



Aalto-yliopisto
Insinöörیتieteiden korkeakoulu
Rakenne ja rakennustuotantotekniikan laitos

Julia Sassali

EPS-solumuovin käyttömahdollisuudet melueterakenteissa

Pohjarakennuksen ja maamekaniikan syventymiskohteen diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 5.9.2011
Valvoja: Professori Leena Korkiala-Tanttu
Ohjaaja: DI Juha Forsman

AALTO-YLIOPISTO INSINÖÖRITIEIDEIDEN KORKEAKOULU PL 12100, 00076 Aalto http://www.aalto.fi		DIPLOMITYÖN TIIVISTELMÄ	
Tekijä: Julia Sassali			
Työn nimi: EPS-solumuovin käyttömahdollisuudet melueterakenteissa			
Tutkinto-ohjelma: Rakenne- ja rakennustuotantotekniikka			
Pää-/sivuaine: Georakentaminen			
Professori: Pohjarakennus- ja maamekaniikka		Koodi: Rak-50	
Työn valvoja: Professori Leena Korkiala-Tanttu			
Työn ohjaaja(t): DI Juha Forsman			
<p>Työssä tarkastellaan EPS -solumuovin (Expanded PolyStyrene) soveltamista meluseiniin ja meluvälisiin hyödyntäen materiaalin keveyttä, pitkäikäisyyttä ja kestävyyttä.</p> <p>Työssä kehitettiin yhdessä valmistajien kanssa tuotantoon soveltuva EPS -meluseinätyyppi. Kehitetty seinärakenne muodostuu teräspinnoitteen ja EPS -levyn liittorakenteesta, josta voidaan jatkokehittelyllä tehdä myös absorboiva meluseinä. Työhön on kuvattu tuotekehittelyn prosessin eteneminen, sekä ideoidut rakenteet tulevaisuuden jatkokehittelyä varten.</p> <p>Työ sisältää myös kustannusvertailun kehitetyn EPS -meluseinän ja muista materiaaleista valmistettujen vastaavien meluseinien välillä. Samankaltainen kustannusvertailu on suoritettu myös meluvälisille.</p> <p>Meluvälisissä EPS -solumuoviin kohdistuvat pienemmät kuomat kuin liikennöitävillä alueilla, jolloin sen ei tarvitse olla yhtä kestävä. Tällöin tiheys voi olla pienempi ja laatu heikompi. Tämän työn tavoitteena oli selvittää, kuinka hyvin EPS -kevenne soveltuu käytettäväksi meluvalliin, millä tavoin meluvalliin käytettävän EPS -solumuovin vaaditut ominaisuudet voidaan määrittää, ja mitä nämä ominaisuudet ovat.</p> <p>EPS -meluvallin stabiliteetin laskentatapaa ja siihen käytettävien parametrien määrittämistä varten tässä työssä on suoritettu laaja kirjallisuusselvitys EPS -lohkopintojen välisestä kitkasta ja koheesiosta, sekä niihin vaikuttavista tekijöistä. Laskennallisessa osiossa on suoritettu laskelmia erilaisilla EPS -materiaalin kitkan ja koheesion arvoilla, ja pyritty löytämään stabiliteetin määrittämisessä käytettävät parametrit ja laskentatapa, siten että tulos vastaa todellista toimintatapaa. Sisäisen stabiliteetin määrittämisessä kriittisin on oikean EPS -materiaalin valinta, jolla vallin kokoonpuristuma ei ole liian suuri, joten vallissa käytettävälle EPS -solumuoville on suoritettava puristuslujuusmitoitus. Ulkoisen stabiliteetin määrittämistavoista on koottu työn loppuun arviointitaulukko, jossa esitellään eri laskentatavat luokiteltuina niiden mielekkyyden mukaan. Laskentatavoista mielekkäimmiksi menetelmiksi valikoituivat tapauskohtaisesti ne, joissa EPS -solumuovin koheesiona c_{EPS} käytetään yksittäisen EPS -blokin leikkauslujuutta τ ($c_{EPS} = \tau$), 25 % EPS -blokin leikkauslujuudesta τ ($c_{EPS} = 0,25 \cdot \tau$) tai mallinnettaessa valli kokonaan kuormana. Nämä arvot riippuvat blokkien asettelusta, kiinnityksestä ja siitä, miten ne lukittuvat toistensa kanssa, eli kuinka yhtenäisenä massana blokit voidaan käsitellä. Käytettävän koheesio c_{EPS} arvon maksimi on kuitenkin aina puristuslujuusmitoituksen mukainen yksittäisen blokin leikkauslujuus τ.</p>			
Päivämäärä: 5.9.2011		Kieli: Suomi	Sivumäärä: 100+12
Avainsanat: Expanded Polystyrene, EPS, Meluete, Meluseinä, Meluvalli, Tuotekehitys			

AALTO UNIVERSITY SCHOOL OF ENGINEERING PO Box 12100, FI-00076 AALTO http://www.aalto.fi		ABSTRACT OF THE MASTER'S THESIS
Author: Julia Sassali		
Title: Usage potential of EPS geofoam in noise barrier construction		
Degree Programme: Structural Engineering and Building Technology		
Major/Minor: Geoengineering		
Professorship: Soil Mechanics and Foundation Engineering	Code: Rak-50	
Supervisor: Professor Leena Korkiala-Tanttu		
Instructor(s): M. Sc. (Tech) Juha Forsman		
<p>The goal of this study is to establish the suitability of the use of EPS (Expanded PolyStyrene) blocks in noise barrier embankment construction and its ability to compete with other light weight materials in this application. The study also includes examining how EPS geofoam will perform in the structure of noise barrier walls.</p> <p>A noise barrier wall utilizing EPS geofoam was designed in cooperation with material manufacturers. The EPS Noise Barrier Wall is a sandwich structure consisting of EPS geofoam and steel coating. The design can be developed further into an absorbing noise barrier wall. The process of product development, as well as the invented structures are documented in this thesis for future development.</p> <p>Part of this thesis is a cost comparison of noise barrier walls including the designed EPS Noise Barrier Wall. A similar cost comparison of noise barrier embankments is also included in the thesis.</p> <p>The loads on noise barrier embankments are minor compared to conventional embankments. Thus, the load bearing capacity of EPS geofoam used in noise barrier embankments can be reduced. This results in smaller mass density geofoam and lower quality material. The goal of this thesis is to establish a method for determining the required properties of EPS geofoam in noise barrier embankments.</p> <p>A detailed literature study was conducted to define interface friction and cohesion behavior of EPS blocks in order to obtain suitable parameters for stability analysis. In accordance with literature study it was concluded that the most critical possible failure in internal stability is excessive compression of the EPS blocks. Hence, the load bearing design must be done. In this thesis calculations are performed in order to obtain an applicable method for evaluating the external stability of the geofoam noise barrier embankment, resulting in an evaluation table of methods ranked according to suitability. The most suitable methods of evaluating the external stability of the embankment are to model the embankment as either a distributed load, or as a material with specified shear strength (cohesion). Shear strength τ of the EPS block is defined according to a load bearing design. External stability is evaluated assigning shear strength of a single block (τ) or 25 % of it ($0,25 \cdot \tau$) based on block layout and interlock pattern. In any event, value of the EPS geofoam cohesion is always lower than the EPS shear strength value determined by load bearing design.</p>		
Date: 5.9.2011	Language: Finnish	Number of pages: 100+12
Keywords: Expanded Polystyrene, EPS, Geofoam, Noise barrier, Noise barrier embankment, Noise bund, Noise barrier wall, Product development		

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Aalto -yliopiston Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan koulutusohjelmassa pohjarakennuksen- ja maamekaniikan oppituolille. Työn tilaajana on toiminut Muoviteollisuus ry, ja se on suoritettu Ramboll Finland Oy:ssä. Työn ohjausryhmään kuuluivat Tuuli Kunnas EPS-rakennuseristeteollisuudesta, Tapio Kilpeläinen ja Ville Pesonen ThermiSol Oystä, Jaan Aav Basf Oystä, Juha Forsman Ramboll Finland Oy:stä sekä Leena Korkiala-Tanttu Aalto-yliopistosta.

Haluan kiittää työn ohjaajaa DI Juha Forsmania rakentavasta ohjaamisesta. Suuret kiitokset kuuluvat myös työn valvojana toimineelle professori Leena Korkiala-Tantulle, joka omalta osaltaan myös ohjasi työtä ja antoi paljon hyviä ideoita ja korjausehdotuksia. Kiitokset kuuluvat myös kaikille ohjausryhmän jäsenille, joilta sain paljon arvokasta ja mielenkiintoista tietoa.

Haluan myös kiittää Ramboll Finland Oy:stä löytynyttä asiantuntija-apua: ins. Kari Nyrhistä, josta myös muodostui osa ohjasryhmää, DI Miikka Hakaria työn alkuun saattamisesta, DI Petteri Lainetta akustikka-asioiden ohjeistuksesta sekä koko Geosuunnittelu -yksikön väkeä kullannarvoisesta avusta.

Haluan kiittää myös Äitiä ja Ollia sekä muuta perhettäni ja ystäviäni koko opiskelujen aikaisesta tukemisesta ja ymmärtämisestä.

Espoo 5.9.2011

Julia Sassali

MERKINNÄT

DL_R	[dB]	laboratoriossa mitattava äänen eristävyysluku
DL_{RI}	[dB]	ulkona mitattava äänen heijastumisluku
DL_{SI}	[dB]	ulkona mitattava äänen eristävyysluku
DL_α	[dB]	laboratoriossa mitattava äänen absorptioluku
E_d	[kNm]	tavanomaisen lamellimenetelmän mukainen kaatavan momentin mitoitusarvo
$G_{dst;d}$	[-]	pystysuorien kaatavien voimien mitoitusarvo (rakenteen tai huonosti vettä läpäisevän maakerroksen alapintaan vaikuttavan vedenpaineen resultantti)
$G_{kj,inf}$	[-]	pysyvän kuorman j ominaisarvon alaraja
$G_{kj,sup}$	[-]	pysyvän kuorman j ominaisarvon yläaraja
$G_{stb;d}$	[-]	vakauttavien pysyvien pystysuorien kuormien mitoitusarvo (rakenteen paino)
K_{FI}	[-]	luotettavuusluokasta riippuva kerroin
L_A	[m]	seinäelementin tukipisteväli
ODF	[-]	ylimitoituskerroin
P_P	[-]	injektoidun ankkuroinnin koe(veto)kuorma soveltuvuuskokeessa
$Q_{dst;d}$	[-]	pystysuorien muuttuvien kuormien mitoitusarvo
$Q_{k,i}$	[-]	määräävän muuttuvan kuorman i ominaisarvo
R_d	[-]	Kestävyyden mitoitusarvo, tavanomaisen lamellimenetelmän vakauttavan momentin mitoitusarvo
$U_{dst;d}$	[-]	kaatavan huokosvedenpaineen mitoitusarvo
c_p	[kPa]	pohjamaan koheesio laskelmissa

c_{EPS}	[kPa]	EPS -materiaalin koheesio laskelmissa
h_e	[m]	meluesteen tehollinen korkeus
s_u	[kN/m ²]	suljettu leikkauslujuus
β	[°]	maanpinnan kaltevuus
γ	[kN/m ³]	maan tilavuuspaino
γ_c'	[kN/m ³]	tehokkaan koheesion osavarmuuskerroin
γ_{cu}	[-]	suljetun leikkauslujuuden osavarmuuskerroin
γ_{qu}	[-]	yksiaksisiaalisesta puristuskokeesta saatavan puristuslujuuden osavarmuuskerroin
$\gamma_{R,e}$	[-]	maan kestävyuden osavarmuuskerroin
$\gamma_{Q,i}$	[-]	muuttuvan kuorman i osavarmuusluku
γ_γ	[-]	maan tilavuuspainon osavarmuuskerroin
γ_ϕ'	[-]	leikkauskestävyyskulman osavarmuuskerroin
δ	[°]	pinnan kitkakulma
μ	[-]	kitkakerroin
σ_n	[kPa]	normaalijännitys
σ_{vd}	[kPa]	kevyen pengermateriaalin yläpintaan kohdistuva pystyjännityksen mitoitusarvo
σ_5	[kPa]	puristuslujuus 5 % muodonmuutoksella
σ_{10}	[kPa]	puristuslujuus 10 % muodonmuutoksella
τ	[kPa]	leikkauslujuus
ϕ	[°]	kitkakulma
ϕ_{EPS}	[°]	EPS -materiaalin kitkakulma
$\psi_{0,i}$	[-]	muuttuvan kuorman yhdistelykerroin

LYHENTEET

EPS	Expanded PolyStyrene
LVM	Liikenne- ja viestintäministeriö
NCCI7	Liikenneviraston eurokoodin soveltamisohje – Geotekninen suunnittelu
PRO 2004	Pohjarakennusohjeet 2004

SISÄLLYSLUETTELO

Alkusanat.....	4
Merkinnät	5
Lyhenteet.....	7
Sisällysluettelo.....	8
1 Johdanto.....	10
2 EPS-materiaalin ominaisuudet ja käyttökohteet.....	12
2.1 EPS -materiaalin ominaisuudet	12
2.1.1 Kevennekäyttöön tarkoitettun EPS -solumuovin ominaisuudet.....	12
2.1.2 Tilavuuspaino ja tiheys	12
2.1.3 Lämmöneristävyys.....	13
2.1.4 Kosteustekniset ominaisuudet	13
2.1.5 Palo-ominaisuudet	13
2.1.6 Lujuus	13
2.1.7 Kitkakulma ja koheesio.....	15
2.1.8 Akustiset ominaisuudet.....	16
2.1.9 Pitkäaikaiskestävyys	16
2.1.10 Käsiteltävyys	16
2.1.11 Biologiset ominaisuudet ja vaikutus ympäristöön.....	16
2.1.12 Kemiallinen kestävyys	16
2.2 Kierrätys.....	17
2.3 EPS:n tyypilliset maanrakennuskäyttökohteet keventeenä.....	18
3 Meluestetyypit	20
3.1 Melusteiden kuvaukset.....	20
3.2 Meluvalli	20
3.3 Meluseinä	21
3.4 Melukaide.....	21
3.5 Meluvallin ja –seinän yhdistelmä	22
3.6 Melumuuri.....	23
4 Melusteiden laatuvaatimukset.....	25
4.1 Sijainnin ja korkeuden asettavat vaatimukset	25
4.2 Arkkitehtoniset vaatimukset.....	26
4.3 Rakenteelliset vaatimukset.....	27
4.3.1 Yleistä	27
4.3.2 Tuulikuorma ja oma paino	27
4.3.3 Auraslumikuorma	29
4.3.4 Iskunkestävyys ja osien putoaminen	30
4.3.5 Palonarkuus	31
4.3.6 Materiaalit, päästöt ja hävittäminen.....	31
4.3.7 Muut vaatimukset	32
4.4 Akustiset vaatimukset	36
4.4.1 Akustiset ominaisuudet.....	36
4.4.2 Vaimennus.....	36
4.4.3 Eristävyys.....	37
4.4.4 Absorptio.....	39
4.4.5 Diffraktio.....	41
5 Tuotekehitysprosessin kuvaus	42
5.1 Miksi suunnitella ja rakentaa EPS -meluste?	42
5.2 Ideointi ja luonnosvaihe	42

5.3	Ideoidut rakennevaihtoehdot	43
5.4	Jatkokehitys	44
6	Ulkomaiset sovellukset	47
6.1	Patentit	47
6.1.1	Meluste solumuovista betonipinnoitteella	47
6.1.2	Meluseinä absorboivilla onteloilla	47
6.1.3	Noise D-Fence™ – EPS- Meluseinä	48
6.2	Muita ulkomaisia käyttökokemuksia	50
6.2.1	EPS -meluvallit Iso-Britanniassa	50
6.2.2	EPS –kookosseinä, Hollanti	51
6.2.3	Kokowall	52
7	Kustannusvertailu	53
7.1	Kustannusvertailuja muissa julkaisuissa	53
7.2	Meluseinät	56
7.3	Meluvallit	59
8	EPS -meluvallin mitoitus	64
8.1	Penkereen kokonaisvakavuuden mitoitus eurokoodien mukaisesti	64
8.1.1	Suosittelavat ohjeet ja määräykset	64
8.1.2	Huomioitavat tilanteet	64
8.1.3	Murtorajatilamitoitus	65
8.1.4	Käyttörajatilamitoitus	67
8.1.5	Noste	68
8.1.6	Painuma	69
8.1.7	Puristuslujuus	69
8.1.8	Liukuminen	70
8.2	Pohjarakennusohjeiden mukainen mitoitus	70
9	Laskentamalli ja parametrit	71
9.1	Kitkakulma ja koheesio	71
9.2	Laskentamallin ja parametrien valinta	75
10	EPS -meluvallin stabiliteetti	78
10.1	Sisäinen stabiliteetti	78
10.1.1	Liukupintalaskelmat	78
10.1.2	Puristuslujuus	79
10.2	Ulkoinen stabiliteetti	80
10.3	Vertailulaskelmat – Kehä 1	89
11	Johtopäätökset	94
12	Suosituksien ja jatkotutkimusehdotukset	96
	Lähdeluettelo	97
	Liiteluettelo	100

1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena on selvittää EPS -materiaalin käyttömahdollisuuksia melueterakenteissa. Melusteet jaotellaan yleensä kolmeen luokkaan: meluseinät, melukaiteet ja meluvallit. Tässä työssä on keskitytty selvittämään EPS -solumuovien soveltuvuutta meluseiniin ja meluvalleihin. Työssä myös määritettiin melumuuri - käsite, jolla tarkoitetaan seinän ja vallin välimuotoa.

Melusteita rakennetaan sekä olemassa olevien teiden viereen että uusien teiden rakentamisen yhteydessä. Rakennetuille alueille rakennettaessa tyypillinen ongelma on tilanpuute sekä lähiympäristössä olevat rajoittavat rakenteet, kuten maan alla risteilevät johdot ja putket. Tyypillisesti ensisijainen melustevaihtoehto on meluvalli, mikäli ympäristössä oleva tila riittää. Pehmeikölle rakennettaessa valli painuu, joka voi aiheuttaa vaurioita mahdollisille lähirakenteille. Vallin painumat voivat olla pohjaolosuhteista riippuen hyvin merkittäviä. Myös melulaskelmin määritetty melusteiden korkeus on pidettävä edellytetyllä tasolla, jolloin liian suuret painumat on estettävä tai vastaavasti estettä on korotettava.

EPS -solumuovia käytetään maarakentamisen sovelluksissa routaeristyksen lisäksi kevennemateriaalina, mutta tietävästi meluvalleihin sitä ei Suomessa ole sovellettu. Meluvalleissa EPS -materiaaliin kohdistuvat pienemmät kuomat kuin liikennöitävillä alueilla, jolloin sen ei tarvitse olla yhtä kestävä. Tavoitteena tässä työssä on selvittää, kuinka hyvin EPS -materiaali soveltuu käytettäväksi meluvalliin, millä tavoin meluvalliin käytettävän EPS -solumuovien vaaditut ominaisuudet voidaan määrittää, ja mitä nämä ominaisuudet ovat. Tämä tapahtui selvittämällä EPS -materiaalilla kevennetyn vallin kriittiset murtumismekanismit, ja sen, miten materiaaliominaisuudet vaikuttavat näihin mekanismeihin.

Työn on tarkoitus toimia kokonaisuutena, jonka avulla voidaan tarkastella EPS -materiaalin soveltamista melusteisiin. Työssä on ensin esitelty laajasti melusteille asetetut vaatimukset. Tämän jälkeen on esitelty jo olemassa olevat sovellukset ja verrattavat rakenteet. Työssä selvitettiin EPS -materiaalin soveltuvuutta erilaisiin meluseinärakenteisiin, ja kehitettiin näistä yhdessä valmistajien kanssa tuotantoon soveltuva EPS -meluseinätyyppi. Työhön on kuvattu tuotekehittelyn prosessin eteneminen, sekä kaikki kehittelyn alla olleet rakenteet tulevaisuuden jatkokehittelyä varten.

Työ sisältää kustannusvertailun kehitetyn EPS -meluseinän ja muista materiaaleista valmistettujen vastaavien meluseinien välillä. Samankaltainen kustannusvertailu on suoritettu myös meluvalleille.

Työssä ulkoisen stabiliteetin pettämisellä tarkoitetaan vallin sekä pohjamaan liukupintasortumaa, ja sisäisen stabiliteetin määrittämisellä vallin sisällä tapahtuvaa vauriota, joka voi olla vallin luiskien sortuminen, vallin liukuminen tai esim. vallin liiallinen kokoonpuristuminen. Meluvalliin käytettävän EPS -materiaalin vaaditut

lujuusarvot määritetään sisäisen stabiliteetin avulla. Lujuusarvojen muuttuminen vaikuttaa myös ulkoiseen stabiliteettiin. Siksi työssä on tutkittu laskelmin sopivien lujuusarvojen ja laskentatavan valintaa ulkoisen stabiliteetin määrittämisessä. Käsiteltävään tilanteeseen tulisi valita luotettavimman tuloksen antava laskentatapa ja huomioida, että vallin sisällä oleva EPS -massa ei ole homogeeninen monoliitti, vaan se koostuu erillisistä blokeista.

Stabiliteetin laskentatapa ja siihen käytettävien parametrien määrittämisestä varten tässä työssä on suoritettu laaja kirjallisuusselvitys EPS -lohkopintojen välisestä kitkasta ja koheesiosta, sekä niihin vaikuttavista tekijöistä. Laskennallisessa osiossa on suoritettu laskelmia erilaisilla EPS -materiaalin kitkan ja koheesion arvoilla, ja pyritty löytämään ulkoisen stabiliteetin määrittämisessä käytettävät parametrit ja laskentatapa, siten että tulos vastaa todellista toimintatapa. Työn lopputuloksena on arviointitaulukko, jossa esitellään eri laskentatavat ulkoisen stabiliteetin määrittämiseen luokiteltuina niiden mielekkyyden mukaan.

2 EPS-MATERIAALIN OMINAISUUDET JA KÄYTTÖKOHTEET

2.1 EPS -materiaalin ominaisuudet

2.1.1 Kevennekäyttöön tarkoitettun EPS -solumuovin ominaisuudet

EPS (Expanded PolyStyrene) on paisutettua polystyreeniä. Paisuttaminen tehdään käyttäen ponneaineena pentaania, joka valmiissa tuotteessa on korvautunut ilmalla. Valmis EPS -tuote sisältää ainoastaan ilmaa ja polystyreeniä. (EPS-rakennuseristeteollisuus 2011).

EPS -materiaalia käytetään tyypillisesti lämmöneristeenä ja teknisenä eristeenä. Materiaalia käytetään niin seinissä, katoissa kuin lattioissakin. Käyttöalueeseen kuuluu myös rakennusten sekä katujen ja pihojen routasuojaus. (RT 37790). EPS -solumuovia käytetään myös kevennemateriaalina useissa sovelluksissa, joita on esitelty kappaleessa 2.3. Taulukossa 1 on esitetty EPS -kevenneiden teknisiä ominaisuuksia suunnittelutarkoitusta varten (Liikennevirasto 2011 s.27).

Taulukko 1. Kevennekäyttöön tarkoitettun EPS -solumuovin teknisiä ominaisuuksia (Liikennevirasto 2011, s.27)

Ominaisuus	Vaihteluväli	Ominaisarvo*
Tilavuuspaino – stabiliteetti ja painuma – nostemitoitus	0,2...0,45 kN/m ³	1,0 kN/m ³ 0,2 kN/m ³
Leikkauslujuus	80...350 kPa	
Lyhytaikainen puristuslujuus σ_{10} 10 % kokoonpuristumalla	100...350 kPa	120 / 200 / 300 kPa
Lyhytaikainen puristuslujuus σ_5 5 % kokoonpuristumalla	90...300 kPa	108 / 180 / 270 kPa
Pitkäaikainen puristuslujuus $0,30 \times \sigma_{10}$	-	36 / 60 / 90 kPa **
Puristuslujuus syklisesti kuormitettuna $0,35 \times \sigma_{10}$		42 / 70 / 105 kPa
Lämmönjohtavuus	0,033...0,040 W/mK	$a_i=15$ ***
Kitkakerroin EPS-pintojen sekä EPS:n ja maan välillä	0,5	0,5
Taivutuslujuus σ_B		170 / 250 / 450 kPa
E-moduuli (kantavuusmitoitus)		10 / 16 / 24 MPa

* EPS-laadut: EPS 120 / EPS 200 / EPS 300

** Pitkäaikainen puristuslujuus

*** EPS-solumuovin vastaavuus eristävyyden kannalta (a_i) 0,7 m syvyydessä, EPS:n alla 0,15 m kuivatuskerros. Vertailumateriaalina hiekka ($a_i=1$).

2.1.2 Tilavuuspaino ja tiheys

EPS -materiaalin tilavuuspaino on pieni; kevenneenä käytettävän materiaalin tilavuuspaino vaihtelee välillä 0,2...0,45 kN/m³. Materiaalin keveyden vuoksi maarakentamisessa käytettävä EPS on aina mitoitettava nosteelle. Nostemitoituksessa

käytetään ominaisarvona vaihteluvälin minimiarvoa $0,2 \text{ kN/m}^3$. Stabiiliteetin ja painuman mitoituksessa käytetään tilavuuspainon ominaisarvoa $1,0 \text{ kN/m}^3$. (Liikennevirasto 2011, s. 27).

EPS -materiaalin tiheys on materiaalin mekaanisten ominaisuuksien määräävin tekijä. Esimerkiksi puristuslujuus, taivutuslujuus ja kimmomoduuli paranevat tiheyden kasvaessa. (RT 37790).

2.1.3 Lämmöneristävyys

Materiaalissa olevien suljettujen ilmahuokosten vuoksi EPS on erittäin hyvä eriste. Ilma pysyy paikallaan huokosissa, jolloin sen lämmönjohtavuus on alhainen. Pitkäaikainen lämmönkestävyys EPS -eristeellä on $+80 \text{ }^\circ\text{C}$. Riippuen eristelevyn kuormituksesta lyhytaikainen lämmönkestävyys vaihtelee välillä $+100\dots+130 \text{ }^\circ\text{C}$. Pitkäaikainen kylmänkestävyys on vähintään $-200 \text{ }^\circ\text{C}$. (RT 37790).

2.1.4 Kosteustekniset ominaisuudet

EPS kestää hyvin kosteutta, eikä se johda vettä kapillaarisesti. Tämä johtuu myös rakenteessa olevista suljetuista ilmahuokosista. (BASF 2006, s.510/3). Ulkopuolinen kosteus ei myöskään heikennä materiaalin lämmöneristävyys- tai lujuusominaisuuksia (RT 37790). Mikäli EPS -tuotteet ovat pitkään vesiupotuksessa EPS:n sisään tunkeutuu vettä ajasta ja olosuhteista riippuen noin 2-5 til.-% (Kilpeläinen 2011a).

2.1.5 Palo-ominaisuudet

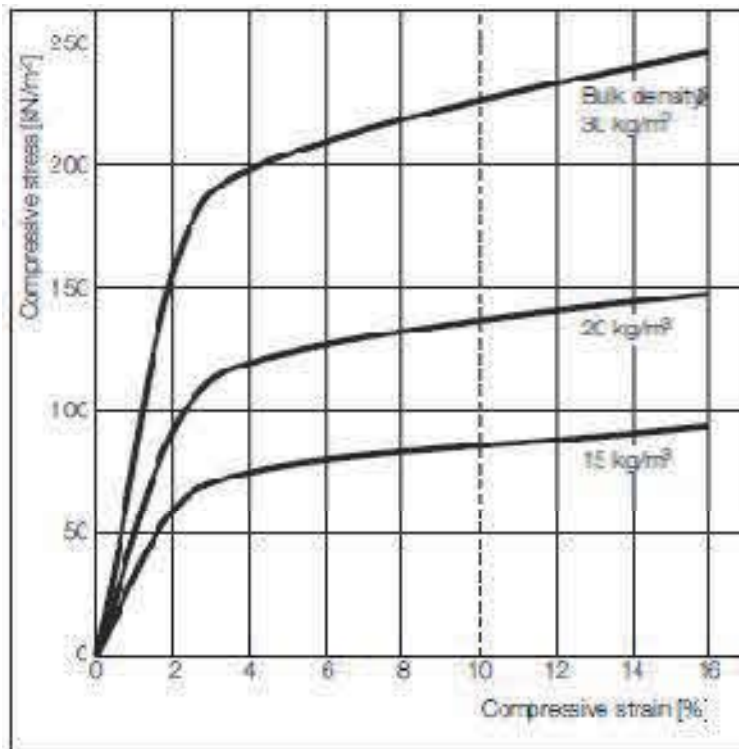
EPS on suojaamattomana palava materiaali, ja se on eristettävä sytytyslähdeistä varastoinnin, rakentamisen ja käytön aikana. Keventeenä käytettävä EPS -materiaali kuuluu europaloluokkaan F, mutta sitä voidaan valmistaa myös palosuojakemikaalia sisältävästä raaka-aineesta. Tämä ns. S-luokan EPS ei ylläpidä palamista ja se kuuluu europaloluokkaan E. (RT 37790).

Mikäli EPS palaa täydellisesti, palamistuotteina syntyy pääasiassa hiilidioksidia ja vettä. Käytännössä kuitenkin palaminen on harvoin täydellistä, jolloin palamistuotteina ovat hiilimonoksidi, savu ja noki. Palamistuotteet eivät sisällä ns. supermyrkköjä, vaan häikä on suurin vaaratekijä. (EPS-rakennuseristeteollisuus 2011).

2.1.6 Lujuus

EPS -materiaali kestää pitkäaikaista raskasta kuormitusta. Lyhytaikainen puristuslujuus määritetään kuormalla, joka saa aiheuttaa enintään 10 % kokoonpuristuman. Vastaavasti pitkäaikainen puristuslujuus määritetään 2 % kokoonpuristumalla, joka vastaa 50 vuoden suunnitteluarvoa. Kevennekäyttöön tarkoitettujen EPS -blokkien mitoituksessa käytetään myös standardin EN 826 mukaisesti testattua 5 % kokoonpuristumaa. (RT 37790).

Puristuskuorma-muodonmuutos -kuvaajassa (Kuva 1) 10 % kokoonpuristuma asettuu pysyvän muodonmuutoksen alueelle. Muodonmuutokset ovat palautuvia ~ 2 % muodonmuutokseen saakka. Tästä johtuen keventeen mitoituksessa pitkäaikaiselle kuormalle, käytetään puristuslujuuden arvoa, jolla muodonmuutokset pysyvät elastisen muodonmuutoksen alueella. Jatkuvilla kuormituskokeilla on todettu, että alle 2 % muodonmuutosta vastaavasta kuormituksesta ei aiheudu merkittävää virumaa vuosienkaan kuluessa. (BASF 2006, s.510/4-6). Kevennysrakenteet -ohjeen mukaisesti pitkäaikaisen kuormituksen ominaisarvoksi voidaan valita $0,3 \cdot \sigma_{10}$ ja materiaalin syklistä kuormitusta vastaavan kuormituksen ominaisarvoksi $0,35 \cdot \sigma_{10}$ (Liikennevirasto 2011, s.28).



Kuva 1. Puristusjännitys-muodonmuutoskuvaajat eri tiheyden omaaville EPS -materiaaleille (BASF 2006, s.510/6)

Kimmomoduuli määritetään puristuskuorma-muodonmuutos -kuvaajan elastiselta osuudelta. Kimmomoduuli riippuu luonnollisesti materiaalin tiheydestä. Kevennekäyttöön tarkoitettujen EPS -materiaalien kimmokertoimien suunnitteluvarot vaihtelevat välillä 8 MPa (EPS100)...24 MPa (EPS300) (Taulukko 2) (RT 37790).

Standardissa EN 14933 on listattu lyhytaikaista puristuslujuutta σ_{10} vastaavat taivutuslujuuden arvot. Myös taivutuslujuus ja leikkauslujuus korreloivat keskenään. Nämä lujuusarvot on annettu standardin EN 14933 liitteessä E, ja esitetty taulukossa 3.

Taulukko 2. Kevenneiden lujuusarvoja. (RT 37790)

Kevenneet					
EPS-kevenne	Puristuslujuus, kPa (EN 826)		Puristuslujuuden suunniteltu arvo, kPa (pitkäaikaisen kuormituksen sallittu suunniteltu arvo)	Taivutuslujuus, kPa (EN 12089)	Kimmokerroin, MPa (suunniteltu arvo)
	σ_{10} (10 % kokoonpuristuma)	σ_5 (5 % kokoonpuristuma)	$0,35 \times \sigma_{10}$ ($\leq 2\%$ kokoonpuristuma)	σ_b	E
EPS 100	100	90	35	150	8
EPS 120	120	108	42	170	10
EPS 150	150	135	53	200	12
EPS 200	200	180	70	250	16
EPS 250	250	225	88	350	20
EPS 300	300	270	105	450	24

Taulukko 3. EPS –materiaalin 10 % kokoonpuristumalla määritetyn puristuslujuuden, taivutuslujuuden ja leikkauslujuuden korrelaatio. (Koottu EN 14933, s.33, 40-41)

Type	Compressive stress at 10 % deformation [kPa]	Bending strength σ_b requirement [kPa]	Shear strength T correlation [kPa]
-	-	50	25
EPS 40	40	60	-
EPS 50	50	75	35
EPS 60	60	100	50
EPS 70	70	115	55
EPS 80	80	125	60
EPS 90	90	135	65
EPS 100	100	150	75
EPS 120	120	170	85
EPS 150	150	200	100
EPS 200	200	250	125
EPS 250	250	350	170
EPS 300	300	450	225
EPS 350	350	525	260
EPS 400	400	600	300
EPS 450	450	675	335
EPS 500	500	750	375

2.1.7 Kitkakulma ja koheesio

Maan leikkauslujuus koostuu kitkasta ja koheesiosta, joita käytetään geoteknisessä suunnittelussa lujuusparametreina. EPS -blokkien sisäinen leikkauslujuus voidaan tulkita koheesioksi, ja blokkien välisten saumojen leikkauslujuuden voidaan tulkita koostuvan ensisijassa pintojen välisestä kitkasta. Valittavat parametrit riippuvat kohdekohtaisista tekijöistä. Parametrien valintaa koskeva kirjallisuusselvitys ja laskelmat on esitetty luvuissa 9 ja 10.

2.1.8 Akustiset ominaisuudet

EPS -solumuovin akustiset ominaisuudet riippuvat materiaalin aineominaisuuksista, kuten tiheydestä ja materiaalin dynaamisesta jäykkyydestä. Tämän työn sovelluksissa EPS -materiaalin ääneneristävyysominaisuudet eivät ole mitoittava tekijä, eikä niitä käsitellä tässä enempää.

2.1.9 Pitkäaikaiskestävyys

UV- säteily voi muuttaa EPS -materiaalin pinnan kellertäväksi. Tämä ei kuitenkaan muuta EPS -materiaalin ominaisuuksia, joten se ei edellytä erityisiä suojaustoimenpiteitä. (RT 37790) On kuitenkin todettu, että UV -säteilyn aiheuttamat muutokset materiaalin pinnassa vaikuttavat heikentävästi EPS -materiaalin ja paikalla valetun betonin väliseen kitkaan. Pintojen välinen kitka saadaan kuitenkin palautettua poistamalla vahingoittunut pinta pesemällä. (Geofoam Research Center 2000).

2.1.10 Käsiteltävyys

EPS -materiaalin keveyden vuoksi sitä on helppo käsitellä niin kuljetuksen kuin rakentamisen aikana. Sitä voidaan myös muokata helposti työmaalla. Materiaalin käsittelyssä ei tarvita erityisiä suojavälineitä. (RT 37790).

2.1.11 Biologiset ominaisuudet ja vaikutus ympäristöön

EPS ei ole biohajoava materiaali, joten se ei mätäne tai lahoa. Se ei myöskään homehdu, eikä maaperässä olevat bakteerit vahingoita materiaalia. EPS -solumuovi ei reagoi maa-aineksen tai veden kanssa, joten siitä ei vapaudu ympäristöön haitallisia aineita. (BASF 2006, s.510/6). Materiaalina EPS on myös pölyämätöntä ja hajutonta (RT 37790).

Eläimet voivat järsiä sitä tai kaivautua sen läpi. On kuitenkin todettu, että se ei ole EPS -materiaalille yleisempää kuin muille eristysmateriaaleille (BASF 510/6, s.6).

2.1.12 Kemiallinen kestävyys

Materiaali kestää useita kemiallisia aineita hyvin. Tällaisia ovat emäkset, laimennetut hapot, saippuat ja suolat. Materiaalin kestävyys orgaanisia luottimia vastaan on kuitenkin heikompi. (EPS-rakennuseristeteollisuus 2011). Tarkemmin EPS -materiaalin kestävyyttä eri aineita vastaan on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. EPS -tuotteiden kemiallinen kestävyys (EPS-rakennuseristeteollisuus 2011).

EPS-tuotteiden kemiallinen kestävyys					
Aine	Normaali ja palo-suojattu S-laatu	Aine	Normaali ja palo-suojattu S-laatu	Aine	Normaali ja palo-suojattu S-laatu
Vesi	+	Epäorgaaniset rakennusaineet		Dieselöljy, polttoöljy	+-
Natron- ja kalilipeä	+	Kalkki	+	Parafiiniöljy	+-
Kalkkivesi	+	Sementti	+	Vaseliini	+-
Vetysuperoksidi	+	Kipsi	+	Kasvis- ja eläinrasvat sekä öljyt	+-
Saippuoliuokset	+	Hiekka	+	Alkoholit	
Laimennetut hapot		Nesteytetyt kaasut (epäorgaan.)		Metanoli	+
Suolahappo	+	Happi	+	Etanoli, sprii	+
Typpihappo	+	Typpi	+	N- ja isopropanoli	+
Rikkihappo	+	Vety	+	Sykloheksanoli	+
Etikkahappo	+	Hiilidioksidi	+	Butanoli	+
50 % fosforihappo	+	Hiilimonoksidi	+	Kookosrasva-alkoholi	-
90 % etikkahappo	+	Jalokaasut	+	Glykoli	+
90 % muurahaishappo	+	Ammoniakki	+	Glyseriini	+
Väkevöidyt hapot		Rikkidioksidi	-	Eetterit	-
Suolahappo 35 %:iin saakka	+	Nesteytetyt kaasut (orgaan.)		Esterit	-
Rikkihappo 95 %:iin saakka	+	Metaani	-	Ketonit	
Fluorivetyhappo	+	Etaani	-	Asetoni	-
Fosforihappo	+	Propaani	-	Sykloheksanoni	-
Muurahaishappo	-	Butaani	-	Halogeenihiilivedyt	-
Savuavat hapot	-	Propyleeni		Amiinit	-
Heikot hapot			-		
Hiilihappo	+	Etyleenioksidi	-	Amidit	-
Maitohappo	+	Butadieni	-	Nitriilit	-
		Alifaattiset hiilivedyt		Aromaattiset hiilivety-yhdisteet	-
Sitruunahappo	+	Metaani, etaani	-	Orgaaniset rakennusmateriaalit	
Humushappo	+	Propaani, butaani	-	Bitumi	+
Anhydritit	-	Heptaani	-	Bitumiemulsiot	+
Suolaliuokset		Kevyt ja raskas bensiini	-	Bitumiliuokset	-
Merivesi	+	Superbensiini, 10 % benzolia	-	Silikoniliuokset	+
+ = kestävä, solumuovi ei vahingoitu pitkäaikään vaikutuksen aikana		+- = osittain kestävä, solumuovi vahingoittuu pidemmän vaikutusajan jälkeen		- = kestämaton, solumuovi kutistuu nopeasti tai liukenee	

2.2 Kierrätys

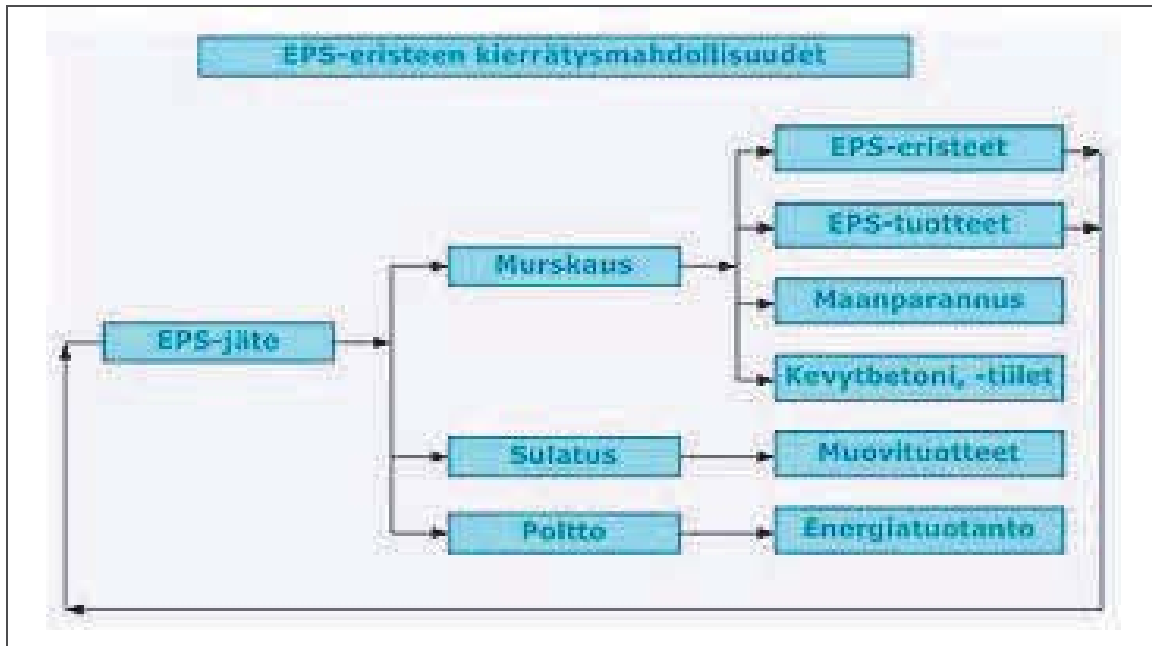
EPS koostuu öljypohjaisesta polystyreenistä ja ilmasta. Polystyreenin tilavuus lopullisesta tuotteesta on 2...5 %, jolloin loppuosa tuotteesta on ilmaa. (EPS-rakennuseristeteollisuus 2011).

EPS on täysin kierrätettävissä oleva materiaali. EPS -eristeiden raaka-aineesta 5...70 % voidaan korvata rouhitulla kierrätysraaka-aineella. Kierrätysraaka-ainetta saadaan valmistuksen yhteydessä tehtävästä levyjen leikkauksesta ja kertakäyttöisistä pakkauksista, sekä käytöstä poistetuista EPS -eristeistä. Kierrätysmateriaalin määrä tuotteessa riippuu eristeen laatuvaatimuksista. (EPS-rakennuseristeteollisuus 2011).

Rouhittua kierrätysraaka-ainetta voidaan käyttää uusio -EPS:n valmistuksen lisäksi myös sellaisenaan kevytbetonin, kevyttiilien ja muurausharkkojen valmistukseen. (EPS-

rakennuseristeteollisuus 2011). Kierrätettävän EPS:n materiaalivaatimuksena on puhtaus. Tällä hetkellä kierrätettävä EPS:ää on saatavilla vähemmän kuin mitä sille olisi käyttöä (Kilpeläinen 2011b).

Kaatopaikkajätteenä EPS on maatumatonta, eikä näin ollen aiheuta haitallisia päästöjä. EPS voidaan myös polttamalla, jolloin sen sisältämä energia saadaan hyödynnettyä. (EPS-rakennuseristeteollisuus 2011).



