, alaosa 250 mm	38	32
EPS, 200 mm	10,5	10,5
Hiekka, yläosa 200 mm	38	36
Hiekka, alaosa 1500 mm	11	11

Koerakenne testattiin 50 kN:n pyöräkuormalla, joka on Suomessa yleisillä teillä sallittu suurin standardipyöräkuorma. Kuormitettua pyörää ajettiin edestakaisin päällysteen kuormitusalueella, ja samalla mitattiin rakennekerrosten kimmoista ja pysyvää kokoonpuristumista sekä rakenteessa syntyneitä puristusjännityksiä.

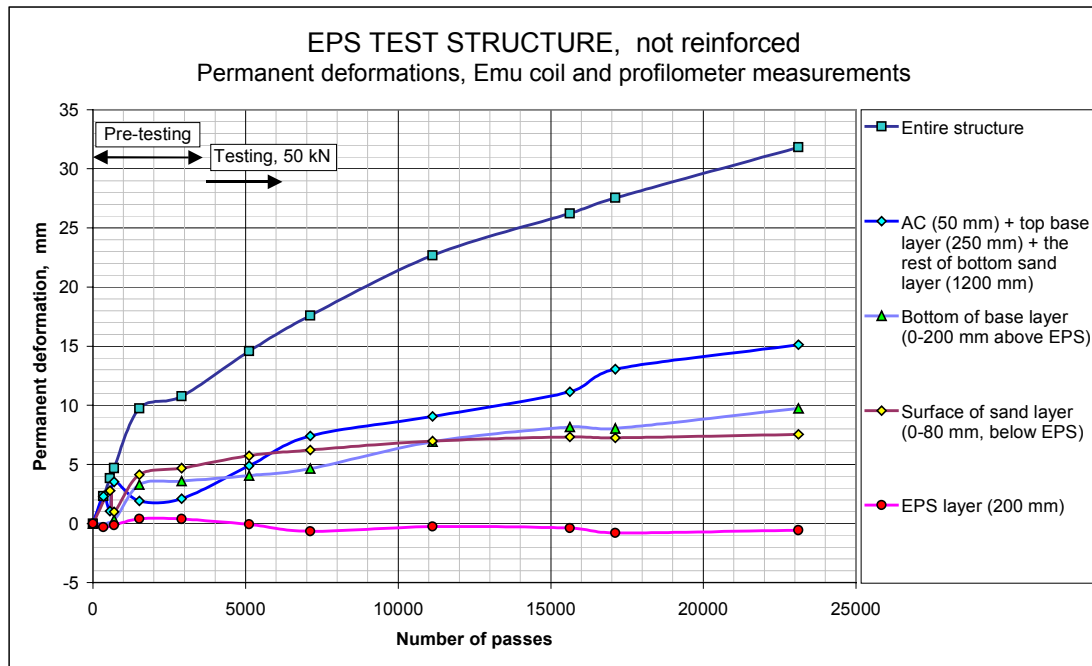
Mitatun puristusjännityksen ja kimmoisen kokoonpuristuman perusteella EPS-tuotteen kimmomoduuli oli noin 9,4 MPa. EPS-kerroksen puristusjännitys oli tällöin noin 46 kPa ja muodonmuutos enintään noin 0,36 %.



Kuva 6.22. Päällysteen pinnan urautuminen eri koerakenteilla (paripyörä, pyöräkuorma 50 kN). Kuvaan on merkitty 20 mm:n urasyvyyden edellyttämä kuormituskertamäärä esitestauksen jälkeen (Elomaa 2002).

Testauksessa havaittiin, että pinnan urautumiseen 20 millimetrin urasyvyyteen tarvittiin noin 20 000 ylityskertaa (kuva 6.22). Raudoitettu koerakenne kesti noin 10 % enemmän kuormitusta kuin raudoittamaton koerakenne.

