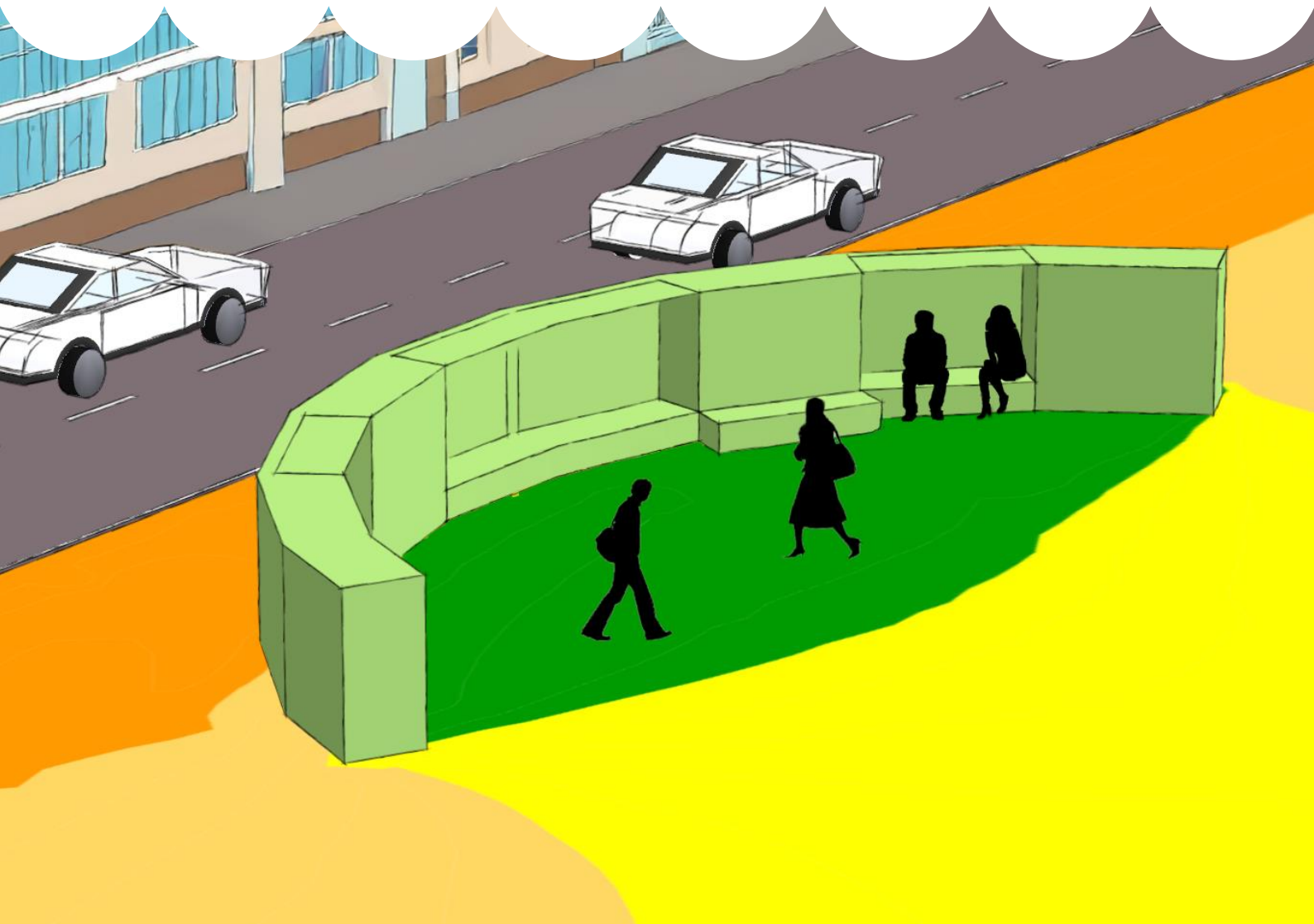


Vehreät meluseinäkkeet – jatkoselvitys

Pyry Survo, Sirpa Lappalainen, Ville-Veikko Kyllönen
ja Joni Kemppainen



Kaupunkiympäristön aineistoja 2024:19

Vehreät meluseinäkkeet, jatkoselvitys

Pyry Survo, Sirpa Lappalainen, Ville-Veikko Kyllönen ja Joni Kemppainen

Kannen kuva | Pyry Survo / WSP Finland Oy
Julkaisija | Helsingin kaupunki / Kaupunkiympäristön toimiala
ISBN | 978-952-386-533-4
ISSN | 2489-4257

Sisällys

1	Johdanto	5
1.1	Työn tausta ja tavoitteet	5
1.2	Työryhmä.....	5
1.3	Vehreän meluseinäkkeen määrittely	6
2	Meluseinäkkeen sijoittelu, muoto ja korkeus	7
2.1	Meluseinäkkeen sijoittelu	8
2.2	Meluseinäkkeen muoto	8
2.2.1	Kaaren muoto	9
2.2.2	Kaaren muodon akustiset erityispiirteet	10
2.2.3	Kulman muoto.....	11
2.2.4	Niitin muoto.....	11
2.3	Meluseinäkkeen korkeus	11
2.4	Meluseinäkkeen harjan ”lipan” vaikutus.....	12
2.5	Meluseinäkkeen istuinsyvennys.....	14
2.6	Lähimpien rakennusten vaikutus	15
3	Meluseinäkkeeseen soveltuva ääntä eristävä rakenne	17
3.1	Tieliikenteen ja raitiovaunuliikenteen melun taajuusjakauma	17
3.2	Teiden ja ratojen melusteiden ääneneristävyysvaatimukset	18
3.3	Meluseinäkerakenteen riittävä ääneneristävyys.....	19
3.4	Ääntä eristävän rakenteen tiiveys	19
3.5	Rakennuslevyt äänieristeenä.....	19
3.6	Tiilimuuri.....	24
3.7	Meluseinäkkeen ääntä absorboiva pinta.....	25
3.8	Kokeiluhankkeen meluseinäkkeiden rakenteet	27
3.8.1	Erottajanaukion meluseinäke.....	27
3.8.2	Designmuseon edustan aukion meluseinäke	30
4	Kokeiluhankkeen meluseinäkkeiden vaikutus ääniympäristöön ja sen kokemiseen	32
4.1	Meluseinäkkeiden melumittaukset	32
4.2	Seinäkkeen vaikutus puheen ymmärrettävyyteen	32
4.3	Käyttäjäkokemukset meluseinäkkeistä	33
4.4	Kasvillisuuden vaikutus melun kokemiseen.....	34
4.4.1	Kasvillisuuden ja maanpinnan vaikutukset äänen etenemiseen.....	34
4.4.2	Melun kokemiseen vaikuttavat tekijät.....	35
4.5	Visuaalisen kokemuksen vaikutukset äänen kokemiseen	35
4.6	Peittoäänien käyttö äänimaiseman parantamisessa	36