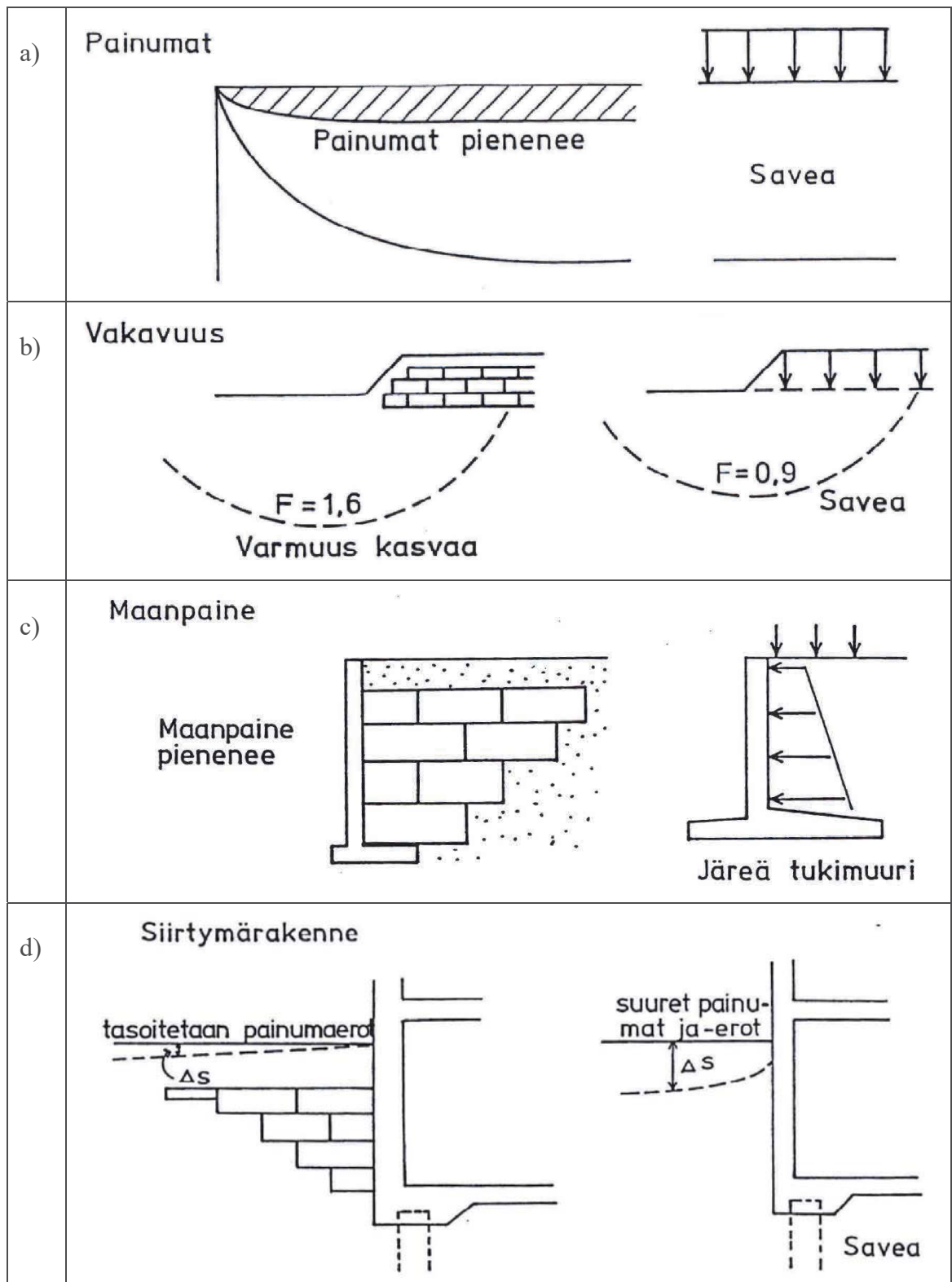
Kuva 2. EPS -materiaalin kierrätys (EPS -rakennuseristeteollisuus 2011).

2.3 EPS:n tyypilliset maanrakennuskäyttökohteet keventeenä

EPS -solumuovia voidaan käyttää rakentamisessa kevennämateriaalina lukuisissa sovelluksissa. Kevennysrakenteita käytetään tyypillisesti pienentämään painumia ja parantamaan vakavuutta pehmeän maan päälle rakennettaessa. Kevennysrakenteilla voidaan myös pienentää maanpaineesta muihin rakenteisiin aiheutuvaa kuormaa ja pohjamaan liikkeitä. (Liikennevirasto 2011, s.10).

Kevennysrakenteita voidaan käyttää tierakentamisessa tiepenkereiden, sillan tulopenkereiden ja siirtymärakenteiden toteutuksessa. Kevennystä käytetään myös putkilinjojen rakentamisessa. (Liikennevirasto 2011, s.10). Julkisilla oleskelualueilla, pihoilla ja pysäköintialueilla kevennerakentaminen on sopiva rakennustapa (Thermisol 1998, s. 7).

Kevennysrakentamista käytetään uudisrakentamisen lisäksi myös korjaus- ja täydennysrakentamisessa. Kevennysrakentaminen on nopeaa ja joustavaa, sekä se soveltuu useisiin erityyppisiin kohteisiin. (Liikennevirasto 2011, s.10). EPS -keventeitä voidaan käyttää myös työnaikaisissa rakenteissa (esim. työmaatiepenkereet, ajorampit yms.). Kuvassa 3 on esitetty keventeiden toimintatapoja.



Kuva 3. Keventeiden toimintaperiaatteet a) Pehmeikölle rakennettaessa voidaan pienentää painumia b) Penkereen painon pienentyessä varmuus sortumista vastaan kasvaa c) Rakenteisiin kohdistuva maanpaine pienenee d) Pienennetään painumaeroja siirryttäessä pohjarakentamisratkaisusta toiseen (Thermisol 1998, s.5).

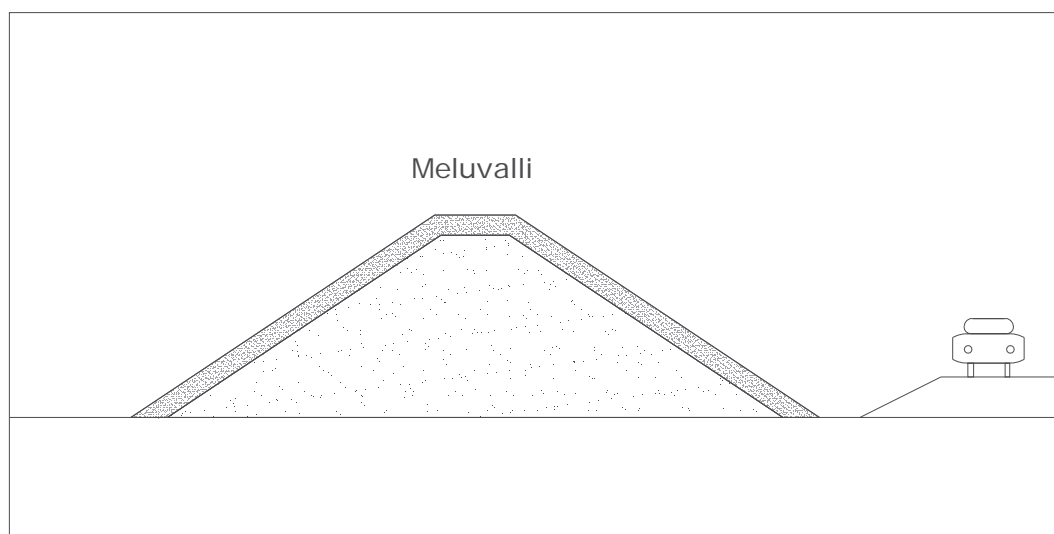
3 MELUESTETYYPIIT

3.1 Melusteiden kuvaukset

Meluntorjuntaan voidaan käyttää useaa eri meluestetyyppiä. Pääpiirteissään rakennevaihtoehtoina on meluvalli, meluseinä tai melukaide sekä näiden yhdistelmät. Tämän työn yhteydessä määriteltiin myös muuri-tyyppinen meluste, joka on meluvallin ja meluseinän välimuoto. Kivikoreja hyödyntävät meluestetyypit kuuluvat tässä työssä muuri -kategoriaan.

3.2 Meluvalli

Meluvallin käyttöä puoltaa sen halpuus muihin menetelmiin verrattuna ja sen tehokas kyky imeä ääntä. Siihen kohdistuva ilkivalta on yleensä vähäisempää, sekä ulkonäöllisesti se on useimpiin paikkoihin soveltuvin. Meluvallin ongelmakohtina on kuitenkin sen tilanvievyys, ja pehmeikölle rakennettaessa se voi aiheuttaa painumia ja sortumia. Ulkonäkökin voi olla epämiellyttävä, mikäli kasvillisuuden suunnittelun tai hoitoon ei panosteta. (Liikennevirasto 2010, s.18). Kuvassa 4 on periaatepiirros meluvallista.



Kuva 4. Meluvalli.

Meluvalliin sijoitetaan usein kaivumaita, jotka muutoin vietäisiin maaläjitysalueille. Käytettävien läjitysmaiden tyyppi riippuu meluvallin luiskakaltevuudesta. Hyvin pehmeillä mailla luiskakaltevuuden on oltava vähintään 1:6, kun taas routimattomilla moreeneilla ja soralla kaltevuudeksi voi riittää 1:1,5. Luiskakaltevuutta voidaan suurentaa käyttämällä maan lujitusta, kuten lujiteverkkoa. (Liikennevirasto 2010, s.18).

Luiskakaltevuutta määritettäessä on myös huomioitava vallin nurmettaminen ja muu kasvillisuus, sekä mahdollisuudet vallin ylläpitoon. Mikäli luiskakaltevuus on alle 1:1,5 nurmettaminen ja se hoito on mahdollista. Jyrkemmillä luiskakaltevuuksilla pintaerosion torjunta on tehtävä muilla keinoilla, kuten sidonta- tai eroosiomatoilla,

lujitteilla tai jyrkkiin luiskiin soveltuvalla kasvualustalla. Pitkällä aikavälillä meluvallin metsitys on edullisin vaihtoehto. (Liikennevirasto 2010, s.18).

Myös loivaluiskaisissa meluvalleissa on huomioitava kasvillisuuden ja kunnossapidon vaatimukset. Pensaiksi ja puiksi valitaan kestäviä lajeja, ja ne istutetaan usein tiheiksi saarekkeiksi, jolloin mm. roskat eivät näy tielle. (Liikennevirasto 2010, s.19).

Yli 7 m paksulle pehmeikölle rakennettaessa meluvallin rakentamisen kustannukset ylittävät helposti meluseinän rakentamisen kustannukset. Pehmeikölle rakennettaessa voidaan käyttää kevennemateriaaleja meluvallissa ja sen alla. Kuitenkin vallin reunoissa vaaditaan usein kitkamaan tai lujitteen käyttöä, jotta luiskakaltevuudet saadaan pidettyä riittävän jyrkkinä. Kasvillisuutta varten oleva pintakerros on kuitenkin oltava riittävän paksu. (Tielaitos 1997, s.12).

Meluvalli on turvallinen tieltä suistuvan auton kannalta. Turvallisuutta lisää myös, jos sivuojan pohja tai vallin tyvi pyöristetään. Vallin laki taas pyöristetään ulkonäkösyistä. (Liikennevirasto 2010, s.19).

3.3 Meluseinä

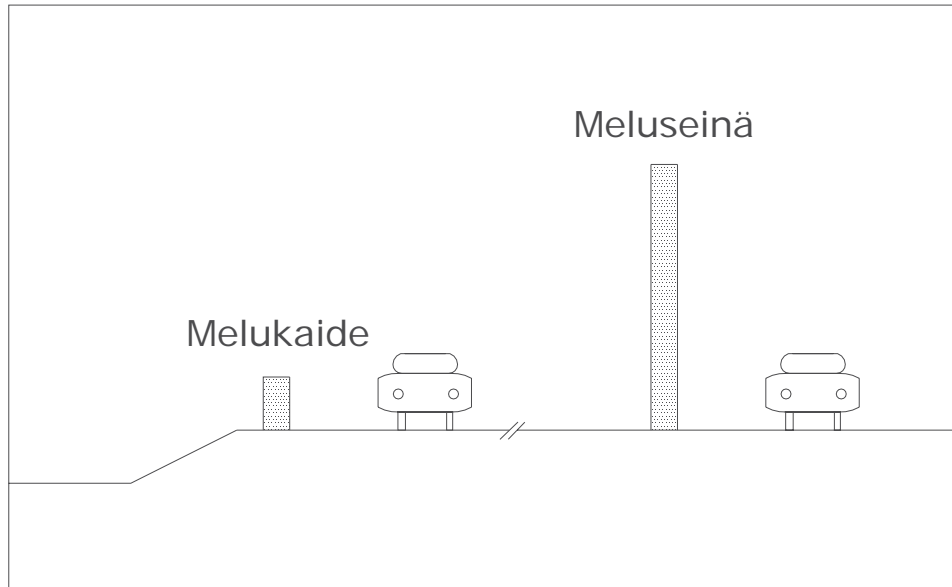
Meluseinällä tarkoitetaan suhteellisen ohutta rakennetta, jonka korkeus on yleensä vähintään 2,0 m. Seiniä käytetään tilanteissa, joissa meluvallin käyttö ei tule kyseeseen tilanpuutteen johdosta tai tarvittava melunvaimennuksen taso on merkittävä. (Liikennevirasto 2010, s.22). Periaatepiirros meluseinästä on esitetty kuvassa 5.

Mikäli meluseinää paksunnetaan ohuesta seinästä esim. 1,0 m paksuiseksi muuriksi, melunvaimennukseen saavutettava hyöty on mitätön. Tällöin ainoastaan perustusten ja maanpäällisten rakenteiden hinta kasvaa. Eristävyyden kannalta ohut rakenne on jo riittävä. (Liikennevirasto 2010, s.22).

3.4 Melukaide

Melukaiteella tarkoitetaan rakennetta, joka toimii samanaikaisesti meluesteenä ja kaiteena. Melukaide on yleensä 1,0...1,2 m korkea tien reunan tasoon nähden, jolloin melukaiteen käyttö on perusteltua pääasiassa ainoastaan penkereillä tai silloilla. Tällöin este on tarpeeksi lähellä äänilähdettä, ja tarvittava melunvaimennuskorkeus saavutetaan myös matalalla esteellä. (Liikennevirasto 2010, s.24). Melukaiteen periaatepiirros on esitetty kuvassa 5.

Tässä työssä ei melukaidetta ole tarkasteltu.

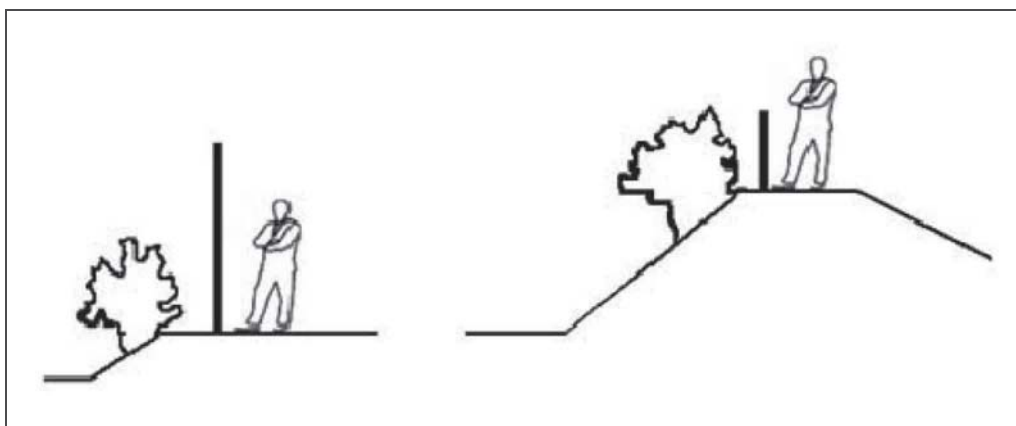


Kuva 5. Melukaide ja meluseinä.

3.5 Meluvallin ja -seinän yhdistelmä

Yhdistetyn meluvallin ja meluseinän käyttö on suositeltavaa useissa kohteissa. Ratkaisu on esteettisesti meluseinää miellyttävämpi, ja se muovautuu ympäristöönsä luontevammin. Joissain tapauksissa yhdistelmä voi olla rakentamiskustannuksiltaan halvempi kuin seinä tai valli yksittäisenä. Meluvallin kasvillisuus tuo myös suojaa meluseinälle. Tällainen ratkaisu on turvallisempi törmäävän auton kannalta kuin pelkkä meluseinä. (Liikennevirasto 2010, s.21). Kuvassa 6 on esitetty periaatepiirros meluseinän korvaavasta meluvallin ja meluseinän yhdistelmästä.

Meluvallin ja seinän yhdistelmän käyttöön päädytään usein, mikäli pelkällä meluvallilla ei saavuteta riittävää melunvaimennuskorkeutta, tai tilaa ei ole tarpeeksi riittävän korkean meluvallin rakentamiseksi (Liikennevirasto 2010, s.21).



Kuva 6. Meluseinä ja korvaava meluvallin ja -seinän yhdistelmä (Liikennevirasto 2010, s.22).

3.6 Melumuuri

Tämän työn yhteydessä määritettiin käsite melumuuri. Melumuuri on meluvallin ja meluseinän välimuoto (Kuva 7). Määrittelykriteereiksi otettiin tässä julkisivun rakenne ja rakenteen herkkyyys painumalle. Muurilla ja seinällä on seinämäinen julkisivu, ja se on joko ulkonäöllisesti tai rakenteellisesti herkkä tai kohtuullisen herkkä painumalle.

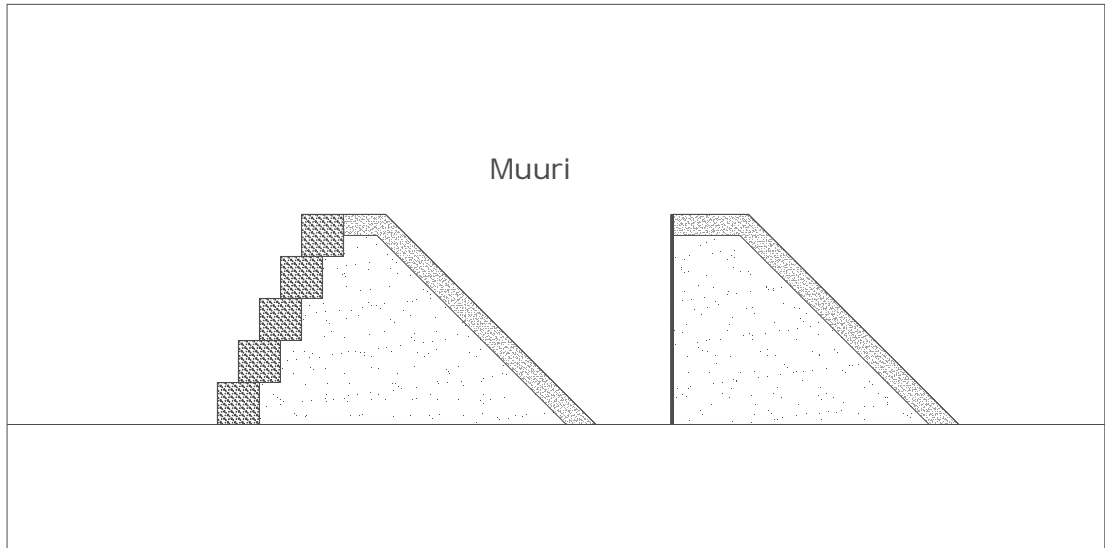
Kivikoreja tai ankkuroituja tukimuuriharkkoja voidaan käyttää vallin luiskien jyrkentämiseen. Pinnoista voidaan tehdä pystysuoria, kallistettuja tai porrastettuja. Kivikoreihin voidaan istuttaa kasvillisuutta, mutta erityisesti Suomessa kasvien viihtyvyys kivikoreissa on heikkoa kuivuuden ja pakkasen vuoksi. Kasvillisuudelle suositeltavampi paikka on kivikorien edessä. (Liikennevirasto 2010, s.20). Meluste, jossa käytetään kivikoreja / taivutettuja teräsverkkoja, luokitellaan tässä työssä muuriksi.

Meluste voidaan rakentaa myös pelkkiä kivikoreja käyttäen. Kivikoriseinä voidaan rakentaa tukemattomana, mikäli sen paksuus on vähintään 1 m. Kapeampi rakenne tuetaan pilarein. Korkeissa rakenteissa voidaan seinän alaosa leventää, jolloin seinän vakavuus paranee. (Liikennevirasto 2010, s.20).

Mikäli rakenteen paksuus on yli 0,6 m ja kiviaineksen maksimiraekoko on korkeintaan $\frac{1}{4}$ kivikorin paksuudesta, kivikorin eristävyysluvaksi DL_R voidaan olettaa 15 dB. Kun kivikorirakenteen paksuutta kasvatetaan 1 metriin, eristävyysluvaksi DL_R voidaan olettaa 20 dB. Mahdollinen suurempi eristävyysluku tai esteen absorptiokyky on todistettava standardin SFS-EN 1793 mukaisilla mittauksilla. (Liikennevirasto 2010, s.20).

Kivikorirakenteen materiaalivalinnoissa on kiinnitettävä huomiota kiviaineksen sopivaan rakeisuuteen ja verkon silmäkokoan. Kiviaines ei saa kulkeutua verkon läpi, eikä se saa jättää tyhjätillaa rakenteen sisään. Myös käyttöikävaatimukset tulee huomioida verkon materiaalivalinnoissa. (Liikennevirasto 2010, s.20).

Tilanteessa, jossa käytetään hyvin jyrkkäluiskaista meluvallia, tai tukimuurin ja meluvallin välimuotoa, tulee huomioida putoamisvaara. Putoaminen voidaan estää meluvallin päälle rakennetulla meluseinällä. Myös pienten lasten ylös kiipeäminen tulisi estää. (Liikennevirasto 2010, s.21).

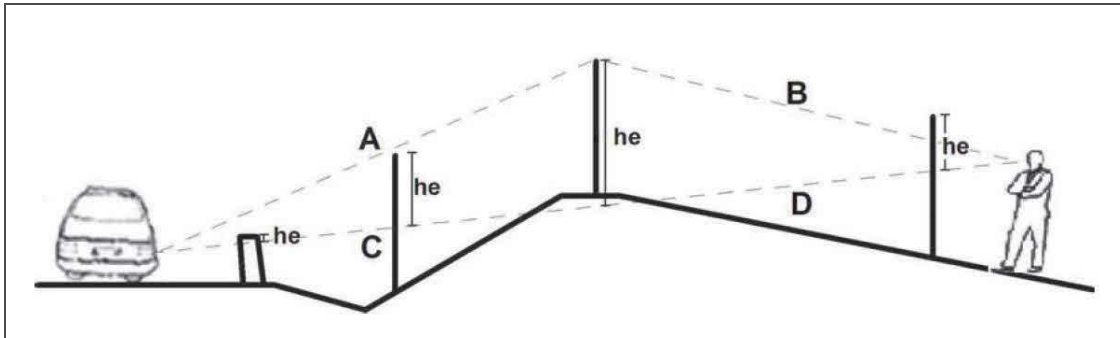


Kuva 7. Muureiksi luokiteltavia melusteitä. Vasemmanpuoleisessa vaihtoehdossa meluvallin luiska on jyrkennetty kivikorein. Oikeanpuoleiseen meluvalliin on tehty pystysuora seinämäinen julkisivu esim. EPS -blokeilla + pinnoitteella.

4 MELUESTEIDEN LAATUVAATIMUKSET

4.1 Sijainnin ja korkeuden asettavat vaatimukset

Meluesteen pituus ja korkeus määritetään melunlaskentaohjelmistolla. Optimaalisinta sijaintia ja korkeutta voidaan kuitenkin arvioida tehollisen korkeuden avulla. Tehollinen korkeus h_e määritetään melun esteen yli kulkeman matkan (A+B), ja melulähteen ja havaitsijan välisen suoran etäisyyden (C+D) erotuksena (Kuva 8).



Kuva 8. Tehollisen korkeuden määrittäminen (Liikennevirasto 2010, s.30).

Meluesteen optimaalisin sijoituspaikka akustiselta kannalta on mahdollisimman lähellä tietä tai vaihtoehtoisesti mahdollisimman lähellä suojattavaa kohdetta. Mikäli suojattava kohde on kaukana tiestä ja pienialainen, lyhyempi melueste kohteen lähellä voi olla järkevin ratkaisu. (Liikennevirasto 2010, s.28). Epätasaisessa maastossa melueste on paras sijoittaa kohtaan, jossa meluesteen tehollinen korkeus saadaan mahdollisimman suureksi. (Liikennevirasto 2010, s.30).

Akustisten tekijöiden lisäksi on huomioitava muita sijaintiin vaikuttavia asioita, kuten aurattavan lumen ja ilkvallan estämiseen käytettävien pensaiden vaatima tila, johtojen ja valaisinpylväiden sijainti, viereisten rakennusten ja kevyenliikenteen väylän sijainti. Liikennemerkkien sijoittelu ja suistumisonnettomuuksien ehkäisyn asettamat etäisyysvaatimukset tiestä meluesteeseen vaikuttavat myös meluesteen sijaintiin. Suunnittelussa on huomioitava myös tieltä näkyvä maisema, ja olemassa oleva kasvillisuus. Aukiolta meluesteen viereen tuulen mukana tulevan kinostuvan lumen vaatima tila tulee huomioida, tai mahdollisesti kinostaa aukiolta tuleva lumi pensaiden avulla. Epävakaita rinteitä ja luiskia, herkästi painuvia pehmeiköitä tai painuvia täyttöalueita on suositeltavaa välttää perustamiskustannusten rajoittamiseksi. (Liikennevirasto 2010, s.40).

Estettä voidaan käyttää samalla myös muuhun käyttöön kuin meluntorjuntaan. Esimerkiksi meluvalli voi samaan aikaan toimia liukumäkenä asutuksen puolelle tai meluseinään voidaan liittää ulkoiluvälineitä. (Liikennevirasto 2010, s.40).

Meluesteen saavutettavuus kunnossapitoa varten on varmistettava. Mikäli sijainti on hankala, on meluesteen materiaali- ja rakennevalinnat tehtävä siten, että ne eivät tarvitse

jatkuvaa ylläpitoa. Huollossa ja korjauksessa tarvittava työajoneuvolle tulee olla sijoituspaikkoja vähintään 100 metrin välein. (Liikennevirasto 2010, s.40).

4.2 Arkkitehtoniset vaatimukset

Melusteiden suunnittelussa meluntorjunnan lisäksi ympäristö on huomioitava myös esteettiseltä kannalta. Suunnittelussa tarkastellaan ympäröivää tie- ja kaupunkimiljöötä ja meluste pyritään mukauttamaan maisemaan mahdollisimman hyvin. Aukkaat huomioidaan pienimuotoisella suunnittelulla. Myös monotonisuuden välttäminen sekä oikeat materiaalivalinnat rasiusten kannalta ovat arkkitehtisuunnittelun oleellisia tavoitteita. (Ortia 1995, s.6).

Siltapaikkaluokitusohjeen mukaan ympäristö voidaan jakaa neljään arvoluokkaan, jonka perusteella määritetään silloille asetettavat esteettiset vaatimukset. On suositeltavaa soveltaa kyseistä arvoluokitusta myös melusteiden sovittamisessa ympäristöön ja kaupunkikuvaan. (Liikennevirasto 2010, s.44). Siltapaikkaluokitusohjeen mukaiset ympäristön arvoluokat Tien melusteiden suunnittelu -ohjeen mukaisesti on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Ympäristön arvoluokitus. (muk. Liikennevirasto 2010, s. 45).

Luokka	Kuvaus
I Erittäin vaativa	Valtakunnallisesti arvokkaat ympäristökohteet, kulttuuriympäristöt tai merkittävät liikenneväylät
II Vaativa	Seudullisesti tai paikallisesti arvokkaat ympäristökohteet, kulttuuriympäristöt tai liikenneväylät. Merkittävät taajamakohteet.
III Huomattava	Vilkkaita liikennekohteita, taajamien reunavyöhykkeet
IV Tavanomainen	Taajamien ulkopuolelle sijoittuvat tavanomaiset maisemat

Melustevaihtoehtoista meluvalli on yleensä ensisijainen. Kuitenkin tilanpuutteen vuoksi taajamakeskustoissa ja ahtaissa tiloissa päädytäänkin usein meluseinän käyttöön. Yhdistetty meluvalli ja -aita sopii hyvin taajamien reunavyöhykkeelle. (Liikennevirasto 2010, s.46).

Arkkitehtisuunnittelun yhteydessä on kiinnitettävä huomiota myös melusteiden rakenteellisten ja akustisten laatuvaatimusten täyttymiseen. Ilkivaltaongelmien estämiseen ja melusteiden kunnossapitomahdollisuuksiin keskitytään jo arkkitehtisuunnittelun yhteydessä. Arkkitehtisuunnittelun materiaalivalinnoissa pyritään noudattamaan kestävä kehityksen periaatetta. (Ortia 2011).

Arkkitehtisuunnittelussa on hyvä keskittyä seinien näkyvään verhoiluun ja toteuttaa rakenneratkaisuissa jo hyväksi koettuja ratkaisuja. Verhoiluosat tulee myös voida irrottaa. Materiaalien valinnassa ja rakenneosien suunnittelussa on huomioitava niiden saatavuus koko suunnittelukäyttöänsä ajaksi. Näin ollen on suositeltavaa, että melusteisiin suunnitellaan käytettäväksi yleisesti käytettyjä materiaaleja ja osia. (Liikennevirasto 2010, s.49).

Melusteiden ulkonäölle asetetut laatuvaatimukset selviävät suunnitelmapiirustuksista. Myös käytettävät materiaalit, sekä pintojen muodot ja värit määritellään suunnitelmassa. Näiden lisäksi tarvitaan täydentäviä laatuvaatimuksia, ennakkotarkastuksia sekä arvonmuutos- ja hylkäysperusteita. Arkkitehtisuunnitelmien tulee olla yksiselitteiset, ja ulkonäön osalta ne sitovat urakoitsijaa. Urakoitsija voi kuitenkin käyttää omia innovaatioitaan rakentamisessa, mikäli ne eivät vaikuta ulkonäköön. (Liikennevirasto 2010, s.49-50).

Läpinäkyviä melusteita käytetään paikoissa, joissa näkymän säilyminen ympäristöön on erityisen tärkeää tai kun yhtenäiseen meluseinään halutaan vaihtelua. Läpinäkyvien esteiden käyttöä kuitenkin rajoittaa niiden herkkyys ilkeivallalle sekä niiden ylläpidon vaikeus. (Liikennevirasto 2010, s.46).

4.3 Rakenteelliset vaatimukset

4.3.1 Yleistä

Teiden melusteiden suunnittelussa sovelletaan Liikenneviraston ohjetta Tien melusteiden suunnittelu (2010). Ohje perustuu perinteisiin rakennusmääräyksiin, sekä EN -standardeihin tärkeimmissä turvallisuuteen ja terveyteen liittyvissä asioissa. Pääasiassa ohjeessa listatut melusteiden rakenteelliset laatuvaatimukset perustuvat standardiin SFS-EN 1794 (Teiden melusteet. Muut kuin akustiset ominaisuudet).

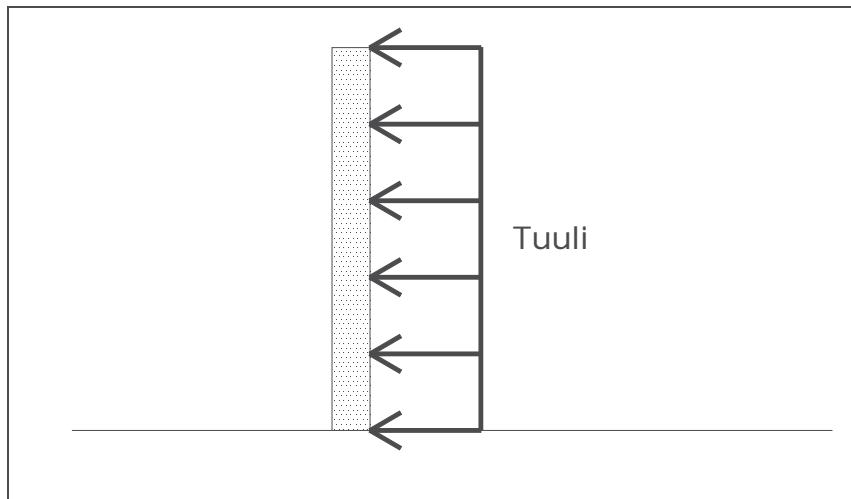
Rakenteelliset laatuvaatimukset on listattu tähän 'Tien melusteiden suunnittelu' -ohjetta mukailleen. Tiedot kerättiin tuotekehityksen lähtötiedoiksi, jotta tuotekehityksessä osattiin ottaa huomioon melusteiden rakenteelliset vaatimukset riittävässä laajuudessa.

4.3.2 Tuulikuorma ja oma paino

Tuulikuorman laskemiseen käytetään 'Tien melusteiden suunnittelu' -julkaisun (2010) mukaan standardin SFS-EN 1991-1-4 mukaisesti tuulen modifioimatonta perusarvoa 21 m/s.

'Tien melusteiden suunnittelu' -julkaisussa (2010) on esitetty ennalta määritettyjä tasaisen tuulenpaineen ominaisarvoja, joita tuulikuormalle voidaan käyttää maastoluokasta riippuen, mikäli halutaan välttää tarkemmat laskelmat. Arvoja voidaan käyttää seinälle, jonka korkeus maanpinnasta on enintään 3,0 m, ja se on korkeintaan 2,0 m korkuisen vallin tai penkereen päällä (Kuva 9). Arvot ovat:

- Maastoluokassa II (Taajamien ulkopuolisilla metsättömillä alueilla) 0,65 kN/m²
- Maastoluokassa I (Avoimella paikalla, kuten laajoilla peltoaukeilla ja järvien rannoilla) 0,8 kN/m²
- Maastoluokassa 0 (Avoimen meren rannikolla) 1,0 kN/m²



Kuva 9. Enintään 3 m korkealle melusteelle voidaan käyttää maastoluokkien perusteella määntyvää tuulikuormaa, jolloin vältetään tarkemmilta laskelmilta.

Meluesteen päissä tuulikuormana käytetään kaksinkertaista arvoa. Päätyosaksi katsotaan alue, joka ulottuu 3 kertaa seinän korkeuden etäisyydelle. On myös huomioitava, että isosta ajoneuvosta, kuten kuorma- tai linja-autosta, voi aiheutua tuulen kanssa eriaikainen paine meluseinään. Paineen tai imun suuruus on $0,8 \text{ kN/m}^2$ alle 3 m päässä melusteestä nopeudella 100 km/h ajavalla autolla. (Liikennevirasto 2010, s.64). Silloille oleville melusteille käytetään suurempia tuulikuorman arvoja. Arvot on kuvattu 'Tien melusteiden suunnittelu' -ohjeessa (2010).

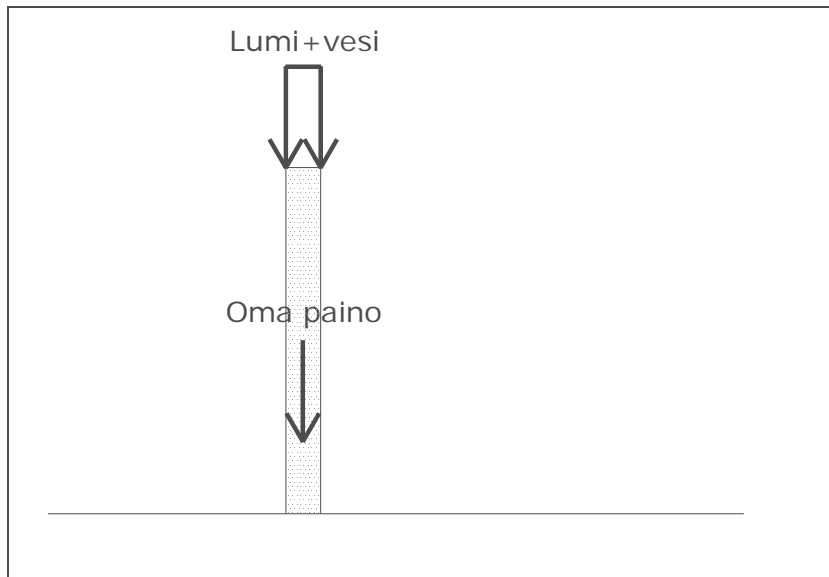
'Tien melusteiden suunnittelu' -julkaisussa viitatussa standardissa SFS-EN 1794-1:2009 (tai 2010) liitteessä A on annettu raja-arvot tuulikuorman aiheuttamalle meluesteen tukipilarin vaakataipumalle käyttörajatilassa meluseinän korkeuden funktiona. Myös seinäelementin vaakataipumalle on vastaavasti annettu käyttörajatilassa maksimiarvo tukipistevälin L_A funktiona. Perustusten siirtymistä tai kiertymistä ei huomioida em. taipumarajoja käytettäessä. (Liikennevirasto 2010, s.65).

Standardin SFS-EN 1794-1 mukaisesti murtorajatilassa laskettaessa käytetään mitoituskuormana arvoa, joka saadaan kun tuulikuorma kerrotaan kuorman osavarmuusluvulla 1,5. Tällöin kuorman aiheuttama pysyvä siirtymä on oltava pilarissa ja seinärakenteessa alle $h/300$ ja alle $L_A/500$. Millään mitoituskuormalla ei saa tapahtua vaurioita tai seinärakenteen irtoamista pilarista. Kiinnikkeiden suunnittelussa käytetään pystysuorissa seinissä mitoituskuormana tuulikuorman 1,5-kertaista arvoa, ja pystysuunnasta poikkeavissa seinissä 1,75-kertaista arvoa. Myös oma paino ja lumikuorma yhdistetään tuulikuormaan, mikäli mitoittettava seinä ei ole täysin pystysuora. Omalle painolle ja lumikuormalle käytetään osavarmuuslukua 1,35. Näiden kuormien yhdistelmällä kuormituksen aikaisen siirtymän on oltava alle $L_A/300$. (Liikennevirasto 2010, s.65).

Standardin EN 1794-1 liitteen B mukaan omasta painosta ja meluesteen seinäelementtiin kertyvästä veden ja lumen painosta aiheutuvasta kiertymisestä johtuva siirtymä saa olla enintään elementin korkeus/50 ja pystysuuntainen taipuma enintään elementin pituus/400. (Liikennevirasto 2010, s.65).

Meluestetuotteen CE -merkissä ilmoitetaan mm. elementin märkápaino, alentunut märkápaino ja kuivapaino. Näiden määritelmät on esitetty standardissa SFS-EN 1794-1. CE -merkissä ilmoitetaan myös tuulen paine, jolla elementti kestää vaatimukset sekä pilareiden momenttikestävyys. (Liikennevirasto 2010, s.65).

Pilarit mitoitetaan kantamaan seinäelementtien alentunut märkápaino 1,5-kertaisena ja kiinnikkeet 1,85-kertaisena. Kertyvän veden paino huomioidaan myös paikallisesti suunniteltavissa seinärakenteissa, vaikka testaamista ei vaaditakaan (Kuva 10). (Liikennevirasto 2010, s.65).



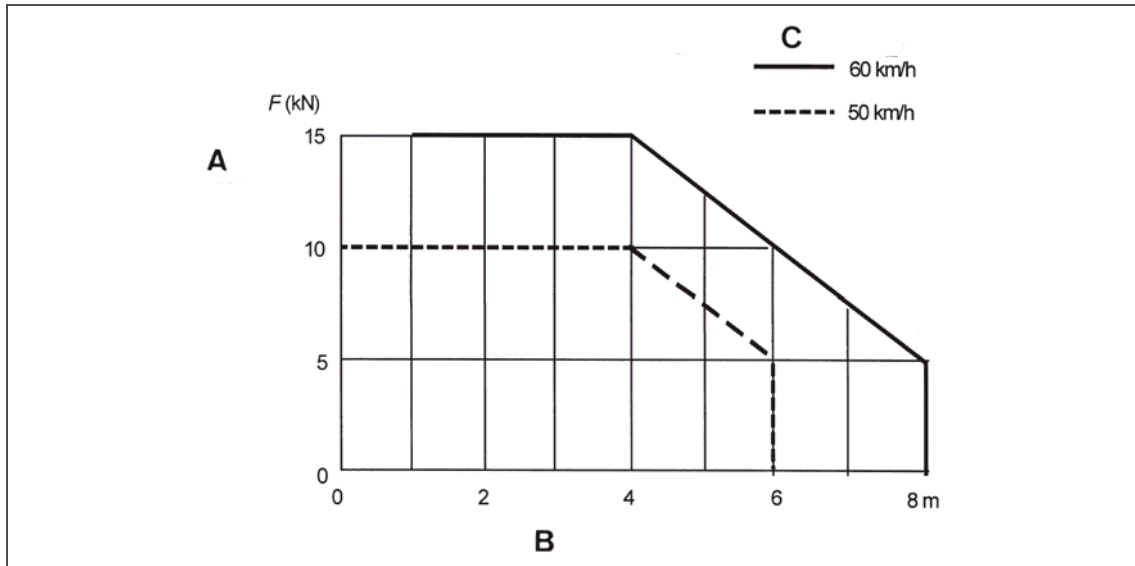
Kuva 10. Melusteeseen kertyvän lumen ja veden paino huomioidaan meluesteen oman painon lisäksi.

4.3.3 Auraslumikuorma

Tien melusteiden suunnittelu -ohjeen (2010) mukaan auraslumikuorman määrittämisessä käytetään standardia SFS-EN 1794-1. Meluesteen sijaitessa alle 7 m päässä tiestä voi auraslumikuorma olla mitoittavampi kuin tuulikuorma. Suuremmilla etäisyyksillä tuulikuorma on todennäköisesti auraslumikuormaa suurempi. Standardissa on määritelty käytettävien auraslumikuormien suuruudet aurasnopeuden mukaan

- 15 kN, kun aurasnopeus 60 km/h,
- 10 kN, kun aurasnopeus 50 km/h.

Aurasnopeutta 60 km/h käytetään vapaassa maastossa ja aurasnopeutta 50 km/h taajamien sisääntuloteilla. Etäisyys on edellä mainituissa tapauksissa 1..4 m tien reunasta. Mikäli etäisyyttä tien reunasta kasvatetaan, kuormat pienenevät 2,5 kN metriä kohden (Kuva 11). Jos etäisyys on alle 1 m, mitoitus tehdään tapauskohtaisesti. Kuorma kohdistuu 2,0 m x 2,0 m alueelle, jonka keskikohta on korkeintaan 1,5 m tien pinnasta (Kuva 12). Epäedullisin sijainti on mitoittavin. Mitoituksessa auraslumikuorma ja tuulikuorma eivät ole samanaikaisia. (Liikennevirasto 2010, s.66).

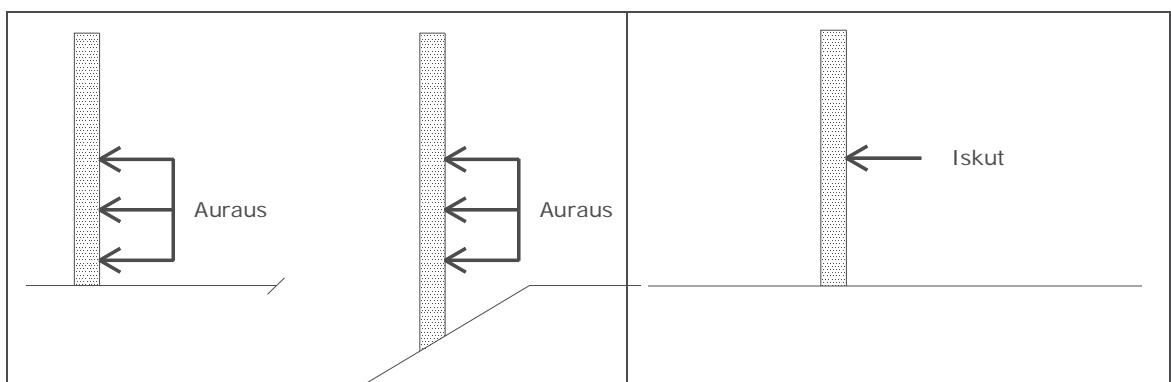


Kuva 11. Aurauksesta melusteeseen aiheutuva dynaaminen kuormitus (A) aurattavan alueen reunan etäisyyden (B) ja aurausnopeuden (C) funktiona. (SFS-EN 1794-1, s.24).