Rakennekerrosten pysyvää kokoonpuristumaa mitattiin kerroskohtaisesti testauksen aikana. Mittaustuloksia vahvistamattomassa koerakenteessa on esitetty kuvassa 6.23.



Kuva 6.23. Rakennekerrosten pysyvä kokoonpuristuma vahvistamattomassa koerakenteessa (Elomaa 2002).

Mittausten mukaan urautuminen tapahtui EPS-keventeen yläpuolisessa murskekerroksessa ja keventeen alapuolisessa hiekkakerroksessa. EPS-kerroksen pysyvä kokoonpuristuminen oli mittaustarkkuuden rajoissa nolla. EPS-tuotteen deformaatiotaso ja siihen kohdistunut puristusjännitys olivat näin kimmoisella, palautuvalla alueella.

6.4.4 Johtopäätökset HVS-kokeista

HVS-kokeiden perusteella voitiin päätellä seuraavaa:

- Raudoitettun ja raudoittamattoman päällysrakenteen kantavuus oli yhtäläinen. Päällysrakenteeseen asennetun raudoitteen vaikutus urautumiseen oli vähäinen, muuta selkeä.
- Täysmittakaavan rakenteessa HVS-testauksen yhteydessä saatiin kimmomodulin arvoksi noin 9,5-10,5 MPa. Tällöin EPS-kerroksen puristusmuodonmuutos oli noin 0,4-0,6 % ja puristusjännitys enimmillään noin 46 kPa.
- Kokeessa mitatulla jännitystasolla ei EPS-kevennetuotteeseen syntynyt pysyvää kokoonpuristumista. Tämä vastasi myös syklisissä puristuskokeissa laboratorioissa samalla materiaalilla saatuja tuloksia.

7. Yhteenveto ja johtopäätökset

7.1 EPS-materiaalien mekaanisten ominaisuuksien määrittäminen

EPS-tuotteiden luokitus tehdään 5 tai 10 %:n puristumaa vastaavan puristusjännityksen perusteella. Testaus tehdään normaalisti 50x50x50mm³:n näytteellä. Käyrästä määritetään myös kimmomoduuli. Tehtyjen laboratoriokokeiden perusteella on ilmeistä, että 5 tai 10 %:n puristuslujuus ei ole merkittävän herkkä näytekoolle tai muodonmuutosten mittaustavalle.

Muodonmuutosmoduulin määrittämisessä tilanne oli toinen. Puristuskokeessa näytteen ja kuormituslevyn kontaktissa näytteen pinta on epätasainen, ja merkittävä muodonmuutos tarvitaan, ennen kuin puristuminen tapahtuu koko näytteessä. Jos kimmomoduulia tarvitaan rakenteen mitoituslaskelmissa, niin muodonmuutos on tasaista massamuodonmuutosta, ja pintojen vaikutus on merkityksetön. Tämän tutkimuksen puristuskokeissa havaittiin, että tämä "alkuklappi" oli 0,2-0,4 mm. Tämän lisäksi havaittiin, että puristuminen on suurempaa, kun puristuma mitataan näytteen päiden välillä verrattuna uuman kolmannespisteiden välillä mitattuun puristumaan. Tämä viittaa siihen että näytteen päädyissä vaikuttaa erilainen muodonmuutostila kuin uumassa. Näytteen uuman puristumasta määritetyt kimmomoduulin arvot olivat suurempia kuin koko näytteen puristumasta määritetyt, ja ne olivat verrattavissa makrorakenteen testauksesta laskettuihin tai suoraan mitattuihin moduuliarvoihin. Kokoonpuristuminen alkoi suhteessa kuormituksen kasvuun voimistua, kun muodonmuutos ylitti arvon noin 0,5 %. Tämä lienee kimmoraja, jonka jälkeen kasvava osa muodonmuutoksesta jää palautumatta. Näytteiden kuormitus-kokoonpuristumakäyrät olivat jotakuinkin samanmuotoisia, joten kimmorajan puristusjännitystä voidaan likimäärin arvioida puristuslujuuden σ_{10} perusteella. Standardikokeen tuloksista voidaan toimivaa kimmomoduulia arvioida seuraavasti:

$$E = \frac{m \cdot \sigma_{10}}{\epsilon_e} = \frac{0,4 \cdot \sigma_{10}}{0,005} = 80 \cdot \sigma_{10} \quad (7)$$

missä	m on	kerroin (0,4)
	σ_{10}	10 %:n puristumaa vastaava puristusjännitys, kPa
	ϵ_e	kimmoinen rajamuodonmuutos (0,005)
	E	kimmomoduuli (kPa)

Esimerkiksi tutkitun EPS-kevennettuotteen kimmomoduuli oli noin 13 000 kPa, kun taas kaavalla saatiin 12 800 kPa. Vastaavasti Pesurinkadulla EPS R-tuotteen kimmomoduuli

puristuskokeiden mukaan oli noin 4000 kPa, ja kaavalla saatiin arvo 7200 kPa. Pesurin-kadun pudotuspainomittauksista laskettu moduulin arvo oli noin 6900 kPa.

Moduulin määrittäminen tulisi tehdä puristuskokeessa näytteellä, jonka pituus on vähintään kaksi kertaa halkaisija. Puristuma tulisi mitata näytteen uumasta, esimerkiksi kolmannespisteiden väliltä.

Virumakokeita tehtiin sylinterinäytteillä (halkaisija 100 mm ja korkeus 100 mm) sekä blokinäytteillä (400x400x200 mm³). Virumismuodonmuutokset olivat keskenään vertailukelpoisia. Koetulosten mukaan (EPS Kevenne) arvioitiin viruman kasvavan 50 vuodessa noin 5 %:iin, kun puristusjännitys oli 50 % puristuslujuudesta σ_{10} . EPS-tuotteet eivät ole haurasmurtuvaa materiaalia, joten niille ei voi soveltaa murtokriteeriä, vaan niiden muodonmuutosta arvostellaan toiminnalliselta kannalta. Toiminnallisesti virumiskokoonpuristuman merkitys tässä mittakaavassa (5 % paksuudesta) on vähäinen.

Viruminen tulisi määrittää, kun staattinen kuormitus ylittää arvon noin 50 % puristuslujuudesta σ_{10} .

Syklisiä kuormituskokeita tehtiin sylinterinäytteillä (halkaisija 100 mm ja korkeus 200 mm) kuormittamalla niitä toistokuormituksella 10-20 kPa, 10-40 kPa, 10-60 kPa ja 10-80 kPa. Suurin kuormitus vastasi 50 % testatun materiaalin puristuslujuudesta (150 kPa).

Todettiin, että tutkittujen EPS Kevenne-näytteiden kokoonpuristuminen 1000 000 kuormitus sykliä oli vähemmän kuin 0,05 % maksimikuormituksen ollessa alle 60 kPa, eikä kimmomoduulissa ollut havaittavissa alenemista. Kuormituksen ollessa 80 kPa pysyvä puristuma oli 1000 000 kuormituksen jälkeen noin 0,1 %, ja moduulissa oli havaittavissa alenemista kuormitus syklien lisääntyessä. Kimmomoduulin arvoksi mitattiin testauksessa 12-15 MPa.

Tulosten perusteella voitiin todeta, että syklinen, pysyvä puristuma oli olematonta. Rakenteen muodonmuutosvastus alkoi pienentyä yli 60 kPa:n kuormituksella (40 % puristuslujuudesta).

Syklisen kuormituksen aiheuttama pysyvä puristuma on hyvin vähäistä, kun maksimijännitys on alle 40 a' 50 % puristuslujuudesta σ_{10} .