5	Yhteenveto	37
5.1	Meluseinäkkeen ominaisuudet	38
5.2	Kokeiluhankkeen meluseinäkkeiden kehitysideoita meluntorjunnan kannalta	39
5.3	Muistilista meluseinäkkeiden suunnitteluun	40
6	Viitteet	41
7	Liitteet.....	43
	Kuvailulehti	44
	Presentationsblad.....	45
	Description.....	46

1 Johdanto

1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Tämä työ on jatkoselvitys Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön toimialan vehreät meluseinäkkeet -innovaatiokokeilulle, joka toteutettiin vuonna 2023 (ks. Kaupunkiympäristön aineistoja 2023:14, Kuja-Aro & Leppänen). Kokeiluhankkeen tavoitteena oli löytää innovatiivisia ratkaisuja, joiden avulla tiiviiseen kaupunkiympäristöön voidaan luoda hiljaisempia ja viihtyisämpiä vihertaskuja. Seinäkkeen kasvillisuuden tarkoituksena on lisätä ympäristön viihtyisyyttä ja vaikuttaa myös ääniympäristön laatuun. Kasvillisuus vaikuttaa kuulijan kokemukseen ympäristön rauhallisuudesta. Kasvillisuus ja etenkin sen kasvualustat toimivat lisäksi luonnostaan ääntä vaimentavina pintoina.

Kokeiluhankkeessa suunniteltiin ja toteutettiin vehreät meluseinäkkeet kahteen sijaintiin, Erottaja-naukiolle ja Designmuseon edustan aukiolle. Hankkeen aikana seinäkkeiden vaikutusta tutkittiin erilaisin menetelmin, muun muassa melumittauksin ja käyttäjäkokemuksia keräten.

Tämän selvityksen tarkoituksena on tarkastella tällaisten kaupunkiympäristöön soveltuvien, tavanomaisia meluseiniä pienempien meluntorjuntarakenteiden vaikutuksia ja käyttömahdollisuuksia. Selvityksen pohjana käytetään vehreät meluseinäkkeet -kokeiluhankkeen kokemuksia ja melumittaustuloksia. Työssä tarkastellaan meluseinäkkeiden vaikutuksia ja kehitystarpeita tarkemmin meluntorjunnan ja ääniympäristön kokemisen näkökulmasta.

Selvityksen tavoitteena on laatia aineisto, jota voidaan käyttää apuna meluseinäkkeiden toteuttamisessa kaupunkiympäristöön. Aineistosta ilmenee erilaisten kohdetyyppien avulla tehtyjen tarkastelujen myötä periaatteita meluseinäkkeen sopivaan sijoitteluun, muotoon ja korkeuteen. Selvityksessä tarkastellaan meluseinäkkeeseen soveltuva rakennetta, pintamateriaaleja ja muita erityispiirteitä, kuten katosta ja istuinsyvennystä, meluntorjunnan näkökulmasta. Selvityksessä avataan myös meluseinäkkeen ja kasvillisuuden vaikutusta ääniympäristön kokemiseen.

Työn näkökulma ja konteksti on meluntorjunta tiiviissä kaupunkiympäristössä, mutta sen sisältöä voidaan soveltaa myös muihin ympäristöihin. Selvityksen aineistoa voi hyödyntää niin meluseinäkkeiden valmistajat, suunnittelijat kuin tilaajatkin.

1.2 Työryhmä

Tämän selvityksen tilaamisesta vastasi Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön toimialan ja työn ohjausryhmään kuuluivat:

- Jenni Kuja-Aro, johtava ympäristöasiantuntija (työn koordinointi)
- Juha Korhonen, ympäristöasiantuntija
- Anne Leppänen, ympäristöasiantuntija
- Eeva Pitkänen, tiimipäällikkö

Selvityksen laati WSP Finland Oy:n työryhmä, jossa projektipäällikkönä ja ääniympäristöasiantuntijana toimi Pyry Survo, meluasiantuntijana Sirpa Lappalainen, suunnittelijana Ville-Veikko Kyllönen ja rakenneakustiikan asiantuntijana toimi Joni Kempainen.

1.3 Vihreän meluseinäkkeen määrittely

Kokeiluhankkeessa meluseinäkkeen tuli täyttää meluntorjunnan osalta seuraavat kriteerit:

- Meluseinäkkeen rakenteessa on tiivis, liikennemelua torjuva rakenne.
- Rakenteen tulee olla turvallinen ja kestävä. Se ei saa olla siirrettävissä eikä kaadettavissa.
- Rakenteessa tulee olla penkkejä niin, että se soveltuu istuskeluun seinäkkeen hiljaisemalla puolella.
- Rakenteen toteuttaminen ei saa vaatia maahan kiinnittämistä tai erillisiä katutöitä eikä erillisiä sähkö- tai vesijohtoja. Sen tulee olla purettavissa siten, että katutilaan ei jää merkkejä normaalista poikkeavasta kulutuksesta.

Lisäksi seinäkkeessä tuli olla vihreää kasvillisuutta koko kokeilun ajan. Rakenteen tuli olla visuaalisesti korkeatasoinen ja soveltua toteuttamiskohteiden kaupunkikuvaan. Rakenteen tuli olla enintään 1,8 metriä korkea.