Tien melusteen suunnittelu -julkaisun (2010) perusteella aurauskuorma jätetään huomioimatta

- kevyen liikenteen väylillä
- 50 m ennen väistämisvelvollista liittymää/kiertoliittymää
- katumaisilla väylillä taajamien sisällä.

Aurauskuormaa käytetään ainoastaan murtorajatilatarkasteluissa. Rakenteisiin ei saa aiheutua vaurioita mitoituskuormalla, joka saadaan kertomalla kuorma osavarmuusluvulla 1,5. Aurauskuorma huomioidaan myös rimoituksen suunnittelussa, mikäli aurauskuorma on yli 7 kN/m^2 . (Liikennevirasto 2010, s.66).



Kuva 12. Auraislumikuorman kohdistuminen meluseinään.

Kuva 13. Meluseinän on täytettävä iskunkestävyysvaatimukset.

4.3.4 Iskunkestävyys ja osien putoaminen

Tien melusteiden suunnittelu -ohjeen (2010) mukaisesti standardin SFS-EN 1794-1 liitteen C mukaan pistemäinen 30 J isku ei saa aiheuttaa pientä lommoa tai halkeamaa suurempaa vauriota. Iskua voidaan verrata aurauksen yhteydessä lentävän jääpalan tai

lapsen heittämän kiven voimaan. Standardissa on esitetty käytettävä laboratoriotesti. Tämä ei kuitenkaan huomioi kestävyyttä ilkivaltaa vastaan. Paikoilla, joissa melusteeseen voi kohdistua rajua ilkivaltaa, on melusteiden kestävä kyseisen standardin SFS-EN 1794-2 liitteen B mukainen testi, ja saavutettava luokka on 3, 5 tai 6. Tällöin 0,5 kJ iskuenergialla ei irtoa yhtään osia ja 6,0 kJ iskuenergialla ainoastaan vaarattomia osia. Materiaaleina 20 mm akryylilevyn ja vähintään 8 mm polykarbonaattilevyn katsotaan täyttävän vaatimuksen testaamatta. (Liikennevirasto 2010, s.72).

Suomessa standardin SFS-EN 1794-1 liitteen C mukaisen testin sijasta voidaan melusteen iskunkestävyys todeta pudottamalla terästanko melusteen tai yksittäisen elementin keskelle. 'Tien melusteiden suunnittelu' -ohjeessa (2010) testi on kuvattu yksityiskohtaisemmin., Iskukoetta ei tarvitse suorittaa, mikäli meluseinä rakennetaan normaaleista rakennustuotteista. InfraRYL:ssä on annettu vähimmäisainepaksuudet metallilevyille ja lasille, joita on kuitenkin noudatettava. (Liikennevirasto 2010, s.72).

Silloilla sijaitsevia melusteitä koskevat vaatimukset on esitetty 'Tien melusteiden suunnittelu' -ohjeessa, sekä siinä viitatussa standardissa SFS-EN 1974.

4.3.5 Palonarkuus

Herkästi syttyvien materiaalien käyttö on kielletty melusteissa. Tällaisia on esimerkiksi muoviverkko tai -kalvo, joka on osittain tai kokonaan näkyvässä ja pystytään sytyttämään tulitikulla tai joka syttyisi ruohikkopalosta. Myös puu- tai muovisäleikköä ei sallita, mikäli säleen paksuus on alle 30 mm ja samansuuntaisten säleiden välimatka on alle 50 mm. (Liikennevirasto 2010, s.70).

Melusteessa on oltava minimissään 8,0 m pituinen palamaton osuus, mikäli meluseinä on jatkuva yli 1 km matkalla. Palamaton osuus vaaditaan myös, jos seinä yhdistää kahdella eri kiinteistöllä olevat rakennukset toisiinsa. Palamaton meluste voi olla joko betoninen tai teräksinen meluseinä, jossa voi olla korkeintaan 20 puista pystyrimaa 8,0 m matkalla tai metallinen meluseinä, jossa on korkeintaan 0,7 mm paksuinen hitaasti palava muovipinnoite. (Liikennevirasto 2010, s.70).

Melusteessa käytettävä materiaali voidaan osoittaa vaikeasti syttyväksi palotestillä SFS-EN 1794-2 liitteen A mukaisesti. Testissä melusteen vieressä poltetaan korillinen lastuja, jolloin tilanne vastaa heinikko- tai pensaikkopaloa. (Liikennevirasto 2010, s.70).

4.3.6 Materiaalit, päästöt ja hävittäminen

'Tien melusteiden suunnittelu' -julkaisun (2010) mukaan melustetuotteissa käytetyt materiaalit on vaadittaessa ilmoitettava standardin SFS-EN 1794-2 liitteen C mukaisesti.

Synteettisten materiaalien kuvaamiseen suositellaan käytettäväksi yleisiä materiaalinimikkeitä tavaramerkkien sijasta. Myös sellaiset fyysiset tai kemialliset olosuhteet on ilmoitettava, joissa ympäristöön voi vapautua haitallisia aineita. (SFS-EN 1794-2:2003, s.15). Tällaisia ovat esimerkiksi palamisen yhteydessä vapautuvat myrkylliset kaasut.

Standardin SFS-EN 1794-2 mukaan myös osittain tai kokonaan kierrätettyjen materiaalien prosentuaaliset osuudet on ilmoitettava. Myös meluesteen uusiokäyttömahdollisuudet ja niiden rajoitteet on pyydettäessä ilmoitettava.

4.3.7 Muut vaatimukset

Ajoneuvon törmäys

Melukaiteiden osalta törmäyskestävyys määritetään käyttäen standardeja SFS-EN 1317-5 ja SFS-EN 1794-2. Vaadittu standardin 1317-5 mukainen törmäyskestävyysluokka sekä tarvittava tila kaiteen takana esteiden kohdalla ja penkereen reunassa taas määritetään kaiteita koskevilla ohjeilla. (Liikennevirasto 2010, s.24). Meluseinän alaosa suunnitellaan kuten jäykkä betonikaide, mikäli meluseinän tulee toimia kaidetta vastaavalla tavalla (Liikennevirasto 2010, s.67).

On mahdollista myös vaatia luokkaa, jossa auto saa mennä törmäyksessä meluesteen läpi, mutta läpiajon on kuitenkin oltava turvallinen autossa oleville. Tällöin meluseinätuotteen turvallisuus on osoitettava törmäyskokeella. Törmäyksessä vaarallisia ovat jäykät pilarit, mikäli seinäelementit antavat periksi. Esimerkki turvallisesta rakenteesta on ilman pilareita rakennettu paaluaita, joka rakentuu maahan pystytetyistä hoikista puutolpista tai muoviputkista. (Liikennevirasto 2010, s.67).

Ilkivalta

Melusteisiin kohdistuu huomattavan paljon ilkivaltaa, pääasiassa töhrimistä ja rikkomista. Ilkivaltaa tapahtuu eniten koulujen, bussipysäkkien ja asemien läheisyydessä. Kohdat, jotka ovat useiden ihmisten näkyvissä, ovat kaikkein alttiimpia ilkivallalle. (Liikennevirasto 2010, s.41).

Töhrimisen vaikeuttamiseen käytetään tyypillisesti kasvillisuutta, joka vaikeuttaa pääsyn melusteelle tai estää töhryjen näkyvyyden. Rakenteet ja materiaalit valitaan siten, että ne on puhdistettavissa helposti, ja tulleet töhryt puhdistetaan tai niiden päälle maalataan nopeasti. Pintamateriaaleiksi voidaan myös valita uritettuja tai ritilämäisiä pintoja. Hyvin yleinen tapa on myös sijoittaa verkko tai ritilä meluesteen eteen. (Liikennevirasto 2010, s.41).

Liikennealueelta poistuminen erikois- ja hätätilanteessa

Tiealueelta on taattava poispääsy myös tilanteessa, kun tietä reunustaa jatkuva korkea meluseinä, valli, tukimuuri tai siltojen kaiteet. Mikäli moottoritieellä edellä mainittuja esteitä on yhtenäisesti yli 2 km matkalla, on sijoitettava poistumisovi yhden kilometrin

välein. Muilla teillä edellä mainittua sääntöä noudatetaan, mikäli poistuminen on estynyt vastaavan tyyppisten melusteiden vuoksi kummallakin puolella tietä. (Liikennevirasto 2010, s.67).

Oven tai aukon vähimmäismitat on esitetty standardissa SFS-EN 1794-2 liitteessä D. On suositeltavaa selvittää myös pelastusviranomaisten vaatimukset aukkojen koolle ja etäisyydelle toisistaan erityisesti pitkiä melusteita suunniteltaessa. Melusteeseen sijoitetun oven aukeamissuunta on liikennealueelta pois päin, ja sen tulee olla avattava ainoastaan liikennealueen puolelta ja sulkeutua itsestään. Oven on oltava riittävän tiivis, ettei melusteen ensisijainen tarkoitus heikenny. On kiinnitettävä huomiota myös oven toimintavarmuuteen ja mekanismin ylläpidon helpouteen. (Liikennevirasto 2010, s.67).

Pilarien sijaintitarkkuus

InraRYL:ssä on annettu pilarien sijaintipoikkeamien enimmäisarvot. Kuitenkin em. poikkeamien soveltuvuus on aina arvioitava suunnitelmakohtaisesti. Tien melusteiden suunnittelu -ohjeessa on määritetty tapaukset, jolloin on valittava oletusarvosta eroava poikkeamaraja. (Liikennevirasto 2010, s.67).

Perustusten laatuvaatimukset

Perustusten vaadittu sijaintitarkkuus määrittyy pilareiden sijainnin mukaan eli perustusten sallittu poikkeama määritellään siten, että pilarit voidaan asentaa oikeaan sijaintiin. Perustuksille sallitut sekä pysyvät että kuormituksen aikaiset siirtymät määrittyvät perustamistavan mukaan. Kuormina käytetään omaa painoa ja tuulikuormaa tai aerauskuormaa, riippuen kumpi on mitoittavampi. Perustusten mitoitusmenettelyt, ja niihin tien melusteiden perustuksien suunnittelussa tehtävät poikkeukset on esitetty taulukossa 6. (Liikennevirasto 2010, s.68).

Perustukset suunnitellaan siten, että pysyvät painumaerot eivät aiheuta rakenteelle vaurioita, tai heikennä ulkonäkää, eristävyyttä tai lujuutta. 'Tien melusteiden suunnittelu' -julkaisussa on annettu raja-arvoja painumaeroille sekä pilareiden sivusiirtymille rakenteesta riippuen. Kyseisiä painumaeroja käytetään laskennallisessa mitoituksessa painuman enimmäisarvona, mikäli painumaerolaskentaan ei ole riittävästi perusteita. (Liikennevirasto 2010, s.69).

Meluvallien suunnittelun yhteydessä ennustetaan vallin alustan ja laen painuma. Vallin rakentamisen jälkeisen tiivistymän oletetaan olevan 10...20 % vallin korkeudesta materiaalista riippuen. Tämä huomioidaan rakentamisessa niin, että vallin laki rakennetaan painuman verran korkeammaksi, kuin melulaskelmien vaatima korkeus. Mikäli meluvallin päälle rakennetaan meluseinä, määräytyy sallittu painuma seinän perustamistavan mukaan. (Liikennevirasto 2010, s.69).

Taulukko 6. Meluesteen perustusten mitoitusmenettelyt. Huomioitavaa -sarakkeessa on esitetty mitoitusmenettelyyn tehtävät poikkeukset. (Liikennevirasto 2010, s.68).

Seinän pilarin perustamistapa	Mitoitusmenettely	Huomioitavaa
<ul style="list-style-type: none"> • Yksi paalu • Pilarimainen perustus 	Ratahallintokeskuksen julkaisu B11 Rautateiden melusteet (2004)	Maanteillä sallittu kokonaissiirtymä meluesteen pilarin yläpäässä L/60, mutta muutoin enintään 75 mm.
<ul style="list-style-type: none"> • Maanvarainen laatta • Anturaperustus 	Tiehallinnon ohje Melusteperustukset (1994)	Laatan pidempää sivua voidaan lyhentää 10 % ja lyhempää 100 mm.
	Tiehallinnon ohje Sillan geotekniset mitoitusperusteet (2007)	Anturaperustuksen kantavuuden määrittämiseen käytetään osavarmuuslukumenetelmää. Anturaperustuksen kaatumis- ja liukumisvarmuuden määrittämiseen käytetään kokonaisvarmuuslukumenetelmää ($F \geq 1,5$).
<ul style="list-style-type: none"> • Paalupari • Paalutettu laatta 	Tiehallinnon ohje Melusteperustukset (1994)	
	Yleisten paalutusohjeiden mukaan, niin että paaluille ei tule vetoa.	Noudatetaan Ratahallintokeskuksen julkaisussa B11 Rautateiden melusteet (2004) esitettyjä siirtymärajoja.

Meluesteen perustusten suunnittelukestoikäenä käytetään 50 vuotta, jonka ajan perustusten on kestävä suunnittelukriteereiden mukaisesti. Mitoituksessa huomioidaan vanhenemisesta johtuva seinämän ohentuminen ja lujuuden menetys. (Liikennevirasto 2010, s.69).

Perustusten suunnittelulujuus- ja rakenneluokka sekä rasitusluokka on esitetty Tien melusteiden suunnittelu –ohjeessa. Perustusten materiaalitekniset vaatimukset on esitetty InfraRYL2006:ssä. (Liikennevirasto 2010, s.69).

Muoviverhoukset

Melusteiden verhoukseen voidaan käyttää ulkokäyttöön tarkoitettua muovia. Vähintään seuraavien verhouksmateriaalia koskevien vaatimusten on täyttyttävä:

- PE-HD (high density polyeteeni), PE-LD (low density polyeteeni) tai PP (polypropeeni) ovat raaka-aineina suositeltavia. Muut muovilaadut ovat hyväksyttävissä ainoastaan, mikäli niiden pitoisuus on alle 5 paino-%. PVC -muovia (polyvinyylidikloridi) käyttö on sallittu ainoastaan metallin pinnoitteena. Polyolefiini -muoveille sopivilla lisäaineilla voidaan parantaa muoviraaka-aineen ominaisuuksia. Kierrätettävyyden takia ei suositella kuitulujitteita. Lisäaineiden suositellaan olevan soveltuvia kontaktiin elintarvikkeiden kanssa (FDA -luokitus). Palonestoaineita, jotka ovat bromipohjaisia, ei sallita lainkaan. (Liikennevirasto 2010, s.73).
- Käyttävän muovimateriaalin on oltava läpivärjätty. Maalaus ei ole hyväksyttävä maalin huonon tarttuvuuden ja lämpölaajenemisesta aiheutuvan maalin irtoamisen vuoksi UV-stabilointiaineen käyttö on pakollista muovimateriaalissa. Suositeltava on UV-stabilaattori, jonka pitoisuudeksi riittää 0,5...3,5 paino-%. UV-stabilaattori kasvattaa muovin kestoikää, joka ilman stabilaattoria olisi alle 20 vuotta. (Liikennevirasto 2010, s.73).
- Muovimateriaalien on läpäistävä EN-71-3 mukaisesti suoritettu liukoisuustesti hyväksytysti, erityisesti raja-arvoja raskasmetallien ja haihtuvien yhdisteiden osalta ei saa ylittää. Veteen ei saa liueta haitallisia kemikaaleja. Muovimateriaalin toimittajalla on oltava testin tulos esitettävänä. (Liikennevirasto 2010, s.73).

Läpinäkyvät materiaalit

Meluosteissa käytettävien läpinäkyvien materiaalien valintaperusteet ja vaatimukset on esitetty 'Tien melusteiden suunnittelu' -ohjeessa (Liikennevirasto 2010, s.70).

Kestoikä

InfraRYL:ssä on esitetty rakenteiden suunnittelukestoikävaatimukset seuraavasti:

- 50 vuotta - perustukset, runko ja kantavat rakenteet, lukuun ottamatta puurunko 40 vuotta
- 20 vuotta - läpinäkyvät rakenteet
- 15 vuotta - vaihdettava rimoitus, ääntä imevä huokoinen materiaali ja sauma-aineet.

'Tien melusteiden suunnittelu' -ohjeessa (2010) on esitetty tarkemmin rakenteiden suunnittelukestoikä, sekä suhdetta todelliseen käyttöikään.

Materiaalien yleiset laatuvaatimukset

Meluusteiden materiaaleille asetetut vaatimukset on esitetty 'Tien melusteiden suunnittelu' -ohjeessa ja tarkemmin Infraryl2006:ssa (Liikennevirasto 2010, s.70).

4.4 Akustiset vaatimukset

4.4.1 Akustiset ominaisuudet

Akustisista ominaisuuksista puhuttaessa on erotettava kaksi toisistaan poikkeavaa termiä, äänenvaimennus ja ääneneristävyys. Eristävyydellä tarkoitetaan esteen läpi kulkeutuvaa ääntä, eikä se riipu äänilähteen tai havaitsijan sijainnista, mikäli esteen rakenne on homogeeninen. Äänenvaimennus taas riippuu niin äänilähteen kuin kohteenkin sijainnista suhteessa esteeseen. (Hongisto 2010, s.124). Vaimennusvaikutus kasvaa, kun äänen esteen yli kiertämän matkan erotus lähteen ja kohteen välisen suoran matkan etäisyyteen kasvaa (Tielaitos 1997, s.30)

Melusteiden akustisia ominaisuuksia ovat myös äänen diffraktio ja äänen absorptio. Diffraktiolla tarkoitetaan äänen taittumista melusteesta ja absorptiolla äänen imeytymistä melusteeseen.

4.4.2 Vaimennus

Melusteella saavutettava äänenvaimennusvaikutus riippuu melusteen sijainnista, korkeudesta ja pituudesta, sekä suojattavan kohteen sijainnista ja korkeustasosta. Näillä tekijöillä saavutetaan tietty melunvaimennuksen taso, johon melusteen rakenteella on enää hyvin vähäinen vaikutus, mikäli tietty minimitaso ääneneristävydessä on saavutettu. (Tielaitos 2007, s.30). Mikäli este on suhteellisen tiivis ja sen pintamassa on yli $5\text{-}10\text{ kg/m}^2$, ei rakenteella ole juurikaan merkitystä äänenvaimennukseen. Esteen läpi kulkeutuvalla äänellä alkaa olla merkitystä äänenvaimennusta heikentävänä, mikäli ääneneristävyys on huonompi kuin teoreettinen, laskettu äänenvaimennus. (Hongisto 2010, s.124).

'Tien melusteiden suunnittelu' -julkaisussa (2010) on kuitenkin annettu suuntaa antavia sääntöjä, joilla voidaan arvioida eristävyiden vaikutusta 2,5...3,5 m korkean esteen vaimennusvaikutukseen:

- Mikäli eristävyysluku DL_R on vähintään 10 dB laskettua vaimennusvaikutusta suurempi heti melusteen takana, melusteen läpi kulkeutuvalla äänellä ei ole vaikutusta laskettua vaimennusta vähentävänä tekijänä.
- Mikäli eristävyysluku DL_R on 5 dB laskettua vaimennusvaikutusta suurempi, melusteen läpi kulkeutuva ääni vähentää vaimennusvaikutusta heti melusteen takana 1,5 dB ja kauempana 0,5 dB.
- Mikäli melusteen alareuna jää 200 mm pehmeän maan yläpuolelle, vaimennusvaikutus vähenee 1-2 dB lasketusta etäisyyden ollessa alle 20 m melusteesta. Kauempana vaimennusvaikutus jää 0,5 dB lasketun alle.

'Tien melusteiden suunnittelu' -julkaisussa (2010) myös todetaan, että edellä mainitut alitukset voidaan kompensoida rakentamalla meluste 200 mm korkeammaksi. Alitukset eivät kuitenkaan saa esiintyä samanaikaisesti.

4.4.3 Eristävyys

Perinteisesti äänen eristävyden määrittämiseen on käytetty laboratoriossa järjestelyä, jossa tila on jaettu kahdeksi yksipilarista meluseinäelementtiä käyttäen (Liikennevirasto 2010, s.56).

Eistävyyslukua DL_R käytetään kuvaamaan rakenteen ääneneristävyttä. Eistävyysluku mitataan laboratoriossa standardien SFS-EN ISO 354 (Akustiikka. Ääniabsorption mittaaminen kaiuntahuoneessa) ja SFS-EN 1793-2 (Teiden melusteet. Akustisten ominaisuuksien määrittäminen menetelmä. Osa 2: Tuotekohtainen ilmaäänien eristävyys) mukaisesti. Laskennassa käytetään SFS-EN 1793-3 (Teiden melusteet. Akustisten ominaisuuksien määrittäminen menetelmä. Osa 3: Standardisoitu liikennemelun spektri.) mukaista taajaman lähelle olevalle tieliikenteen melulle tyypillistä taajuusjakautumaa. (Liikennevirasto 2010, s.56).

Meluestetuotteille suoritetaan edellä mainittu standardin SFS-EN 1793-2 mukainen laboratoriomittaus, jolla osoitetaan tuotteiden eristävyys (Liikennevirasto 2010, s.56). Kyseisessä standardissa meluestetuotteet luokitellaan taulukon 7 mukaisesti eristävyysluvun DL_R perusteella.

Taulukko 7. Melusteiden eristävyysluokat (SFS-EN 1793-2:1997).

Luokka	DL_R [dB]
B0	Ei määritelty
B1	< 15
B2	15...24
B3	>24

DL_R ilmoitetaan aina pyöristettynä lähimpään kokonaislukuun. Testitulosten yhteydessä ilmoitetaan myös käytetyn standardin numero ja vuosi, EN ISO 140-3 mukainen kuvaus testausolosuhteista, menetelmistä ja välineistä, testattavan tuotteen kuvaus ja mittauksen suorittajatahon tiedot. (SFS-EN 1793-2:1997, s.6).

Eistävyysluku on Tien melusteiden suunnittelu -ohjeen mukaan aina oltava vähintään 25 dB, ellei kyseisessä ohjeessa muuta määritetä. On kuitenkin järkevintä valita eristävyyslukuvaatimus $DL_R \geq 25$ dB, mikäli säästö eristävyyslukuvaatimuksen pienentämisestä ei ole merkittävä. Tällöin melusteen pienennetty vaimennusvaikutus ei rajoita tulevaisuudessa mahdollista melusteen taakse sijoitettavaa toimintaa. Eistävyysluku ei saa heikentyä melusteen käyttöänsä aikana. (Liikennevirasto 2010, s.58).

Uudet melusteet täyttävät eristävyyslukuvaatimuksen 25 dB jo yleensä tuulikuorman mitoituksesta aiheutuvien materiaalipaksuuksien puolesta, ellei rakoja ole. Kuitenkaan

yksinkertaiset lautarakenteet eivät yleensä täytä eristävyysvaatimusta pysyvästi. (Liikennevirasto 2010, s.58).

Mikäli meluete tehdään muista rakennusmateriaaleista kuin suunnitelluista meluestetuotteista, jolloin eristävyyttä ei ole testattu SFS-EN 1793-2 mukaisella laboratoriomittauksella, voidaan meluesteen eristävyys arvioida tapauskohtaisesti materiaalipaksuuksien ja rakojen määrän perusteella. Taulukossa 8 on erilaisilla rakenteilla saavutettavia eristävyysluvun DL_R arvoja. Pontin ja puolipontin eristävyysluku riippuu saumojen rakoilusta, joka aiheutuu asennusvirheestä tai lautojen kulumisesta. (Liikennevirasto 2010, s.59).

Taulukko 8. Erilaisilla rakenteilla saavutettavia ääneneristävyysarvoja (Liikennevirasto 2010, s.59).

Rakenne	Eristävyysluku DL_R [dB]
Vaneri ≥ 20 mm	25
Vaneri 6 mm + 20 mm lomalaudoitus	25
Teräslevy ≥ 3 mm (+ villa ja runko) rakenteessa ei yli 3 mm halkeamia	25
Betonielementti ≥ 100 mm, välissä elastinen tiiviste	25
Lomalaudoitus 22x125 mm, 25 mm limitykset <ul style="list-style-type: none"> • Ei näkyviä rakoja • 2 mm rako joka 3. saumassa • 6 mm rako joka 3. saumassa (Vanhenemisen takia kutistuneet laudat)	22 19 16
Ponttilauta 20 mm	20...25
Puolipontti 28 mm	15...21

Eristävyysluvun säilyminen meluesteen vanhetessa on todistettava materiaalistandardein tai käyttökokemuksin. On osoitettava, että rakenteeseen ei synny reikiä tai rakoja, tai että rakenne ei menetä painoaan. Eristävyys voidaan tarvittaessa mitata rakenteesta, johon on tehty ennustetut vauriot ja raot. Mikäli betonielementtirakenteessa ei ole rakoja, sitä ei tarvitse mitata. Eristävyys mitataan kaikkien meluestetuotteiden osalta. Taulukossa 8 listattuihin vaneri-, teräslevy- ja betonielementtirakenteisiin ei vanhetessaankaan yleensä synny rakoja, mikäli saumoissa käytetään hyvää tiivistettä. (Liikennevirasto 2010, s.58).

'Tien melusteiden suunnittelu' -ohjeen mukaan eristävyys voidaan mitata laboratorion sijaan ulkona standardin SFS-EN 1793-6 (Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 6: Intrinsic characteristics - In situ values of airborne sound insulation under direct sound field conditions) mukaisella eristävyysmittauksella. Standardi on tällä hetkellä vielä kommenttikierroksella, eikä vielä hyväksytty viralliseksi standardiksi. Em. menetelmä eristävyysluvun mittauksessa korvaa tulevaisuudessa SFS-EN 1793-2 mukaisen menetelmän. Tällöin saatu eristävyysluku on DL_R :n sijasta DL_{SI} . Eristävyyslukuvaatimusta määritettäessä

huomioidaan, että DL_R/DL_{SI} -suhde on yleensä likimain 0,8. (Liikennevirasto 2010, s.59).

SFS-EN 1793-6 mukaisella menetelmällä voidaan tunnistaa seinäelementin ja pilarin välissä oleva vuoto. Pilarin kohdalla eristävyys ei tarvitse olla yhtä korkea kuin pilarivälin keskellä. Eristävyysluku DL_{SI} uutena ja arvio tai mittaustulos sen pienenemisestä ajan kuluessa on voitu ilmoittaa joidenkin meluestetuotteiden CE -merkissä. (Liikennevirasto 2010, s.59).

'Tien melusteiden suunnittelu' -ohjeen mukaan siirrytään käyttämään eristävyysluokituksen standardin SFS-EN 1793-6 mukaista luokitusta (Taulukko 9). Eristävyysvaatimus voidaan määrittää erikseen pilarin kohdalla ja pilarivälin keskellä. (Liikennevirasto 2010, s.59).

Taulukko 9. Melusteiden ääneneristävyysluokat (SFS-EN 1793-6).

Luokka	DL_{SI} [dB]
D0	Ei määritelty
D1	< 16
D2	16...27
D3	28...36
D4	> 36

4.4.4 Absorptio

Ääntä imevät melusteet heijastavat ainoastaan vähäisen osan liikennemelusta takaisin tielle, kun tavanomaiset esteet taas heijastavat lähes kaiken (Liikennevirasto 2010, s.60). Tien melusteiden suunnittelu -ohjeen mukaan äänen imevyys mitataan standardien SFS-EN ISO 354 (Akustiikka. Ääniabsorption mittaaminen kaiuntahuoneessa) ja SFS-EN 1793-1 (Teiden melusteet. Akustisten ominaisuuksien määrittäminen. Osa 1: Tuotekohtainen äänen absorptio) mukaisesti.

Standardissa SFS-EN 1793-1 äänen absorptio luokitellaan taulukon 10 mukaisesti. DL_a ilmoitetaan aina pyöristettynä lähimpään kokonaislukuun. Testitulosten yhteydessä ilmoitetaan myös käytetyn standardin numero ja vuosi, EN 20354 mukainen kuvaus testausolosuhteista, menetelmistä ja välineistä, testattavan tuotteen kuvaus ja mittauksen suorittajatahon tiedot. (SFS-EN 1793-1:1997, s.7).

Taulukko 10. Melusteiden absorptioluokat (SFS-EN 1793-1:1997).

Luokka	DL_{α} [dB]
A0	Ei määritelty
A1	< 4
A2	4...7
A3	8...11
A4	>11

Tyypillisesti ääntä imevä rakenne on raskas lasi- tai vuorivilla, joka on suojattu puu-, metalli- tai muoviritilällä, reikälevyllä tai verkolla. Riippuen ritilän ja rei'ityksen aukkojen osuudesta pinta-alassa ja villan etäisyydestä etureunassa, tällaisella rakenteella päästään usein luokkaan A3 tai A4. Huokoisella betonilla, kevytbetonilla tai vastaavalla voidaan saavuttaa luokka A2 tai A3. (Liikennevirasto 2010, s.60).

Jotta meluestettä voidaan markkinoida ääntä imevänä, se on osoitettava laboratoriomittauksin. Maavalli käsitetään ääntä imeväksi ilman laboratoriomittausta. Tilaja voi vaatia suunnitelmissa rimoituksen absorboivaan melusteeseen töhrimisen estämiseksi. Tällöin rimoituksen vaikutusta absorptioon ei tarvitse erikseen tutkia. (Liikennevirasto 2010, s.60).

Luokkiin A1 ja A2 kuuluvat melusteet soveltuvat käytettäväksi tilanteissa, joissa melusteiden äänenimevyysominaisuuksien ei tarvitse olla kovin tehokkaat. Luokkien A3 ja A4 melusteita käytetään vaativimmissa olosuhteissa. Tällaisia ovat:

- Kevyen liikenteen väylä on sijoitettu vilkasliikenteisen ajoradan ja meluesteen väliin
- Etäisyys tien toisella puolella olevaan meluseinään, seinään tai tukimuriin on alle 15-kertainen seinän korkeuteen nähden
- Kulkuaukon kohdalla, jossa seinät on limitetty matkalta, joka on vähintään 2 kertaa aukon leveys. Tällaisella kohdalla vähintään toisen puolen limityksen kohdalla on kuuluttava absorptioluokkaan A3 tai A4 (Tielaitos 1997, s.32 ja 25).
- Meluesteen tien vastakkaisella puolella on asutusta, ja melua heijastava meluste lisääsi asutusalueen melua
- Tunneli

Edellä mainituissa tapauksissa absorptioluokkavaatimuksen ollessa A3 (DL_{α} vähintään 8 dB), absorptioluku ei saa laskea alle 6 dB:in. Mikäli absorptioluokkavaatimus on A4 (DL_{α} vähintään 12 dB), luku ei saa laskea alle 9 dB:in. Vastaavasti absorptioluku saa laskea enemmän, mikäli se on uutena ollut suurempi. Ilmaston vaikutukset, pöly, lika ja muut ympäristöstä absorboivaan materiaaliin kohdistuvat rasitukset alentavat meluesteen absorptiolukua käyttöiän aikana. Näiden vaikutus absorptiolukuun voidaan määrittää suorittamalla standardin SFS-EN 1793-1 mukainen testi rakenteelle uutena

sekä samalle rakenteelle, kun siihen on tehty ennustetut muutokset. (Liikennevirasto 2010, s.60).

Absorptio voidaan määrittää myös ulkona pitkäaikaisemmalla seurannalla teknisen spesifikaation TS 1793-5:2003 (Teiden meluesteet. Akustisten ominaisuuksien määrittäminen. Osa 5: Tuotekohtaiset ominaisuudet. Äänen heijastumisen ja eristävyden mittaus asennuskohteessa.) mukaisella koejärjestelyllä. Tällöin absorptioluvun DL_a :n sijasta saadaan äänen heijastumisluku DL_{RI} . Absorptioluku on saatuu heijastumislukuun verrattuna huokoisella betonilla 2,0 -kertainen ja rei'itetyllä levyllä tai villalla 2,2 -kertainen. Luvuilla saadaan suuntaa-antavat arviot absorptioluvuista, ja niitä käytetään, ellei tarkempia kertoimia ole käytettävissä. (Liikennevirasto 2010, s.60).

4.4.5 Diffraktio

Meluesteen yläreunassa voidaan käyttää rakennetta joka vähentää diffraktiota. Toimiva rakenne parantaa meluesteen tehoa enemmän kuin samankorkuinen lisäys meluesteen korkeudessa. (Liikennevirasto 2010, s.60).

Diffraktion vaimentimen teho voidaan todeta asentamalla rakenne tavanomaiseen, olevaan melusteeseen. Melutaso ennen ja jälkeen diffraktion vaimentimen asennusta mitataan vastaavissa olosuhteissa. Mittauksista saatuja tuloksia ei kuitenkaan saa suoraan siirtää toiseen kohteeseen. (Liikennevirasto 2010, s.60).

Tehtyjen tutkimusten mukaan meluesteen päällä olevalla absorboivalla, T-muotoisella hatulla on selkeä vaikutus vaimennukseen. Tulosten mukaan vaimennuslisäys on 1-3 dB jopa 50 metrin etäisyydelle verrattaessa samankorkuiseen esteeseen ilman hattua. Diffraktiota eivät vähennä sylinterimäiset, kaareutuvat tai sahalaitakuvioiset yläreunat, ellei materiaali ole absorboivaa. Teknisessä spesifikaatiossa CEN/TS 1793-4 (Teiden meluesteet. Akustisten ominaisuuksien määrittäminen. Osa 4: Tuotekohtaiset ominaisuudet. Äänen diffraktion mittaus asennuskohteessa) on esitetty käytettävä koemenettely meluesteen äänen diffraktion mittaamiseen, jolla voidaan jossain määrin verrata myös eri muotojen vaikutusta vaimennukseen. (Liikennevirasto 2010, s.60).

Erilaisten melusteiden poikkileikkausten vaikutusta diffraktioon ei pystytä laskemaan, koska meluesteen diffraktiota ei vielä täysin kyetä mallintamaan. Diffraktiulokkeen rakentamisen kustannukset ovat myös korkeammat kuin meluesteen rakentaminen diffraktiovaimentimen verran korkeammaksi. Ulokkeesta on kuitenkin myös se hyöty, että se voi vähentää meluesteen altistumista sateelle toimiessaan kattona. (Liikennevirasto 2010, s.60).

5 TUOTEKEHITYSPROSESSIN KUVAUS

5.1 Miksi suunnitella ja rakentaa EPS -meluste?

Lähtökohta

Lähtökohta EPS -melusteiden tuotekehittelyprosessille syntyi EPS -materiaalin ominaisuuksista. EPS on materiaalina kestävä, pitkäikäinen ja hyvin kevyt. Sen lisäksi, että tutkittiin materiaalin soveltuvuutta meluvälisiin, haluttiin tarkastella mahdollisuuksia EPS:n ominaisuuksien hyödyntämiseen myös muun tyyppisissä melusteissa (seinät, muurit).

Kilpailevat tuotteet

Tällä hetkellä Suomen markkinoilla ei ole tarjolla valmiita meluseinärakenteita, joissa käytetään materiaalina EPS -solumuovia. Tietävästi Suomessa tällaisia rakenteita ei myöskään ole toteutettu aikaisemmin. EPS -solumuovia sisältäviä melusteita on kuitenkin kehitetty ulkomailla.

Suomessa muutamalla valmistajalla on tarjolla valmiita melusteratkaisuja, joita on saatavissa myös perustukset sisältävänä kokonaispakettina. Nykyisissä melusteissa, erityisesti absorboivissa, yleinen materiaali seinän sisällä on villa.

EPS -melusteen edut

EPS -materiaalin käytön etu on ensisijaisesti sen pitkäikäisyys. Ympäristönäkökulma otetaan yhä kasvavissa määrin huomioon jo rakenteen suunnitteluvaiheessa. Elinkaarianalyysissä EPS -materiaali pärjää hyvin, sillä se on myös käytön jälkeen kierrätettävissä. EPS -materiaalia ei tarvitse sen suunnitellun kestoajan aikana huoltaa tai vaihtaa. Tämä on merkittävä etu verrattuna melusteissa usein käytettävään villaan. Seinissä oleva villa valuu, ja se on vaihdettava meluseinän eliniän aikana. Se ei myöskään voi toimia kantavan rakenteen osana melusteessa.

Materiaalin keveys on toinen EPS:n kilpailuvaltti. Tavoitteena on saada rakenteesta niin kevyt, että ero on huomattavissa perustamiskustannuksissa.

5.2 Ideointi ja luonnosvaihe

Ideointi aloitettiin määrittämällä melusteiden arkkitehtoniset, rakenteelliset ja akustiset laatuvaatimukset. Näin määritettiin reunaehdot kehitettävälle rakenteelle. Melusteiden yleisistä käytännöistä keskusteltiin arkkitehdin, akustiikka-asiantuntijan ja meluaitojen rakennesuunnittelijan (siltasuunnittelija) kanssa. Haettiin myös tietoutta olemassa olevista melusterakenteista suunnittelun pohjaksi.

Kokemuksia EPS -materiaalin käytöstä melusteissa tai vastaavissa rakenteissa haettiin sähköpostin välityksellä ulkomailta. Kyselyjä tehtiin laajan EPS -tietämyksen omaaville

henkilöille Englannissa, Belgiassa, Italiassa, Saksassa, Itävallassa ja Hollannissa. Norjasta kysyttiin mahdollisia sovelluksia EPS:n käytöstä meluvälillä. Myös patenttietokantaa hyödynnettiin EPS -meluaine tai verrattavien kokemusten etsinnässä.

Meluaik素ille asetetut vaatimukset sekä yleiskuva erilaisista meluaik素ista esiteltiin ohjausryhmälle toisessa kokouksessa. Kokouksessa käsiteltiin esitettyjä tyypillisimpiä rakennevaihtoehtoja, ja arvioitiin niiden toteutettavuutta käyttäen EPS -materiaalia. Kokouksessa syntyi ensimmäiset ideat tavasta soveltaa EPS -materiaalia meluaik素isiin. Syntyneet ideat näkyvät kuvan 14 aikajanassa, jossa paksut pystyviivat kuvaavat ohjausryhmän kokouksia. Tässä vaiheessa myös meluaik素ideat rajattiin pois työn sisältämistä tarkasteluista.

Toisen kokouksen jälkeen alkoi rakenteiden luonnostelu. Tässä vaiheessa ei paneuduttu erityisesti vaihtoehtojen rakenteelliseen toteutettavuuteen, vaan kirjattiin ylös myös vaihtoehtot, joiden toteuttaminen tulisi olemaan haasteellista. Työryhmän toimintaan osallistui myös meluaik素isiin erikoistunut silta-suunnittelija, jotta saataisiin realistisempi näkökulma myös rakenneteknisiin asioihin.

Kolmannessa kokouksessa ohjausryhmälle esiteltiin luonnoksia rakenteista keskustelun pohjaksi. Tällöin osa luonnoksista todettiin joko toteuttamiskelvottomiksi tai muuten taloudellisesti epärealistiseksi.

Suunnitteluprosessissa ensisijaiseen rooliin nousi ohjausryhmän välinen kanssakäyminen. Tietämys eri osa-alueista oli jokaisella erilainen, jolloin kokoukset olivat tärkeitä tiedon siirtymisen vuoksi. Tällä tavoin varmistettiin ideoiden järjestyminen ja toteutettavuus.

Jatkoideoinnin pohjana käytettiin yksinkertaista EPS -materiaalista pystytettyä seinää. Tähän lähdettiin suunnittelemaan runko-, pinta- ja perusrakenteita. Suunnittelussa pyrittiin tiedostamaan EPS -materiaalin ominaisuudet, ja pohjaamaan suunnittelu niihin. Hyvin monet ideat lähtivätkin mahdollisuudesta muotoilla EPS -materiaalia vapaasti haluttuun muotoon.

Haastavaa oli löytää ratkaisu, joka täyttää meluaik素rakenteille asetetut vaatimukset ja samalla yhdistää EPS -materiaalin edut. Meluaik素ille asetetut akustiset ja rakenteelliset laatuvaatimukset usein kasvattavat esteen massaa, jolloin EPS:n keveyttä ei pystytä hyödyntämään täysimääräisesti. Mahdollisuutta muotoilla EPS -materiaalista mielivaltaisia kappaleita rajoittivat usein muiden materiaalien rakenteelliset vaatimukset.

5.3 Ideoidut rakennevaihtoehtot

Kuvassa 14 on esitelty työn yhteydessä ideoituja rakennevaihtoehtoja, ja suunnittelun etenemistä. Alla on esitetty esimerkki yhden rakennetyypin ideointiprosessista:

Toisen kokouksen jälkeisessä ideoinnissa erilaisista rakennevaihtoehdoista tuli esille mahdollisuus mm. teräskennorakenteen hyödyntämisestä suunniteltavassa melusteessa. Mietittiin vaihtoehtoja, miten tämä olisi yhdistettävissä EPS -materiaalin käyttöön, niin että kummankin parhaat ominaisuudet tulevat hyödynnettyä. Pohdinnan jälkeen päädyttiin kennorakenteen kennojen täyttämiseen EPS -rakeilla. Toinen ideoitu vaihtoehto oli teräskennorakenne, joka olisi puolet kapeampi, ja sen ulkopuolelle olisi lisätty EPS -solumuovilevy.

Kolmannessa kokouksessa idea esiteltiin koko ohjausryhmälle, jolloin todettiin, että raemuodossa olevan EPS:n käyttäminen ei ole mielekästä, koska levymäisen EPS:n lisääminen kennorakenteeseen valmistamisvaiheessa on jo aikaisemmin toimivaksi testattua tekniikkaa.

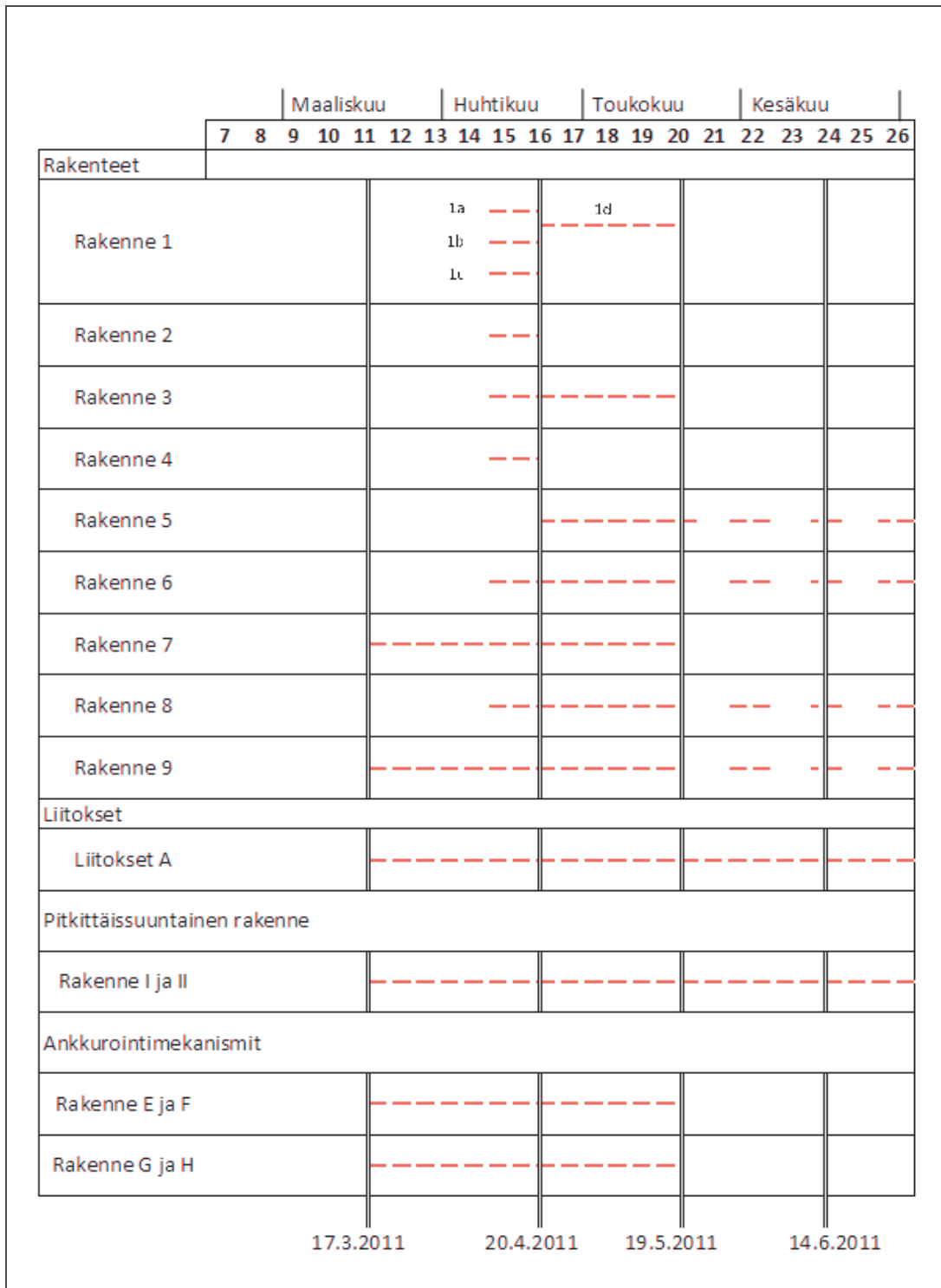
Idea teräskennorakenteen jatkokehittämisestä kuitenkin hylättiin kolmannessa kokouksessa. Pääasiallisin hylkäämisen syy oli EPS -materiaalin käytön vähäinen ”lisäarvo” ko. rakenteessa sekä se, että kennorakenne on jo sellaiseen valmis tuote tiettyihin käyttötarkoituksiinsa. Kehitetyn kennorakenteen (rakenne 1) rakennekortti on kuvassa 15. Muiden ideoitujen rakenteiden kuvauskortit ovat liitteenä.