7.2 EPS-materiaalin kestävyys HVS-kuormituksessa

Tehdyissä täysmittakaavan kuormituskokeissa HVS- laitteistolla (Heavy Vehicle Simulator) todettiin, että koerakenteen kantavuus oli alhainen. Suoritetussa testauksessa todettiin, että syntyneet pysyvät muodonmuutokset, jotka ilmenivät pinnan urautumisena, syntyivät EPS-keventeen alla ja päällä olleissa kivennäismaakerroksissa. EPS-materiaalilla ei havaittu mitattavissa olevaa kokoonpuristumaa noin 20 000 kuormituskerralla, kun pintaa kuormitettiin 50 kN:n pyöräkuormalla. EPS-materiaalin kokonaismuodonmuutos oli noin 0,4 % ja kimmomoduuli suorien mittausten sekä pudotuspainomittausten perusteella tehdyn mallinnuksen mukaan noin 10 MPa.

7.3 EPS-materiaalin pitkäaikaiskestävyys katurakenteessa

Vammalan EPS-kevennetyn Pesurinkadun tutkimuksissa ei todettu mitattavissa olevaa pysyvää kokoonpuristumaa 11 vuoden käytön jälkeen. Pudotuspainomittausten perusteella määritettyjen kimmomoduulien ja koekuoppatutkimuksella tarkistettujen kerros-paksuuksien perusteella arvioitiin EPS-kerroksen pinnan kokonaismuodonmuutokseksi noin 0,43 %. EPS-kerroksen kimmomoduuli oli noin 6,9 MPa. Päällysrakenteen paksuus oli noin 700 mm, josta sidottujen pintakerrosten (päällyste ja bitumistabiloitu kantava kerros) paksuus oli noin 150 mm. EPS-tuotteen tiheys oli noin 17 kg/m³, vesipitoisuus 11-19 til-%, puristusjännitys σ_{10} noin 90 kPa ja kimmomoduuli laboratoriossa 4-5 MPa. Tienpinnan urautuminen ja pituussuuntainen epätasaisuus eivät merkittävästi poikenneet viereisen, keventämättömän kadun ominaisuuksista. Kohde sijaitsi turvepeitteellä suoalueella, ja tutkimusaikana EPS-kevenne oli lähes kokonaan pohjavedenpinnan alla.

7.4 EPS-materiaalin käyttö tierakenteessa

Tehtyjen koerakentamishankkeiden perusteella voitiin todeta, että EPS-kevennetty tierakenne voidaan suunnitella niin, että tierakenteen ja siihen sisältyvän EPS-keventeen pitkäaikaiskestävyys voidaan varmistaa liikennekuormitusten suhteen. Sidottujen rakennekerrosten kestävyyttä ei tulisi arvioida pinnan kantavuuden mukaan, vaan sidottujen kerrosten taipuman mukaan, mikä edellyttää analyyttisten mitoitusohjelmien käyttöä. Mitoituksessa on tarkistettava EPS-keventeen maksimipuristuma ja -jännitys, ja ylärakenne suunniteltava tarvittaessa vahvennettuna niin, että jännitykset ja muodonmuutokset pysyvät kimmoisella alueella. Muurlan koerakenne voitiin mitoituslaskelmien perusteella toteuttaa ilman betoniariaa.

EPS-kevenne voidaan suojata öljy- ja liuotinpäästöjä vastaan riittävän vahvalla muovikalvolla, joka on suojattava mekaaniselta vaurioilta geotekstiilillä.

8. Kirjallisuutta

Beinreich G & Hohwiller F. (2000). Cushion foundations: rigid expanded polystyrene foam as a deforming and cushioning layer. Ground improvement (2000) 4, s. 3-12.

BISAR, (1998). Shell bitumen, Shell international oil products. Computer program.

Fire in polystyrene fill damages CTRL bridge. Ground engineering, March 2001, s. 4.

Bergström, (1992) Compressive creep of EPS, laboratory testing (summary in EPS-CEN papers). SP, Report.

Vägverket (1991). Cellplast som lättfyllning i vägbankar. Allmän teknisk beskrivning, metoder. Vägverket, Sektionen för geoteknik/Svensk Byggtjänst, Solna. 22 s.