Tässä selvityksessä meluseinäkkeellä tarkoitetaan edellä mainitun kaltaisia rakenteita. Meluseinäkkeellä ei ole tarkoitus suojata melulta laajaa aluetta, esimerkiksi kokonaista pihaa, vaan muodostaa kaupunkiympäristöön ”vihertaskuja”, joissa melutasot ovat huomattavasti pienempiä kuin lähiympäristössä. Kokeiluhankkeessa seinäkkeet olivat väliaikaisia, joten ne toteutettiin ilman kiinteitä perustuksia. Tämän selvityksen aineisto soveltuu kuitenkin myös kiinteiden meluseinäkkerakenteiden toteuttamisen avuksi.

2 Meluseinäkkeen sijoittelu, muoto ja korkeus



Meluseinäkkeen meluntorjunnallisiin ominaisuuksiin vaikuttavat merkittävästi seinäkkeen muoto, korkeus ja sijoittuminen suhteessa melulähteisiin.

Kaupunkiympäristöön sijoitettavan meluseinäkkeen ominaisuuksia tarkasteltiin melun laskentaohjelmistolla CadnaA 2022. Maastomallin pohjana käytettiin Helsingin kaupungin vuoden 2022 meluselvityksen aineistoa. Selvityksessä tarkasteltiin melutasoja jalankulkijan tai piha-alueella oleskelevan ihmisen korkeudella. Meluseinäkkeitä tarkasteltiin esimerkkikohteissa eri puolilla kaupunkia siten, että tarkastelu huomioi mahdollisimman hyvin todellisia olosuhteita ja melun leviämiseen ja torjuntaan vaikuttavia tekijöitä. Työssä ei kuitenkaan suoraan esitetä meluseinäkkeitä tiettyihin kohteisiin kaupungissa.

Meluseinäkkeillä tavoitellaan yleensä selvästi havaittavaa muutosta suojattavalla alueella. Selvityksessä tarkasteltavaksi rajaksi valittiin 6 dB muutos, jonka perusteella seinäkkeen erilaisia muotoja arvioitiin.

Laskennoissa seinäkkeille ja rakennusten julkisivuille asetettiin oletukseksi Helsingin kaupungin liikennemeluselvitysohjeen mukainen 1 dB absorptio (absorptiokerroin $\alpha=0,21$). Tämä tarkoittaa käytännössä ääntä heijastavaa pintaa. Selvityksessä tarkasteltiin myös sekä seinäkkeen että julkisivun suuremman absorptiokertoimen (ääntä heijastamaton, pehmeä pinta) vaikutusta meluseinäkkeen meluntorjuntaominaisuuksiin.

Taulukko 1. Ihmiskorvin kuultavat äänitason muutokset. (Tiehallinto 2006)

Ihmiskorvin kuultavat äänitason muutokset			
1...2	dB		Tuskin havaittava muutos
3...4	dB		Havaittava, melko pieni muutos
5...6	dB		Selvästi havaittava, oleellinen muutos
7...8	dB		Suuri muutos
yli 10	dB		Hyvin suuri muutos

Kuuden desibelin vaimennus melutasossa vastaa liikennemäärän putoamista neljännekseen ja samoin melutason kuuden desibelin kasvu vastaa liikennemäärän kasvamista nelinkertaiseksi. 5–6 dB muutos melutasoissa on selvästi havaittava, oleellinen muutos. (Tiehallinto, 2006)

Äänitasojen muutoksia voidaan arvioida myös sen mukaan, miltä äänitasojen muutoksen suuruus ihmisestä tuntuu. Esimerkiksi 10 dB kasvu äänitasossa tuntuu ihmisen kuulohavaintona siltä, että äänenvoimakkuus kaksinkertaistuisi (McMullan 2007).

Taulukko 2. Äänenpainetasojen havaittu muutos. (McMullan 2007)

Äänitason muutos	Miltä tuntuu?
±1 dB	Olematon
±3 dB	Melkein huomaamaton
+10 dB	Kaksi kertaa voimakkaampi
+20 dB	Neljä kertaa voimakkaampi
-10 dB	Kaksi kertaa hiljaisempi (puolet hiljaisempi)
-20 dB	Neljä kertaa hiljaisempi

2.1 Meluseinäkkeen sijoittelu

Meluseinäke tulee asettaa melulähteen ja suojattavan alueen väliin. Seinäke vaimentaa melua tehokkaimmin sen takana välittömässä läheisyydessä. Kun etäisyys seinäkkeestä kasvaa, myös sen vaimennusvaikutus pienenee.

Yleisesti meluntorjunnassa meluste tulee sijoittaa mahdollisimman lähelle melulähdettä tai mahdollisimman lähelle suojattavaa kohdetta. Kaupunkiympäristöön sijoitettavien, istuinosuuden sisältävien meluseinäkkeiden osalta sijoittelu on jonkin verran vapaampaa, sillä niiden tarkoitus on ensisijaisesti luoda melulta suojattu alue nimenomaan istuinosuudelle eli hyvin lähelle seinäkettä. Siinä seinäkkeen suojausvaikutus on luonnollisesti suurin.

Jos melulähteitä on suojattavan alueen eri puolilla, suurimman vaimennusvaikutuksen aikaansaamiseksi seinäke tulee sijoitella ja muotoilla siten, että se muodostaa esteen kaikkien merkittävien melulähteiden ja suojattavan alueen välille.

Tärkeää on huomioida myös lähimpien rakennusten seinäpintojen ääntä heijastava vaikutus. Suojattavan alueen puolella, lähellä meluseinäkettä sijaitseva kova seinäpinta voi heijastaa melulähteen äänen takaisin seinäkkeen taakse seinän kautta.