5.4 Jatkokehitys

Ideoiduista rakenteista todettiin tässä vaiheessa potentiaalisimmaksi jo tuotannossa oleva seinäelementti, jossa kantava rakenne muodostuu teräspinnoitteen ja EPS-levyn liittorakenteesta. Ko. tuote on jo olemassa ja pienellä jatkokehittelyllä siitä on tehtävissä heijastava meluseinä.

Tuotteesta on todennäköisesti mahdollista tehdä myös absorboiva meluseinä käyttäen kaistoittain rei’itettyä teräspinnoitelevyä ja ilmarakoa pinnoitteen takana, jolloin tyhjätila olisi EPS -levyyn leikattu tai EPS -levyn pintaan liimattaisiin EPS -kaistoja, joiden väliin muodostuu tarvittava ilmarako.

Muut tuotekehitysprosessissa ideoidut ratkaisut päätettiin dokumentoida tähän diplomityöhön vastaisen varalle. Ko. vaihtoehtoja voidaan todennäköisesti osin hyödyntää tulevaisuuden tuotekehityksessä sekä melusteiden suunnittelussa vaihtoehtoja ideoitaessa.



Kuva 14. EPS -melusterakenteen kehitysprosessi.

Rakenne 1 = Teräskennorakenne

Rakenne 2 = Meluseinä +teräsverkko

Rakenne 3 = Kaareva meluseinä

Rakenne 4 = Meluseinä kivikori –tyyppisellä pintaverhouksella

Rakenne 5 = Muuri, jossa julkisivun pintamateriaali esim. rappaus tai levy

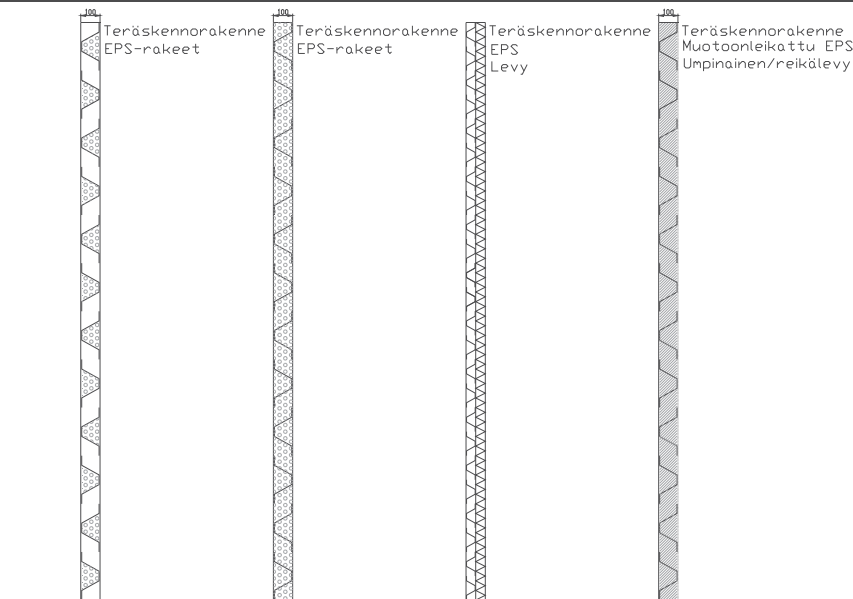
Rakenne 6 = Muuri kivikorijulkisivulla

Rakenne 7 = EPS -meluseinän ja –vallin yhdistelmä

Rakenne 8 = EPS –kivikorirakenne (kivikorit)

Rakenne 9 = EPS -kivikorirakenne (seinämäinen)

1. Rakennevaihto 1a, 1b, 1c ja 1d



Rakenteen kuvaus

- 1a) Teräskennoseinä, jossa osa kennoista on täytetty EPS -rakeilla.
 1b) Teräskennoseinä, jossa koko seinä on täytetty EPS -rakeilla.
 1c) Ohut teräskennoseinä, jonka päälle on asennettu EPS - eriste. Eriste on suojattu pintarakenteella.
 1d) Teräskennoseinä, jossa EPS on muotoon leikattuna lisätty kennorakenteen sisälle.
 Pinnassa oleva teräslevy voidaan toteuttaa myös reikälevynä, jolloin esteestä saataisiin absorboiva.

Edut

Rakenne on kevyt ja kestävä. Raemuodossa oleva EPS on helposti asennettavissa. Rakennevaihtoehdossa 1c seinästä saadaan helpommin absorboiva kuin rakenteesta, jossa EPS on teräskennon sisällä. Tällöin myös teräskennon valmistusprosessin aikana ei tarvitse käsitellä EPS -materiaalia. Vaihtoehdossa 1d muotoon leikattu EPS voidaan helposti asentaa kennorakenteen sisään.

Ongelmakohdat/heikkoudet/haasteet

Teräskenko on suhteellisen kallis rakenne. Raemuodossa olevalla EPS -materiaalilla ei ole kiinteään blokkiin verrattaessa kilpailukykyä tämän tyyppisessä rakenteessa. Rakennevaihtoehdossa 1c EPS -eristeen käyttö ei merkittävästi lisää ominaisuuksia. Rakenteessa tarvitaan erillinen pintarakenne EPS -materiaalin suojaamiseksi.

Arvio

EPS - rakeista teräskennoseinän sisällä ei ole hyötyä. Vaihtoehdossa 1c teräskennoseinä menettää hyötynsä, sillä EPS -levylle tarvitaan kuitenkin erillinen pintarakenne. Haluttaessa hyödyntää teräskennorakennetta EPS -meluusteessä, vaihtoehto 1d on potentiaalisin.

Rakenne pitkittäissuunnassa

Rakenteen pitkittäissuuntainen jänneväli riippuu teräskennon mitoista ja ominaisuuksista. Teräskennorakenteelle sopivat kiinnitysmekanismit.

Kuva 15. Rakennevaihtoehdon 1 (teräskennorakenne) rakennekortti.

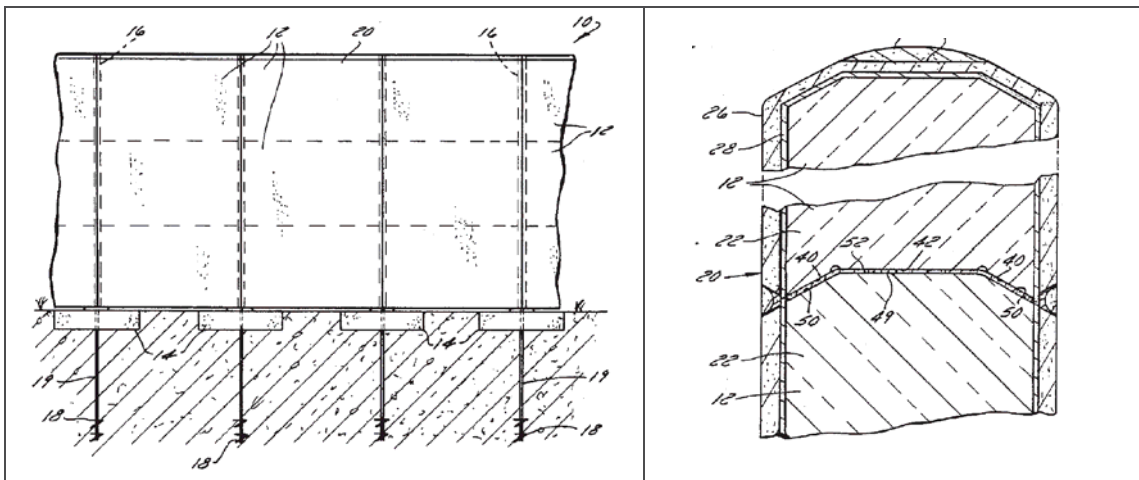
6 ULKOMAISET SOVELLUKSET

6.1 Patentit

6.1.1 Meluste solumuovista betonipinnoitteella

Patentin Pat. US 4 899 490 mukainen EPS -meluseinä on rakenteeltaan seuraava:

- Meluseinän pystysuuntaiset paneelit koostuvat päällekkäin asetetuista solumuovikappaleista. Kappaleet on liimattu päällekkäin kuvassa 16 olevan pystysuuntaisen poikkileikkauksen mukaisesti, jossa viistetty sauma kappaleen keskellä kuvaa liittymäkohtaa. Solumuovin paksuus voi olla välillä 4''...24'' (10...61 cm), mutta paksuus määräytyy kohteen tuulikuormien mukaan. Suositeltavimmassa rakenteessa materiaalin tulisi olla vähintään 6...14'' (15...36 cm) paksuinen, ja sen tiheys vähintään 2 lb/ft³ (32 kg/m³). Yhteen liimatuista kappaleista muodostuneen paneelin päälle lisätään esim. lasikuidusta valmistetulla verkolla vahvistettu betonointi.
- Rakenne toimii itsessään kantavana rakenteena, jolloin erillistä runkoa ei tarvita. Paneelien välissä on putkimaiset pilarit, jotka kiinnittyvät maan sisään valettuun anturaan. Anturat on ankkuroitu maahan.



Kuva 16. Betonipinnoitteellisen solumuovimelusesteen julkisivu ja paneelin poikkileikkaus. (Pat. US 4 899 498).

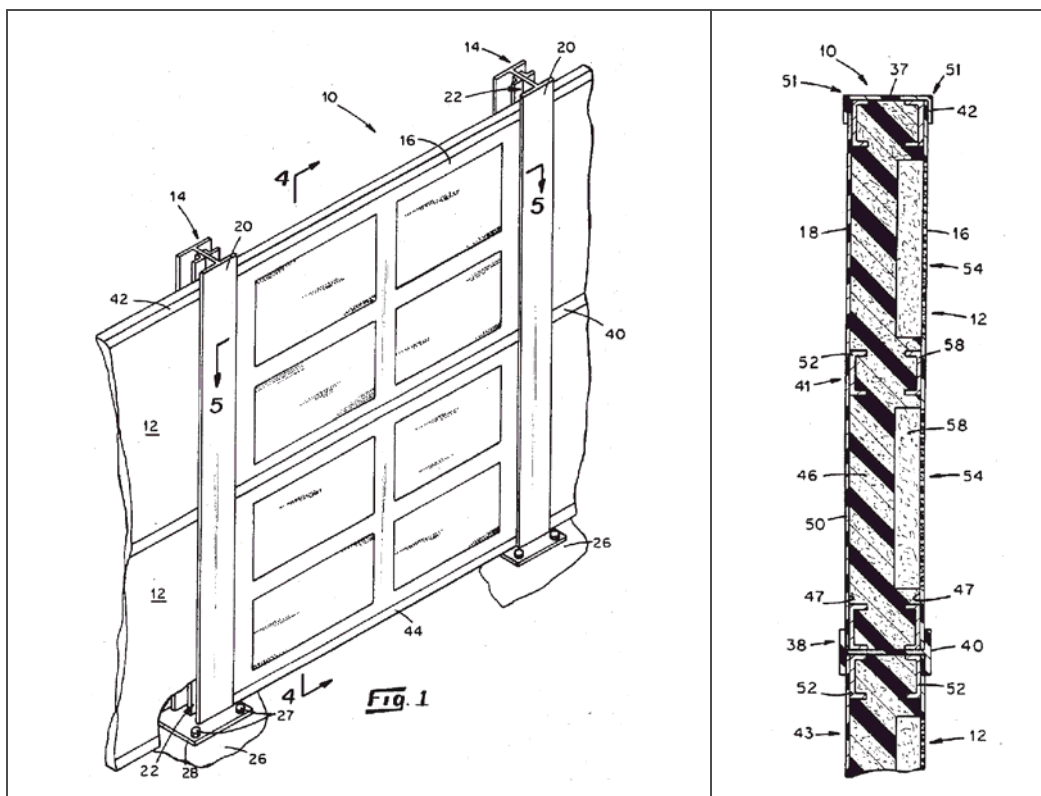
6.1.2 Meluseinä absorboivilla onteloilla

Patentin Pat. US 4 566 558 mukainen meluaita on rakenteeltaan seuraava:

- Meluseinäelementti koostuu raudoitetusta solumuovista, jonka kummallakin puolella on muovipinnoite (Kuva 17). Melun puolella elementtiin on syvennetty ääntä absorboivat ontelot. Ääntä absorboivan ontelon täyttämiseen käytetään kevyitä materiaaleja, jotka soveltuvat liikenteestä tai teollisuudesta aiheutuvien taajuuksien absorbointiin. Tällaisia materiaaleja ovat esimerkiksi mineraalivilla,

lasikuitu, puristettu puu ja granuloitu kimmainen materiaali kuten kumirouhe. Ontelon kohdalle julkisivumuoviin porataan reikiä, jotta ääni pääsee kulkeutumaan absorboivaan materiaaliin. Reikiä on noin 40 % absorboivien onteloiden pinta-alasta.

- Melusteessa seinäelementit on asennettu päällekkäin päistään tuettuna pystysuuntaisten H-palkkien varaan. Paneelien välissä vaakatasossa on myös H-muotoiset liitoskappaleet. Paneelien asennus tapahtuu liu'uttamalla paneelit maahan asennettujen H-palkkien uriin.



Kuva 17. Absorboivan meluseinän julkisivu ja poikkileikkaus. (Pat. US 4 566 558).

6.1.3 Noise D-Fence™ – EPS- Meluseinä

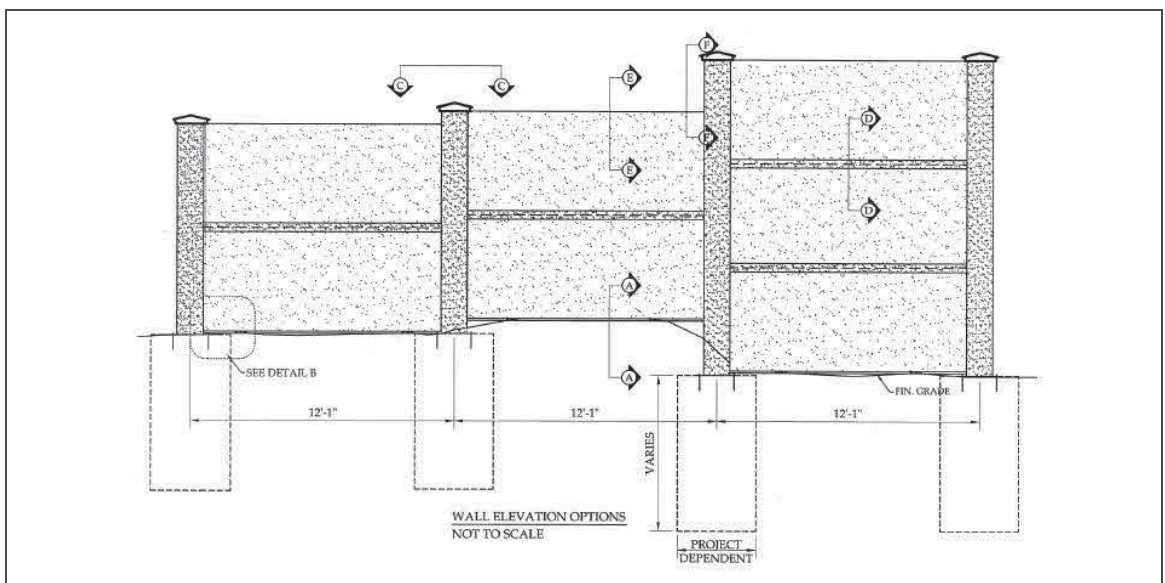
Noise D-Fence™ on Yhdysvalloissa Pohjois-Carolinassa Paragon Noise Barriers, Inc. -yrityksen kehittämä meluseinä, jossa käytetään EPS-materiaalia rakenteena. Rakenne on North Carolina Department of Transportation-organisaation hyväksymä. Tällä hetkellä patentti on vielä haussa.

Noise D-Fence™ meluste on hyvin ääntä absorboiva ja sen äänenvaimennuskyky on 15...40 dB taajuusvälillä 63...8000 Hz. Tämä on testattu sovelletulla ASTM E90 mukaisella testillä. Testaus suoritettiin ulkotilassa, kun yleensä testi suoritetaan sisätiloissa. Testikappaleena toimi kaksi seinäelementtiä päällekkäin asetettuna, jolloin kappaleen korkeus on 8' (2,4 m) ja pituus 12' (3,7 m). Mittauksessa keskimääräinen äänenvaimennus 4' (1,2 m) etäisyydellä esteen takana oli 27 dB ja 50' (15,2 m) etäisyydellä esteen takana 34 dB.

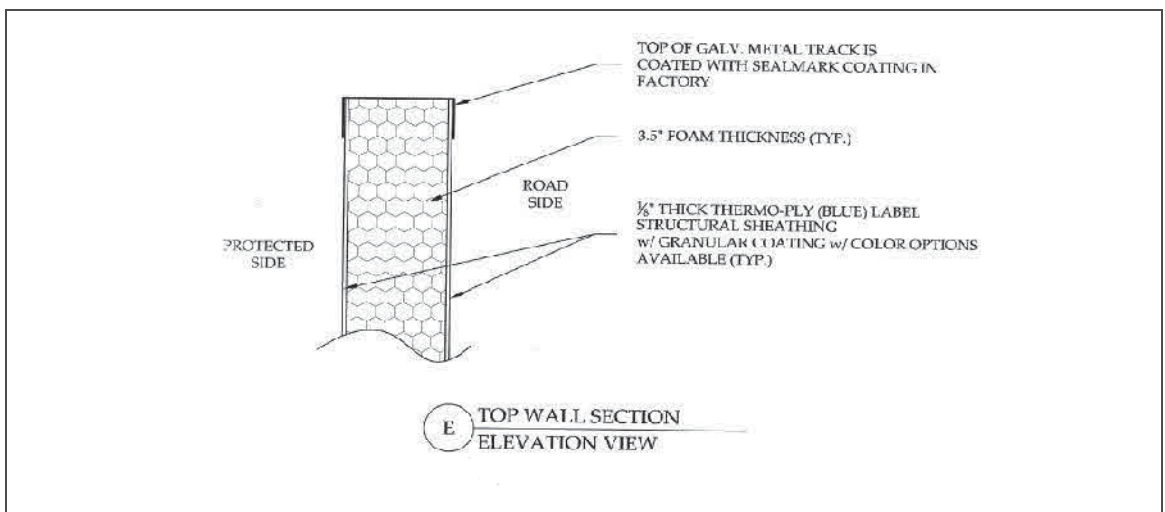
Esteet on mitoitettu kestämään tuulenopeuden 163 mph (72,90 m/s) aiheuttama tuulikuorma. Myös iskunkestävyydeltään elementin on todettu kestävän 160 lbs (72,6 kg) isku. Esteen erityisenä etuna on sen keveys ja sen kyky vastustaa veden ja homeen haitallista vaikutusta.

Noise D-Fence™ -meluseinäelementit ovat 12' (3,7 m) pitkiä ja 4' (1,2 m) korkeita. Elementit on asetettu pystysuuntaisten teräspilarien varaan. Seinän korkeutta voidaan säädellä päällekkäin asetettavien seinäelementtien määrällä, jolloin niiden välissä kulkee metallikisko (Kuva 18). Perustamistapa määritetään tapauskohtaisesti.

Itse meluseinäelementti on 3,5'' (8,9 cm) paksu EPS -blokki, joka on pinnoitettu suojaverhouksella. EPS -blokin yläpuolella on metallikisko, joka on pinnoitettu kestävyden parantamiseksi. Poikkileikkaus rakenteesta on esitetty kuvassa 19.



Kuva 18. Noise D-Fence™ -meluseinä, jonka korkeutta säädellään päällekkäin asetettavien elementtien määrällä. (Paragon Noise Barriers, Inc., 2011).



Kuva 19. Poikkileikkaus melu-erakenteesta. (Paragon Noise Barriers, Inc., 2011).

6.2 Muita ulkomaisia käyttökokemuksia

6.2.1 EPS -meluvallit Iso-Britanniassa

Britanniassa on tiedossa muutamia kohteita, jossa meluvallissa on käytetty EPS-blokkeja. Burphamissa Guildfordin lähellä tien A3 viereen uuden asuinalueen yhteyteen on rakennettu useita metrejä korkea meluvalli EPS -blokkeja käyttäen. Pääasiassa tämä valli toteutettiin käyttäen maatäyttöjä, mutta osalla meluvallin aluetta pohjamaa oli pehmeää savea, joka ei olisi kestänyt meluvallin painoa murtumatta. (Walker 2011).

Osa meluvallista rakennettiin käyttäen EPS -blokkeja. Blokkeja asetettiin kerroksittain päällekkäin, ja jokaisen kerroksen ympärille asennettiin geolujite. Kerrosten väliin asennettiin 50 mm maa-ainesta. Vallin päälle asennettiin maakerros, johon istutettiin pensaita ja puita. Tällä hetkellä meluvalli on peittynyt istutuksen alle. Meluvallin luiskakaltevuus on 70 °. (Walker 2011).

Myös Cippenhamissa Sloughin lähellä tien M4 yhteyteen rakennetusta meluvallista osa toteutettiin EPS-blokkeja käyttäen. Meluvalli oli suunniteltu ylittämään olemassa oleva viemäriverkosto, jolloin tähän kohtaan ei saanut kohdistua ylimääräistä kuormaa. EPS-blokkeja käyttämällä rakennustyö suoritettiin onnistuneesti (Kuva 20). (Jablite 2011).



Kuva 20. Cippenhamissa M4 -tien yhteyteen tulevan meluvallin osa toteutettiin EPS -kevennyksellä. Valokuva kevennyksen rakentamisesta. (Jablite 2011).

6.2.2 EPS –kookosseinä, Hollanti

Hollannissa on tehty pilottiluontoinen projekti, jossa on käytetty EPS -materiaalia meluseinässä. Seinä on alareunastaan 60...70 cm leveä, ja se kapenee ylöspäin lae-
ollessa 20 cm levyinen. Seinän korkeus on 2,5...3 m. (Tepper 2011).

Seinä on kiinnitetty maahan seinään tehtyjen pyöreiden reikien läpi asennetuilla tangoilla. Tangot ovat maassa n. 1,5...2,0 metrin syvyydelle. Pintamateriaalina seinässä on kookoksen kuoren kuiduista kudottu matto. Mattoon voidaan istuttaa kiipeäviä kasveja, kuten murattia. (Kuva 21, Tepper 2011).



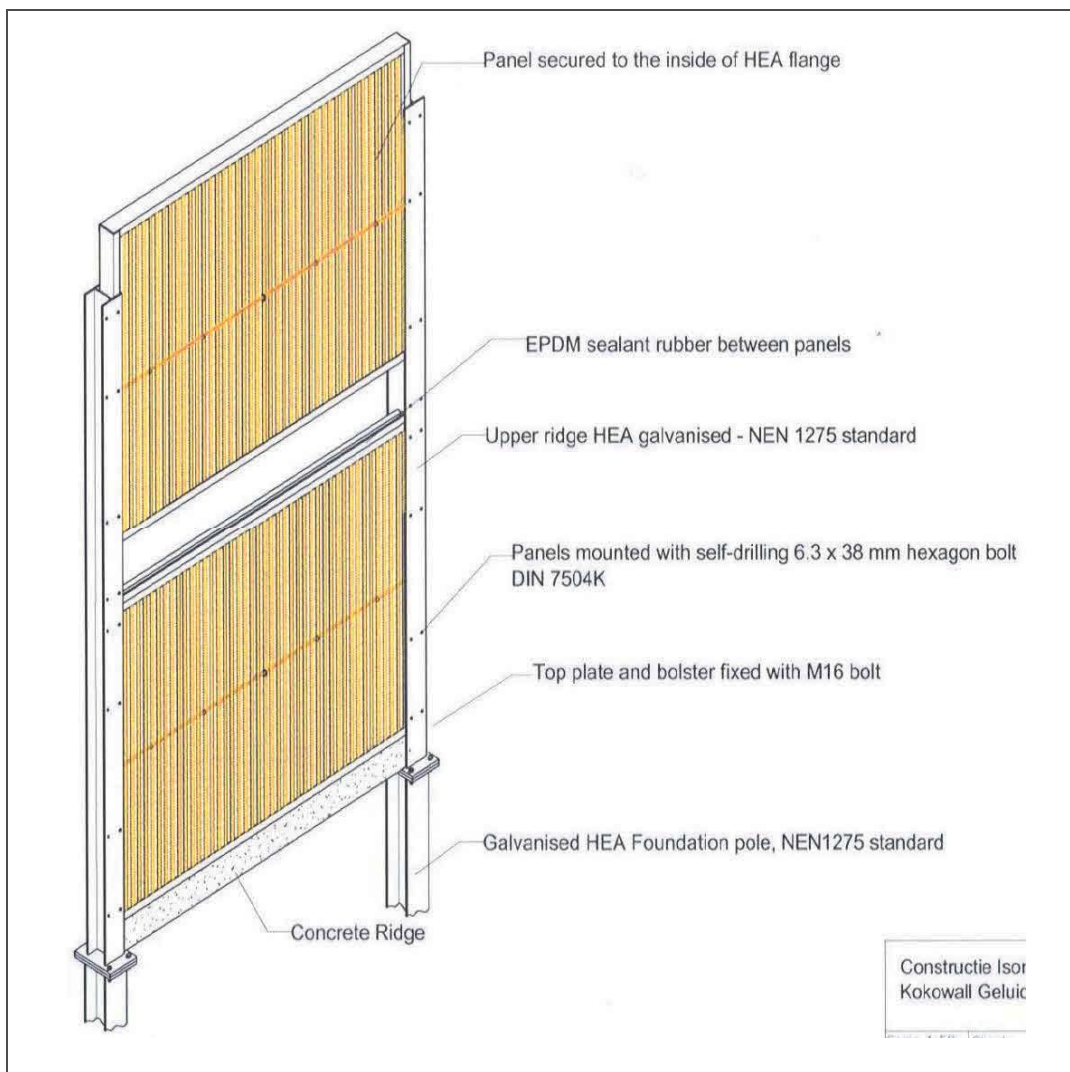
Kuva 21. EPS -meluseinä kookoskuitupeitteellä. (Tepper 2011).

6.2.3 Kokowall

Kokowall[®] on meluseinä, jossa on hyödynnetty kookoskuituja. Kokowall on sandwich-rakenne, jossa ääntä eristävän paneelin molemmille puolille on asennettu pystysuuntaisia putkia. Halkaisijaltaan 32 mm muoviputket on päällystetty kookospähkinän kuiduilla, jotka on käsitelty paloturvallisiksi. Paneelin paino on 25 kg/m².

Kokowall[®] meluseinälle luvataan ääneneristävyyksluvaksi $R_w = 29$ dB. Mikäli tarvitaan parempi ääneneristävyys, rakenteen väliin voidaan asentaa raskaampi ääntä eristävä levy. Seinä myös absorboi ääntä. Valmiissa seinässä voi kasvaa köynnösmäisiä kasveja.

Paneelit asennetaan pystysuuntaisten HEA-palkkien varaan kuvan 22 mukaisesti. Alimmaiseksi ennen paneeleita asennetaan betonipalkki.



Kuva 22. Kokowall -meluseinärakenne. (Kokowall 2011).

7 KUSTANNUSVERTAILU

7.1 Kustannusvertailuja muissa julkaisuissa

Melusteiden kustannuksia ja kustannuksiin vaikuttavia asioita on käsitelty aikaisemmin tehdyissä opinnäytetöissä. Tampereen ammattikorkeakoulussa on toukokuussa 2011 valmistunut Hanna Kettusen opinnäytetyö *Vaihtoehtoiset meluntorjuntaratkaisut - Case: Naistenmatkantien ja Isonmäentien välinen alue Pirkkalassa* ja aiemmin vuoden 2007 tammikuussa valmistunut Veijo Wallinin opinnäytetyö *Meluseinien moduulijaon vaikutukset rakenteisiin, perustuksiin ja kustannuksiin*. Kyseiset työt sisältävät melusteiden kustannustietoutta, jota on hyödynnetty tässä työssä.

Kettusen opinnäytetyössä on vertailtu eri vaihtoehtoja meluntorjunnan ratkaisuksi Pirkkalassa Naistenmatkantien ja Isonmäentien välisellä alueella. Vertailulaskelmissa käytetty esteen korkeus on 3,0 m ja pituus 260 m. Tässä vertailussa kriteereinä ovat olleet rakennus-, käyttö- ja hoitokustannusten lisäksi ylläpidolliset kriteerit, kuntalaisten mielipide, rakennettavuus ja sopivuus ympäristöön. Ominaisuudet on pisteytetty, joista eniten pisteitä saanut on todettu parhaimmaksi vaihtoehdoksi. Tutkimuksen tulosten yhteenveto on esitetty taulukossa 11. (Kettunen 2011, s.51).

Taulukko 11. Eri meluntorjuntavaihtoehtojen vertailu ja pisteytys. Vertailussa käytetyn esteen korkeus on 3,0 m ja pituus 260 m. (Kettunen 2011, s.51).

	YLLÄPITO	RAKENNUS- KUSTANNUKSET	KÄYTTÖ- HOITOKUSTANNUKSET	JAKUN- TALAISTEN MIELIPIDE	RAKENNETTAVUUS	MAASTOON SOPIMINEN	YHT.
MELUVALLI	++	10 030 € +++	---	+++	+++	+++	11 p.
MELUSEINÄ	-	273 000 € ---	+	-	--	--	- 8 p.
MELUKAIDE	---	88 110 € ++	0	-	+	++	2 p.
LAPINÄKYVÄ MELUKAIDE	---	186 900 € --	-	-	+	+	- 5p.
KIVIKORIVALLI	0	260 000 € /195 000 € ---	++	-	++/+	---	-3p./ -4p.
KIVIKORIVALLIN JA MAAVALLIN YHDISTELMÄ	+	135 015 € -	-	+	0	++	2 p.

Vertailun mukaan meluvalli on paras ja taloudellisin vaihtoehto. Meluvalliin on suunniteltu käytettävän kaivumaita läheisiltä työmailta, jolloin meluvallin kustannukset koostuvat ainoastaan vallin pintaan vaadittavasta kasvukerroksista, nurmetuksesta ja pensasistutuksista. Kuntalaiset pitivät meluvallia parhaana ratkaisuna sen helpon rakennettavuuden ja esteettisyyden vuoksi. Vallissa on kuitenkin suuremmat käyttö- ja hoitokustannukset muihin meluestevaihtoehtoihin verrattuna, mikäli siihen on istutettu kasvillisuutta. (Kettunen 2011, s.44-46).

Toiseksi parhaaksi luokiteltiin kivikorivallin ja maavallin yhdistelmä, sekä tavanomainen melukaide. Kivikorivallin ja maavallin kustannuksista puolet on laskettu koostuvan maavallin rakentamisen kustannuksista ja puolet käsinladottujen kivikorien kustannuksista. Rakenne tuo vaihtelua maisemaan, ja sen ylläpito ja hoito on vaivatonta. Melukaide oletettiin 1,1 m korkeaksi rakenteeksi, joka sijaitsee heti ajoradan reunassa. Kuntalaiset kuitenkin kokivat tämän liian massiiviseksi. (Kettunen 2011, 47-49).

Kuten tuloksistakin voidaan huomata, meluestevaihtoehtoja ei ole mielekästä verrata ainoastaan kustannusten perusteella. Meluestetyypin valintaan vaikuttavat suuressa määrin myös esteettiset vaatimukset, jolloin rakennuskustannuksiltaan edullisin vaihtoehto ei ole aina optimaalisin. Oleellista on huomioida myös käyttö-, ylläpito- ja hoitokustannukset, jotka voivat nostaa rakennuskustannuksiltaan alhaisen meluesteen kokonaiskustannuksia merkittävästi. Käytettävissä olevan tilan määrä on myös yleensä merkittävä tekijä melueteratkaisua valittaessa.

Wallinin opinnäytetyössä (2007) on käsitelty meluseinän moduulijaon vaikutusta rakenteisiin, perustuksiin ja kustannuksiin. Työssä on vertailtu puista seinärakennetta, ontelolaattarakennetta puuverhouksella ja ilman, puista absorboivaa seinäelementtiä ja teräsbetonielementtiä. Tulosten mukaan teräsbetonielementti jännevälistä riippumatta on edullisin ja ontelolaatta toiseksi edullisin meluseinän korkeuksilla 2,0 ja 3,0 m. Työssä on todettu, että vaadittaessa puupintaa meluseinälle, se on edullisinta toteuttaa ohuesta rimasta elementin päälle. Perustuksista teräsbetoninen paaluperustus todettiin edullisimmaksi ja toiseksi edullisimmaksi teräsputkipaaluperustus. Vaikka maaperän kantavuus olisi riittävä anturaperustukselle, teräsbetonisen paaluperustuksen mahdollisuus suositellaan kuitenkin tutkittavaksi. (Wallin 2007, s.43).

EPS -blokkeja voidaan käyttää myös painuvalle pohjamaalle tehtävässä tien levennyksessä. Duškov ja Waarts (2011) ovat vertailleet EPS -keventeen kustannuksia muiden pohjanvahvistusmenetelmien kustannuksiin. Vertailussa oli mukana seuraavat menetelmät (Kuva 23):

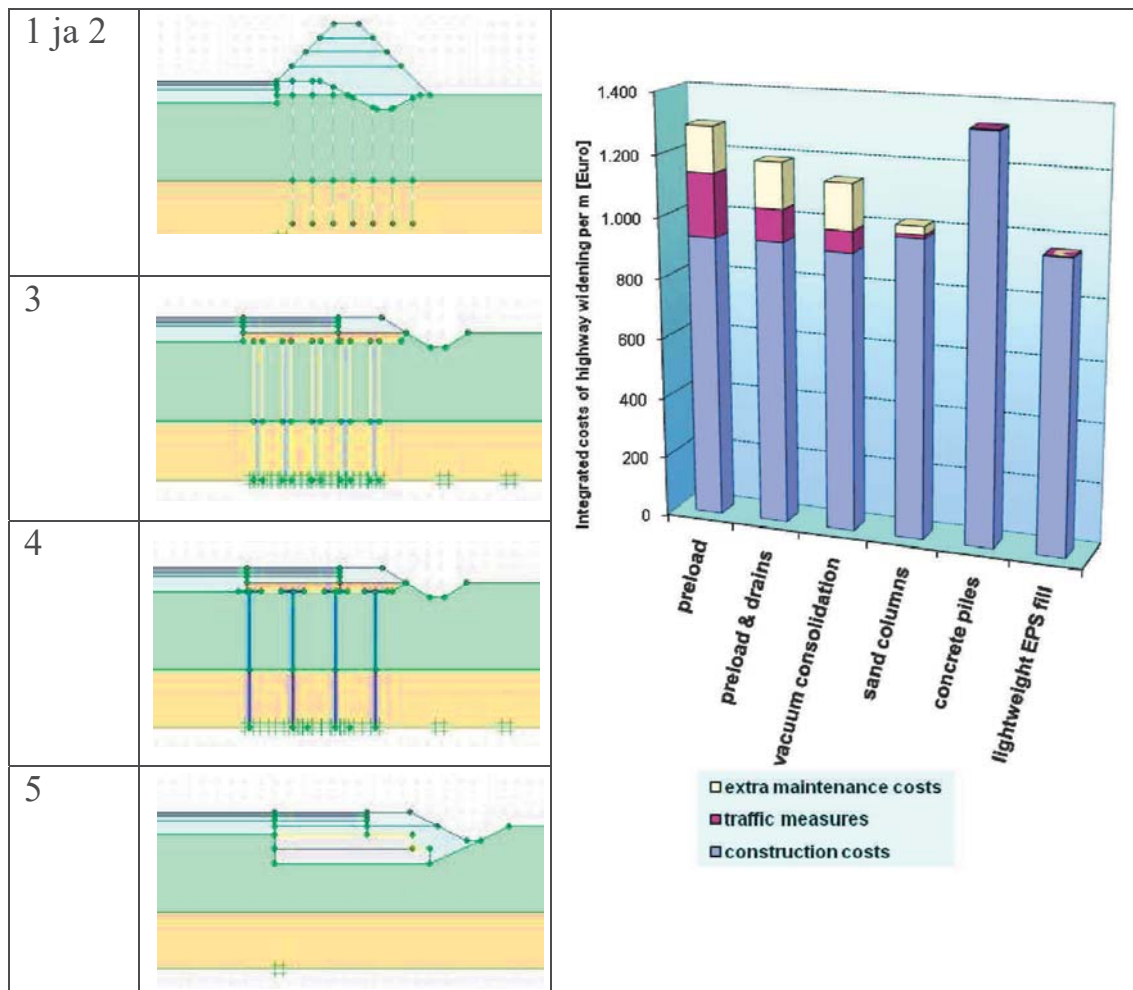
1. Pystyjoitus ja esikuormitus. Maahan on asennettu pystyjoja, ja päälle asetettu kuormituspenker. Esikuormitusajaksi on määritetty 9 kk.
2. Vakuumikonsolidaatiomenetelmä. Menetelmässä kuormitus painuvalle maapohjalle aiheutuu vakuumilla pohjaveteen aiheutetusta paine-erosta. Menetelmän tarvitsemäksi ajaksi on määritetty 6 kk.

3. Hiekkapilarit. Maahan on asennettu geotekstiilillä ympäröityjä hiekka-/sorapilareita. Hiekkapilareiden päällä on sorapeti ja geolujite.
4. Betonipaalut. Paalut on ulotettu kantavaan maakerrokseen saakka. Paalujen päällä on sorapeti ja geolujite.
5. EPS -blokeilla toteutettu kevennys. EPS -blokkeja on asennettu 1,8 m paksuinen kerros.

Kustannukset on ajateltu muodostuvan kolmesta osasta; rakentamisaikaisista kustannuksista, työnaikaisten liikennejärjestelyjen kustannuksista ja ylläpitokustannuksista (Kuva 24). (Duškov & Waarts. 2011, s.6-8).

Tutkimuksen mukaan nopeutettuun konsolidaatiotekniikkaan perustuvat menetelmät ovat rakentamiskustannuksiltaan alhaisia. Näissä kuitenkin rakentamisaika on suhteellisen pitkä, ja tilanteissa, joissa rakentaminen vaatii rakentamisaikaisia liikennejärjestelyjä, kustannukset nousevat merkittävästi. Arviolta 15 % rakentamisen kokonaiskustannuksista tulee liikennejärjestelyistä. Näissä menetelmissä tie tulee painumaan myös rakentamisajan jälkeen, joka aiheuttaa ylimääräisiä korjaus- ja ylläpitokustannuksia. (Duškov & Waarts. 2011, s.8).

EPS -materiaalin käytön edut ovat lyhyt rakennusaika, ja pieni materiaalihävikki verrattuna ylipenkereen painumisesta aiheutuvaan materiaalihäviöön. EPS -rakenteesta aiheutuvat painumat ovat vähäisiä, joten painumavaurioiden korjauskustannuksia ei ole. EPS -materiaali on hieman muita kevennysmateriaaleja kalliimpaa, mutta lyhyt rakennusaika kompensoi kustannuseron. (Duškov & Waarts. 2011, s.8-9).



Kuva 23. Eri pohjanvahvistustavat (Duskov & Waarts, 2011, s.4-6).

Kuva 24. Painuvalle maapohjalle tehtävän tien levennyksen pohjanvahvistuksen kustannusvertailu (Duskov & Waarts 2011, s.8).

7.2 Meluseinät

Yleistä

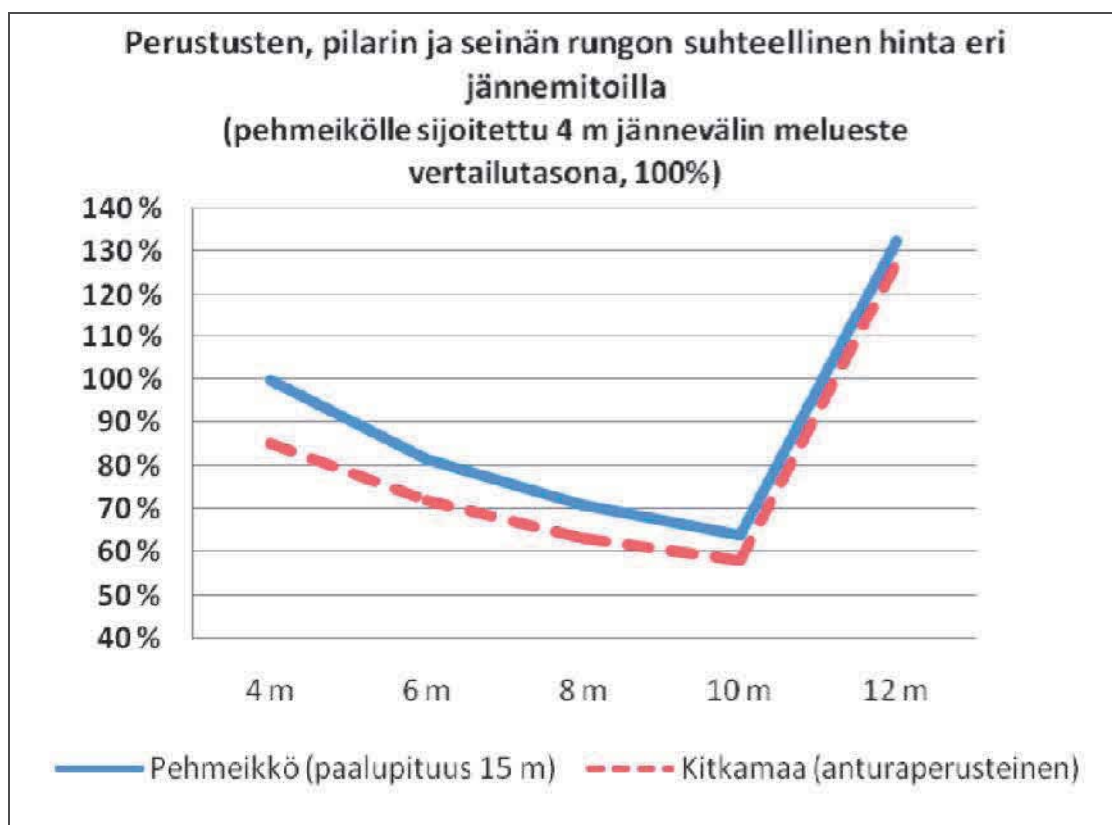
Tässä työssä meluseinien kustannusvertailua on suoritettu neljän erilaisen meluseinäratkaisun välillä. EPS -meluseinän lisäksi vertailussa on tyypilliset puu-, teräs-, ja betonivalmisteiset meluseinät.