Code of practice using expanded polystyrene (EPS) for the construction of road embankments. English translation from "Merkblatt für die Verwendung von EPS-Hartschaumstoffen beim Bau von Strassendämmen". Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Köln 1995. 13 p

Côté J. & Konrad J.-M. (2002), A field study of hoarfrost formation on insulated pavements. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 39:3, June 2002, p. 547-560.

De Wijs W. & Hengeveld H. (1985). Fast building site preparation, a settlement-free method as an alternative to a sand fill. Deventer, Netherlands, bv Infra consult.

Dushkov. M. (1994). Materials research on expanded polystyrene foam (EPS). T U Delft, Faculty of Civil Engineering, Report 7-94-211-2.

Dushkov, M. (1997). EPS as a light-weight sub-base material in pavement structures. TU Delft, PhD Thesis, 251 s.

Elomaa, J. (2002). EPS-kevennetyn tierakenteen testaus koetiekoneella. Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto, Diplomityö. 69 s.

EPS-kevennet: Rakenteet ja käyttökokemukset, Viatek Oy, Raportti, 1999. 39 s.

EPS-kevennet yhdyskuntarakentamisessa. Suunnittelu- ja rakentamisohjeet. (1992). Viatek Tapiola Oy, raportti. 38 s.

EPS-lämmöneristeet (2002). RT K-35836/RT 375.2-35836. 6s.

EPS-rakennuseristetuotteet. Valmistustekniikka. Suomen Muoviteollisuusliitto, EPS-rakennuseristeteollisuus, Helsinki. 15 s.

Frydenlund, T. E. (1985). A challenging concept in road construction - superlight fill materials. Directorate of roads, Norwegian road research laboratory, brochure. 4 s.

Frydenlund T.E. (1986). Superlight fill materials. In: Veglaboratoriet, Meddelelse nr. 60, ss. 11-14.

Frydenlund T.E. & Aaboe R., (1996). Expanded polystyrene – The light solution. Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Veglaboratoriet, Intern rapport nr. 1885. 15 s.

Heikkinen, M. 1991. Teräsverkkojen asentamisen, käytännön ohjeita. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 13/1991. Helsinki.

Hoikkala, S. 1998. EPS-eristeiden käyttö rakentamisessa. Suomen Muoviteollisuusliitto, EPS-rakennuseristeteollisuus, Helsinki. 12 s.

Hoikkala, S. 2000. Muovit rakentamisessa - EPS-eristeet. Julkaisussa: Rakentajain kalenteri 2000., ss.705-708.

Hoikkala S. 1998. EPS-rakennuseristeiden tekniset ominaisuudet. Suomen Muoviteollisuus-liitto, EPS-rakennuseristeteollisuus, Helsinki. 15 s.

Hoikkala S. 1999. EPS-keventeiden käyttökokemuksia Suomessa. Rakennustaito 1999:6, ss. 26-27.

Horvath J.S., 1995, Geofoam geosynthetic, New York, Horvath Engineering P.C., 217 s.

Horvath J.S., 1998b, Mathematical Modeling of the Stress-Strain-Time Behaviour of Geosynthetics Using the Findley Equation: General Theory and Application to EPS-Block Geofoam, Report No. CE/GE-98-3, Manhattan College, New York, 35 s.

Horvath J.S. (1998). The compressible-inclusion function of EPS geofoam: an overview of concepts, applications and products.

Horvath J.S. (1998). The compressible-inclusion function of EPS geofoam: Analysis and design methodologies. Geotextiles and geomembranes 15 (1977) 77-120.

Horvath J.S., 1998, The Compressible-Inclusion Function of EPS Geofoam: Analysis and Design Methodologies, Report No. CE/GE-98-2, Manhattan College, New York, 44 s.

Jonsson B. (1993) Tjälisolering i vägar – värme- och fuktteknisk funktion. Laboratorieprovningar, provuttag från vägar. Statens provningsanstalt, SP rapport 1993:06. 27 s.