Avoimilla paikoilla, kuten puistoissa, pihoilla tai aukioilla, meluseinäke voi antaa suojaa myös auringolta hellepäivinä. Erityisesti helteisillä aukioilla, joissa ei ole auringolta suojaavaa puustoa, meluseinäke voi tarjota miellyttävän suojan myös auringon paahdetta vastaan. Tämä kävi ilmi kokeiluhankkeen käyttäjäkokemuksissa molempien seinäkkeiden osalta. Sen vuoksi meluseinäkkeen sijoittelussa kannattaa huomioida myös auringon suunta ja seinäkkeen muodostama varjo eri vuorokaudenaikoina, mutta ei kuitenkaan melusuojauksen kustannuksella.

2.2 Meluseinäkkeen muoto

Seinäkkeen muodolla on suuri merkitys sen vaikuttavuuteen meluntorjunnassa. Meluntorjunnallisen vaikutuksen maksimoimiseksi seinäkkeen muoto tulee valita siten, että melun suora pääsy estyy mahdollisimman suurelle alalle suojattavaa aluetta.

Kaupunkiympäristön liikennemelun kohdalla melulähde, tie tai raide, ulottuu viivamaisesti pitkälle matkalle. Usein melulähde ulottuu suojattavan alueen, esimerkiksi pihan, koko pituudelle ja jatkuu vielä sen jälkeenkin. Tämän vuoksi meluseinäkkeen muodolla on tärkeä rooli melusuojausten onnistuneessa toteutuksessa.

Liitteissä 1–3 on esitetty meluseinäkkeen eri muotojen vaikutusta suojattavan alueen pinta-alaan, kun tarkasteltava kohde on laaja piha-alue ja melulähde on yhdellä puolella pihan reunalla. Tarkasteluissa on esitetty meluseinäkkeen aiheuttama melutasojen vaimentumisen suuruus verrattuna tilanteeseen, jossa seinäkettä ei ole.

Laskentojen tulosten perusteella havaitaan, että tarkastelluista seinäkkeen muodoista suurin ala, jolla seinäkkeen vaimennusvaikutus melutasoihin on yli 6 dB, saavutetaan tietynlaisella kaaren muotoisella seinäkkeellä.

Seinäkkeen muodon vaikutusta pinta-alaan, jossa saavutetaan yli 6 dB melun vaimentuminen, on esitetty taulukossa 3. Tarkemmin laskentatuloksiin voi tutustua liitteissä 1–3.

Taulukko 3. Seinäkkeen muodon vaikutus pinta-alaan, jossa saavutetaan yli 6 dB melun vaimentuminen.

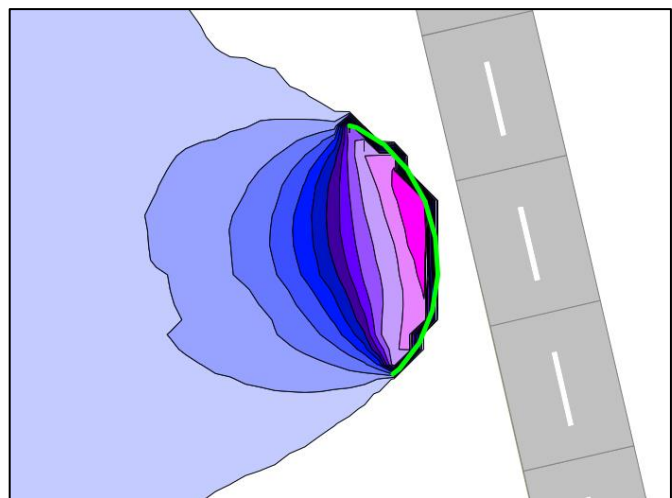
Seinäkkeen muoto, rakenteen kokonaispituus 20 metriä	Yli 6 dB vaimentumisen pinta-ala [m ²]
Kaari, noin 130° sektorin kaari ympyrän kehältä	95,7
Puolikaari, 180° sektorin kaari ympyrän kehältä	90,6
Seinä, jonka keskellä noin 120° kulma	89,1
Kaari, noin 75° sektorin kaari ympyrän kehältä	88,5
Seinä, jonka keskellä noin 145° kulma	85,8
-	-
Seinä, jonka päissä 90° kulmassa olevat 3 m pitkät 'sivuseinät'	70,4
Seinä, jonka päissä 90° kulmassa olevat 4 m pitkät 'sivuseinät'	69,1
-	-
Kadun suuntainen suora seinä	60,9

2.2.1 Kaaren muoto

Erilaisia säännöllisen kaaren muotoisia seinäkkeitä tarkasteltaessa nähdään, että suurin tehokkaasti suojattu ala saavutetaan kaarella, joka on noin 130 asteen sektorin kaari ympyrän kehältä (liite 3). Esimerkiksi 20 m pituisen meluseinäkkeen kohdalla tämä tarkoittaa 20 m matkaa halkaisijaltaan noin 18 m kokoisen ympyrän kehältä (kuva 1).

Liian loiva kaari ei muodosta riittävää suojaa, mutta toisaalta liian jyrkkä kaari ei ole tarpeen, kun tavoitellaan yli 6 dB vaimennusta. Mitä suurempaa melutasojen vaimenemista tavoitellaan, sitä jyrkempi ja ympäröivämpi kaari on perusteltua toteuttaa.

Säännöllisen muotoinen kaari ei kuitenkaan aina ole optimaalisin ratkaisu. Paras ratkaisu riippuu muun muassa melulähteiden sijainneista, maastomuodoista ja suojattavaa aluetta ympäröivästä ääntä heijastavista pinoista, kuten lähimpien rakennusten julkisivujen suuntauksesta ja sijainnista, sekä ympäröivän alueen maanpinnan materiaaleista. Meluseinäkkeen toinen pää voi esimerkiksi kaareutua jyrkemmin tai seinäke voi olla yhdistelmä kaaria ja kulmia erityisesti silloin, jos melulähteitä on suojattavan alueen eri puolilla. Parhaan ratkaisun löytämiseksi tarvitaan usein avuksi eri sijainneissa olevien, eri muotoisten meluseinäkkeiden vaikutusten laskennallista vertailua.