Meluseinien kustannukset koostuvat itse seinään käytettävien materiaalien kustannuksista, rakentamiskustannuksista ja perustamiskustannuksista. Meluseinän korkeudeksi on vertailussa valittu 3,4 m ja jänneväliksi 6 m. Kaikkien tutkittujen meluseinävaihtoehtojen asentamiskustannukset on oletettu olevan 25 % materiaalien kustannuksista. Materiaalien hinnat on määritetty päivän hintojen mukaan ”suunnittelijan arviona”. Hintoihin kuitenkin vaikuttavat projektikohtaiset tekijät sekä markkinatilanne ja rakentamisajankohta, joten kustannukset tulee tarkastaa aina tapauskohtaisesti. Tässä vertailussa käytetyt yksikkökustannukset on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Vertailussa käytetyt yksikköhinnat.

Materiaali	Yksikköhinta
EPS -seinäelementti	40 €/m ²
Teräskasetti	55 €/m ²
Puisen meluesteen runkokuut	2 €/m
Vaneri	800 €/m ³
Laudat	700 €/m ³
Huopa	5 €/m ²
Teräsbetoni	350 €/m ³
Rimat	700 €/m ³
TeräSORRET -ja sokkeli, pelti	1,2 €/kg

Tyypillinen pilariväli meluseinillä on yleensä 4...6 m ulkonäkösyistä. Osa pilareista voidaan korvata valepilareilla, jolloin seinän jänneväli on pilariväliä suurempi. Suurentamalla jänneväliä voidaan vähentää rakentamisen kokonaiskustannuksia 10 metrin jänneväliin saakka (kuva 25). (Liikennevirasto 2010, s.54).



Kuva 25. Meluseinän suhteelliset kustannukset jännevälistä riippuen (Liikennevirasto 2010, s.54).

EPS –meluseinä

EPS -meluseinä on toteutettu käyttäen tyypillisesti mm. hallien seinissä käytettävää EPS -seinäelementtiä. Elementissä on EPS -sydän, jonka kummallakin puolella on teräsohutlevy. Meluseinäsovelluksessa levyn pintaan kiinnitetään teräSORRET 600 mm

välein. Teräsorsiin kiinnitetään puuverhous, joka on tehty 5,0 x 5,0 cm² pystysuuntaisista puurimoista. Rakenne ei vaadi erillistä sokkeliä, vaan elementti asennetaan maahan saakka / alaosa maanpinnan alapuolelle. Materiaalien hinnasta suurin osa koostuu EPS -seinäelementistä, jonka neliöhinnaksi on arvioitu 40 €/m².

Puinen meluseinä

Puinen meluseinä on vaihtoehtoista perinteisin ratkaisu. Runko on tehty kyllästetystä puusta. Ulkopinnat ovat puulaudoitusta, jonka alla toisella puolella on vanerilevy. Meluseinän päällä on hattupelti. Seinä on kiinnitetty betonisokkeliin. Rungon ja ulkopintojen kokoamisesta materiaalikustannuksiin on lisätty 15 % puuosien ja vanerin materiaalikustannuksista. Suurin osa kustannuksista koostuu puutavaran materiaalikustannuksista.

Teräskasettiseinä

Teräskasettiaita on valmis elementtituote. Teräskasettiseinän pintaan on kiinnitetty teräsorsien avulla puurimoista tehty verhous. Rakenne on periaatteeltaan samanlainen kuin EPS -meluseinässä. Meluseinä on terässokkelin varassa. Teräskasettiaitaa on saatavilla ainoastaan 4 m pituisina elementteinä, jolloin perustusten jänneväli on lyhyempi kuin muissa verratuissa rakenteissa.

Betoniseinä

Betoniseinä on valmistettu teräsbetonista. Betoniseinään on kiinnitetty teräsorret, jotka kannattelevat rimoista tehtyä puuverhous. Rakenne on samanlainen kuin EPS -meluseinässä.

Tulokset

Vertailtujen meluseinävaihtoehtojen hinnat on esitetty taulukossa 13. Kalleimman ja halvimmän vaihtoehdon välinen hintaero julkisivuneliötä kohti on 17 €. Halvimmaksi vaihtoehdoksi osoittautui EPS -meluseinä, ollen hieman edullisempi kuin puuaita. Kallein vaihtoehto on teräskasettiaita neliöhinnan ollessa 111 €.

Taulukko 13. Vertailtujen meluseinäarakenteiden kustannukset.

	MATERIAALI	ASENNUS	YHTEENSÄ
EPS-AITA, TERÄSORSILLA	74 €	18 €	92 € /m ²
PUUAITA	80 €	20 €	100 € /m ²
TERÄSKASSETTIAITA TERÄSORSILLA	89 €	22 €	111 € /m ²
BETONISEINÄ	87 €	22 €	109 € /m ²

Taulukossa 13 esitetyissä hinnoissa ei ole huomioitu perustamiskustannuksia. Perustusten tyyppi valitaan pohjamaan mukaan ja mitoitetaan tapauskohtaisesti. EPS -meluseinä on muihin verrattuihin rakenteisiin nähden kevyempi, jolloin perustuksille

tuleva pystysuuntainen kuorma on suhteellisen pieni. Pehmeiköillä ja löyhissä kitkamaissa ei tällöin välttämättä tarvita yhtä pitkiä paaluja tarvittavan kantavuuden saavuttamiseksi kuin raskaammilla runkorakenteilla. Paalutetuille anturaperustuksille ja kitkamaalle anturan varaan perustetuilla meluseinillä seinän painon kasvu pienentää tarvittavien perustusten kokoa (Liikennevirasto 2010, s.54).

Käytettäessä perustuksissa pitkiä paaluja kannattaa pidentää jänneväliä, jolloin perustusten lukumäärä vähenee. Kuitenkin jännevälin kasvaessa 6 metriin ja pidemmiksi, korkeista meluseinistä perustuksille kohdistuvat kuormat alkavat olla hyvin merkittäviä. Kitkamaalle anturaan varaan perustetun meluseinän tapauksessa anturan koon kasvaessa myös kaivu ja täyttötöytöt lisääntyvät. Tällöin myös tilanpuute saattaa olla ongelma. Teräsputkipaaluja käytettäessä kaivu- ja täyttötöitä on hyvin vähäisissä määrin, millä on vaikutusta kustannuksiin erityisesti olemassa olevan tien viereen rakennettaessa. (Liikennevirasto 2010, s.54).

EPS -meluseinälle selkeä kustannussäästö on mahdollisuus asentaa seinäelementti maahan saakka, jolloin erillistä sokkeliä ei tarvita.

7.3 Meluvallit

Meluvallin kustannusvertailulaskelmat on suoritettu 4,0 m korkealle vallille, joka sijaitsee painuvalla pohjamaalla. Pohjamaan ja vallin maaparametrit on esitetty taulukossa 14. Vallin luiskakaltevuus on 1:2. Laskelmissa käytetty geometria on esitetty kuvassa 25. Pohjamaan paksuus laskelmissa on $h = 5$ m; 10 m; 15 m ja 20 m. Meluvalli on laskelmissa oletettu rakennettavan pääkaupunkiseudulle.

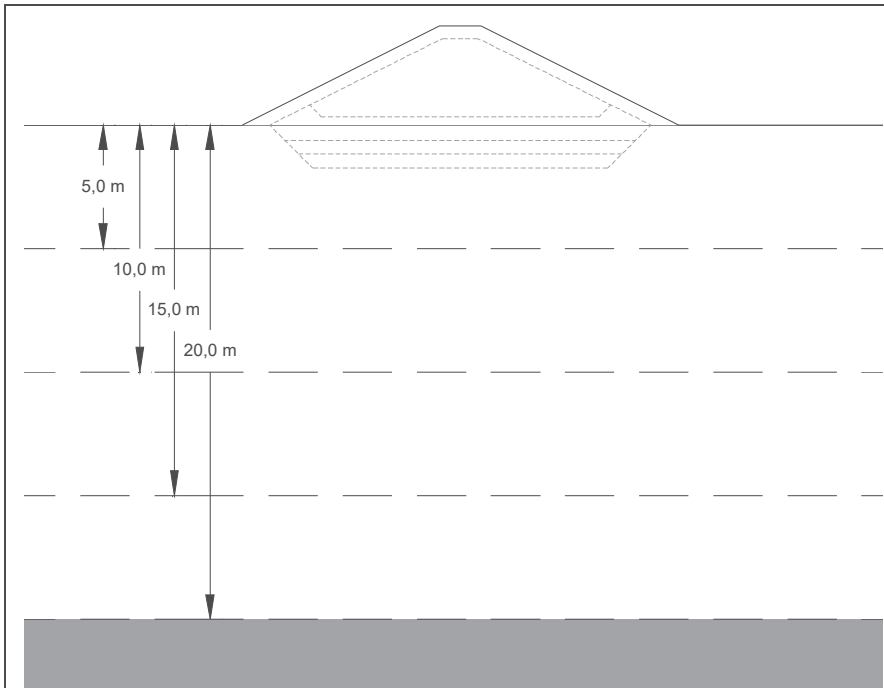
Taulukko 14. Kustannusvertailussa käytetyt meluvallin täyttömateriaalin ja pohjamaan maaparametrit.

	c [kPa]	w [%]	γ [kN/m ³]	C_v	m_1	β_1	m_2	β_1
Savi	10	80	15.3	0.5	9.53	-0.21	65.56	0.5
Täyttömaa	-	-	18	-	-	-	-	-

Valliin on mitoitettu kevytsoralla, rengasrouheella, kokonaisilla renkailla ja EPS -solumuovilla toteutettava kevennys, sekä pohjanvahvistus pilaristabilointia käyttäen. Kevennys on mitoitettu maksimipainumalle ~ 200 mm. Vallissa käytetty maa on tilavuuspainoltaan $\gamma = 18$ kN/m³. Kevennysmateriaali on sijoitettu valliin siten, että kevennysmateriaalin päällä on 0,5 m kerros täyttömaata. Riippuen keventeestä ja pehmeikön paksuudesta, kevennystä on syvennetty pohjamaan tarvittavaan syvyyteen kuvassa 26 esitetyn periaatteen mukaisesti.

Kustannusvertailuun on otettu mukaan ainoastaan vallin kevennyksestä aiheutuvat kustannukset. Pintamaan ja mahdollisten istutusten kustannuksia ei ole huomioitu, koska nämä pysyvät samana kevennysmateriaalista riippumatta. Mikäli on jouduttu suorittamaan kevennyskaivua, on oletettu, että kaivumaita kuljetetaan 20...25 km päässä sijaitsevalle maanlajityspaikalle. Hinnat on otettu Rapalin InInfra

rakennusosahinnastosta sekä kevennemateriaalin toimittajien hintatietoudesta. Hinnat on esitetty taulukossa 15.



Kuva 26. Kustannusvertailussa käytetty laskentapoikkileikkaus, jossa pohjamaan paksuus vaihtelee 5...20 m välillä.

Taulukko 15. Meluvallin kustannusvertailussa käytetyt yksikköhinnat.

Materiaali		Hinta	
Materiaali asennettuna			
EPS	22 kg/m ³	60	€/m ³
	10 kg/m ³	40	€/m ³
Kevytsora		42.47	€/m ³
Stabilointi	80...150 kg/m ³	12.44	€/m ³
Autonrenkaat	Kokonaiset	10	€/m ³
	Rengasrouhe	5	
Kaivu		4.76	€/m ³
Kaivumaiden kuljetus 20...25 km		10.12	€/m ³
Kaatopaikan vastaanotto		7.50	€/m ³
Suodatinkangas	N3	0.8	€/m ²
Lujitekangas	50 kN/m	6	€/m ²

Yksikköhinnoissa esitettyyn kaivuun kuuluu maan kaivu, kuormausta, 1 km kuljetus läjitykseen ja massojen vastaanoton. Kaivumaa on täyttömaaksi käyttökelvotonta, jolloin loppusijoituspaikka on maankaatopaikalla, johon on erillinen vastaanottomaksu. Taulukon hinnat sisältävät asennuksen.

Kevytsora (KS)

Kevytsorakevennystä käytettäessä kustannukset muodostuvat käytetyn kevytsoran määrästä ja kevennyksen alle tulevasta suodatinkankaasta. Kevytsorakevennyksen suuruus, ja näin ollen kustannukset, riippuvat hyvin vähän pehmeikön paksuudesta painumien tapahtuessa pääasiassa pintakerroksissa.

Rengasrouhe ja kokonaiset renkaat (RR ja KR)

Myös renkailla tehtävän kevennyksen kustannukset riippuvat käytettyjen renkaiden määrästä. Lisäkustannuksia tulee kevennyksen ympärille sijoitettavasta suodatinkankaasta, sekä päälle tulevasta lujitekankaasta. Rengaskevennyksen suuruus, ja näin ollen kustannukset, ovat myös hyvin vähän riippuvaisia pehmeikön paksuudesta painumien tapahtuessa pääasiassa pintakerroksissa.

Käytettyjä renkaita käytettäessä materiaalin kustannukset riippuvat siitä, onko kyseessä rengasrouhe vai kokonaiset renkaat. Rengasrouheen hinta kasvaa materiaalin leikkauskertojen kasvaessa. (Liikennevirasto 2011, s.32) Kokonaisia renkaita saadaan kustannuksetta, mikäli vallin rakentaminen voidaan toteuttaa aikataululla, jossa renkaat voidaan toimittaa työmaalle toimittajan keräilyrytmin mukaisesti. Tiukemmalla aikataululla kokonaisten renkaiden kustannukset muodostuvat kuljetuskuluista. (Huovinen 2011)

Pilaristabilointi (PS)

Pilaristabiloinnin kustannukset määräytyvät käytettävän sideainemäärän perusteella. Tähän vaikuttaa pilareiden leikkauslujuus, halkaisija, pilariväli ja savikon syvyys. Tässä mitoitettujen pilareiden leikkauslujuus $\tau = 120$ kPa, halkaisija $\varnothing = 600$ mm ja pilariväli $k/k = 0,7$ m.

EPS -solumuovi

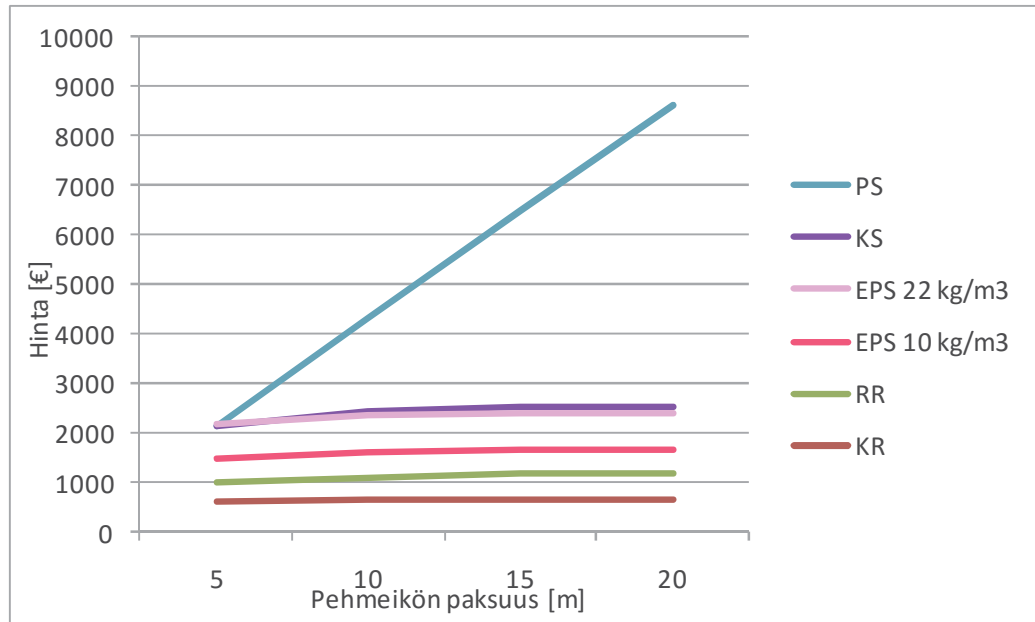
EPS -solumuovikevennyksen kustannukset muodostuvat EPS -materiaalin kuluista ja kevennyksen ympärille tarvittavan suodatinkankaan kustannuksista.

EPS -solumuovin hinta riippuu käytettävän materiaalin tiheydestä. Mitoitukset on suoritettu Liikenneviraston Kevennysrakenteiden suunnittelu -ohjeen mukaisesti 1,0 kN/m³ tilavuuspainolla, riippumatta materiaalin todellisesta tiheydestä. Ero kevennysmateriaalin määrässä on kuitenkin suhteellisen vähäinen todellisilla tilavuuspainoilla ja mitoitustilavuuspainolla tehtyjen laskelmien välillä. Kustannusvertailuihin on otettu mukaan EPS -laadut, joiden tiheydet ovat 10 kg/m³ ja

22 kg/m³. Tyypillisesti kevennekäyttöön tarkoitettu EPS -materiaali on vähintään 22 kg/m³, mutta meluvalleissa materiaalin ei tarvitse olla yhtä kestävä.

Tulokset

Vertailtujen vallivaihtoehtojen tulokset on esitetty kuvassa 27.



Kuva 27. Meluvallien kustannusvertailujen tulokset.

Kevennerakenteiden hinta kasvaa hyvin vähän pehmeikön paksuuden kasvaessa. Painuma tapahtuu pääasiassa pohjamaan päällimmäisissä kerroksissa, jolloin pehmeikön syvyydellä ei ole merkitystä. Pilaristabiloinnin määrä, ja näin ollen kustannukset, ovat suoraan riippuvaisia pehmeikön paksuudesta. Mikäli kevennys mitoitetaan kokonaiskevennyksenä, ei pohjamaan syvyydellä ole merkitystä.

Kokonaisista renkaista ja rengasrouheesta tehtävät kevennykset ovat halvimpia vaihtoehtoja. Ainoastaan hieman kalliimpi on kevennys EPS -materiaalista, jonka tiheys on 10 kg/m³. Kevytsorasta ja EPS -materiaalista, jonka tiheys on 22 kg/m³, tehtävät kevennykset ovat lähestulkoon samanhintaisia. Pilaristabilointi on kannattavaa alle 5,0 m pehmeikön paksuuksilla. Pidemmällä pilaripituuksilla täytemaan käyttäminen vallissa ei ole taloudellisesti mielekästä, koska pilarimäärä kasvaa hyvin suureksi.

Taulukossa 16 on esitetty eri kevennysmateriaaleilla tehtävä kevennyksen korkeus ja kevennyskaivun syvyys. Kevytsoralla ja rengasrouheella on suoritettava lähes kaikilla pehmeikön syvyyksillä yli 1,0 m kevennyskaivu. Todellisuudessa harvoin tehdään yli 1,0 m kevennyskaivua meluvaliin alle, joten nämä ovat epätodennäköisiä vaihtoehtoja. Kevytsora- tai rengaskevennys voidaan yhdistää pilaristabilointiin, jolloin vältetään kevennyskaivun suorittaminen, ja pilarit voidaan mitoittaa pienemmälle kuormalle.

Taulukko 16. Kevennyksen korkeus ja kevennyskaivun syvyys kevennysratkaisusta riippuen.

Kevenne	Tilavuuspaino	Pohjamaa	Kevennyksen korkeus [m]	Kevennyskaivun syvyys [m]
EPS 10 kg/m ³ EPS 22 kg/m ³	$\gamma = 1 \text{ kN/m}^3$	5 m	3.8	0.3
		10 m	3.95	0.45
		15...20 m	4	0.5
KS	$\gamma = 4 \text{ kN/m}^3$	5 m	4.4	0.9
		10 m	4.75	1.25
		15...20 m	4.85	1.35
RR	$\gamma = 5 \text{ kN/m}^3$	5 m	4.8	1.3
		10 m	5.05	1.55
		15...20 m	5.2	1.7
KR	$\gamma = 3 \text{ kN/m}^3$	5 m	4.3	0.8
		10 m	4.4	0.9
		15...20 m	4.5	1

Käytettäessä kokonaisrenkaita tai rengasrouhetta, rakentamiselle joudutaan hakemaan ympäristölupa. Kevytsovalle ja EPS -solumuoville tätä ei tarvitse tehdä. Tällöin rakentaminen voi käynnistyä aikaisemmin, josta voi syntyä kustannussäästöä.

8 EPS -MELUVALLIN MITOITUS

8.1 Penkereen kokonaisvakavuuden mitoitus eurokoodien mukaisesti

8.1.1 Suositeltavat ohjeet ja määräykset

Usein melusteet ovat Liikenne- ja viestintäministeriön (LVM) alaisia hankkeita, jolloin eurokoodien mukaisessa suunnittelussa sovelletaan eurokoodistandardin SFS-EN 1997-1 lisäksi Liikenne- ja viestintäministeriön kansallista liitettä sekä Eurokoodin soveltamisohjetta NCCI 7. Mikäli meluste on rakentamisluvan alainen hanke (Ympäristöministeriön ohjeistuksen alainen hanke), ja suunnittelu tehdään eurokoodien mukaan, suunnittelussa käytetään eurokoodistandardin SFS-EN 1997-1 lisäksi Ympäristöministeriön kansallista liitettä, sekä RIL-2009 eurokoodin EN 1997-1 suunnitteluohjetta. Tässä kappaleessa esitetty mitoitusmenettely on LVM:n ohjeiden mukainen.

Eurokoodien mukainen mitoitus ei kuitenkaan ole vielä pakollista rakentamisluvan alaisissa kohteissa eikä esim. kuntien omissa infrakohteissa. Näissä kohteissa geotekninen mitoitus voidaan tehdä edelleen Pohjarakennusohjeiden mukaisesti, ellei tilaajan kanssa toisin sovita. Pohjarakennusohjeiden mukaista suunnittelua käsitellään kappaleessa 8.2.

8.1.2 Huomioitavat tilanteet

Pohjavedenpinta ja vapaan veden pinta mallinnetaan tasolle, joka on epäedullisin mahdollinen tilanne. Tässä on huomioitava myös mahdolliset kuivatusjärjestelmän rikkoontumiset. (Liikennevirasto 2011b, s.64).

Mikäli mallissa on kerroksia, joiden leikkauslujuus on merkittävästi muita kerroksia huonompi, on mahdollisesti tarpeellista käyttää vapaamuotoisia liukupintoja. Myös kerrosten erilaiset lujuus-muodonmuutosominaisuudet on huomioitava laskennassa valitsemalla lujuusarvoja, jotka mobilisoituvat samoilla siirtymillä. (Liikennevirasto 2011b, s.64-65).

Mikäli rakenteessa käytetään kevyitä materiaaleja, on huomioitava myös nosteen vaikutus. Noste on huomioitava niin lyhytaikaisessa tilanteessa, jolloin materiaali on kuivaa, kuin pitkäaikaisessakin, jolloin materiaali on vettynyttä. (Liikennevirasto 2011b, s.65).

Mikäli laskelmien mukaan murto- tai käyttörajatilan esiintyminen ei ole riittävän epätodennäköistä, tulee maapohjaa seurata asianmukaisilla laitteilla. Suunnitelmassa on esitettävä seurannan järjestäminen, tulosten analysointi ja toimenpiteet hälytysrajojen ylittyessä. (Liikennevirasto 2011b, s.65). Kokoonpuristuvalla maalla olevan penkereen painumien laskennassa huomioidaan Eurokoodin kohdassa 6.6.1 (Käyttörajatila-yleistä) esitetyt periaatteet. Painumien aikariippuvuuteen kiinnitetään erityistä huomiota. (SFS-EN 1997-1, s.109).

8.1.3 Murtorajatilamitoitus

Luiskien kokonaisvakavuus on osoitettava rakenteen tai rakenteellisten osien murtorajatilassa (STR) ja rakennuspohjan murtorajatilassa (GEO) (SFS-EN 1997-1, s.104).

Mitoituksen perustana on epäyhtälö 8.1.

$$E_d \leq R_d \quad (8.1)$$

missä E_d = tavanomaisen lamellimenetelmän mukainen kaatavan momentin mitoitussarvo

R_d = tavanomaisen lamellimenetelmän vakauttavan momentin mitoitussarvo

E_d/R_d -suhdetta kutsutaan ylimitoituskertoimeksi ODF, jonka arvon vaatimuksena on $ODF \geq 1,0$. ODF -kerroin vastaa varmuuslukua, mikäli laskenta suoritetaan ominaisarvoilla. (Liikennevirasto 2011b, s.65).

Laskenta suoritetaan ensin ominaisarvoilla kokonaisvarmuuden suuruusluokan määrittämiseksi. Tällä määritetään myös murtopinnan sijainti, joka saattaa muuttua merkittävästi suoritettaessa laskentaa osavarmuuslukuja käyttäen. Mikäli murtopinnan sijainti muuttuu, ominaisarvoilla laskettaessa saadun murtopinnan varmuus on tarkistettava osavarmuuslukujen avulla laskettaessa. Kyseisen murtopinnan varmuutta voidaan käyttää varmuustason tarkistukseen harkinnan mukaan. (Liikennevirasto 2011b, s.65).

Murtorajatilamitoituksessa käytetään kuormien, kestävyyksien ja lujuuksien mitoitussarvoja. Mitoitussarvot on saatu taulukoissa 17, 18 ja 19 esitettyjen osavarmuuslukujen avulla. Eurokoodin mukaisesti mitoitettaessa luiskien ja kokonaisvarmuuden mitoitukseen käytetään mitoitustapaa DA3 (Liikenne- ja viestintäministeriö 2010, s. 2). Mitoitustavassa DA3 käytetään luiska- ja kokonaisstabiliteettitarkasteluissa osavarmuuslukujen yhdistelmää sarjoista

A2 ”+” M2 ”+” R3.

Osavarmuuskertoimet on annettu taulukoissa 17, 18 ja 19. Taulukko 17 kuvaa sarjan A2 osavarmuuskertoimia. Muuttuvien edullisten kuormien osavarmuusluku on 0, ts. niitä ei huomioida. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2010, s.8-12).

Taulukko 17. Kuormien (γ_F) tai kuorman vaikutusten (γ_E) osavarmuusluvut (STR/GEO) (Liikennevirasto 2011b/Taulukko A.3b(FI))

Taulukko A.3b(FI) on SFS-EN 1990:2002/A1 liitteen A2 kansallisen liitteen taulukko A2.4 (C)(FI)(sarja C) ja se korvaa SFS-EN 1997-1 taulukon A.3 sarjan A2.

Yhtälö	Pysyvät kuormat		Esiännitys		Määrävä muuttuva kuorma	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat
6.10	1.00	G	1.00	P	1.15 · (tieliikennekuorma)	1.30 · $\Psi_{0,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)
					1.15 · (kevyen liikenteen kuorma)	
					1.25 · (raideliikennekuorma)	
	tai					
1.00	G	1.00	P	1.30 · (muut muuttuvat kuormat)	1.15 · $\Psi_{0,i}$ · (tieliikennekuorma)	
					1.15 · $\Psi_{0,i}$ · (kevyen liikenteen kuorma)	
					1.25 · $\Psi_{0,i}$ · (raideliikennekuorma)	
					+ 1.30 · $\Psi_{0,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)	

Taulukko 18. Maaparametrien osavarmuusluvut (γ_M) (STR/GEO) (Liikennevirasto 2011b/Taulukko A.4(FI))

Maaparametri	Merkintä	Sarja	
		M1	M2
Leikkauskestävyysskulma ^a	γ_ϕ	1.0	1.25
Tehokas koheesio	γ_c	1.0	1.25
Suljettu leikkauslujuus	γ_{cu}	1.0	1.4
Yksiaksiaalinen puristuskoee	γ_{qu}	1.0	1.4
Tilavuuspaino	γ_γ	1.0	1.0

^atällä luvulla jaetaan $\tan \phi'$

Taulukko 19. Kestävyyden osavarmuusluvut (γ_R) luiskille ja kokonaisvakavuudelle (Liikennevirasto 2011b/Taulukko A.14(FI))

Kestävyys	Merkintä	Sarja R3
Maan kestävyys	$\gamma_{R,e}$	1.0

Taulukkoa 17 vastaava kuormien yhdistelykaava on seuraava (Liikennevirasto 2010b, s.L1/5)

$$1,0K_{FI}G_{kj,sup} + 1,0G_{kj,inf} + 1,0P_P + K_{FI}\gamma_{Q,1}Q_{k,1} + \Sigma(K_{FI}\gamma_{Q,i}\psi_{0,i}Q_{k,i}) \quad (8.2)$$

missä K_{FI} = Luotettavuusluokasta riippuva kerroin
 $G_{kj,sup}$ = Pysyvän kuorman j ominaisarvon yläraja
 $G_{kj,inf}$ = Pysyvän kuorman j ominaisarvon alaraja
 P_P = Injektoidun ankkuroinnin koe(veto)kuorma soveltuvuuskokeessa
 $\gamma_{Q,1}$ = Muuttuvan kuorman 1 osavarmuusluku
 $Q_{k,1}$ = Määrävä muuttuvan kuorman 1 ominaisarvo
 $\gamma_{Q,i}$ = Muuttuvan kuorman i osavarmuusluku
 $\psi_{0,i}$ = Muuttuvan kuorman yhdistelykerroin

Kerroin K_{FI} riippuu luotettavuusluokasta RC. Luotettavuusluokat selventävät seuraamusluokkia CC1, CC2 ja CC3. Seuraamusluokkien määrittelyt ja niitä vastaavien luotettavuusluokkien perusteella määräytyvät kuormakertoimet K_{FI} on esitetty taulukossa 20. (SFS-EN 1990, s.136-138).

Taulukko 20. Seuraamusluokkien määrittely ja niitä vastaavien luotettavuusluokkien perusteella määräytyvä kuormakerroin K_{FI} (SFS-EN 1990:2006/Taulukko B1 ja B3, s.136-138).

Seuraamusluokka	Kuvaus	Rakennuksia sekä maa- ja vesirakennuskohteita koskevia esimerkkejä	Luotettavuusluokka	Kuormakerroin K_{FI}
CC3	Suuret seuraamukset hengenmenetysten tai hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Pääkatsomot; julkiset rakennukset, joissa vaurion seuraamukset ovat suuret (esim. konserttitalo)	RC3	1.1
CC2	Keskisuuret seuraamukset hengenmenetysten tai merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Asuin- ja liikerakennukset; julkiset rakennukset, joissa vaurion seuraamukset ovat keskisuuret (esim. toimistorakennus)	RC2	1.0
CC1	Vähäiset seuraamukset hengenmenetysten tai pienien tai merkitysettömien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	Maa- ja metsätalousrakennukset, joissa ei yleensä oleskele ihmisiä (esim. varastorakennukset), kasvihuoneet	RC1	0.9

8.1.4 Käyttörajatilamitoitus

Vakavuuden käyttörajatilamitoituksella tarkastetaan, etteivät muodonmuutokset maapohjassa ylitä käyttörajatilaa rakenteissa ja infrarakenteissa kyseisellä maapohjalla tai sen läheisyydessä (SFS-EN 1997-1, s.106). Käyttörajatilassa esiintyvien siirtymien laskenta on työlästä ja epätarkkaa, joten käyttörajatilamitoituksen voi suorittaa mitoittamalla korkeamman murtorajatilan varmuustason. (Liikennevirasto 2011b, s.65).

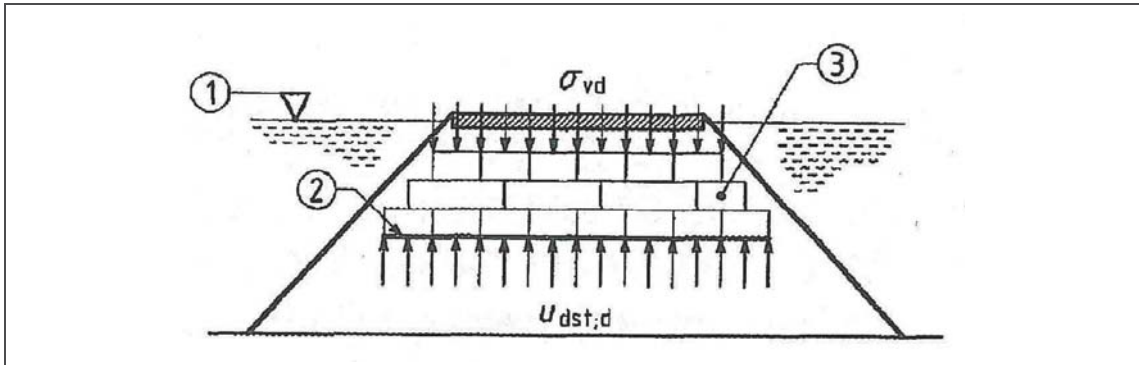
Käyttörajatilassa käytetään korotettuja maan lujuusparametrien osavarmuuslukuja. Osavarmuusluvut on esitetty taulukossa 21. Käyttörajatilamitoituksessa käytetään kuormien osavarmuuskertoimina 1,0. (Liikennevirasto 2011b, s.66).

Taulukko 21. Käyttörajatilatarkastelussa käytettävät maapohjan lujuusparametrien osavarmuusluvut stabiileitin laskentaan (Liikennevirasto 2011b, s.66).

Maaparametri	Merkintä	Sarja M2
Leikkauskestävyyskulma ^a	γ_{φ}	1.65
Tehokas koheesio	$\gamma_{c'}$	1.65
Suljettu leikkauslujuus	γ_{cu}	1.8
Yksiaksiaalinen puristuskoef	γ_{qu}	1.8
Tilavuuspaino	$\gamma_{\gamma'}$	1.0

^atällä luvulla jaetaan $\tan \varphi'$

8.1.5 Noste



Kuva 28 Tulvan aikana kevennyspenkereeseen vaikuttava noste. 1 Pohjavedenpinta, 2 vesitiivis pinta ja 3 Kevyt pengermateriaali. (SFS-EN 1997-1) σ_{vd} = Kevyen pengermateriaalin yläpintaan kohdistuva pystyjännityksen mitoitusarvo; $U_{dst;d}$ = Kaatavan kokonaishuokosvedenpaineen mitoitusarvo.

Nostetarkastelulla tarkoitetaan huonosti vettä läpäisevien maalajien alapintaan tai rakenteisiin vaikuttavan vedenpaineen aiheuttaman murtuman tarkastelua (Kuva 28). Pohjan murtuminen nosteen vaikutuksesta tapahtuu, kun huokosvedenpaine rakenteen tai huonosti vettä läpäisevän maakerroksen alapinnassa on suurempi kuin yläpuolelta kohdistuva kuorma. Yläpuolelta kohdistuvassa kuormassa huomioidaan kuormittavat rakenteet ja maakerrosten paino, sekä ulkoiset pysyvät voimat. Tarkastelussa huomioidaan paikalliset ja ajalliset vaihtelut vedenpidoissa ja paineissa, sekä mahdolliset reunaehto- ja muutokset. (Liikennevirasto 2011b, s. 67)

Kuivattamalla rakenne vedenpainetta alentamalla, rakenteen painon kasvattamisella tai rakenteen ankkuroinnilla voidaan estää hydraulisen nousun aiheuttamaa murtumista. (Liikennevirasto 2011b, s. 67-68) Nosteen aiheuttaman murtumisen vaara tarkistetaan seuraavalla kaavalla 8.3

$$G_{dst;d} + Q_{dst;d} \leq G_{stb;d} + R_d \quad (8.3)$$

missä $G_{dst;d}$ = Pystysuorien kaatavien voimien mitoitusarvo (Rakenteen tai huonosti vettä läpäisevän maakerroksen alapintaan vaikuttavan vedenpaineen resultantti)
 $Q_{dst;d}$ = Pystysuorien muuttuvien kuormien mitoitusarvo
 $G_{stb;d}$ = Vakauttavien pysyvien pystysuorien kuormien mitoitusarvo (Rakenteen paino)
 R_d = Kestävyysmitoitussarvo (Esim. sivukitka, vetopaalut tai ankkurit)

Osavarmuusluvut saadaan taulukoista 22 ja 23. Kestävyysmitoitussarvossa R_d osavarmuuslukuja käytetään maan ominaisuuksiin ja vedettyjen rakenteiden kestävyksiin. Kestävyys voidaan ottaa laskentaan mukaan myös pystysuorana

kuormana, jolloin käytettävä osavarmuusluku on vakauttavan pysyvän kuorman osavarmuusluku. (Liikennevirasto 2011b, s. 68).

Taulukko 22. Kuormien osavarmuusluvut (γ_F) (UPL) (Liikennevirasto 2011b/Taulukko A.15(FI))

Kuorma	Merkintä	Arvo
Pysyvä		
Epäedullinen ^a	$\gamma_{G,dst}$	1.1K _{FI}
Edullinen ^b	$\gamma_{G,stb}$	0.9
Muuttuva		
Epäedullinen ^a	$\gamma_{Q,dst}$	1.5K _{FI}

^aKaatava kuorma

^bVakauttava kuorma

Taulukko 23. Osavarmuusluvut maaparametreille ja kestävyyksille (UPL) (Liikennevirasto 2011b/Taulukko A.16(FI))

Maaparametri	Merkintä	Arvo
Leikkauskestävyysskulma ^a	$\gamma_{\varphi'}$	1.25
Tehokas koheesio	$\gamma_{c'}$	1.25
Suljettu leikkauslujuus	γ_{cu}	1.4
Vedetyn paalun kestävyys	$\gamma_{s,t}$	1.5
Ankkurin kestävyys	γ_{α}	1.5

^atällä luvulla jaetaan $\tan \varphi'$

8.1.6 Painuma

Painumalaskelmissa tulee tarkastella välitöntä ja hitaasti tapahtuvaa painumaa. Painumien arvioinnissa käytetään yleisesti tunnettuja menetelmiä. (SFS-EN 1997, s. 57).

8.1.7 Puristuslujuus

EPS -materiaalin vaadittava puristuslujuus määritetään tiepenkereelle Liikenneviraston Kevennysrakenteiden suunnittelu -ohjeen mukaisesti (2011). Mitoitus suoritetaan kokonaiskuormalle, joka sisältää liikennekuorman ja pysyvän kuorman. Ohjeessa on määritetty käytettävien kuormien suuruudet, niiden vaikutusalat ja sijainnit. Osavarmuuslukuina käytetään liikennekuormalle 1,35 ja maan painolle 1,15. EPS -materiaalin puristuslujuudelle käytetään osavarmuuslukua 1,25. Kuorman voidaan olettaa siirtyvän alempiin kerroksiin kaltevuuden 2:1 mukaan. (Liikennevirasto 2011a, s.28).

Tiepenkereeseen käytettävän EPS -materiaalin kestävyys tarkistetaan pitkäaikaiselle ja sykliselle kuormitukselle. Pitkäaikaiselle kuormitukselle käytetään kestävyyskerrointa ominaisarvoa $0,3 \cdot \sigma_{10}$ ja sykliselle kuormitukselle $0,35 \cdot \sigma_{10}$, jossa σ_{10} tarkoittaa EPS -materiaalin lyhytaikaista puristuslujuutta 10 % muodonmuutoksella. Kummallekin kuormitukselle käytetään osavarmuuslukua 1,0. Materiaalille käytetään osavarmuuslukua 1,25. (Liikennevirasto 2011a, s.28).

Meluvallin päällä ei liikennöidä, jolloin mitoitettaessa EPS -materiaalin kestävyyttä on tarkasteltava kokonaiskuormaa sekä pitkäaikaista kuormitusta, mutta syklisiä kuormitusta ei tarvitse tarkastella. Valli mitoitetaan kokonaiskuormalle ja pitkäaikaiselle kuormitukselle kuten tiepenger Liikenneviraston 'Kevennysrakenteiden suunnittelu' -ohjeessa (2011). Liikennekuorma kuitenkin voidaan meluvallin

tapauksessa tulkita sisältävän kaikki meluvallille kohdistuvat muuttuvat kuormat, kuten lumikuorman ja mahdollisen huoltoajoneuvon tms. liikennöimisen. Liikennekuorman ominaisarvoksi voidaan valita esim. 5 kN/m², joka kattaa myös hyvin paksun lumikerroksen aiheuttaman kuorman. Taulukkoon 24 on koottu meluvallin EPS - materiaalin kestävyiden mitoituksessa käytettävät osavarmuusluvut.

Taulukko 24. Meluvallin EPS -materiaalin mitoituksessa käytettävät osavarmuusluvut. (Liikennevirasto 2011a, s.28).

Mitoitus kokonaiskuormalle			
Liikennekuorman osavarmuusluku	1.35	vrt.	σ_{10}
Maan painon osavarmuusluku	1.15		
EPS -materiaalin kestävyiden osavarmuusluku	1.25		
Mitoitus pitkäaikaiselle kuormalle			
Pitkäaikaisen kuorman osavarmuusluku	1.00	vrt.	$0,3 \cdot \sigma_{10}$
EPS -materiaalin kestävyiden osavarmuusluku	1.25		

8.1.8 Liukuminen

EPS -kevennetyn penkereen liukuminen maapohjaa pitkin tai EPS -kerrosten välissä on mahdollista, mikäli siihen kohdistuu merkittäviä sivuttaissuuntaisia kuormia. Vaakasuuntaisia kuormia penkereeseen voivat aiheuttaa esim. tuuli ja vesi. Vallimaisella rakenteella tuuli ei käytännössä ole riittävän suuri aiheuttamaan penkereen liukumista, ellei rakenteen yläpuolinen pintarakenne ole erityisen ohut, kevyt ja heikko. Korkealla muurimaisella rakenteella tuuli voi olla liukumisen kannalta mitoittava. Vedenpaine voi aiheuttaa merkittäviä sivusuuntaisia kuormia penkereeseen, mikäli vesi padottuu penkereen toiselle puolelle. Tällaisen tilanteen syntyminen ei kuitenkaan ole todennäköistä meluvallin tapauksessa. Mikäli EPS -valliin voi kohdistua merkittävä toispuoleinen maanpaine, on liukumisriski syytä tarkistaa.

8.2 Pohjarakennusohjeiden mukainen mitoitus

Pohjarakennusohjeiden mukaisesti mitoitettaessa on tarkastettava samat tapaukset kuin Eurokoodien mukaisessa mitoituksessa. Mitoitus tehdään tällöin kuitenkin kokonaisvarmuuslukuja käyttäen, jolloin mitoituksessa saataville kokonaisvarmuusluvuille on määritetty vähimmäisarvot 1,5 ja 1,8. Varmuuslukua 1,5 käytetään lyhytkestoisissa rakennusvaiheissa ja vaativuudeltaan vähäisille pohja- ja maarakenteille. Varmuuslukua 1,8 käytetään silloin, kun tukirakenteen sortuman vaikutusalueella on muita kuin työnaikaisia rakenteita. (RIL 121-2004, s.59).

9 LASKENTAMALLI JA PARAMETRIT

9.1 Kitkakulma ja koheesio

EPS -blokeista rakennetun kevennyksen stabiiliteettilaskennassa on huomioitava, että blokkien välisten saumojen leikkauslujuus koostuu ainoastaan blokkien välisestä kitkasta, sekä mahdollisista mekaanisista liittimistä. (Liikennevirasto 2011, s.28).

Kahden EPS – blokin väliselle pinnalle on kirjallisuudessa annettu useita arvoja. Arvot vaihtelevat yhtenevän testimenetelmän puuttuessa. Testauksissa on ollut eroja mm. näytteiden koossa, pinnan sileydessä ja testijärjestelyssä, joista erityisesti pinnan sileyden on huomattu vaikuttavan tulokseen huomattavasti. (NCHRP 2004, s.2-52).

Tyypillisin pinnan kitkakertoimen määrittämiseen käytetty testi vastaa suoraa leikkauskoetta. Tällöin kaksi EPS -kappaletta on asetettu päällekkäin ja niihin kohdistuu pystysuora normaalijännitys. Toista kappaletta vedetään, ja samalla mitataan vetämiseen tarvittavaa voimaa ja siirtymää. (NCHRP 2004, s.2-52).