Kangas H. & Saarelainen S., 1999, Paksun EPS-kerroksen puristuslujuus, Esitutkimus, EPS-rakennuseristeteollisuus/VTT Yhdyskuntatekniikka, 27 s.

Korkiala-Tanttu L. (2002). EPStress-EPS:n kuormituskestävyystutkimusohjelma, E 18 Paimio-Muurla projekti, Muurlan koerakennuskohde, koerakennusraportti. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 18.10.2002. 21 s

Malen T. 2000. Soluuntuvien polytyreenituotteiden valmistus. Julkaisussa: Muovitekniikan perusteet, ss. 120-121. Helsinki 2000.

Malen T. 2000. Muovien perusteet. Julkaisussa: Muovitekniikan perusteet, ss. 16-19. Helsinki 2000.

MODCOMP3 v3.6, 1994. Cornell University, Local roads program, Computer program

O'Brien A.S. & Anderson G. (1999). Design and construction of the UK's First polystyrene embankment for railway use. Proposal for a paper, 12 s.

O'Brien A.S. (2001). EPS behaviour during static and cyclic loading from 0.05% strain to failure. Int. Conf on EPS, Salt Lake City 2001. 11p.

Plastic foam in road embankments (1987). Veglaboratoriet, Meddelelse nr. 61. 60 s.

Preber T., Bang S., Chung Y. & Cho Y. (1994). Transportation Research Record 1462, pp. 36-46.

PS-hardschuim voor weg- en waterbouw. Stybenex, Netherlands, brochure. 11 s.

Refsdal G. (1987). Frost protection of road pavements. In: Frost I Jord Nr. 26, ss. 3-13.

Saarelainen S. (1998). Katujen routasuojaus. Työraportti koerakentamisesta 1995-97. Katurakenteet ja -päälysteet - tutkimusohjelma (KRP). Suomen Kuntaliitto, Helsinki. 107 s.

Saarelainen S. (2002a). EPStress 2002. EPS-kevenne- ja EPS-R-näytteiden puristusko-
keet, laboratoriotutkimusraportti. VTT, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. 21 s.

Saarelainen S. (2002b). EPStress 2002. EPS-kevenne- ja EPS-R-näytteiden virumako-
keet, laboratoriotutkimusraportti. VTT, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. 18 s.

Saarelainen S. (2002c). EPStress 2002. EPS-kevenne- ja EPS-R-näytteiden sykliset
kuormituskokeet, laboratoriotutkimusraportti. VTT, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka.
19 s.

Saarelainen S. & Kivikoski H. (2001). Katujen ja pihojen routasuojaus. Suomen Kunta-
liitto, Ympäristöministeriö ja VTT, Helsinki. 65 s.

Saarelainen S. & Kangas H. (2001). Behaviour of an old EPS light-weight fill at Vam-
mala, Finland. Proc. Int. Conf. on EPS Geofoam 2001, Salt Lake City USA, Dec. 2001.
10 s.

SP 2534 (draft) 2687. (2000). Determination of the resistance to cyclic compressive
loading.

Srijaran S., Negussey D. & Anasthas N. (2001). Creep behaviour of EPS geofoam.
Proc. Int. Conf on EPS, Salt Lake City 2001. 11p.

Styropor. Compressive strength of expanded materials. BASF, Technical information
Styropor, 4 p.

Sundolitt vägblock. Typblad BSAB:C (1989). Tuoteseloste 6 s.

Thermal insulation products for buildings – Factory made products of expanded poly-
styrene (EPS), specification. Draft prEN 13163 E, TC88/Wg4 N548.3, June 1999.

Tien kevennysrakenteet. Helsinki 1997. Tielaitoksen sisäisiä selvityksiä 28/97. 60 s.

Toepassings richtlijn voor EPS in der wegenbouw (2000). Crow, Publicatie Nr 150,
Ede, NL. 88 s.