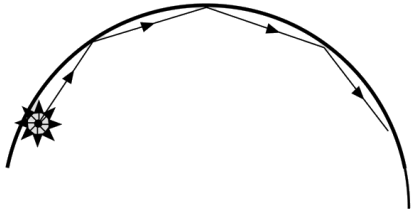
Kuva 1. Suurimman yli 6 dB vaimennusvaikutuksen alan muodostavan säännöllisen kaaren muoto.

Esimerkiksi asuinkerrostalon piha-alueella pisimmälle pihaan ulottuva yli 6 dB vaimennusvyöhyke saavutetaan kaaren muotoisella meluseinäkkeellä (liite 5, sivu 6).

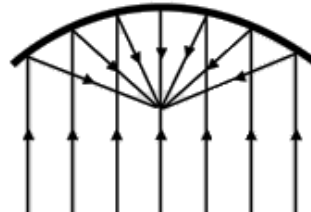
2.2.2 Kaaren muodon akustiset erityispiirteet

Kaaren muotoisen seinäkkeen toteutuksessa tärkeää on, että seinäkkeen pinta on edes osittain ääntä absorboiva eli ääntä imevä (vastakohta ääntä heijastavalle), ääntä sirottava eli äänen heijastuksia useisiin eri suuntiin ohjaava epätasainen pinta tai näitä molempia, jotta vältetään kiertävältä kaikuilmiöltä, jossa ääni heijastuu kovaa, kaarevaa seinäpintaa pitkin (kuvat 2 ja 4).

Kaareva, ääntä heijastava muoto voi toimia myös ääniaaltoja kohdistavana rakenteena (kuva 3). Tämä tulee välttää toteuttamalla kaarevan seinäkkeen sisäpuoli edes osittain ääntä absorboivana ja/tai hajottavana.

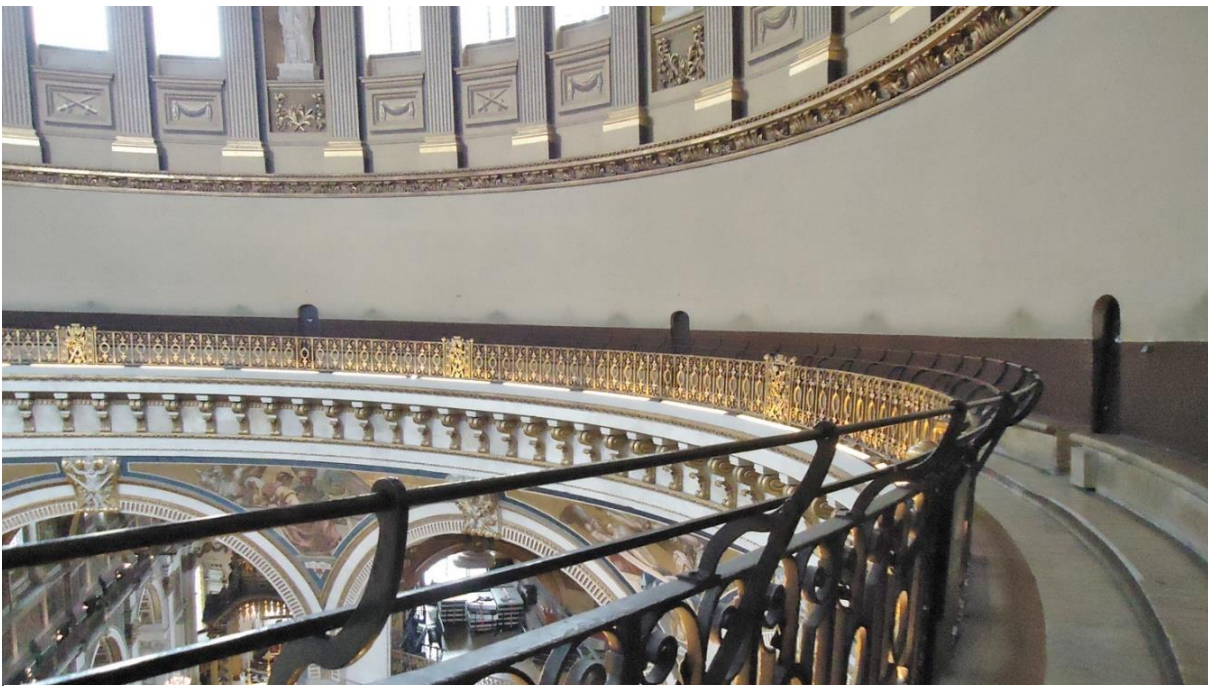


Kuva 2. Kiertävä kaikuilmiö. Kuva Nave (2017)



Kuva 3. Äänen keskittymisilmiö, parabolinen heijastus. Kaareva, ääntä heijastava pinta voi muodostaa heijastusten ”polttopisteen” voimistuen melutasoja pisteessä. Kuva Nave (2017)

Parhaiten kaarevan seinäkkeen aiheuttamat epätoivotut akustiset ilmiöt vältetään, kun seinäkkeen sisäpinta on sekä ääntä absorboiva että hajottava. Ilmiöt voidaan välttää myös esimerkiksi sijoittamalla seinäkkeeseen penkkien selkänokkia tai istuinsyvennyksiä siten, että tasaisen kaareva muoto katkeaa.



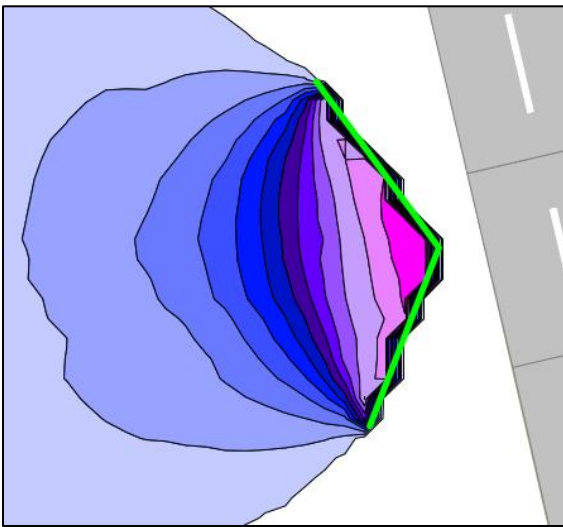
Kuva 4. Lontoon Pyhän Paavalin katedraali, jonka kupolia kiertävällä tasanteella muodostuu kiertävä kaikuilmiö (eng. whispering gallery tai rotunda effect), jossa ääni heijastuu kovaa, kaarevaa seinäpintaa pitkin. Seinän vieressä kuiskauksen voi kuulla kaarevaa seinää pitkin selkeästi jopa tasanteen toiselle puolelle asti. Meluseinäkkeessä tällainen ilmiö ei ole toivottavaa. Kuva Wikipedia Commons, käyttäjä Femtoquake, CC BY-SA 3.0