Leikkauslujuus määritetään yhtälöllä (NCHRP 2004, s.2-52)

$$\tau = \sigma_n \times \mu = \sigma_n \times \tan \delta \quad (9.1)$$

missä τ on kokonaisleikkauslujuus kappaleiden välisellä pinnalla [kPa]
 σ_n on vallitseva normaalijännitys kappaleiden välisellä pinnalla [kPa]
 μ on kappaleiden välinen kitkakerroin = $\tan \delta$ [-]
 δ on kappaleiden välisen pinnan kitkakulma [°]

Blokkien välisen pinnan oletetaan käyttäytyvän Mohr-Coulombin murtoehdon mukaisesti. Mekaanisten liittimien vaikutusta EPS -blokeista tehtyjen kerrosten välissä voidaan havainnollistaa lisäämällä kaavaan 9.1 koheesio – termi (NCHRP 2004, s.6-5)

$$\tau = c_a + \sigma'_n \times \tan \delta \quad (9.2)$$

missä c_a on kiinnikkeiden aiheuttama näennäiskoheesio

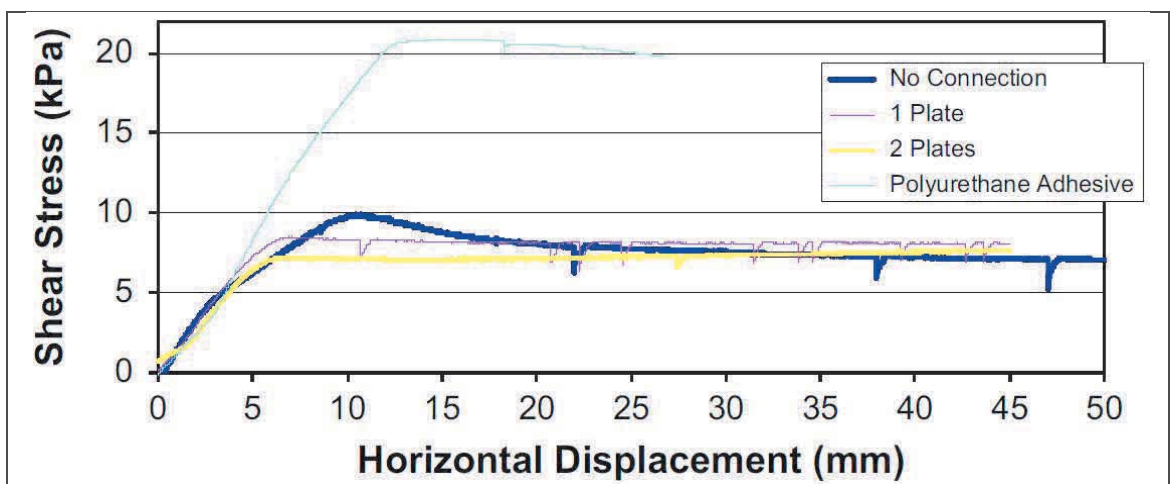
Kaavoista 9.1 ja 9.2 voidaan nähdä, että vaikka EPS/EPS - pinnan kitkakulma olisi suuri, pelkästään kitkasta aiheutuva leikkauslujuus on usein pieni. Tämä johtuu siitä, että EPS -materiaali on kevyttä, ja kevennysrakenteissa EPS -materiaalin päällä oleva kerros pyritään myös rakentamaan mahdollisimman kevyenä, jolloin normaalijännitys on pieni.

Geofoam Applications in the Design and Construction of Highway Embankments – julkaisun (2004) mukaan kirjallisuudessa EPS/EPS – pinnalle raportoidut kitkakertoimen arvot vaihtelevat välillä $\mu = 0,5...0,7$. Kyseisen julkaisun

kirjoitushetkellä siihen mennessä laajimmassa tutkimuksessa pinnan kitkakertoimeksi saatiin $\mu = 0,64$. Tämä julkaistiin vuonna 1993 Expanded Polystyrol Construction Method Development Organization julkaisemassa tutkimuksessa. Samassa tutkimuksessa myös todettiin, että kitkan suuruus ei riipu EPS -materiaalin tiheydestä, koska leikkautuminen tapahtuu blokkien välisessä pinnassa. Oletuksena kuitenkin oli, että normaalijännitys on niin pieni, ettei EPS - materiaalissa tapahdu merkittävää muodonmuutosta (excessive deformation). (NCHRP 2004, s.2-53). Sheeleyn ja Negusseyn vuonna 2000 suorittaman tutkimuksen mukaan EPS -solumuovin tiheydellä ei ole merkittävää vaikutusta kahden blokin väliseen kitkaan (Barrett & Valsangar 2009, s.212).

Barrett ja Valsangar (2009) suorittivat vuonna tutkimuksen, jossa testattiin kahden EPS – kappaleen välisen pinnan leikkauslujuutta. Ilman erillisiä kiinnikkeitä olevan pinnan lisäksi testattavana oli pinta, jossa oli liittiminä piikkilevyt sekä pinta, jossa oli käytetty polyuretaaniliimaa.

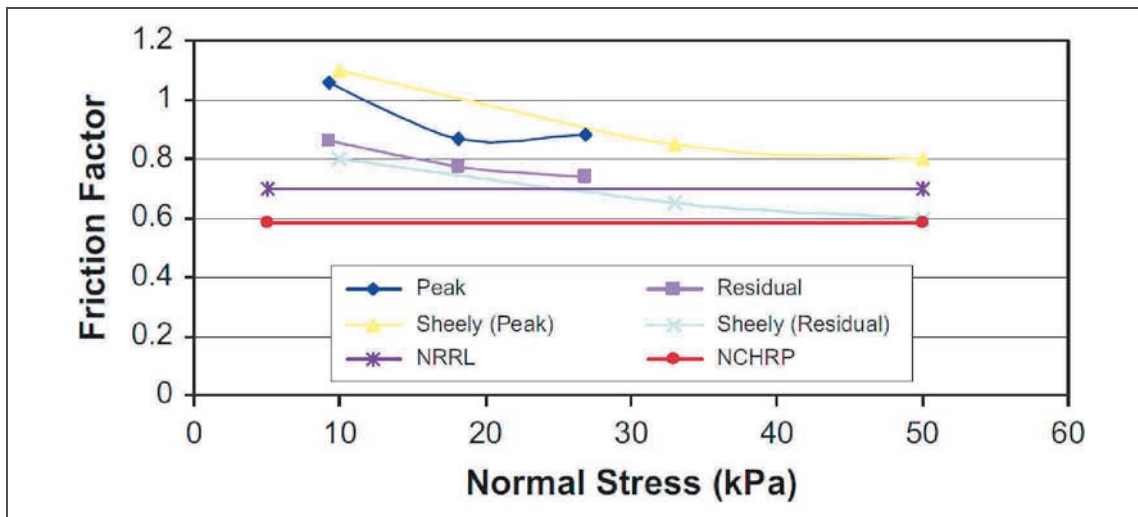
Barrettin ja Valsangarin (2009) suorittamassa tutkimuksessa staattisella kuormituksella (monotonic loading) liitoslevyjen käyttö ei parantanut EPS -pintojen välistä leikkauslujuutta käytettäessä EPS -materiaalia, jonka tiheys on 30 kg/m^3 , vaan päinvastoin heikensi sitä (Kuva 29). Tämä selittyy sillä, että liitoslevyt vähentävät solumuovien kontaktipinta-alaa, jolloin kitkavoima on pienempi. Liitoslevyjen tuoma lisäleikkauslujuus ei riitä kompensoimaan puuttuvaa kitkaa. Testattaessa EPS -laatua, jonka tiheys on 15 kg/m^3 , liitoslevyjen käytöllä oli huomattavissa hyvin pientä hyötyä. Tiheydeltään 15 kg/m^3 EPS -materiaali on helpommin kokoonpuristuvaa, jolloin myös kuormituksen kasvaessa kappaleiden välinen kontaktipinta-ala on suurempi, jolla voidaan myös selittää leikkauslujuuden kasvu. Sheeley ja Negussey totesivat myös vuonna 2000 suorittamassaan tutkimuksessa, että piikkilevyt eivät lisänneet leikkauslujuutta EPS -pintojen välillä, ja että muutettaessa kuormituksen suuntaa päinvastaiseksi toiseen suuntaan tehdyn kokeen jälkeen, lujuus oli ainoastaan puolet yksisuuntaisesta kuormituksesta. (Barrett & Valsangar 2009, s.214).



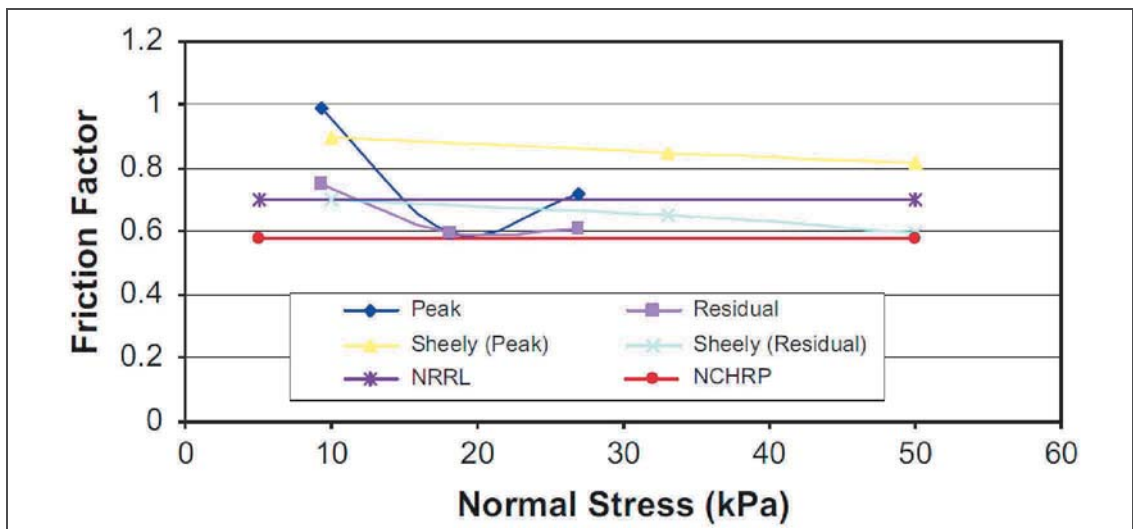
Kuva 29. Leikkauskokeen (Large block sliding test) tulos EPS -laadulle, jonka tiheys on 30 kg/m^3 . Käytetty normaalijännitys σ_n on $9,3 \text{ kPa}$. (Barrett & Valsangar 2009, s. 214)

Kuvissa 30 ja 31 on esitetty Barrettin ja Valsangarin tutkimuksessa määritetyt kitkakertoimet kahden EPS -kappaleen väliselle pinnalle. Kuvassa 30 kertoimet on määritetty EPS -laadulle, jonka tiheys on 30 kg/m³. Kitkakertoimien huippuarvot vaihtelevat välillä 0,87...1,06. Jäännöslujuutta vastaavat arvot vaihtelevat välillä 0,74...0,86. Muut kuvaajassa esitetyt kitkakertoimet ovat Sheeleyn ja Negusseyn (2000) määrittämät, sekä National Cooperative Highway Reserch Program:n (NCHRP) ohjekirjan ja Norwegian Road Research Laboratory:n (NRRL) mukaiset kitkakertoimen suunnitteluarvot. (Barrett & Valsangar 2009, s.214).

Kuvassa 31 on esitetty edellä mainitut kertoimet EPS -laadulle, jonka tiheys on 15 kg/m³. Tällöin huippulujuutta vastaavat kertoimet ovat välillä 0,60...0,99. Jäännöslujuutta vastaavat kitkakertoimet sijoittuvat vastaavasti välille 0,60...0,75. (Barrett & Valsangar 2009, s.214).



Kuva 30. EPS -pintojen välisen kitkakertoimien suuruus normaalijännityksen funktiona EPS -laadulle, jonka tiheys on 30 kg/m³. (Barrett & Valsangar 2009, s.214) Suomessa kevenneiden suunnittelussa käytetään kahden EPS -kappaleen väliselle pinnalle kitkakertointa 0,5. (Liikennevirasto 2011, s.27).

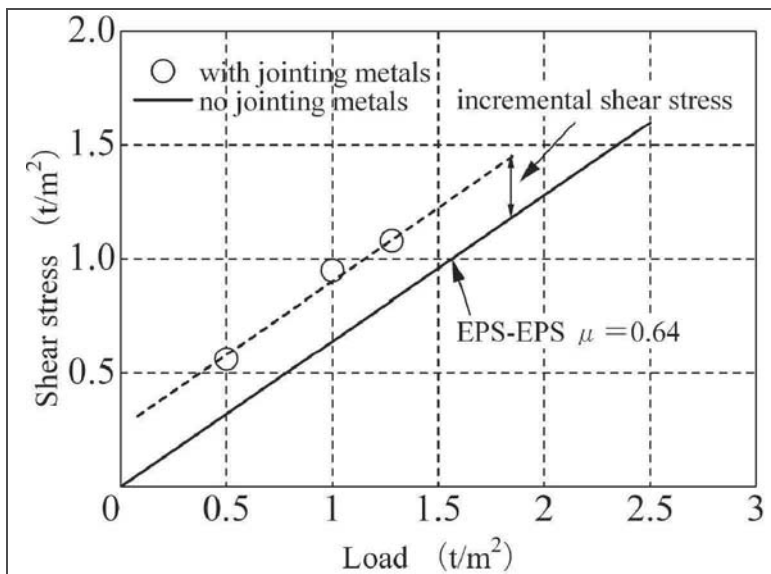


Kuva 31. EPS -pintojen välisen kitkakertoimien suuruus normaalijännityksen funktiona EPS -laadulle, jonka tiheys on 15 kg/m³. (Barrett & Valsangar 2009, s.214).

Toisin sanoen, Barrettin ja Valsangarin tutkimuksesta selvisi, mitä suurempi tiheys EPS -materiaalilla on, sitä suurempi leikkausvastus kappaleiden välisellä pinnalla on. Tuloksista selvisi myös, että kiinnikelevyt eivät lisänneet leikkauslujuutta, kun testattiin EPS -laatuja, joiden tiheydet ovat 15 kg/m^3 ja 30 kg/m^3 . (Barrett & Valsangar 2009, s.216).

Polyuretaaniliimalla kiinnitettyjen blokkien leikkauskokeessa blokkien välistä pintaa pitkin ei tapahtunut siirtymää testatuilla normaalijännityksillä. Polyuretaaniliiman käytöstä todettiin, että se saa yksittäiset EPS -blokit käyttäytymään yhtenäisenä massana. (Barrett & Valsangar 2009, s.214).

Barrettin ja Valsangarin (2009) tavoin Sheeley ja Negussey totesivat vuonna 2000 tekemässään tutkimuksessa että kiinnikelevyt eivät paranna EPS -pintojen välistä leikkauslujuutta. (Barrett & Valsangar 2009, s.212). Tätä vastoin Tsukamoto esittää, että kappaleiden välinen leikkauslujuus kasvaa metallisia liittimiä käytettäessä (Kuva 32). (Tsukamoto 2011, s.10) Kuvassa 32 yhtenäinen viiva kuvaa EPS -pintojen välistä leikkauslujuutta ilman metallisia liittimiä ja katkoviiva liittimien kanssa. Liittimien tuoma lisäleikkauslujuus on Tsukamoton mukaan luokkaa $0,2 \dots 0,3 \text{ t/m}^2$ ($\sim 2 \dots 3 \text{ kPa}$).



Kuva 32. EPS -kappaleiden välisen pinnan leikkauslujuus kuormituksen funktiona, $\text{t/m}^2 \sim 10 \text{ kN/m}^2$. (Tsukamoto 2011, s.10).

Liittimien vaikutus leikkauslujuuteen riippuu liittimien tyypistä. Liittimien valmistaja voi ilmoittaa liittimien tuoman lisäleikkauslujuuden, ja onko se määritetty lyhytaikaisella vai pitkäaikaisella kuormituksella, sekä liittimien asennussijainnin blokkien välissä. Liittimet voidaan myös testata tapauskohtaisesti. Myös harjaterästankoja käytetään tyypillisesti kiinnikkeinä, jolloin ne eivät vähennä kappaleiden välistä kitkaa. Vaikka liittimet eivät parantaisikaan rakenteen leikkauslujuutta, niitä tarvitaan yleensä takaamaan lohkojen pysyminen paikallaan asennuksen aikana.

Geofoam Applications in the Design and Construction of Highway Embankments - julkaisun kirjoittamisen aikana tutkittiin EPS/EPS -pinnan kitkan lisäksi myös kahden eri materiaalin ja EPS:n välistä kitkaa, jolloin saatiin seuraavia tuloksia: (NCHRP 2004, s.2-62)

- EPS/EPS tiheys 20 kg/m^3 - 31°
- EPS/Kuitukangas: (a nonwoven, polypropylene geotextile, massa 205 g/m^2) - 25°
- EPS/Polttoaineen (diesel ja benssiini) kestävä geomembraani: (paksuus $0,76 \text{ mm}$, smooth tri-polymer alloy geomembrane) - 52° .

9.2 Laskentamallin ja parametrien valinta

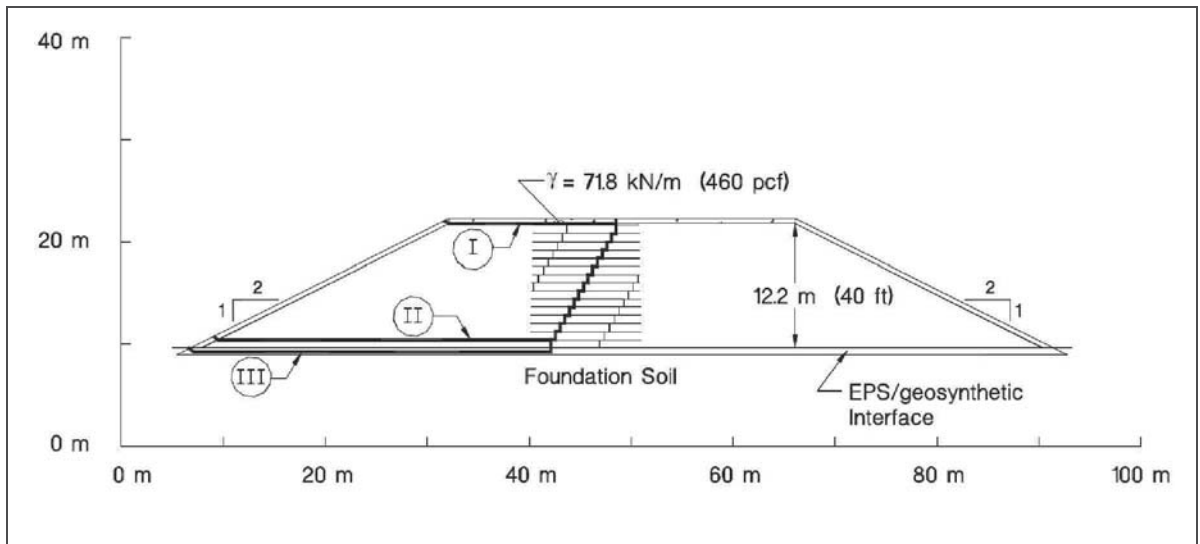
Laskentamallin ja parametrien valintaa on pohdittu EPS -solumuovista toteutettavien tiepenkereiden suunnittelua ja rakentamista käsittelevän National Cooperative Highway Reserch Program (NCHRP) tekemän 'Geofoam Applications in the Design and Construction of Highway Embankments' -ohjeen kappaleiden 5 ja 6 pohjalta.

Maa-aineksen leikkauslujuus koostuu maan sisäisestä kitkasta ja koheesiosta. Sisäinen kitka aiheutuu maa-ainesrakeiden välisestä hankauksesta. Koheesio taas johtuu maahiukkasten välisistä kiinnevoimista, ja mineraalihiukkasten ympärillä olevien vesivaippojen ja hiukkasten välisistä sähköstaattisista voimista. (Jääskeläinen 1979, s.123). EPS -blokkien sisäinen leikkauslujuus voidaan tulkita geoteknisessä suunnittelussa koheesioksi, ja blokkien välisten saumojen leikkauslujuuden voidaan tulkita koostuvan pintojen välisestä kitkasta. Pinnoille asennettavista mekaanisista liittimistä aiheutuva lisäleikkausvastus tulkitaan pinnoilla vaikuttavaksi (näennäis)koheesioksi (ks. luku 9.1).

NCHRP:n ohjeessa (2004) EPS -penkereen sisäisen stabiliteetin mitoittamiseen kuuluu sopivan EPS -materiaalin valinta. Materiaali valitaan siten, että se kestää sille tulevat kuormat ilman liiallista EPS -kerroksen kokoonpuristumaa. Tämän lisäksi penkereen sisäistä stabiliteettia mitoittaessa on tehtävä seuraavien murtorajatilan mukaisten tilanteiden tarkasteluja: vedenpaineen aiheuttama liukuminen, tuulen aiheuttama liukuminen ja seisminen vakavuus. Näissä kaikissa penkereeseen kohdistuvat kuormat ovat sivuttaissuuntaisia, jolloin murtumista vastustavat voimat ovat pääasiassa saumojen välinen kitka ja kiinnikkeiden tuoma koheesio. Suomessa seismistä vakavuutta ei tarvitse tarkastella.

NCHRP:n ohjeen (2004) mukaan tuulen ja veden aiheuttamaa liukumista vastaan mitoitettaessa liukumisen ajatellaan tapahtuvan joko blokkien välistä pintaa pitkin, tai päällysrakenteen ja EPS:n välistä pintaa pitkin. NCHRP:n ohjeessa seismistä varmuutta laskettaessa on määritettävä varmuudet heikoimmalle liukupinnalle, joka kulkee joko EPS:n ja päällysrakenteen (I) välistä pintaa pitkin tai penkereen poikki (Kuva 33). Penkereen poikki kulkeva liukupinta lähtee yläpinnasta läheltä keskilinjaa tiettyyn

syvyyteen, ja kulkeutuu vaakasuunnassa luiskan reunaan saakka EPS -blokkien välistä pintaa (II) tai EPS:n ja pohjamaan välistä pintaa pitkin (III). Liukupinnan muoto on porrasmainen, koska liukupinta hakeutuu reittiä, jolla on pienempi lujuus, jolloin se kulkee ainoastaan blokkien välisiä saumoja pitkin. Porraskuvio mallinnettiin 60 asteen kulmaan vaakatasosta ($45 \text{ astetta} + \phi_{\text{EPS/EPS}}/2$), jolloin leikkausvastus vaakasuuntaisilla pinnoilla on pienimmillään. Liukupintojen varmuudet riippuvat pintojen välisestä kitkasta.



Kuva 33. EPS -penkereen seismisessä mitoituksessa määritetyt liukupinnat (NCHRP 2004, s.6/60).

NCHRP:n ohjeessa (2004) penkereen ulkoisen stabiliteetin kannalta tarkastettaviksi tilanteiksi on listattu painumat, kantokyky, luiskien vakavuus, seisminen vakavuus, noste, veden aiheuttama liukuminen ja tuulen aiheuttama liukuminen. Penkereen ulkoista vakavuutta laskettaessa liukupinnaksi valitaan ympyränmuotoinen liukupinta, joka kulkee pohjamaan kautta. Liukupinnan reitistä EPS -penkereessä ulkoisen vakavuuden pettäessä ei ole tutkittua tietoa, mutta ohjeessa tarkasteltujen Case -tapausten blokkien layoutin perusteella oli arvioitu, että liukupinta EPS -penkereen läpi kulkee todennäköisesti niin, että $\frac{1}{4}$ liukupinnasta menee blokkien läpi ja $\frac{3}{4}$ saumoja pitkin. Näin ollen ulkoisen stabiliteetin määrittämisessä penkereen leikkauslujuuden arvona on käytetty $\frac{1}{4}$ blokin leikkauslujuuden arvosta. Koska pohjamaan ja EPS -materiaalin lujuus-muodonmuutoskäyttäytyminen on erilaista, tämä arvo redusoidaan vielä pohjamaan ja penkereen lujuuksien avulla määritetyllä kertoimella.

Ohjeessa kokeiltiin myös EPS -materiaalille kitkakulman arvoja 1° ja 30° koheesion ollessa 0 kPa. Kummassakin tapauksessa liukupinta pysyi penkereen sisällä, jolloin se ei ollut mielekäs ulkoisen stabiliteetin määrittämiseen. Myöskään penkereen mallintamista kuormana ei käytetty, sillä kuorman avulla ei voida tarkastella seismistä vakavuutta.

EPS -penkereen sisäinen varmuus sortumista tai liukumista vastaan riippuu paljolti EPS -blokkien asettelusta. Koska murtumispinta todennäköisimmin asettuu blokkien välisiin saumoihin, varmuus murtumista vastaan kasvaa saumojen leikkauslujuutta kasvatettaessa tai asettelemalla blokit siten, että murtuminen saumoja pitkin vaikeutuu. Blokkeja voidaan asettaa kerroksiin myös pystysuuntaisesti, jolloin vaakasuunnassa

olevan sauman leikkauslujuus kasvaa (Kuva 34). Tällöin sauman leikkauslujuus, joka normaalisti koostuu blokkien välisestä kitkasta, kasvaa blokin sisäisen, materiaalin leikkauslujuuden vuoksi. Yleensä kuitenkin Suomessa EPS -penkereisiin kohdistuvat vaakasuuntaiset kuormat ovat suhteellisen pieniä, jolloin EPS -penkereen sisäisen stabiliteetin pettäminen vaakasuuntaisten kuormien johdosta ei ole todennäköinen penkereelle tapahtuva vaurio. Tärkeää penkereen mitoittamisessa on valita kuormiin sopiva EPS -laatu, jotta EPS -materiaalin kokoonpuristuma ei ole liian suuri.

Mikäli halutaan määrittää EPS -penkereen sisäinen murtumismekanismi ja -pinta ulkoisen stabiliteetin pettäessä, eli kun murtuminen tapahtuu myös pohjamaassa, olisi aina tarkasteltava kyseisessä tapauksessa käytettävää blokkien asettelua. Tarkastelu on suoritettava esim. elementtimenetelmää käyttäen. Tämä on kuitenkin monimutkainen ja aikaavievä laskenta. Näin ollen, luvussa 10.3 on pyritty etsimään EPS -materiaalille sopivat lujuusarvot, joita käyttäen ulkoisen stabiliteetin laskenta voidaan suorittaa liukupintalaskelmin mahdollisimman todenmukaisesti.



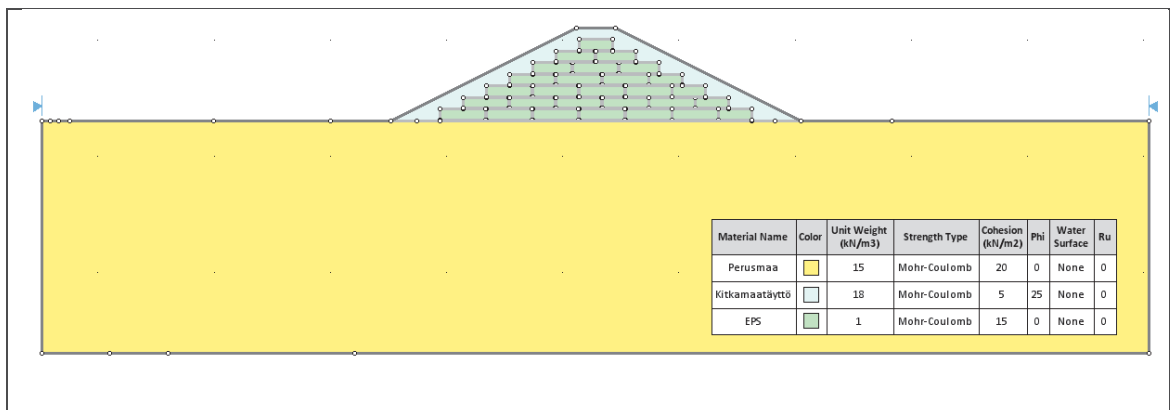
Kuva 34. Saumojen välistä vaakasuoraa leikkauslujuutta lisäävä sauman katkaiseva EPS-blokki (Bartlett et al. 2011, s.5).

10 EPS -MELUVALLIN STABILITEETTI

10.1 Sisäinen stabiliteetti

10.1.1 Liukupintalaskelmat

Meluvallin sisäisen stabiliteetin laskentatarkasteluissa on käytetty Rocsciencen Slide 6.0 ohjelmaa. Laskentoja varten on mallinnettu 4,0 m korkea valli, jonka luiskakaltevuus on 1:2. Vallissa on 3,5 m paksu EPS -kevenne, jolloin pinnassa on ohuimmillaan 0,5 m paksuinen kitkamaakerros (Kuva 35). Meluvallin EPS -materiaali on mallinnettu vallin sisään erillisinä blokkeina.



Kuva 35. Sisäisen stabiliteetin liukupintalaskelmiin käytetty malli.

Laskennoilla pyrittiin selvittämään blokkien välisten saumojen vaikutusta vallin sisällä tapahtuvaan liukupintamurtumaan. Alkuperäiseksi blokkien kooksi valittiin 0,5 m · max. 2,0 m, jolloin blokit ovat 0,5 paksuissa kerroksissa, ja riippuen saumojen sijainnista blokkien pituus on 2,0 m tai vähemmän. Blokkien väliin mallinnettiin saumat blokkien kokoa pienentämällä 1,0 cm kerrallaan, kunnes blokkien koko oli 0,47 m · max. 1,97 m. Pienemmillä saumojen koolla ohjelma ei tunnistanut välejä.

Saumot mallinnettiin ilman lujuutta, jolloin kitkakulma $\varphi_{\text{sauma}} = 0^\circ$ ja koheesio $c_{\text{sauma}} = 0$ kPa. Käytettäessä ympyräliukupintaa, varmuus murtumista vastaan ei muuttunut verrattuna tilanteeseen, jossa ei ollut mallinnettuna saumoja lainkaan. Kyseisessä tilanteessa mallinnettiin myös vapaamuotoinen liukupinta, joka pakotettiin kulkemaan ainoastaan saumoja pitkin. Laskenta ei onnistunut kyseisellä tavalla mallinnettuna. Laskentaa kokeiltiin myös 0,05 cm saumoilla blokkien ollessa tällöin 0,45 m · max. 1,95 m. Tämä laskenta ei myöskään onnistunut.

Lopulta blokkien kokoa pienennettiin 0,25 m sekä pituus että korkeussuunnassa, jolloin sekä blokkien paksuus pystysuunnassa että saumojen paksuus oli 0,25 m. Tämän jälkeen laskettiin varmuus murtopinnalle, joka määritettiin kulkemaan pääasiassa saumoja pitkin murtaen muutaman blokin samalla. Tälle liukupinnalle saatiin laskettua varmuus. Malli kuitenkin on epärealistinen, sillä kyseisessä tilanteessa 50 % vallin EPS -materiaalista on täysin lujuudetonta. Myöskään murtopinnan tarkkaa sijaintia ei tiedetä, jolloin varmuusluku määritetty sen mukaan, mihin liukupinta pakotetaan.

Laskentaa kokeiltiin myös mm. asettamalla blokkien väliin laskentaohjelman ”geotekstiili”, jolla ei ole lainkaan lujuutta, ja määrittämällä saumoille anisotrooppinen lujuuskäyttäytyminen, jolloin saunoilla ei olisi ollenkaan lujuutta sivusuunnassa. Nämä laskennat eivät antaneet järkeviä tuloksia.

Mikäli halutaan määrittää vallin sisäisen murtopinnan sijainti ja varmuus, laskenta voitaisiin suorittaa elementtimenetelmää käyttäen ja kyseiseen tilanteeseen määritetyllä blokkien asettelulla. Menetelmä on kuitenkin erittäin työläs. Kuten kappaleessa 9.2 todettiin, tämä ei kuitenkaan ole normaalisti kriittinen tilanne meluvallin sisäisen stabiliteetin määrittämisessä. Vallin sisäisen stabiliteetin määrittämisessä oleellisin asia on sopivan EPS -materiaalin valinta, jolloin materiaali kestää sille tulevat kuormitukset ilman liiallista kokoonpuristumaa.

10.1.2 Puristuslujuus

EPS -materiaalin vaadittu puristuslujuus on laskettu Liikenneviraston Kevennysrakenteiden suunnittelu -ohjeessa (2011) esitetyn mitoitusperiaatteen mukaisesti (ks. luku 8.1.7). Vallin päälle on mallinnettu koko vallin levyinen 5,0 kPa muuttuva kuorma, joka voi kuvata mahdollista huoltoajoneuvoa vallin päällä tai päälle aurattua hyvin paksua lumikerrosta. Laskelmissa muuttuva kuorma on oletettu liikennekuormaksi.

Valli on mitoitettu kokonaiskuormalle sekä pitkäaikaiselle kuormalle. Kokonaiskuormaan otetaan mukaan muuttuva kuorma, sekä pintamaakerroksen EPS -materiaaliin aiheuttama kuorma. Muuttuvalle kuormalle käytetään Eurokoodin mukaista liikennekuorman osavarmuuskerrointa 1,35 ja pintamaakerroksen painolle 1,15. EPS -materiaalin kestävyuden osavarmuuslukuna käytetään 1,25.

Vallin pintakerros on mallinnettu 1 kPa, 9 kPa ja 18 kPa kuormilla taulukon 25 mukaisesti. 9 kPa:n pintakuorma vastaa 0,5 m kitkamaakerrosta EPS -materiaalin päällä. Taulukossa EPS on oletettu homogeeniseksi massaksi koko keventeen leveydellä. Keskimääräinen vaadittu lujuus voidaan saavuttaa myös siten, että vaadittua lujemmat blokit on rei’itetty, jolloin paino ja EPS -materiaalin määrä pienenevät. Tämän mahdollisuuden soveltaminen vaatii luonnollisesti tarkempaa mitoitusta, suunnittelua ja tuotekehitystä yhdessä EPS -valmistajan kanssa.

Taulukko 25. Vaadittu EPS -materiaalin puristuslujuus pintarakenteesta aiheutuvasta kuormasta riippuen. Kaikissa tapauksissa pintaan on mallinnettu 5 kPa tasainen pintakuorma.

Pintarakenteen kuorma	Vaadittu EPS:n puristuslujuus σ_{10} [kN/m ²]
1 kPa, vastaa esim. - 1,3 cm teräslevy - 4,2 cm betonilaatta	EPS 10
9 kPa, vastaa esim. - 0,5 m kitkamaakerrosta, $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$	EPS 40
18 kPa, vastaa esim. - 1,0 m kitkamaakerrosta, $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$	EPS 80

Pintarakenteesta aiheutuva kuorma mallinnetaan myös pitkäaikaisena kuormana, jolloin tästä aiheutuvan kuorman tulee olla pienempi kuin $0,3 \cdot \sigma_{10}$. Tästä johtuen pintamateriaalin paino vaikuttaa valittavaan EPS -laatuun huomattavasti tasaista muuttuvaa kuormaa enemmän.

10.2 Ulkoinen stabiliteetti

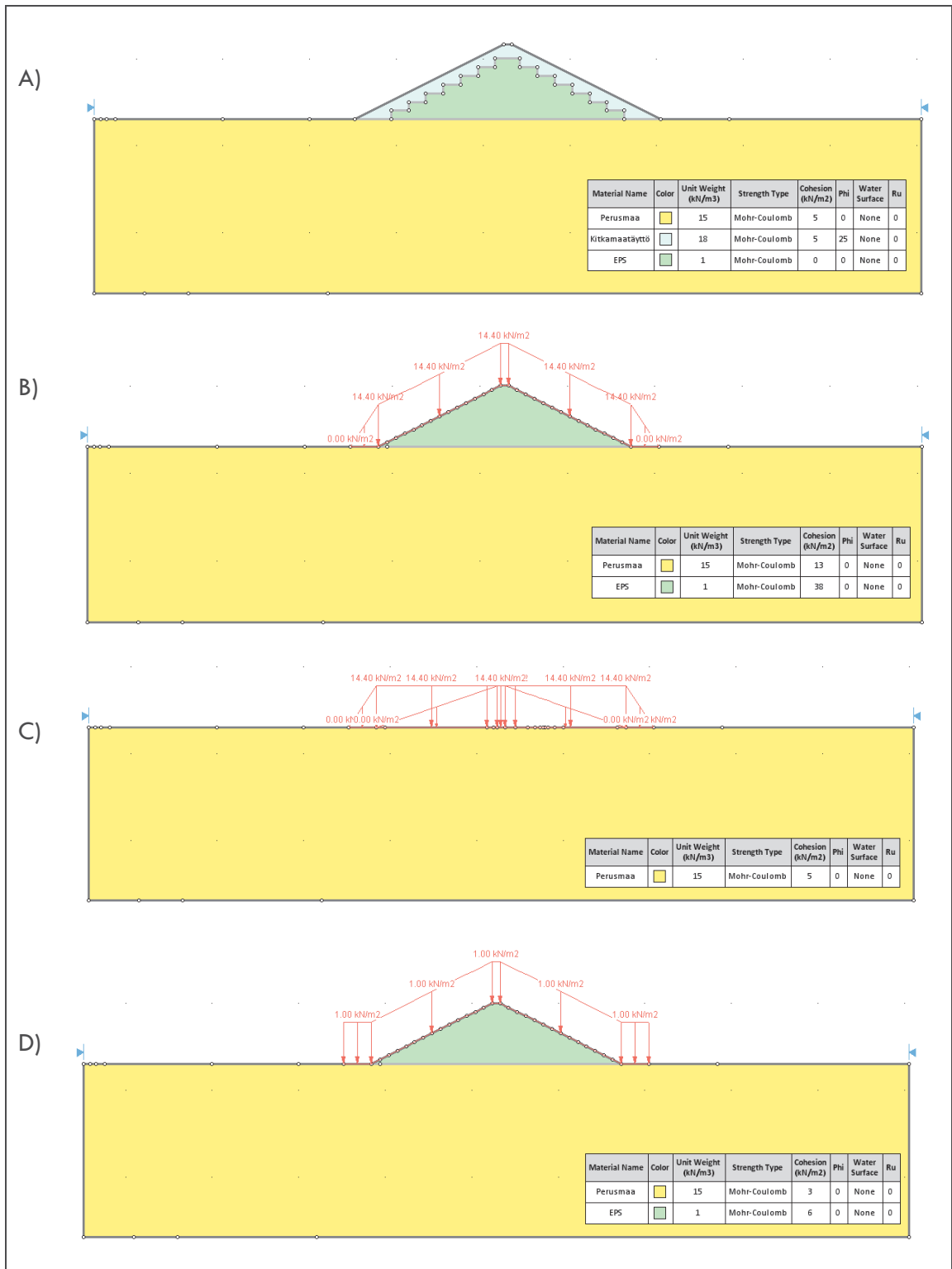
Meluvallin ulkoisen stabiliteetin laskentaan käytettiin tässä Bishop simplified ja Janbu simplified liukupintamenetelmiä. Laskennassa käytetty ohjelma on Rocsciencen Slide 6.0.

Laskentaa varten tehtiin malli, joka koostui 10 m korkeasta, homogeenisestä pohjamaakerroksesta ja sen päälle mallinnetusta meluvallista. Meluvallin korkeus oli 4,3 m ja sen pinnassa oli keskimäärin 0,8 m paksuinen kitkamaakerros. Meluvalli itsessään koostui EPS -solumuovista. Vallin luiskat olivat kaltevuudessa 1:2, ja laskentamallin leveydeksi määritettiin 15 m mallinnetun vallin kummankin luiskan alareunasta sivulle.

Valli mallinnettiin kolmella erilaisella laskentageometrialla: A) Edellä olevan kuvauksen mukaisesti vallina, B) Pintamaakerros oletettiin EPS -materiaalin päälle kuormana ja C) Koko valli ainoastaan kuormana. Edellisistä poikkeava laskentageometria D taas kuvasi tilannetta, jossa EPS -solumuovin määrä vallin sisällä on sama kuin laskentageometrioissa 1...3, mutta pintakerroksena on rakenne, josta aiheutuva kuorma on 1 kPa. Mallit on esitetty kuvassa 36.

Laskentoja on suoritettu vaihtamalla pohjamaan leikkauslujuuden arvoja taulukon 25 mukaisesti. Koska pohjamaan on oletettu olevan pehmeää homogeenista savea, tapahtuu murtuminen ympyränmuotoista liukupintaa pitkin. On kuitenkin huomioitava, että todellisuudessa pohjamaa ei ole näin homogeeninen. Pohjamaan tilavuuspainona käytettiin $\gamma = 15 \text{ kN/m}^3$, ja se pidettiin samana pohjamaan suljetun leikkauslujuuden arvosta riippumatta. Pohjamaan pinnan ollessa tasainen sen tilavuuspainolla ei ole merkitystä varmuuteen. Kaikissa laskennoissa liukupinnat on pakotettu kulkemaan

vallin pinnassa olevaa kitkamaatäyttökerrosta syvemmällä. Laskennassa käytettävät maaparametrit on esitetty taulukossa 26.



Kuva 36. Ulkoisen stabiileetin laskennassa käytetyt laskentageometriat: A) Valli koostuu mallin mukaisesti EPS -blokeista ja keskimäärin 0,8 m paksuisesta pintamaakerroksesta, B) Valli koostuu EPS -materiaalista, mutta pintamaakerros on mallinnettu kuormana, C) Valli on kokonaan mallinnettu kuormana ja D) Vallin EPS -massan määrä on sama kuin laskentageometrioiden 1...3, mutta pintakerroksesta aiheutuva kuorma on ainoastaan 1 kPa.

Taulukko 26. Laskentamallin parametrit.

Materiaali	Tilavuuspaino γ [kN/m ³]	Kitkakulma ϕ [°]	Koheesio c [kPa]
Kitkamaatäyttö	18	25	5
EPS	1 ^a	Vaihtelee	Vaihtelee
Pohjamaa 1 - savi	15	0	3
Pohjamaa 2 - savi	15	0	5
Pohjamaa 3 - savi	15	0	7
Pohjamaa 4 - savi	15	0	10
Pohjamaa 5- savi	15	0	13

^a Stabiiliteettilaskennassa EPS -materiaalin tilavuuspainona käytetään 1,0 kN/m³ Liikenneviraston Kevennysrakenteiden suunnittelu -ohjeen (2011) mukaisesti.

Laskennoilla on pyritty selvittämään ulkoisen stabiiliteetin määrittämisessä käytettävät EPS -materiaalin kitkakulman ϕ_{EPS} ja koheesio c_{EPS} arvot. Laskentoja on suoritettu lukuisilla eri tavoilla, joista oleelliset on esitetty alla. Laskentatavoissa on käytetty vaihtelevasti edellä kuvattuja laskentamalleja.

Laskentatapa 1

Laskentatavassa 1 EPS -valli on mallinnettu pohjamaan päälle ainoastaan kuormana (Kuva 37).

Laskentatapa 2...4

Meluvalli on mallinnettu materiaalien avulla. Vallin sisällä on 0,5 m paksut kerrokset EPS -blokkeja, joita on käsitelty yhtenäisenä massana (Kuva 37). Massan koheesio arvoja on vaihdeltu välillä $c_{EPS} = 0$ kPa, 5 kPa, ..., 40 kPa, kitkakulman ollessa $\phi_{EPS} = 0$ °. EPS -massalle annettiin kitkakulman arvo $\phi_{EPS} = 27$ °, koheesio ollessa $c_{EPS} = 0$ kPa.

Laskentatapa 5

Laskentatavassa 5 meluvalli on mallinnettu kuten laskentatavoissa 2...4 (Kuva 37). EPS -massalle on tehty puristuslujuusmitoitus luvun 10.1.2 mukaisesti. Puristuslujuuden avulla on määritetty EPS -materiaalin leikkauslujuus τ_{EPS} , jota käytettiin koheesio c_{EPS} arvona. Kitkakulma on tällöin $\phi_{EPS} = 0$ °.