Tränk R. (1989). EPS in markbyggande. Linköping, SGI, Interim rapport. 24.s.

TYLT 1994. Tierakennustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitykset. Penger- ja
kerrosrakenteet. Tielaitos, Helsinki 1994. 62 s.

Liite A: EPS-materiaalien tuoteominaisuuksia eri maissa

Taulukoissa 1-2 on esitetty Suomessa määritettyjä materiaaliominaisuuksia. Ominaisuudet on määritetty SFS-testausstandardien mukaan.

BASFin teknisessä raportissa (1997) esitetään EPS-tuotteille taulukon 3 mukaisia parametreja. Ominaisuudet on määritetty taulukossa annettujen DIN-standardien mukaan. Taulukossa 3 on annettu vaihteluvälit muodonmuutosominaisuuksille. Kimmomoduulin arvo riippuu kuormitustavasta sekä määritetystä EPS:n kimmoisuusrajasta, joka on osin tulkinnallinen.

Yhdysvaltalainen GeoTech System Corporation on julkaissut kevennyksinä käytettävien EPS-blokkien ominaisuuksia. Taulukossa 4 on ASTM-standardin mukaan määritettyjä parametreja.

Taulukko I EPS-lattiaeristeiden ominaisuuksia.

Ominaisuus	Testimenetelmä	Lattiaeristeet							
		EPS 60 Lattia	EPS 100 Lattia	EPS 150 Lattia	EPS 200 Lattia	EPS 240/250 Lattia	EPS 300 Lattia	EPS 400 Lattia	
Pituus ja leveys	EN 822 : 1994	± 0,6% tai ± 3 mm	± 0,6% tai ± 3 mm	± 0,6% tai ± 3 mm	± 0,6% tai ± 3 mm	± 0,6% tai ± 3 mm	± 0,6% tai ± 3 mm	± 0,6% tai ± 3 mm	
Paksuus	EN 823 : 1994	± 2 mm	± 2 mm	± 2 mm	± 2 mm	± 2 mm	± 2 mm	± 2 mm	
Suorakulmaisuus	EN 824 : 1994	± 2 mm/1000 mm	± 5 mm/1000 mm	± 5 mm/1000 mm	± 5 mm/1000 mm	± 5 mm/1000 mm	± 5 mm/1000 mm	± 5 mm/1000 mm	
Tasomaisuus	EN 825 : 1994	± 10 mm/1000 mm	± 30 mm/1000 mm	± 30 mm/1000 mm	± 15 mm/1000 mm	± 15 mm/1000 mm	± 15 mm/1000 mm	± 15 mm/1000 mm	
Mittapysyvyys/-tarkkuus	EN 1603 : 1996	± 2 mm/1000 mm	± 5 mm/1000 mm	± 5 mm/1000 mm	± 5 mm/1000 mm	± 5 mm/1000 mm	± 5 mm/1000 mm	± 5 mm/1000 mm	
Tiheys	EN 1602 : 1996								
Lämmönjohtavuuden ohjeellinen suunnitteluarvo λ _{nit}	EN 12667:2001	0,041 0,045	0,037 0,041	0,037 0,041	0,033 0,037	0,033 0,037 0,041	0,033 0,037 0,041	0,033 0,037 0,041	
Puristuslujuuus 10 %	EN 826 : 1996	≥ 60 kPa	≥ 100 kPa	≥ 150 kPa	≥ 200 kPa	≥ 240/250 kPa	≥ 300 kPa	≥ 400 kPa	
Puristuslujuuus 5 %	EN 826 : 1996								
Taivutuslujuuus	EN 12089: 1997	100 kPa	150 kPa	200 kPa	250 kPa	340/350 kPa	450 kPa	600 kPa	
Pitkäaikainen puristuslujuus	EN 1606 : 1996	≤ 2 % (20 kPa)	≤ 2 % (35 kPa)	≤ 2 % (45 kPa)	≤ 2 % (60 kPa)	≤ 2 % (75 kPa)	≤ 2 % (90 kPa)	≤ 2 % (120 kPa)	
Leikkauslujuus	EN 12090: 1997								
Vedenimeytyminen	EN 12087: 1997		≤ 5 til-%	≤ 5 til-%	≤ 5 til-%	≤ 5 til-%	≤ 5 til-%	≤ 5 til-%	
Vesihöyrynläpäisevyys	EN 12086: 1997								
Palo-ominaisuudet	EN ISO 11925-2:2002	E/F tai parempi	E/F tai parempi	E/F tai parempi	E/F tai parempi	E/F tai parempi	E/F tai parempi	E/F tai parempi	