2.2.3 Kulman muoto

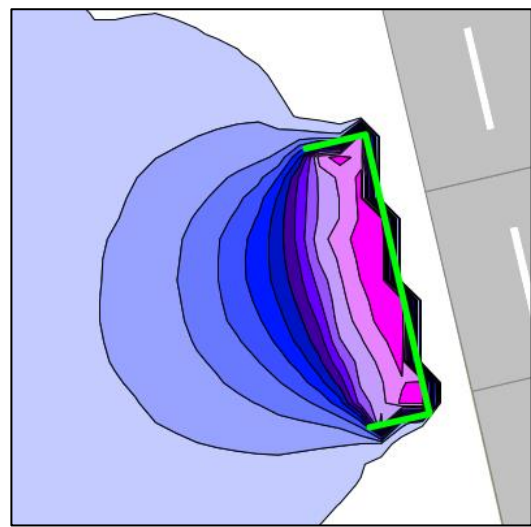
Jos seinäkkeen keskelle muodostetaan kulma, suurin tehokas (yli 6 dB) suojausvaikutus saavutetaan, kun kulma on noin 120 astetta (kuva 5). Sitä loivempi, noin 145 asteen kulma suojaa lähes yhtä suuren alan. Kulman pienentyessä yli 6 dB vaimennusvaikutuksen ala pienenee. (Liite 1, sivut 5–8)

2.2.4 Niitin muoto

Kun seinäkkeen kokonaispituus pidetään samana, niitin (∏) muodolla suurin tehokas (yli 6 dB) suojausvaikutus saavutetaan, kun 90 asteen kulmassa olevien yhtä pitkien 'sivuseinien' osuus on yhteensä 30 % seinäkkeen kokonaispituudesta (esimerkiksi 20 metrin seinäkkeen molemmissa päissä 3 metrin 'sivuseinät') (kuva 6). (Liite 2, sivu 4)



Kuva 5. Noin 120 asteen kulman muotoinen seinäke.



Kuva 6. Niitin muotoinen seinäke.

2.3 Meluseinäkkeen korkeus

Mitä korkeampi seinäke on, sitä parempi meluntorjunnallinen vaikutus sillä on. Selvästi havaittava, yli 6 dB muutos istumakorkeudella (1,2 m) seinäkkeen takana saavutetaan alimmillaan noin 1,6 m korkuisella seinäkkeellä. Tätä matalampi, 1,4 m korkuinen seinäke ei muodosta yli 6 dB melusuojausta istumakorkeudella käytännössä lainkaan. (Liite 4, sivut 4–7)

Kaupunkiympäristöön sijoitettavan seinäkkeen sopiva korkeus 1,8–2,0 m tai mahdollisuuksien mukaan tätä korkeampi. 1,8–2,0 m korkea seinäke on mahdollista rakentaa ilman maahan kiinnitettäviä perustuksia sellaiseksi, että rakenne on kuitenkin turvallinen ja kestävä eikä sitä pysty siirtämään tai kaatamaan. Kokeiluhankkeen seinäkkeet olivat korkeudeltaan 1,8 m.

Alle 1,6 m korkuisia seinäkkeitä voidaan käyttää lähellä tien reunaa esimerkiksi katualueen ja terrassialueen välissä vaimentamaan vieressä ajavien autojen rengasmelua. Tällöin kannattaa kiinnittää huomiota seinäkkeen harjan muotoon. T-harja on todettu tehokkaimmaksi matalan meluseinäkkeen harjan muodoksi (ks. luku 3.6 Tiilimuuri).



Kuva 7. Kokeiluhankkeen meluseinäkkeet olivat noin 1,8 m korkeita. Kuvassa Erottajanaukion meluseinäke. Kuva Vesa Laitinen

2.4 Meluseinäkkeen harjan ”lipan” vaikutus

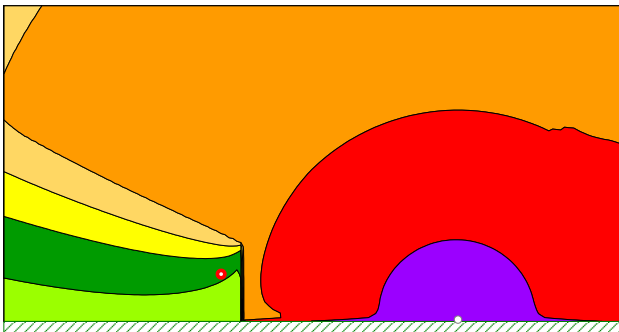
Meluseinäkkeeseen lisättävä katos voi pienentää melutasoja seinäkkeen takana huomattavasti. Esimerkiksi kahden metrin korkuinen seinä, jossa on yhden metrin pituinen vaakasuora katos (esimerkiksi istuinsyvennys tai ”lippa”) vaimentaa melutasoja seinäkkeen takana 1,2 m korkeudella laskennallisesti yli 7 dB enemmän verrattuna seinäkkeeseen ilman katosta.

Katoksen vaikutusta melutasoihin on tarkasteltu meluseinäkkeen harjan lipan huomioivalla CNOSSOS-EU-laskentamallilla. Todellisuudessa esteen sijoittelu suhteessa melulähteisiin ja ympäröiviin ääntä heijastaviin rakennuksiin pienentää katoksen vaikutusta esitettyihin laskennallisiin tarkasteluihin verrattuna. Laskennallinen tarkastelu antaa kuitenkin käsitystä siitä, että meluseinäkkeen katoksella on merkittävä, melutasoja alentava vaikutus.