Laskentatapa 6

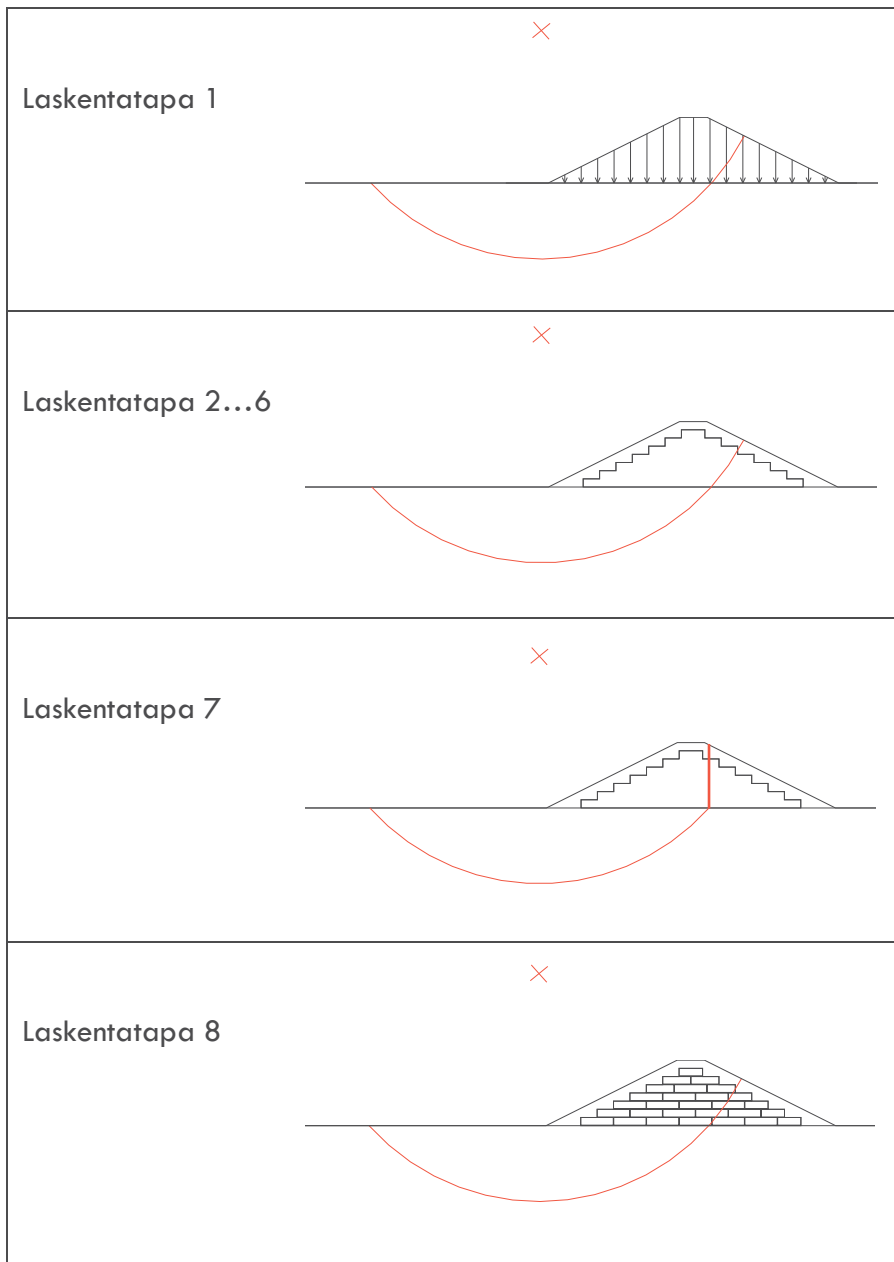
Laskentatavassa 6 meluvalli on mallinnettu kuten laskentatavoissa 2...5 (Kuva 37). EPS -massalle on tehty puristuslujuusmitoitus. Puristuslujuuden avulla on määritetty EPS -materiaalin leikkauslujuus τ_{EPS} , jonka suuruudesta $\frac{1}{4}$ on käytetty koheesio c_{EPS} arvona. Tämä arvo on valittu NCHRP:n ohjeeseen (2004) perustuen (ks. luku 9.2). NR Kitkakulma oli tällöin $\phi_{EPS} = 0$ °.

Laskentatapa 7

Meluvalli mallinnettiin kuten laskentatavoissa 2...5. EPS -massan koheesion arvoina käytettiin $c_{EPS} = 0$ kPa, 20 kPa ja 40 kPa. Valliin mallinnettiin halkeama vallin pinnasta vallin ja pohjamaan rajapintaan (Kuva 37). Halkeaman sijainti valittiin pisteeseen, jossa kuormalla määritetty liukupinta (Laskentatapa 1) leikkaa pohjamaan.

Laskentatapa 8

Laskentatavassa 8 vallin sisään mallinnettiin erillisiä blokkeja vaihtelevilla saumojen paksuuksilla (Kuva 37). EPS -blokin koheesion arvona käytettiin $c_{EPS} = 40$ kPa ja kitkakulman arvona $\varphi_{EPS} = 0$. Saumoille ei ole oletettu lainkaan lujuutta.



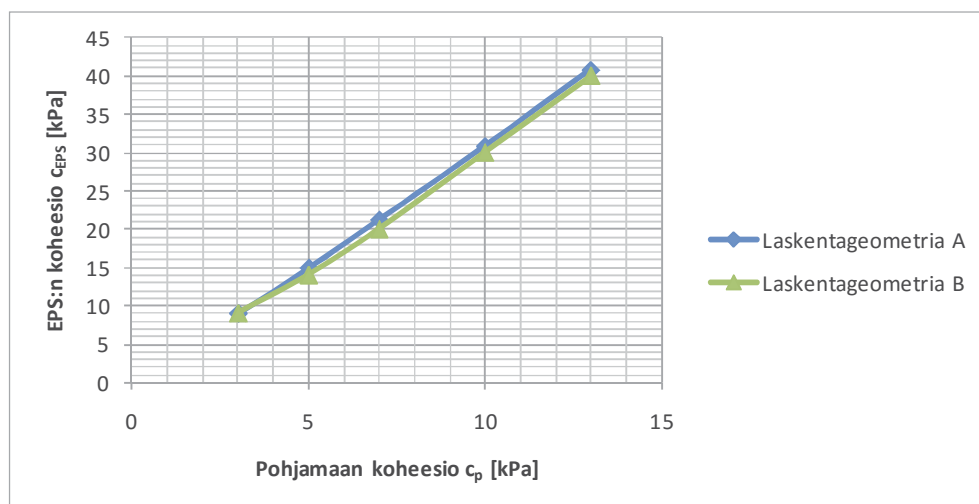
Kuva 37. Laskentatapojen 1...8 periaatteet.

Tulosten arviointi ja vertailu

Pohjamaille 1...3 (taulukko 26) on suoritettu useita laskentoja laskentatavoilla 1...6. EPS -materiaalin koheesion arvoa on varioitu välillä 0 kPa, 5 kPa...40 kPa, ja laskelmissa on tarkkailtu heikoimman liukupinnan sijaintia. Lisäksi jokaisella EPS -materiaalin koheesion arvolla on tarkastettu pelkän kuorman avulla saadun liukupinnan varmuutta (Laskentatapa 1). Pohjamaille 4 ja 5 on suoritettu laskelmat suppeammalla valikoimalla EPS -materiaalin koheesion c_{EPS} arvoja.

Pakotettaessa liukupinta kuorman avulla määritettyä liukupintaa (laskentatapa 1) vastaavaksi, jolloin liukupinnan kulkema matka EPS -materiaalissa on aina sama, varmuusluku murtumista vastaan kasvaa lineaarisesti EPS -materiaalin koheesion kasvaessa. Vapaasti hakeutuvan liukupinnan tapauksessa varmuusluku muuttuu liukupinnan EPS -materiaalissa kulkemasta matkasta ja EPS -materiaalin koheesiosta riippuen. EPS -materiaalin lujuus vaikuttaa enemmän vapaasti haettavan liukupinnan sijaintiin. Koska vapaasti hakeutuva liukupinta hakeutuu heikoimpaan kohtaan, sen sijainti riippuu myös pohjamaan lujuudesta. Useassa laskentatapauksessa havaittiin, että vapaa liukupinta on suhteellisen lähellä kuorman avulla määritetyn liukupinnan varmuutta, kun EPS:n koheesio on noin kaksinkertainen pohjamaan suljettuun leikkauslujuuteen nähden.

Laskentageometrioilla A (koko valli mallinnettu materiaalien avulla) ja B (pintamaakerros kuormana EPS -materiaalin päällä) haettiin myös EPS -materiaalin koheesion c_{EPS} arvo, jolla liukupinta kiertää vallin sisällä olevan EPS -materiaalin leikkaamatta sitä. Tulokset on esitetty kuvassa 38. Kuvaajasta nähdään, että EPS -materiaalin koheesion c_{EPS} ollessa yli ~ 3 -kertainen pohjamaan suljettuun leikkauslujuuteen (koheesioon c_p) nähden, EPS -materiaalin koheesion kasvattamisella ei tämän jälkeen ole enää merkitystä, sillä liukupinta siirtyy pois EPS -materiaalista. Laskennassa on tehty oletus, että pohjamaa on homogeenista. Näin ei usein ole, jolloin laskelmaa voidaan pitää konservatiivisena.



Kuva 38. EPS -materiaalin koheesion c_{EPS} arvot pohjamaan suljetun leikkauslujuuden (koheesion c_p) funktiona, jolla vaarallisin liukupinta siirtyy EPS -materiaalin ulkopuolelle, kun pohjamaa on oletettu homogeeniseksi.

Laskentatavan 6 mukaisesti laskentageometrioille A ja D on suoritettu puristuslujuusmitoitus. Laskentageometrialla A puristuslujuusmitoituksen mukainen vaadittu EPS -materiaali on vähintään EPS -laatua, jonka $\sigma_{10} \geq 60$ kPa, jolloin leikkauslujuus on $\tau = 50$ kPa taulukon 3 mukaisesti. Tämä arvo on valittu mitoituksessa EPS -materiaalin koheesion c_{EPS} arvoksi. Tällöin varmuusluvut murtumista vastaan ympyrän muotoisella liukupinnalla eri pohjamailla on esitetty taulukossa 27.

Taulukko 27. Laskentageometrioilla A (koko valli mallinnettu materiaalien avulla), B (pintamaakerros kuormana EPS -materiaalin päällä) ja C (koko valli mallinnettu kuormana) saavutettavat varmuusluvut pohjamaan murtumaa vastaan EPS -materiaalin koheesion ollessa $c_{EPS} = 50$ kPa.

Pohjamaan koheesio c_p	Geometria A F_1	Geometria B F_2	Geometria C F_3
Pohjamaa 1: 3 kPa	1.024	0.930	0.977
Pohjamaa 2: 5 kPa	1.692	1.550	1.628
Pohjamaa 3: 7 kPa	2.357	2.171	2.279
Pohjamaa 4: 10 kPa	3.369	3.101	3.255
Pohjamaa 5: 13 kPa	4.370	4.031	4.232

Laskentageometriassa C EPS -materiaalin koheesion arvolla ei luonnollisesti ole merkitystä, koska tällöin valli on mallinnettu pohjamaan päälle ainoastaan kuormana. Riippumatta pohjamaan suljetun leikkauslujuuden arvosta, liukupinta kiertää EPS -materiaalin laskelmassa käytetyllä EPS:n koheesiolla. Laskentageometriassa A liukupinnat leikkaavat vallin päällä olevan pintamaan, josta johtuu se, että laskentageometrialla A saadaan hieman paremmat varmuudet verrattuna laskentageometriaan B.

Kaikilla laskentamalleilla saatavat varmuudet vaarallisimmalle liukupinnalle ovat hyvin lähellä toisiaan. Laskentageometrialla C saatava liukupinta leikkaisi EPS -materiaalin keskeltä, mikäli valli olisi mallinnettuna pohjamaan päälle. Kuitenkin tällöin EPS -materiaalin lujuusarvot vaikuttaisivat tilanteeseen.

Laskentageometrialla D, jossa laskentageometrioita A ja B vastaavan EPS -kerroksen päälle on mallinnettu ainoastaan 1 kPa pintakuorma, puristuslujuusmitoituksella saadaan EPS -materiaalin vaadituksi puristuslujuudeksi $\sigma_{10} = 10$ kPa. Ekstrapoloimalla taulukon 3 arvoista, EPS -materiaalille saadaan leikkauslujuuden arvo $\tau = 6$ kPa, jota käytetään koheesion c_{EPS} arvona.

Laskentageometriassa D mukaisessa tilanteessa vallista aiheutuvat kuormat ovat niin pieniä, että edes pohjamaalla 1 ($c_p = 3$ kPa) stabiliteetti ei ole ongelma. Pohjamaan suljetun leikkauslujuuden ollessa 3 kPa ja EPS -materiaalin koheesion $c_{EPS} = 6$ kPa, varmuus murtumista vastaan on $F = 4,737$, ja kyseisessä tilanteessa ainoastaan kuormalla määritetty varmuus murtumista vastaan on $F = 4,511$.

Laskentatavalla 6, jolloin EPS -materiaalin koheesiona käytetään 25 % puristuslujuusmitoituksen avulla määritetyn leikkauslujuuden arvosta, on pohjamailla 1, 2 ja 3 saatavat heikoimman liukupinnan arvot ovat samaa suuruusluokkaa kuin laskentatavoilla 1 ja 5 laskentageometrialle A saadut arvot. Pohjamaan lujuuden kasvaessa liukupinta jää vallin sisään, jolloin se ei mallinna ulkoista stabiliteettia. Laskentatapa on sopiva pohjamaalle, jolla on pieni leikkauslujuus.

Laskentatavalla 7, jolloin valliin on mallinnettu halkeama, saatavat varmuudet ovat selkeästi pienempiä kuin pelkästään kuormalla saatavien liukupintojen varmuudet (Laskentatapa 1). Laskentatavassa 7 vallin oletetaan olleen halkeillut, jolloin vallin materiaaleilla ei ole lainkaan lujuutta. Tällainen laskentatapa saattaa päteä tilanteeseen, jossa esimerkiksi epätasaisten painumien takia vallin rakenne on murtunut sisältä.

Laskentatavassa 8 on mallinnettu lujuudettomat saumat EPS -blokkien väliin. Tarkastelu on tehty muutamalla pohjamaan lujuudella, sekä erilaisilla saumojen paksuuksilla. Tällaiseen tilanteeseen, jossa murtumisen oletetaan tapahtuvan ympyränmuotoista liukupintaa pitkin, laskentamalli ei ole toimiva. Saumojen lujuuden puuttumisella on hyvin vähäinen tai olematon merkitys tarkastellun vallin ulkoiseen stabiliteettiin.

Johtopäätökset

Vallin ulkoisen stabiliteetin määrittämiseen soveltuvat menetelmät ja niiden arvioinnit on esitelty taulukossa 28. Mielekkäimmiksi menetelmiksi karsiutuivat laskentatavat 1, 5 ja 6. Laskentatavassa 1, jolloin valli määritetään ainoastaan kuormana pohjamaan päälle, EPS -materiaalin lujuudella ei ole merkitystä. Tämä voi kuitenkin vaikuttaa varmuutta alentavasti, mikäli liukupinta todellisuudessa kulkisi EPS -materiaalin ulkopuolelta.

Laskentatavoissa 5 ja 6 EPS -materiaalin koheesio määräytyy puristuslujuusmitoituksen kautta. Laskentatapa 6, jossa koheesio on 25 % leikkauslujuudesta, on mielekäs menetelmä, mikäli valli todellisuudessa murtuu EPS -materiaalin keskeltä. Koska EPS -materiaalin koheesio on kuitenkin suhteellisen pieni, suuremmilla pohjamaan suljetun leikkauslujuuden arvoilla liukupinta pysyy vallin sisällä, mikä ei kerro ulkoisesta stabiliteetin arvosta.

Laskentatavalla 6 saatavat arvot ovat hieman pienempiä kuin laskentatavalla 5, jossa EPS -materiaalin koheesio on suoraan puristuslujuusmitoituksen kautta saatavan leikkauslujuuden arvo. Tällöin liukupinnat hakeutuvat EPS -materiaalin ulkopuolelle. Menetelmä kuitenkin toimii homogeenisen pohjamaan suljetun leikkauslujuuden arvosta riippumatta.

Laskentatapa 5 olettaa EPS -blokkien käyttäytyvän yhtenäisenä monoliittina, kun taas laskentatapa 6 huomio myös blokkien välissä olevat saumat. Käytetty koheesio $c_{EPS} = 0,25 \cdot \tau$ on valittu NCHRP:n ohjeeseen (2004) perustuen (ks. luku 9.2). Tämä kuitenkin perustuu olettamukseen murtopinnan reitistä, ja riippuu aina kyseessä olevan

tapauksen blokkien asettelusta ja niiden lukittumisesta keskenään. Todellinen prosentuaalinen osuus voi olla myös jotain muuta.

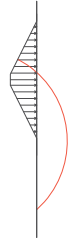
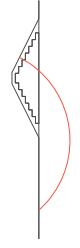
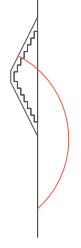
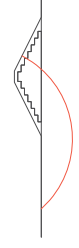
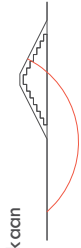



Todellisuudessa EPS -materiaalille ulkoisen stabiliteetin määrittämisessä käytettävät lujuusarvot asettuvat johonkin yksittäisen blokin leikkauslujuuden ja blokkien välisen sauman leikkauslujuuden arvojen väliin. Pelkästään saumojen leikkauslujuutta käyttämällä, joka usein koostuu ainoastaan blokkien välisestä kitkasta, stabiliteetille saatavat varmuudet ovat kuitenkin liian pieniä, ja useassa tapauksessa liukupinnat eivät edes kulje pohjamaan kautta, jolloin laskennalla ei voida määrittää ulkoista stabiliteettia.

Mikäli laskelmissa käytettävä EPS -massan koheesion arvo on suoraan yksittäisen blokin leikkauslujuus, liukupinta todennäköisesti kiertää koko vallin, joka luultavasti tapahtuu, mikäli EPS -blokit käyttäytyvät yhtenäisenä massana. Tällöin laskentatapa soveltuisi tilanteeseen, jossa blokit on esim. liimattu yhteen tai muuten vastaavalla tavalla varmistettu blokkien täydellinen liittyminen toisiinsa.

Mielekkäin laskentatapa ulkoisen stabiliteetin määrittämiseen riippuu tilanteesta, ja laskentatavat 1, 5 tai 6 tulevat kyseeseen. Riippuen kohteessa suoritettavan EPS -keventeen blokkien asettelusta ja niiden kiinnittymisestä toisiinsa, murtopinta hakeutuu EPS -materiaalin keskeltä tai ulkopuolelta. Laskentatavassa 6 käytetty arvio blokkimassan koheesion arvosta $0,25 \cdot \tau$ voi antaa liian pienen varmuuden arvon tilanteessa, jossa blokit ovat hyvin kiinnittyneinä toisiinsa. Näin ollen, myös hyvällä suunnittelulla voidaan kasvattaa EPS -massan koheesion laskenta-arvoa lomittamalla blokit välttämättä potentiaalisia syntyviä murtopintoja.

Homogeenisella maapohjalla ja testatulla vallin geometrialla näillä laskentavoilla määritetyillä heikoimpien liukupintojen varmuuksilla oli hyvin pieni ero. Tilanne kuitenkin saattaa olla erilainen, mikäli pohjamaa on kerroksellinen.

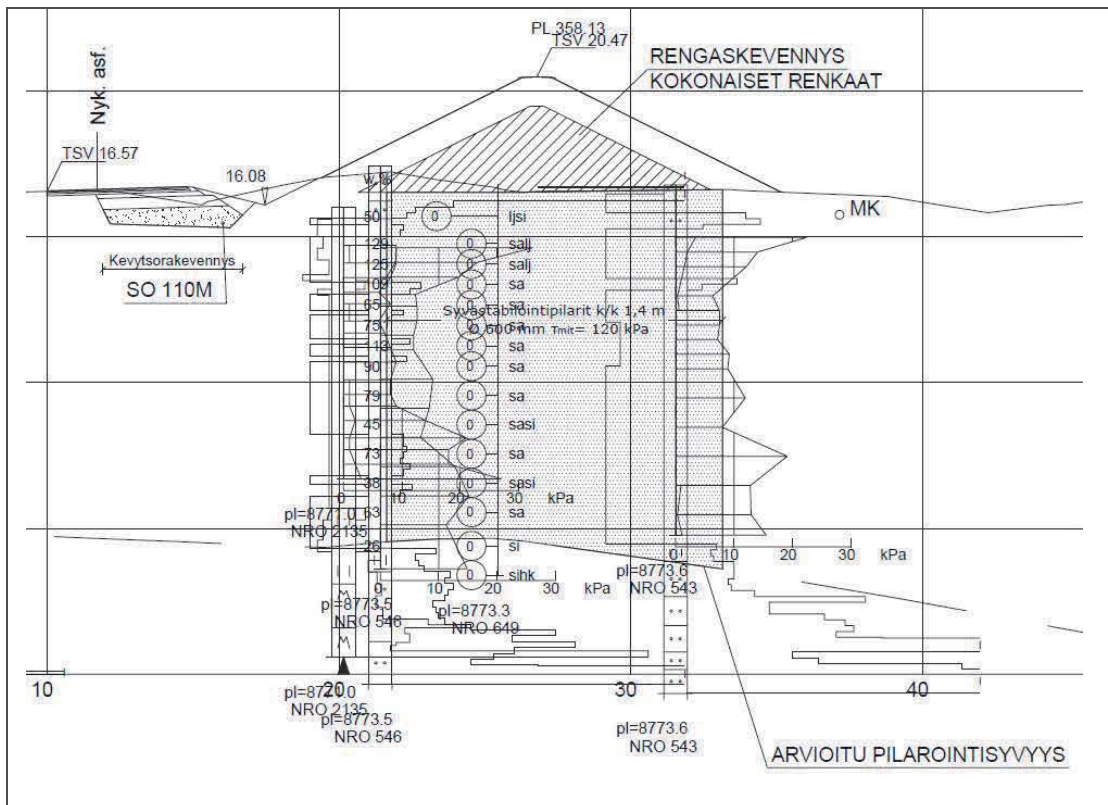
Taulukko 28. Ulkoiset stabiileetin laskentatavat.

LASKENTATAPA	TESTATUT GEOMETRIAT	LASKENNAN ERITYISPIIRTEET	ARVIO	LUOKITUS
1 Pelkkä kuorma	 x	• Geometria A (= B = C) • Geometria D	• EPS -materiaalin lujuusarvot eivät vaikuta tulokseen • EPS -materiaalin paino vaikuttaa • Antaako liian pienen varmuuden?	++
2 Yhtenäinen EPS -massa vallin sisällä • c = 0 kPa • φ = 0	 x	• Geometria A (= B = C)	• Liukupinta pysyy lähes kokonaan vallin sisällä • Kun cp = 3 kPa, lp leikkaa vähän pohjamaata • Ei suositeltava menetelmä	-
3 Yhtenäinen EPS -massa vallin sisällä • c = 0 kPa • φ = 27	 x	• Geometria A (= B = C)	• Liukupinnan sijainti muuttuu pohjamaan koheesiosta riippuen • Varmuus alakannttiin	0
4 Yhtenäinen EPS -massa vallin sisällä • c = 40 kPa • φ = 0	 x	• Geometria A (= B = C)	• Liukupinta kiertää EPS -materiaalin • Varmuusluvut lähes samat kuin ainoastaan kuormalla saavutetut (Laskentatapa 1)	+
5 Yhtenäinen EPS -massa vallin sisällä • c = puristuslujuusmitoituksen mukaan • φ = 0	 x	• Geometria A (= B = C) • Geometria D	• Liukupinta kiertää EPS -materiaalin (Geometria A) • Liukupinta ei vähimmäistä kierrä EPS -materiaalia (Geom. D) • Varmuusluvut lähes samat kuin ainoastaan kuormalla saavutetut (Geometria A ja D) (Laskentatapa 1)	++
6 Yhtenäinen EPS -massa vallin sisällä • c = 25% puristuslujuusmitoituksen mukaisesta leikkauslujuudesta • φ = 0	 x	• Geometria A (= B = C)	• Liukupinnan sijainti muuttuu pohjamaan koheesiosta riippuen • Suurimmilla pohjamaan lujuuksilla liukupinta vallin sisällä • Alimmilla pohjamaan lujuuksilla varmuusluvut lähellä kuormalla saavutettuja varmuuksia (Laskentatapa 1)	++
7 Yhtenäinen EPS -massa vallin sisällä • c = 0...40 kPa • φ = 0...27 • Tension crack asetettu vallin pinnasta maanpintaan todennäköiseen murtuma-kohtaan.	 x	• Geometria A (= B = C)	• EPS -materiaalin lujuusarvot eivät vaikuta tulokseen • Varmuus pienempi kuin ainoastaan kuormalla määritetty • Todellinen murtumakohta ei tiedossa • Varmuus alakannttiin	0
8 Erilliset EPS -blokit • Blokkien välin mallinnettu eri paksumia, lujuusertoimia saumoja	 x	• Geometria A (= B = C)	• Saumojen vaikutus hyvin vähäinen tai olematon • Ei järkevä mallinnustapa	-

10.3 Vertailulaskelmat – Kehä 1

Pääkaupunkiseudulta valittiin esimerkkikohde, johon sovellettiin luvussa 10.2 tehtyjä päätelmiä. Esimerkkitapaukseksi valittiin poikkileikkaus Kehä 1:n parannussuunnitelmista, johon on suunniteltu meluvalli. Luvussa 10.2 tehtyjen päätelmien testaus tehtiin kohteen rakennussuunnitelman valmistumisen jälkeen.

Kyseisellä kohdalla tien oikealle puolelle suunniteltu meluvalli on noin 4 m korkea. Vallin alla on noin 12...13 m syvä pehmeikkö. Mikäli valli rakennettaisiin läjitysmaista, maapohjan painumat kasvaisivat liian suuriksi ja stabiliteetti olisi liian alhainen. Tämän vuoksi vallin sisään on suunniteltu rengaskevennys kokonaisista renkaista, ja pohjamaahan pilaristabilointi kovaan pohjaan saakka. Pilaristabilointi on suunniteltu toteutettavaksi halkaisijaltaan $\varnothing = 600$ mm pilareilla k/k -välillä 1,4 m. Pilareiden mitoituslujuutena on käytetty $\tau_{mit} = 120$ kPa. Vallin pintakerroksen paksuus on $\sim 0,7$ m. Poikkileikkaus on esitetty kuvassa 39. Rinnakkaislaskelmat tehtiin edellä mainitun rakenteen ja EPS -kevennyksen välillä.



Kuva 39. Luvussa 10.2 tehtyjen päätelmien testaamisessa käytetty suunnitelmapoikkileikkaus.

Meluvalli on rakennussuunnitteluvaiheessa mitoitettu Pohjarakennusohjeisiin perustuvien tiehallinnon ohjeiden mukaisesti. Vallin pilaristabilointi on mitoitettu ~ 100 mm painumalle. Vallin kokonaisstabiliteetin varmuus pilaristabilointina ja rengaskeventeellä on 1,96. Varmuutena on käytetty $\geq 1,8$ vieressä sijaitsevan maakaasuputken takia. Päätelmien testauksessa mitoitus on tehty eurokoodien mukaisesti sekä murtorajatilassa että käyttörajatilassa.

Vallin EPS -kevenne on mitoitettu painumien avulla. Painumaa on sallittu 300 mm, ja tällöin valli rakennetaan 300 mm korkeammaksi. Stabiileettilaskelmissa on tällöin huomioitu lisäys vallin korkeudessa.

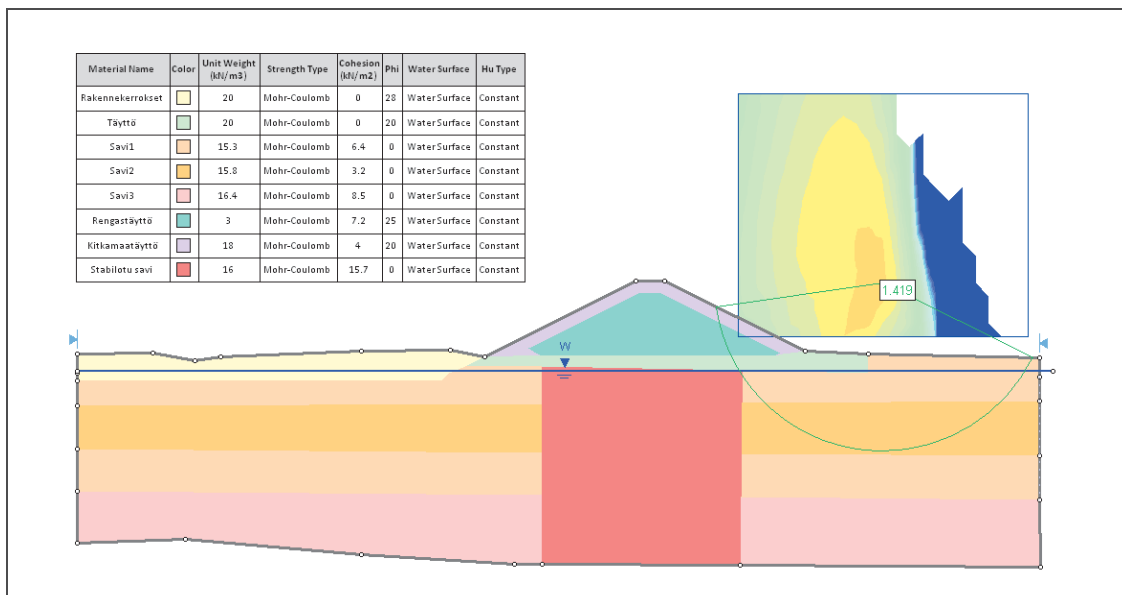
Laskennoissa EPS -solumuovilla kevennetyn rakenteen stabiileettilaskennat suoritetaan laskentatavoilla 5 ja 6.

Murtorajatilamitoitus

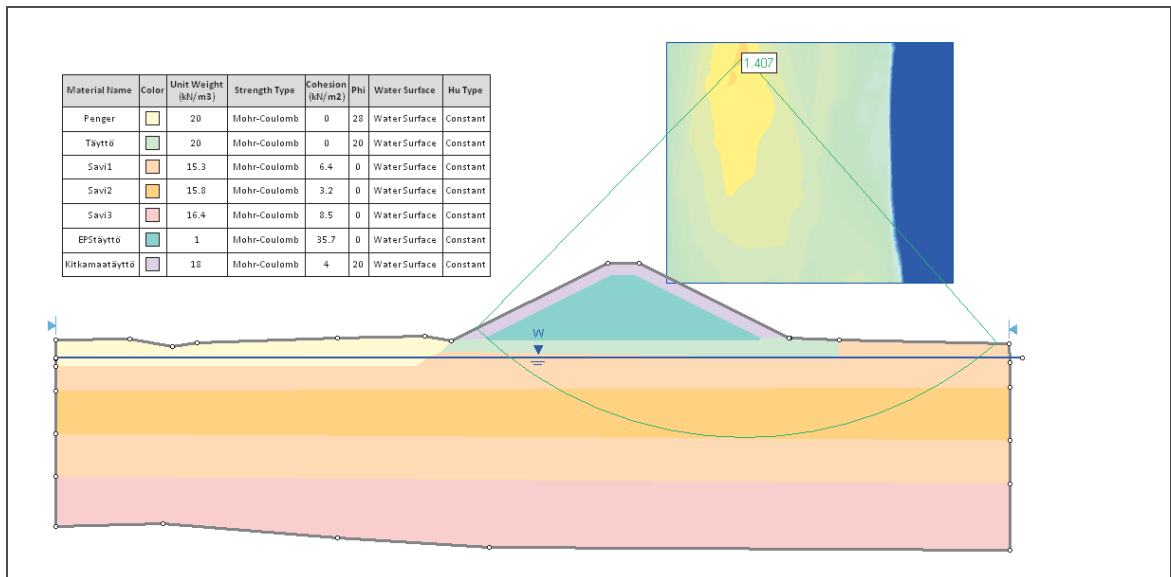
Vallin stabiileetti on laskettu murtorajatilassa, kun toteuttamistapana on pilaristabilointi pohjamaassa ja rengaskevenne kokonaisista renkaista. Tällöin ylimateituskerroin $ODF = 1,42$, joka täyttää vaatimuksen 1,0. (Kuva 40).

Puristuslujusmitoituksen perusteella EPS -materiaalin puristuslujuudeksi valitaan $\sigma_{10} = 60$ kPa, jolloin koheesion arvona käytetään puristuslujusmitoituksen avulla määritettyä leikkauslujuutta $c_{EPS} = \tau = 50$ kPa. Tällöin stabiileettilaskelman mukaan ylimateituskerroin ODF murtorajatilassa ylittää vaatimuksen ollen 1,41 (laskentatapa 5). Tulos on esitetty kuvassa 41.

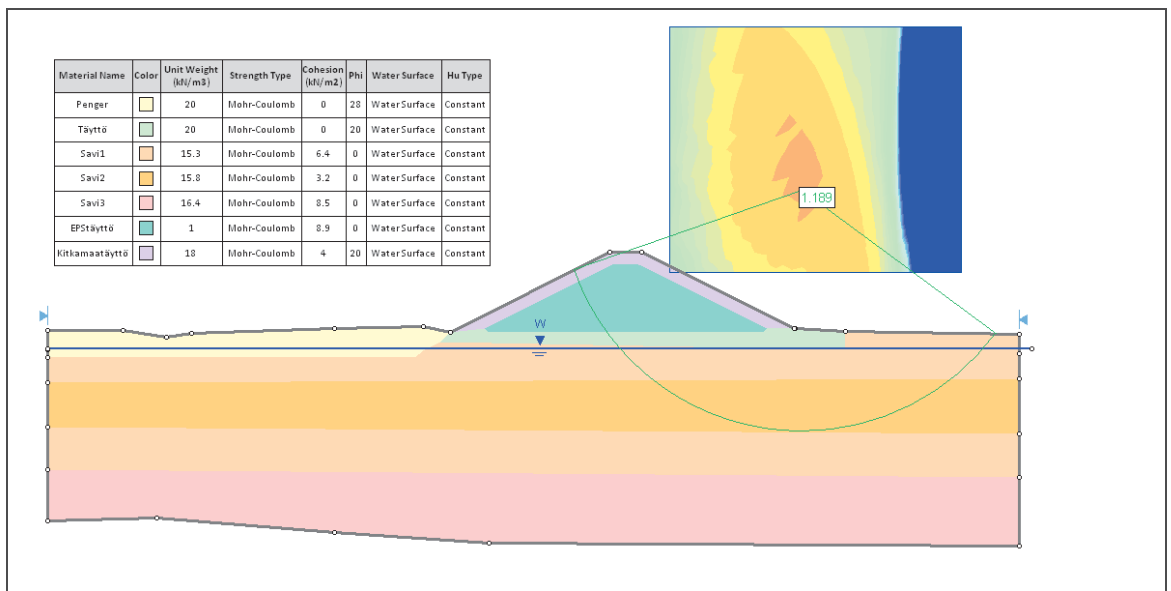
Käytettäessä laskentatapaa 6, jolloin EPS -materiaalin koheesio on 25 % puristuslujusmitoituksen avulla määritetystä leikkauslujuudesta τ , eli $c_{EPS} = 12,5$ kPa. Tällöin ylimateituskerroin ODF on 1,19 kuvan 42 mukaisesti.



Kuva 40. Meluvallin stabiileetti murtorajatilassa, kun toteutettu kokonaisilla renkailla ja pilaristabiloinnilla.



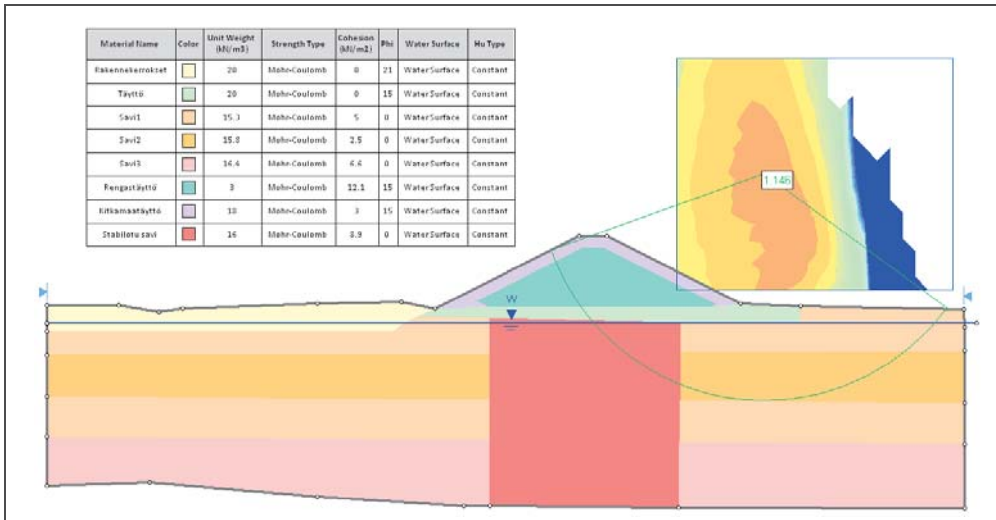
Kuva 41. Meluvallin stabiileetti murtorajatilassa, kun toteutettu EPS -kevennetyllä laskentatavan 5 mukaisesti.



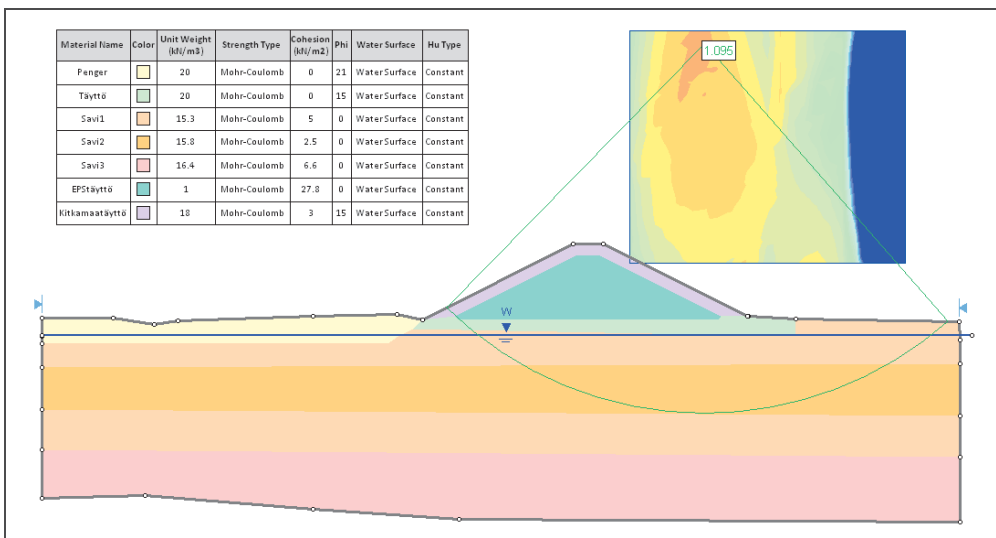
Kuva 42. Meluvallin stabiileetti murtorajatilassa, kun toteutettu EPS -kevennetyllä laskentatavan 6 mukaisesti.

Käyttöraajatilamitoitus

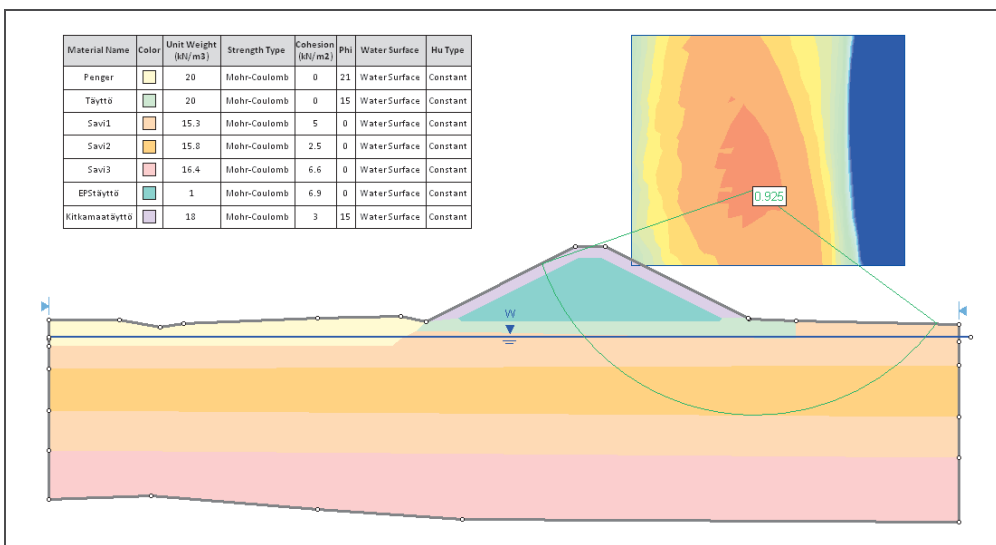
Käyttöraajatilamitoitus tehdään kuten murtorajatilamitoitus, mutta maan ja kevennemateriaalin lujuusparametreille käytetään korotettuja osavarmuuslukuja taulukon 21 mukaisesti. Käyttörajatilassa rengaskevennetyin ja pilaristabiloidun rakenteen ylimitoituserroin ODF on 1,15 (Kuva 43). EPS -kevennetyin rakenteen ylimitoituserroin on 1,10 laskentatavalla 5 (Kuva 44). Laskentatavalla 6 EPS -vallin stabiileetin ylimitoituserroin ODF on 0,93 (Kuva 45).



Kuva 43. Meluvallin stabiileetti käyttörajatilassa, kun toteutettu kokonaisilla renkailla ja pilaristabiloinnilla.



Kuva 44. Meluvallin stabiileetti käyttörajatilassa, kun valli on toteutettu EPS -kevennyksellä, ja laskentatapa on 5.



Kuva 45. Meluvallin stabiileetti käyttörajatilassa, kun valli on toteutettu EPS -kevennyksellä, ja laskentatapa on 6.

Tulosten tulkinta ja yhteenveto

Murtorajatilassa kummallakin laskentatavalla (5 ja 6) saadut ylirajoituskertoimet ODF ovat yli 1,0. Laskentatavalla 6 saatava varmuus on pienempi, kuten luvun 10.2 perusteella oli oletettavissa. Käyttöraajatilassa laskentatavalla 5 ODF on yli 1,0 toisin kuin laskentatavalla 6, jolloin $ODF = 0,925$, joka jää vaatimuksen alapuolelle. Näin ollen laskentatavalla 6 meluvallin stabiliteetti on käyttöraajatilassa riittämätön, jolloin kevennettä tulisi lisätä.

Kummatkin laskentatavat sopivat kyseiselle maapohjalle, mutta laskentatavalla 6 saatavat varmuudet ovat pienempiä. Käytettäessä tätä menetelmää EPS -kerroksen voidaan olettaa murtuvan, ja murtopinnan kulkevan 75 % matkasta saumoja pitkin ja 25 % EPS -materiaalissa. Menetelmän 5 laskennoissa oletetaan EPS -materiaalin käyttäytyvän yhtenäisenä monoliittina, joka ei huomioi saumoja. Nämä ovat projektikohtaisia tekijöitä, jotka riippuvat blokkien asettelusta ja niiden yhteenliittämistekniikasta.

Mikäli blokkien asettelulla vältetään heikoimmat murtopinnat, ja blokit saadaan käyttäytymään yhtenäisenä massana, laskentatapa 5 on soveltuva. Laskentatavassa 6 huomioidaan saumat, mutta useassa tapauksessa laskettu varmuus murtumista vastaan voi olla aliarvioitu.

11 JOHTOPÄÄTÖKSET

EPS -materiaalin kestävyys ja pitkäikäisyys vuoksi se on hyvin soveltuva materiaali melusteisiin, jotka toisinaan sijoittuvat hyvinkin haastaviin olosuhteisiin.