Vaikeasti syttyvät laadut merkitään lisämerkinnällä S, esim. EPS 60S

xx = valmistajan ilmoittama arvo

yy = projektikohtaisen vaatimuksen mukaan

Lähde: Rakennustieto Oy, RT K-35836 ja EPS-rakennuseristeilleisuuden EPS 2000 -tuoteluokitusjärjestelmä

Taulukko 2 Suomessa määritettyjä EPS-routaeristeiden ja -kevenneiden ominaisuuksia (EPS-lämmöneristeet 2002).

Ominaisuus	Testimenetelmä	Routaeristeet				EPS Kevenne
		EPS 120 Routa	EPS 200 Routa	EPS 300 Routa	EPS 400 Routa	
Pituus ja leveys Paksuus Suorakulmaisuus Tasomaisuus Mittapysyvyys/-tarkkuus Tiheys Lämmönjohtavuuden ohjeellinen suunnitteluarvo λ_{mit}	EN 822 : 1994 EN 823 : 1994 EN 824 : 1994 EN 825 : 1994 EN 1603 : 1996 EN 1602 : 1996 EN 12667:2001	± 0,6% tai ± 3 mm ± 2 mm ± 5 mm/1000 mm ± 30 mm/1000 mm ± 5 mm/1000 mm	± 0,6% tai ± 3 mm ± 2 mm ± 5 mm/1000 mm ± 30 mm/1000 mm ± 5 mm/1000 mm	± 0,6% tai ± 3 mm ± 2 mm ± 5 mm/1000 mm ± 30 mm/1000 mm ± 5 mm/1000 mm	± 0,6% tai ± 3 mm ± 2 mm ± 5 mm/1000 mm ± 30 mm/1000 mm ± 5 mm/1000 mm	± 5 mm ± 3 mm ± 5 mm / 1000 mm ± 15 mm / 1000 mm yy kg/m ³
Puristuslujuus 10 % Puristuslujuus 5 % Taivutuslujuus Pitkäaikainen puristuslujuus Leikkauslujuus Vedenimeytyminen Vesihöyrynläpäisevyys Pal-ominaisuudet	EN 826 : 1996 EN 826 : 1996 EN 12089: 1997 EN 1606 : 1996 EN 12090: 1997 EN 12087: 1997 EN 12086: 1997 EN ISO 11925-2:2002	≥ 120 kPa 170 kPa ≤ 2 % (35 kPa) ≤ 2 til-%	≥ 200 kPa 250 kPa ≤ 2 % (60 kPa) ≤ 1 til-%	≥ 300 kPa 450 kPa ≤ 2 % (90 kPa) ≤ 1 til-%	≥ 400 kPa 600 kPa ≤ 2 % (120 kPa) ≤ 1 til-%	≥ 100 kPa ≤ 1 % (20 kPa) ≤ yy til-% E/F tai parempi

Vaikeasti syttyvät laadut merkitään lisämerkinnällä S, esim. EPS 60S
xx = valmistajan ilmoittama arvo
yy = projektikohtaisen vaatimuksen mukaan

Lähde: Rakennustieto Oy, RT K-35836 ja EPS-rakennuseristeellisuuden EPS 2000 -tuoteluokitusjärjestelmä