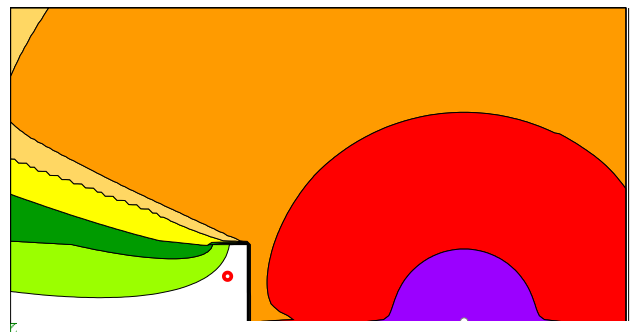
Katoksen vaikutus on esitetty meluvyöhykkeinä poikkileikkauskuvina kuvissa 8–9. Tulokset on esitetty myös taulukossa 4. Seinäkkeen harjakorkeuden pysyessä samana, vaakasuora lippa vaimentaa melua paremmin kuin kalteva lippa. (liite 5, sivut 9–10).

Taulukko 4. Meluseinäkkeestä ulkonevan vaakasuoran katoksen laskennallinen vaikutus melutasoihin. Laskenta suoritettu meluseinän harjan lipan vaikutuksen huomioivalla CNOSSOS-EU-laskentamallilla.

Katoksen pituus	Melutaso seinäkkeen takana [dB]	Melutason vaimeneminen [dB]
20 cm	47,9	3,2
50 cm	46,2	4,9
100 cm	43,7	7,4



Kuva 8. Poikkileikkauskuva meluvyöhykkeistä. 2 m korkuinen meluseinäke, ei katosta. Melutaso punaisen merkin kohdalla seinäkkeen takana 1,2 m korkeudella ja 0,5 m etäisyydellä seinäkkeestä 51,1 dB. Laskenta CNOSSOS-EU-laskentamallilla.



Kuva 9. Poikkileikkauskuva meluvyöhykkeistä. 2 m korkuinen meluseinäke, jossa 1 m pituinen katos. Melutaso punaisen merkin kohdalla seinäkkeen takana 1,2 m korkeudella ja 0,5 m etäisyydellä seinäkkeestä 43,7 dB. Melutaso vaimenee 7,4 dB enemmän verrattuna tilanteeseen ilman katosta. Laskenta CNOSSOS-EU-laskentamallilla.

Yhdistämällä meluseinäkkeeseen katoksen kaltaisia rakenteita, kuten istuinsyvennys, katos tai lippa, voidaan rakenteen suojaavaa vaikutusta tehostaa siis entisestään. Riittävän pitkällä katoksella saadaan aikaan suuri vaimennus tieliikenteen melutasoihin.

Katos antaa suojaa myös sääolosuhteilta, kuten auringonpaisteelta ja vesisateelta, jolloin seinäkkeen suojassa oleskelu on miellyttävämpää niin helteellä kuin sateella. Lisäksi mahdollinen istuin-osuus ei kastu sateessa niin helposti ollessaan katoksen suojassa.

2.5 Meluseinäkkeen istuinsyvennys

Seinäkkeessä oleva istuinsyvennys on tehokas tapa luoda erityinen, melulta voimakkaasti suojattu oleskelualue. Kokeiluhankkeessa Designmuseon edustan aukion seinäkkeessä oleva istuinsyvennys muodosti siinä istujalle oman akustisen ympäristönsä, joka vaimensi kaikkia seinäkkeen takaa, sivuilta ja yläpuolelta tulevia ääniä – muitakin kuin liikenteen ääniä. Tämän myötä istuinsyvennyksessä keskustelu on vaivattomampaa, kun yleinen taustamelutaso on syvennyksessä matalampi. Toisaalta myös yläviistosta tulevien äänten vaimenemisen myötä viereisistä puistoista kantautuva linnunlaulu kuului istuinsyvennyksessä vaimeammin kuin istuinsyvennyksen edustalla seisossa.



Kuva 10. Designmuseon aukion edustan meluseinäkkeen istuinsyvennyksiä. Kuva Jenni Kuja-Aro

Istuinsyvennys voi kuitenkin voimistaa matalien taajuuksien voimakkuutta syvennyksessä. Designmuseon edustan aukion seinäkkeen osalta matalien taajuuksien (alle 160 Hz) todettiin selkeästi voimistuvan istuinsyvennyksessä kuunneltaessa. Aukiolla kuuluva taustahumina ja ohiajavan liikenteen aiheuttaman melun matalat taajuudet kuuluivat voimakkaimmin juuri istuinsyvennyksessä – voimakkaammin kuin seinäkkeen edessä seisossa. Syvennyksessä istuessa ja puhuessa myös puheäänien matalat taajuudet saivat aikaan kumisevan, laatikkomaisen äänen voimistumisilmiön.

Ilmiöön voi vaikuttaa äänenpaineen voimistuminen ääntä heijastavan pinnan lähellä, matalien taajuuksien äänenpainetaso voimistuminen nurkissa, syvennyksen mitat, huonemoodit tai levyrakenteen resonointi, ns. ”soiminen”.

Istuinsyvennyksessä mahdollisesti tapahtuva matalien taajuuksien voimistuminen ei seinäkkeen meluntorjunnallisen kokonaisuuden kannalta kuitenkaan ole olennaisinta. Syvennyksen aiheuttama

tehokas liikennemelun hallitsevien taajuuksien vaimentuminen on meluseinäkkeen kannalta olennaisin tavoiteltava asia.