EPS -solumuovia tai siihen verrattavaa materiaalia on käytetty erinäisiin meluseinäsovelluksiin ulkomailla. Löytyneissä patenteissa ja muissa meluseinäsovelluksissa oli huomattavissa yhteneviä piirteitä. Useassa sovelluksessa meluseinäelementtejä oli asennettu päällekkäin, ja ne olivat päistään tuettuna pilarien varaan. Pintarakenteena oli vaihtelevasti betonointia, muovipinnoitetta, verhoulevyjä, kookosmattoa tms.

Näitä kansainvälisiä kokemuksia hyödyntäen etsittiin soveltuva meluseinäratkaisu. EPS -materiaalia soveltavan meluseinän kehittäminen oli iteraatiota meluseinän painon, ääneneristävyyden ja melusteille asetettujen vaatimusten määrittämien materiaalipaksuuksien välillä. Jotta EPS -materiaalin keveys voitaisiin hyödyntää, pintarakenne ei voi olla massiivinen, mutta sen tulee kuitenkin täyttää rakenteelliset vaatimukset. Ääneneristävyysvaatimukset täyttyivät usein jo paloturvallisuusvaatimusten tai iskunkestävyysvaatimusten asettamien pintarakennevaatimusten täytyessä, joten ääneneristävyysvaatimukset eivät käytännössä olleet mitoittava tekijä tuotekehitysprosessissa.

Kehitetty meluseinätyyppi on jo tuotannossa oleva seinäelementtityyppi, joka muodostuu teräspinnoitteen ja EPS -levyn liittorakenteesta. Tämä ”kunnioittaa” EPS -materiaalin keveyttä, ja on helposti muunnettavissa meluseinäsovellukseksi. Tästä voidaan jatkokehittelyllä myös tehdä absorboiva meluseinä.

Meluvalliin EPS -materiaali soveltuu erinomaisesti sen keveyden vuoksi. Tavanomaisilla kaivumailla toteutetusta meluvallista pohjamaalle siirtyvät kuormat ovat hyvin suuria, ja pehmeiköllä nämä aiheuttavat suuria painumia. EPS -materiaali on kevennysmateriaaleista kevyintä, ja siksi sen tarvittava määrä on vähäisin verrattuna muihin tyypillisiin materiaaleihin, kuten kokonaisiin renkaisiin, rengasrouheeseen ja kevytsoraan.

EPS -materiaali on kuitenkin kuutiohinnaltaan suhteellisen kallista. Hinta riippuu EPS -solumuovin valmistukseen käytetystä raaka-aineen määrästä. Meluvallissa materiaalin ei tarvitse kestää yhtä suuria kuormia kuin liikennöitävien alueiden rakentamisessa käytettävän materiaalin. Tällöin tiheys voi olla pienempi ja laatu heikompi. Näin materiaalintoimittajille syntyy uusia käyttösovelluksia, kun kevenneblokkeja voidaan tehdä myös alemman vaatimustason mukaisesti. Näillä tekijöillä saavutettavissa olevat kustannussäästöt ovat selkeitä.

EPS -materiaalin käytön edut meluvallin tyyppisessä rakenteessa näkyvät kaikista eniten tekijöissä, jotka eivät suoranaisesti näy tässä työssä tehdyssä vertailussa. EPS materiaalia on hyvin helppo käsitellä, mikä lyhentää rakennusaikaa ja vaatii vähemmän koneistoa. Materiaalihävikki on myös vähäinen. Tilansäästö on myös yksi merkittävä

tekijä, EPS -materiaalista valmistetut meluvallit voidaan tehdä jyrkillä tai pystysuorilla luiskilla soveliaista pintamateriaalia käytettäessä.

Myös erityisesti meluseinien tapauksessa kustannussäästöä syntyy pitkällä aikavälillä EPS -materiaalin pitkäikäisyyden ja kestävyysvuoksi. EPS on myös hyvin turvallinen ympäristölle.

Meluvallin geoteknisessä suunnittelussa on huomioitava sekä rakenteen sisäinen että ulkoinen stabiliteetti. Sisäisellä stabiliteetilla tarkoitetaan meluvallin sisällä tapahtuvaa vauriota, kun ulkoisen stabiliteetin pettäessä vaurio tapahtuu myös pohjamaassa. Sisäisen stabiliteetin pettäminen tapahtuu usein sivusuuntaisten kuormien vaikutuksesta, jolloin tapahtuu liukumista EPS -blokkien välillä. Suomessa on hyvin epätodennäköistä, että suuria, sivusuuntaisia voimia kohdistuisi vallirakenteeseen, koska seismiset voimia ei ole, ja tuulen ja veden aiheuttamat paineet ovat pieniä. Sisäisen stabiliteetin määrittämisessä kriittisin on oikean EPS -materiaalin valinta, jolla vallin kokoonpuristuma ei ole liian suuri.

Ulkoisen stabiliteetin määrittämisessä blokit mallinnetaan usein yhtenäisenä massana, jolloin käytettävälle blokkimassalle on löydettävä realistiset lujuusarvot. Koska massa koostuu blokeista, joilla on tietty leikkauslujuus ja niiden välisistä saumoista, joilla vallitsee kitka, lujuusarvot ovat jotain yksittäisen blokin leikkauslujuuden ja blokkien välisen sauman kitkakulman välillä. Massan lujuus riippuu EPS -materiaalissa tapahtuvan murtopinnan sijainnista.

Ulkoisen stabiliteetin määrittämisessä käytettävän liukupinnan sijainti riippuu blokkimassan lujuudesta. Testatuilla pohjamaan suljetun leikkauslujuuden arvoilla ero varmuudessa liukupintasortumaa vastaan on hyvin pieni, riippumatta siitä, leikkaako liukupinta EPS -materiaalin läpi vai kiertääkö liukupinta penkereen. Esimerkkilaskelmissa on oletettu, että pohjamaa on homogeeninen. Kerroksellisen pohjamaan tapauksessa em. tulos saattaa olla erilainen.

Ulkoisen stabiliteetin laskentatavoista mielekkäimmiksi menetelmiksi valikoituivat ne, joissa EPS -materiaalin koheesiona c_{EPS} käytetään EPS -materiaalin leikkauslujuutta ($c_{EPS} = \tau$), 25 % EPS -materiaalin leikkauslujuudesta ($c_{EPS} = 0,25 \cdot \tau$) tai mallinnettaessa valli kokonaan kuormana. Kuormana mallinnettaessa EPS -materiaalin lujuusarvot eivät vaikuta lainkaan, 25 % leikkauslujuutta käytettäessä varmuus voi olla liian alhainen ja leikkauslujuuden arvolla varmuus voi olla hieman yläkanttiin. Käytettävät menetelmät ja arvot riippuvat siitä, miten blokkien asetelusta, kiinnityksestä ja siitä, miten ne lukkiutuvat toistensa kanssa, eli kuinka yhtenäisenä massana blokit voidaan käsittää. Käytettävän koheesio c_{EPS} arvon maksimi on kuitenkin ehdottomasti aina puristuslujuusmitoituksen avulla määritetty leikkauslujuus.

12SUOSITUKSET JA JATKOTUTKIMUSEHDOTUKSET

Tämän työn yhteydessä ei tutkittu pelkän EPS -materiaalin ääneneristävyyttä, ja sen kykyä absorboida ääntä. Mikäli kehitetystä melusteesta sovelletaan tulevaisuudessa myös ääntä absorboiva meluste, on se testattava työssä määritettyjen standardien mukaisesti.

Meluseinien kustannusvertailua ei tässä työssä tehty koko käyttöiän ajalle. Mikäli vertailu toteutettaisiin huomioiden myös ylläpitokustannukset, tuloksissa voisi tapahtua merkittävää vaihtelua EPS-rakenteen eduksi.

Työn tuloksena havaittiin, että meluvalliin on mahdollista käyttää myös heikompilaatuista EPS -materiaalia. Materiaalintoimittajien on suoritettava jatkokehitystyötä, jotta voidaan valmistaa soveltuva materiaalia kustannustehokkaasti, ja mahdollisimman paljon kierrätystä hyväksi käyttäen. Mahdollisuus on myös toteuttaa valli useista erilaisista EPS -materiaalilaaduista. Nämä tulee kuitenkin mitoittaa kohdekohtaisesti.

Meluvallin, kuten myös penkereiden, blokkien asettelulla ja kiinnittämisellä voidaan vaikuttaa EPS -massan käyttäytymiseen ja laskelmissa käytettäviin lujuusarvoihin. Potentiaalinen tulevaisuuden tutkimuskohde olisi selvittää laskelmin ja mahdollisesti jopa koerakentamisella asettelun ja kiinnittämistapojen vaikutus EPS -kevennetyn vallin ja muiden penkereiden dynamiikkaan. Mikäli pystyttäisiin määrittämään suhde murtopinnan blokkien läpi kulkevan matkan ja saumoja pitkin kulkevan matkan välillä, saataisiin todellisuutta vastaavat laskenta-arvot EPS -materiaalin lujuudelle ulkoisen stabiiliteetin määrittämistä varten.

Hyvin mielenkiintoista olisi myös tutkia harjaterästen vaikutusta EPS -blokkien väliseen leikkautumiseen. Tästä on tällä hetkellä hyvin vähän dokumentoitua tietoa saatavilla, vaikka ko. liitosmenetelmää on suomalaisessa ohjeistuksessa esitetty käytettävän.

Laskentoja tulisi suorittaa vielä useammilla pohjamaan suljetun leikkauslujuuden arvoilla, kerroksellisella maapohjalla, sekä erilaisilla vallin dimensioilla, jotta tulosten toimivuus tulisi testattua vaihtelevimmissa olosuhteissa ja päätelmät olisivat paremmin ja luotettavammin yleistettävissä muihin olosuhteisiin.

LÄHDELUETTELO

Barrett, J. C. & Valsangkar, A. J. Effectiveness of connectors in geofam block construction. *Geotextiles and Geomembranes*. Vol 27:3. s. 211-216.

Bartlett, S.F., Lawton, E.C., Trandafir, A.C., Lingwall, B.N. 2011. Applications of EPS Geofam in Design and Construction of Earthquake Resilient Infrastructure. EPS 2011 - 4th International Conference on the use of Geofam Blocks in construction Applications. Norway.

BASF. 2006. 510 Styropor. Rigid Styropor foam as a lightweight construction material for highway foundations: Geofam[®]. 10 s.

Duškov, M & Waarts, P. 2011. Cost comparison of construction methods for highway widening on compressible subgrade. EPS 2011 - 4th International Conference on the use of Geofam Blocks in construction Applications. Norway.

EPS-rakennuseristeteollisuus. 2011. [verkkosivu]. Julkaisupäivä tuntematon [viitattu 4/2011]. Saatavissa: <http://www.eps-eriste.fi>.

Geofam Research Center. 2000. Use of Geofam for I-15 Reconstruction in Salt Lake City, UT. [verkkodokumentti]. Julkaistu 2000 [viitattu 5/2011]. Saatavissa: http://geofam.syr.edu/GRC_i15.asp.

Hongisto, Valtteri. 2010. Kurssin ”S-89.3471 Meluntorjunta” luentoaineisto. Aalto-yliopisto.

Jablite. 2011. Fillmaster Noise Bunds Case Study. [verkkodokumentti]. Julkaisupäivä tuntematon. [viitattu 4/2011]. Saatavissa: <http://www.jablite.co.uk/casestudies/show/fillmaster-noise-bunds-case-study>.

Kettunen, H. 2011. Vaihtoehtoiset meluntorjuntaratkaisut - Case: Naistenmatkantien ja Isonmäentien välinen alue Pirkkalassa. Tampereen ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikan koulutusohjelma, Infrarakentaminen, Opinnäytetyö, 57 s.

Kilpeläinen, T. 2011a. Korjauksia diplomityöhön. [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Sassali, J. Lähetetty 12.7.2011 klo 8.26 (GMT +0200). Liitetiedosto: ”DI-t_EPS-Meluste_Luonnos_6 7 2011.doc”. Saatavissa: luottamuksellinen.

Kilpeläinen, T. 2011b. Tutkimus- ja kehitys, ThermiSol Oy. Suullinen tiedonanto 19.5.2011.

Liikenne- ja viestintäministeriö. 2010. Kansallinen liite (LVM) SFS-EN 1997-1 Geotekninen suunnittelu Yleiset säännöt: Soveltaminen infrarakenteisiin. 13 s.

Liikennevirasto. 2010. Tien melusteiden suunnittelu. Helsinki. 87 s. ISBN 978-952-255-564-9 (sähköinen). ISBN 978-952-255-563-2 (painettu).

Liikennevirasto. 2011a. Kevennysrakenteiden suunnittelu. Helsinki. 42 s. ISBN 978-952-255-639-4 (sähköinen). ISBN 978-952-255-638-7 (painettu).

Liikennevirasto. 2011b. Eurokoodin soveltamisohje Geotekninen suunnittelu – NCCI 7 Siltojen ja pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. Helsinki. 68 s. ISBN 978-952-255-608-0 (sähköinen).

NCHRP. 2004. Stark, T., Arellano, D., Horvath, J., Leshchinsky, D. Geofam Applications in the Design and Construction of Highway Embankments. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), Transportation Research Board, USA.

Ortia, M.L. 1995. Tarvitaanko melusteitä?. Tie ja liikenne (7-8), 7.8.1995.

Ortia, M.L. 2011. Arkkitehti. Ramboll Finland Oy, maisemasuunnittelu. Espoo, PL3, 02241 Espoo. Haastattelu 15.4.2011.

Paragon Noise Barriers, Inc. 2011. [verkkosivu]. Julkaistu 2011. [viitattu 5/2011]. Saatavissa: <http://paragonnoisebarriers.com/>.

Pat. US 4 566 558. Noise barrier. Marine Systems, Inc., Knoxville, Tennessee USA. (Link, Jr., J.V. & Ronald E.) Hak. US 7030728, 21.2.1985. Julk. 28.1.1986.

Pat. US 4 899 498. Foam cement highway sound barrier. Grieb, D.L. Grafton, Wisconsin, USA. Hak. US 253 063, 3.10.1988. Julk. 13.2.1990.

RT 37790. 2009. EPS-lämmöneristeet. Tarviketieto. EPS-rakennuseristeteollisuus.

SFS-EN 1793-1. 1997. Teiden melusteet. Akustisten ominaisuuksien määrittäminen. Osa 1: Tuotekohtainen äänen absorptio. (Road traffic noise reducing devices. Test method for determining the acoustic performance. Part 1: Intrinsic characteristics of sound absorption.) Helsinki: Suomen standardoimisliitto. 9 s.

SFS-EN 1793-2. 1997. Teiden melusteet. Akustisten ominaisuuksien määrittäminen. Osa 2: Tuotekohtainen ilmapääntien eristävyys. (Road traffic noise reducing devices. Test method for determining the acoustic performance. Part 2: Intrinsic characteristics of airborne sound insulation.) Helsinki: Suomen standardoimisliitto. 9 s.

SFS-EN 1793-3. 1997. Teiden melusteet. Akustisten ominaisuuksien määrittäminen. Osa 3: Standardisoitu liikennemelun spektri. (Road traffic noise reducing devices. Test method for determining the acoustic performance. Part 3: Normalized traffic noise spectrum.) Helsinki: Suomen standardoimisliitto. 5 s.

CEN/TS 1793-4. 2003. Teiden melusteet. Akustisten ominaisuuksien määrittäminen. Osa 4: Tuotekohtaiset ominaisuudet. Äänen diffraktion mittaus asennuskohteessa. (Road traffic noise reducing devices. Test method for determining

the acoustic performance. Part 4: Intrinsic characteristics. In situ values of sound diffraction.) Helsinki: Suomen standardoimisliitto. 29 s.

CEN/TS 1793-5. 2003 Teiden melusteet. Akustisten ominaisuuksien määrittäminen. Osa 5: Tuotekohtaiset ominaisuudet. Äänen heijastumisen ja eristävyysmittaus asennuskohteessa. (Road traffic noise reducing devices. Test method for determining the acoustic performance. Part 5: Intrinsic characteristics. In situ values of sound reflection and airborne sound insulation.) Helsinki: Suomen standardoimisliitto. 43 s.

SFS-EN 1794-1. 2003. Teiden melusteet. Muut kuin akustiset ominaisuudet. Osa 1: Rakennetekniset vaatimukset. (Road traffic noise reducing devices. Non-acoustic performance. Part 1: Mechanical performance and stability requirements. Helsinki: Suomen standardoimisliitto. 24 s.

SFS-EN 1794-2. 2003. Teiden melusteet. Muut kuin akustiset ominaisuudet. Osa 2: Yleiset turvallisuus- ja ympäristönäkökohdat. (Road traffic noise reducing devices. Non-acoustic performance. Part 2: General safety and environmental requirements. Helsinki: Suomen standardoimisliitto. 23 s.

SFS-EN 1990. 2002. Eurocode. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto. 138 s.

SFS-EN 1997-1. 2004. Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu. Osa 1: Yleiset säännöt. Helsinki: Suomen standardoimisliitto. 168 s.

SFS-EN 14933. 2007. Lämmöneriste- ja kevyttäytetuotteet maa- ja vesirakentamiseen. Tehdasvalmisteiset paisutetut polystyreenituotteet (EPS). Tuotestandardi. (Thermal insulation and light weight fill products for civil engineering applications. Factory made products of expanded polystyrene (EPS). Specification) Helsinki: Suomen standardoimisliitto. 52 s.

Suomen kuntatekniikan yhdistys. 1997. Melustekäsikirja. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. 121 s. Suomen kuntatekniikan yhdistyksen julkaisu n:o 18. ISBN 952-9710-02-X.

ThermiSol. 1998. EPS-keventeet yhdyskuntarakentamisessa. Suunnittelu- ja rakentamisohjeet.

Thompsett, David & Walker, Adrian. 2011. EPS in noise barriers. [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Sassali, J. Lähetetty 3.5.2011 klo 12.10 (GMT 0000). Saatavissa: luottamuksellinen.

Tielaitos. 1997. Teiden suunnittelu V. Tiehen kuuluvat laitteet 3 Melusteet (TIEL 2140013). Helsinki. 39 s. ISBN 951-726-382-1.

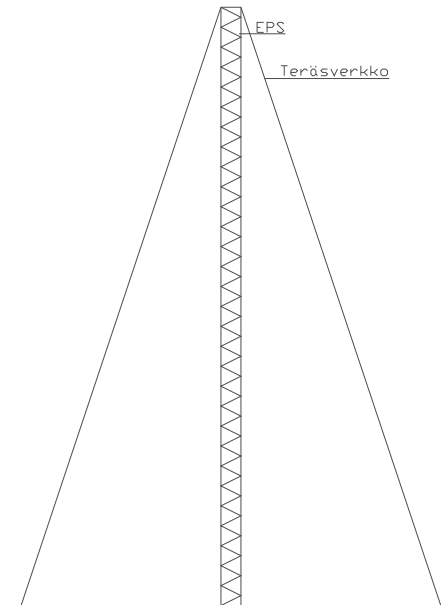
Wallin V. 2007. Meluseinien moduulijaon vaikutukset rakenteisiin, perustuksiin ja kustannuksiin. Tampereen ammattikorkeakoulu, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Tampere, Tutkintotyö, 52 s.

LIITELUETTELO

Liite 1 Rakennekortit

Liite 1. Rakennekortit

2. Rakennevaihtoehto 2



Rakenteen kuvaus

EPS -materiaalista valmistettuun seinään on kiinnitetty teräsverkko. Teräsverkkoa myöten voi kasvaa erilaisia köynnöksiä, tai kasvillisuutta voidaan istuttaa verkon ja seinän väliin. EPS -materiaalin paksuus valitaan äänenvaimennuksen kannalta riittävän paksuksi.

Edut

Rakenne on hyvin kevyt. Teräsverkot tukevat rakennetta, ja suojaavat ilkivaltaa vastaan. Erityisiä perustuksia ei välttämättä tarvita.

Ongelmakohdat/heikkoudet/haasteet

Rakenteen kestävyys sivusuuntaisia kuormia vastaan voi olla heikko. EPS ilman pinnoitusta ei läpäise melusteille asetettavia paloturvallisuusvaatimuksia.

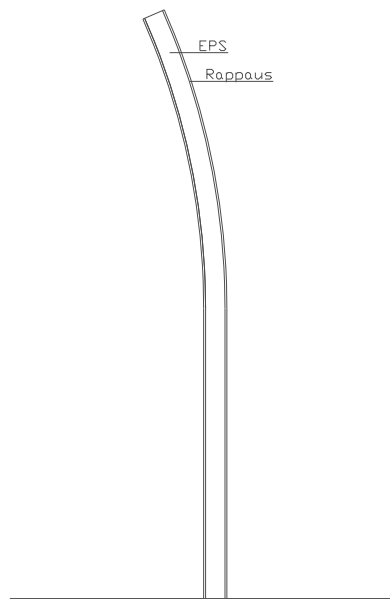
Arvio

EPS -materiaali olisi pinnoitettava ainakin paloturvallisuussyistä, jolloin seinän paino kasvaa. Tällöin myös teräsverkon hyöty pienenee.

Rakenne pitkittäissuunnassa ja liitokset

Esim. kortti 10
Esim. kortti 11

3. Rakennevaihtoehto 3



Rakenteen kuvaus

EPS –materiaalista valmistettu kaareva seinä. Pintarakenteena esim. rappaus.

Edut

Muotoilemalla rakennetta voidaan vaikuttaa äänen kulkeutumiseen.

Ongelmakohdat/heikkoudet/haasteet

Kaarevat rakenteet voi olla rakenneteknisesti vaikeampia toteuttaa, haasteita mm. EPS -kappaleiden kiinnityksessä pituussuunnassa.

Arvio

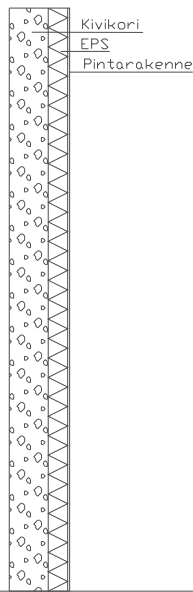
EPS –materiaalista voidaan muotoilla monimuotoisia rakenteita, muut rakennusmateriaalit ovat rajoittavampi tekijä. Mikäli epätyypillisellä muodolla on selkeä hyöty, on jatkokehittelyn arvoinen.

Rakenne pitkittäissuunnassa ja liitokset

Esim. kortti 10

Esim. kortti 11

4. Rakennevaihtoehto 4



Rakenteen kuvaus

EPS -seinä, johon pintaverhoukseksi kiinnitetty kivikorityyppinen rakenne melun puolelle. EPS:n suojaus toisella puolella halutulla pintarakenteella, kuten levyllä tai rappauksella.

Edut

Kivikori -tyyppisestä pinnasta voitaisiin saada absorboiva pinta. Kevyempi kuin pelkästään kivistä rakennettu seinä.

Ongelmakohdat/heikkoudet/haasteet

Kivikorirakenteet kalliita ja raskaita. Rakenneteknisesti tällainen rakenne on mahdoton toteuttaa.

Arvio

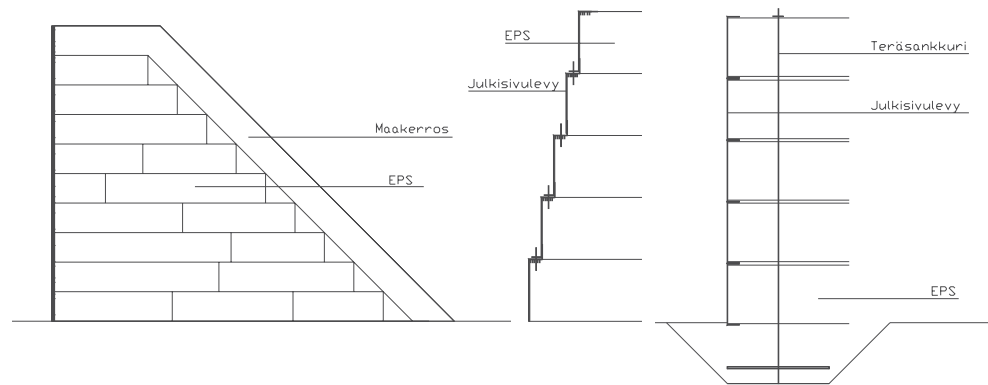
Kivet seinän pintaverhouksena voi toimia, mikäli kiviä on hyvin ohut kerros. Kivien yhdistäminen EPS -materiaalia hyödyntävään melusteeseen toimii mahdollisesti paremmin muussa sovelluksessa.

Rakenne pitkittäissuunnassa ja liitokset

Esim. kortti 10

Esim. kortti 11

5. Rakennevaihtoehto 5



Rakenteen kuvaus

EPS -meluvallin toisesta sivusta on tehty pintarakenteella peitetty pystysuora seinämäinen julkisivu. Pintarakenne voi olla esim. rappaus tai peitelevy.

Edut

Vallin tarvitsema tila saadaan pienennettyä.

Ongelmakohdat/heikkoudet/haasteet

Ratkaisu on hyvin toispuolinen, jolloin rakenteen vakavuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Seinämäinen julkisivu on herkkä painumalle, jolloin myös perustuksiin on kiinnitettävä huomiota. Vallin päällä on oltava aita turvallisuussyistä.

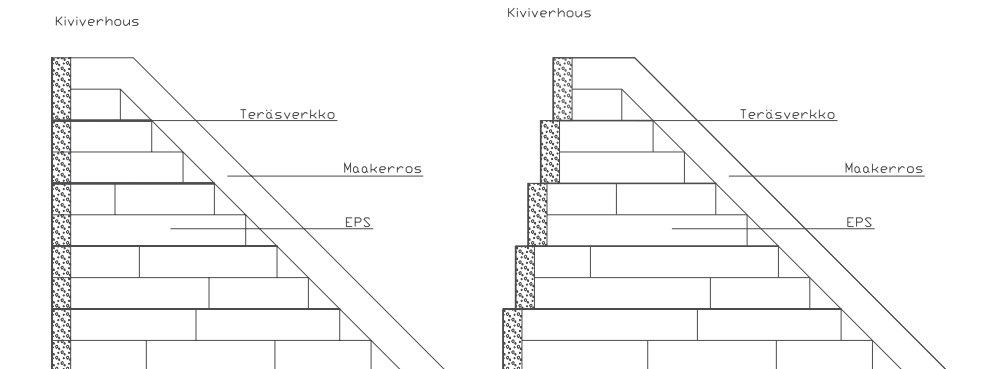
Arvio

Kehittelemisen arvoinen ratkaisu.

Rakenne pitkittäissuunnassa ja liitokset

Rakenne jatkuu pitkittäissuunnassa yhtenäisenä.

6. Rakennevaihtoehto 6a ja 6b



Rakenteen kuvaus

5a) EPS -meluvallin toisesta sivusta on tehty kivikorein verhoiltu pystysuora seinämäinen julkisivu.

5b) EPS -meluvallin toisesta sivusta on tehty kivikorein verhoiltu porrastettu seinämäinen julkisivu.

Lujitus on toteutettu asentamalla blokkikerrosten väliin teräsverkkoa, joka on taitettu päädystä. Pääty täytetään kivillä.

Edut

Vallin tarvitsema tila saadaan pienennettyä. Kiviverhous on esteettinen, eikä motivoi ilkiä.

Ongelmakohdat/heikkoudet/haasteet

Ratkaisu on hyvin toispuolinen, jolloin rakenteen vakavuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Seinämäinen julkisivu on herkkä painumalle, jolloin myös perustuksiin on kiinnitettävä huomiota.

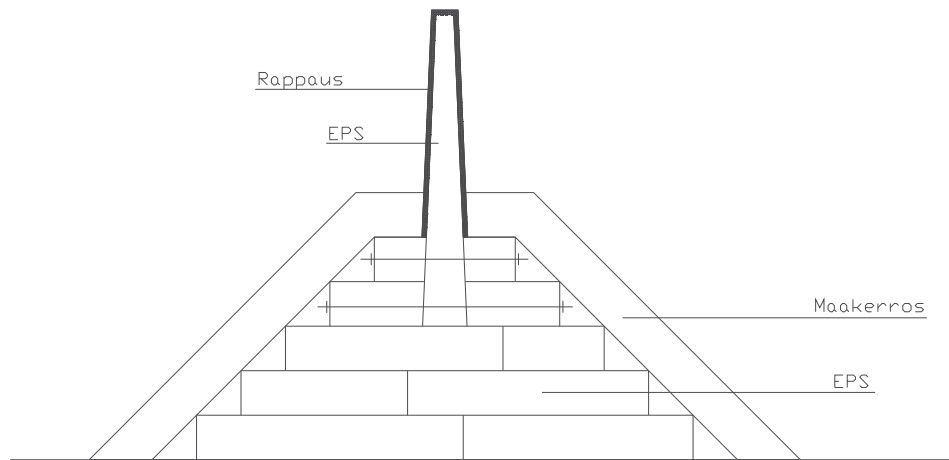
Arvio

Kehittelemisen arvoinen ratkaisu.

Rakenne pitkittäissuunnassa ja liitokset

Rakenne jatkuu pitkittäissuunnassa yhtenäisenä.

7. Rakennevaihtoehto 7



Rakenteen kuvaus

EPS -meluvallin päällä on myös EPS -materiaalista valmistettu seinä. Seinä on kiinnitetty vallin sisään asennettuihin blokkeihin. EPS -seinä on pinnoitettu päällysmateriaalilla, kuten betonirappauksella tai levyllä.

Edut

Vallin tarvitsema tila saadaan pienennettyä. Vallin ja seinän yhdistelmä on erittäin kevyt.

Ongelmakohdat/heikkoudet/haasteet

Toteuttaminen haasteellista.

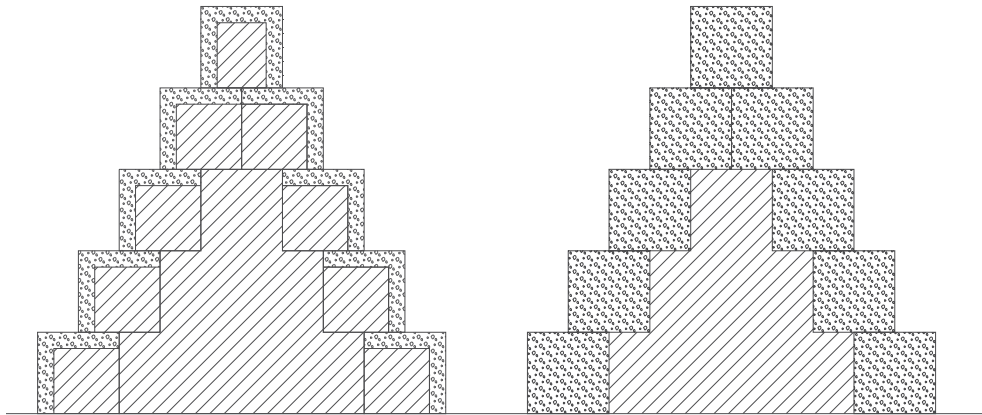
Arvio

Toteuttaminen vaatii tarkat suunnitelmat.

Rakenne pitkittäissuunnassa ja liitokset

Valli jatkuu pitkittäissuunnassa yhtenäisenä.
Seinä esim. kortti 10 ja 11.

8. Rakennevaihtoehto 8a ja 8b



Rakenteen kuvaus

8a) Kivikorirakenteessa ulkoreunoilla olevat kivekorit ovat osittain täytetty EPS -solumuovilla.

8b) Kivikorirakenteen ulkoreunoilla on perinteiset kivekorit. Meluesteen keskiosa on täytetty EPS -materiaalilla.

Edut

EPS:n hyödyntäminen kivikorimelusteessä vähentää melusteestä maahan kohdistuvaa kuormaa huomattavasti. Rakentamisen aikainen käsittely on myös helpompaa kuin tavanomaisten kivekorien tapauksessa.

Ongelmakohdat/heikkoudet/haasteet

Rakenteeseen olisi jalostettava sopiva teräsverkkotyyppi ja kiviainesmateriaali. Melusterakenne osastoiduilla kivekoreilla voi olla liian kevyt rakenne.

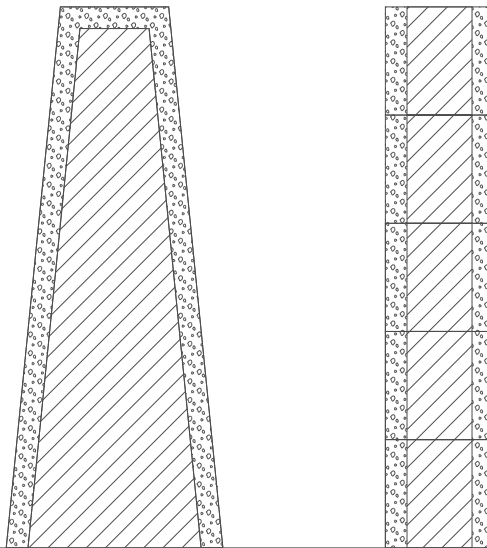
Arvio

Rakenne on jatkokehittelyn arvoinen.

Rakenne pitkittäissuunnassa ja liitokset

Rakenne jatkuu pitkittäissuunnassa yhtenäisenä.

9. Rakennevaihtoehto 9a ja 9b



Rakenteen kuvaus

9a) Taitetusta teräsverkosta tehty kivikorityyppinen rakenne, jossa ydinosaa EPS – solumuovia ja pintaverhouksena kiviä.

9b) Kivikoreista kasattu meluseinä. Kivikorit on osittain täytetty EPS – solumuovilla.

Edut

Verrattuna kokonaan kivillä täytettyyn seinämään, este on huomattavasti kevyempi. EPS:n hyödyntäminen kivikorimeluosteessa vähentää melusteestä maahan kohdistuvaa kuormaa huomattavasti. Rakentamisen aikainen käsittely on myös helpompaa kuin tavanomaisten kivikorien tapauksessa.

Ongelmakohdat/heikkoudet/haasteet

Rakenteeseen olisi jalostettava sopiva teräsverkkotyyppi ja kiviainesmateriaali. Melueterakenne osastoiduilla kivikoreilla ei välttämättä ole rakenteellisesti toteutettavissa, sillä ilman tukirankaa se on seinämäiseksi rakenteeksi liian kapea.

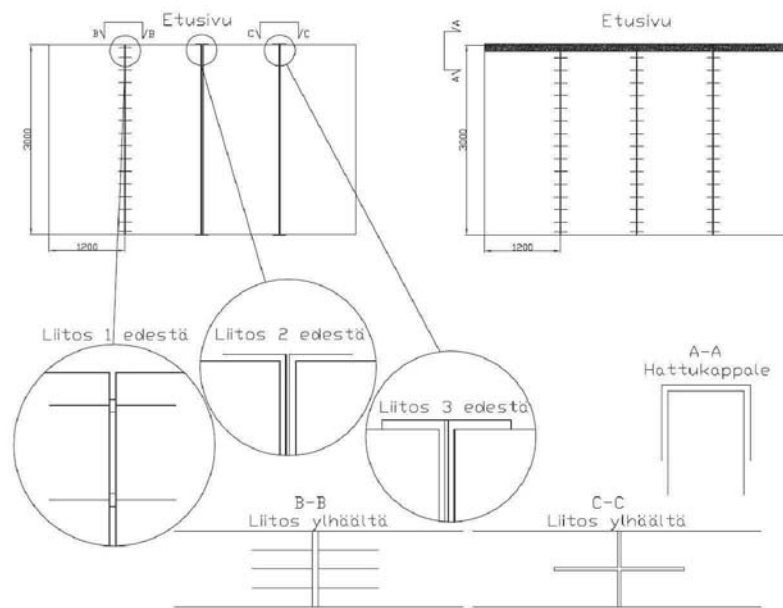
Arvio

Kivikorityyppisessä rakenteessa rakennevaihtoehdot 8a ja 8b voivat olla toteutettavampia vaihtoehtoja.

Rakenne pitkittäissuunnassa ja liitokset

Rakenne jatkuu pitkittäissuunnassa yhtenäisenä.

10. Liitokset A



Liitosten kuvaus

Liitos 1: Naulalevytyyppinen kiinnike

Liitos 2: I -palkit kiinnitettyinä selkäpuolet vastakkain

Liitos 3: Ristin muotoinen palkki, joka on asennettu EPS -materiaaliin tehtyjen urien väliin.

Rakenteen yläreunassa on U -muotoinen hattukappale, joka suojaa ja jäykistää rakennetta.

Liitosten kehitysideat ja jatko

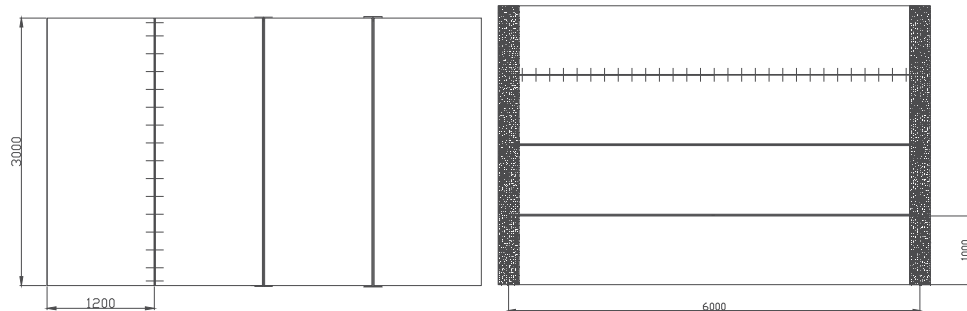
Liitosmahdollisuuksia on hyvin paljon. Olemassa olevista EPS -sovelluksista löytyy huomattavasti käyttökelpoisia liitostyyppisiä.

Liitostyyppi 3 voidaan toteuttaa kalanruotoliitoksella.

Myös liimojen käyttöä voidaan harkita.

Sopiva liitostyyppi voidaan määrittää parhaiten lopulliseen seinärakenteeseen.

11. Pitkittäissuuntainen rakenne I ja II



Rakenteen kuvaus

EPS – blokit voidaan kiinnittää joko pysty- tai poikittaissuunnassa.

Kiinnitysmekanismit harkitaan tapauksen mukaan (esimerkiksi kortin 10 mukaisesti).

Rakenteessa II blokit on tuettu päistään esim. HE -palkin varaan.

Blokkien koossa ja sijoittelussa rajoitteena valmistettavien blokkien koko ja rakenteen riittävä jäykistäminen.

Seinien alareunaan voidaan asentaa palkki, johon liitetään paalut tarvittavin välimatkoin.

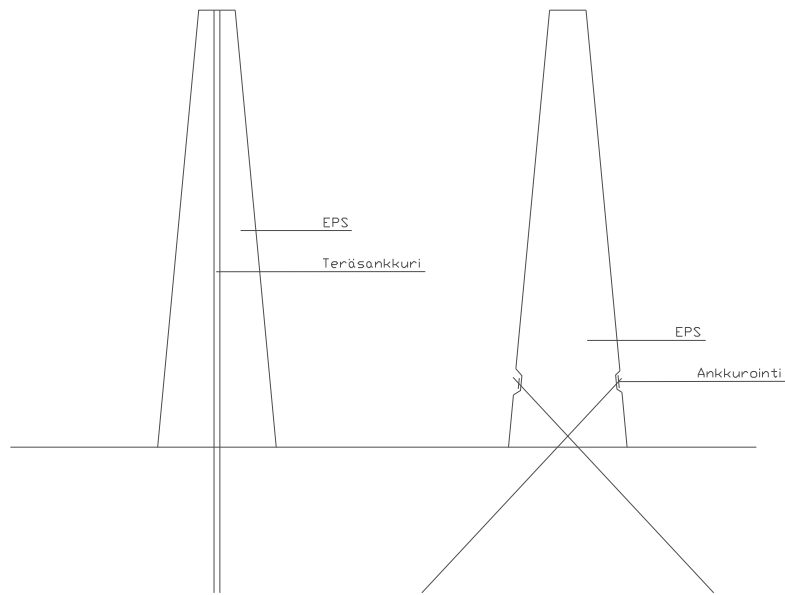
Rakenteen kehitysideat

EPS –materiaalin ollessa helposti leikattavaa, myös blokin sisään voidaan leikata ura esim. HE -palkille.

Rakenne poikittaissuunnassa

Rakenne poikittaissuunnassa on vapaavalintainen (esim. kortit 2, 3,...).

12. Ankkurointimekanismit E ja F



Rakenteen kuvaus

E) EPS -seinä on kiinnitetty maahan seinään valmiiksi porattujen reikien läpi asennetulla teräsankkureilla pystysuoraan seinän päältä.

F) EPS -seinä on kiinnitetty maahan seinään valmiiksi porattujen reikien läpi asennetulla teräsankkureilla seinän alaosaan sivusuunnassa.

Edut

Seinä saadaan ankkuroitua maahan. Saadaan kestävyys myös tuuli- ja aurouskuormaa vastaan. EPS:n kestävyys maan sisällä on hyvä.

Ongelmakohdat/heikkoudet/haasteet

Vaihtoehdossa E tankojen asentaminen on haasteellista useita metrejä korkean seinän päältä.

Arvio

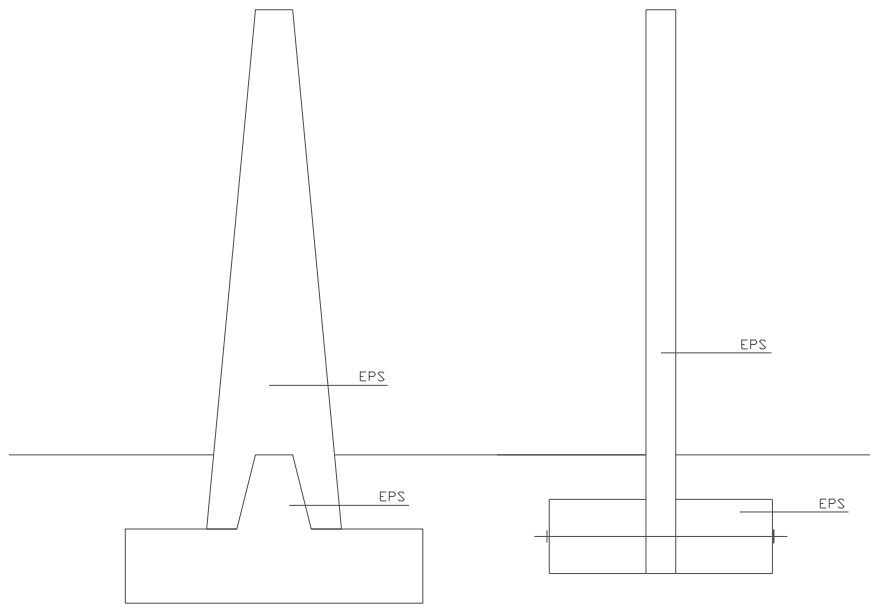
Mikäli seinärakenne on kevyt, eikä tarvita erityistä anturaa, kyseisen tyyppinen kiinnitysmekanismi voi tulla kyseeseen. Vaihtoehdossa E asentaminen vaatii harkitun menetelmän.

Rakenne pitkäikäisyydessä ja liitokset

Esim. kortti 10

Esim. kortti 11

13. Ankkurointimekanismit G ja H



Rakenteen kuvaus

G) EPS -seinäkappaleen pohjassa on ura, johon antura kiinnitetään.

H) EPS -seinäkappaleen kummallakin puolella on maanpinnan alapuolella EPS -kappale. Kappaleet on kiinnitetty terästangolla. kiinnitetään

Edut

Seinä saadaan kiinnitettyä maahan, ja antaa varmuuden tuuli- ja aerauskuormaa vastaan. EPS:n kestävyys maan sisällä on hyvä.

Ongelmakohdat/heikkoudet/haasteet

Vaihtoehdossa G liitos ei välttämättä ole erityisen kestävä.

Arvio

Koko rakenne kokonaisuudessaan on erittäin kevyt. Kehittelemällä voidaan päätyä hyvään ratkaisuun.

Rakenne pitkäikäisyyssuunnassa ja liitokset

Esim. kortti 10

Esim. kortti 11