2.6 Lähimpien rakennusten vaikutus

Lähimpien rakennusten julkisivujen absorptiolla on suuri vaikutus melutasoihin äänen heijastusten kautta. Vilkasliikenteisen kadun varrella, noin 8 m etäisyydellä meluseinäkkeestä sijaitsevan rakennuksen julkisivun absorptio-ominaisuuksia tarkastellessa havaitaan noin 3 dB vaimentuminen melutasoissa seinäkkeen hiljaisella puolella, kun viereisen rakennuksen julkisivu on täysin ääntä absorboiva. Lisäksi yli 6 dB vaimennusvaikutuksen alue kasvaa seinäkkeen suojassa 17 m²:stä 22 m²:iin, kun viereinen julkisivu on ääntä absorboiva. (Liite 4, sivut 5 ja 11–12).

Kokeiluhankkeessa Erottajanaukion meluseinäke olisi hyötynyt viereisen rakennuksen ääntä absorboivasta julkisivusta, sillä viereisen rakennuksen ääntä heijastava julkisivu heijasti liikenteen melun julkisivun kautta seinäkkeen hiljaiselle puolelle.

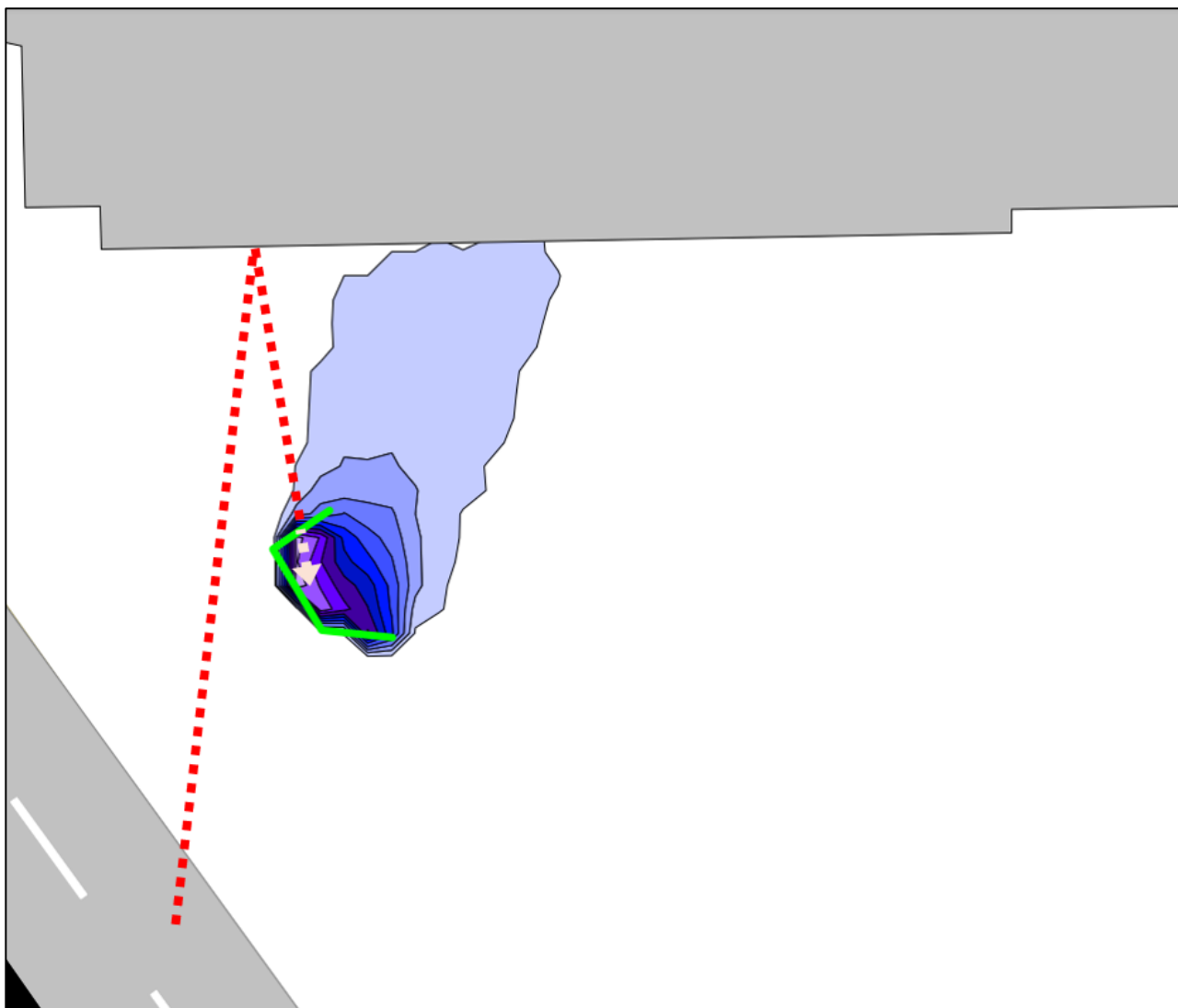


Kuva 11. Erottajanaukion meluseinäke ja viereisen rakennuksen julkisivu. Kuva Pyyry Survo

Julkisivun absorptiota lisäävät rakenteet tai esimerkiksi viherseinät ovat merkittävä keino vilkasliikenteisen kadun varrella sijaitsevan rakennuksen ympäristön melutasojen pienentämiseen. Vaikutus voimistuu, kun vihreä meluseinäke toteutetaan ääntä absorboivan julkisivun, esimerkiksi viherseinän läheisyyteen.

Usein tiiviissä kaupunkiympäristössä rakennusten julkisivut ovat kuitenkin kovapintaisia ja ääntä heijastavia. Tällöin meluseinäkkeen sijoittelun ja muodon huolellinen suunnittelu korostuu, jotta meluseinäkkeen taakse saadaan mahdollisimman hyvin melulta suojattu alue. Esimerkiksi Erottajanaukiolla paras muoto pelkästään meluntorjunnan näkökulmasta olisi niitin muotoinen meluseinäke

(liite 7, sivu 8), mutta käytännöllisyyden vuoksi toista sivua voidaan hieman avata loivempaan kulmaan (liite 7, sivu 6) avaramman muodon toteuttamiseksi. Tarkastelua seinäkkeen muodosta ääntä seinäkkeen taakse heijastavan julkisivun kanssa on esitetty liitteessä 7.

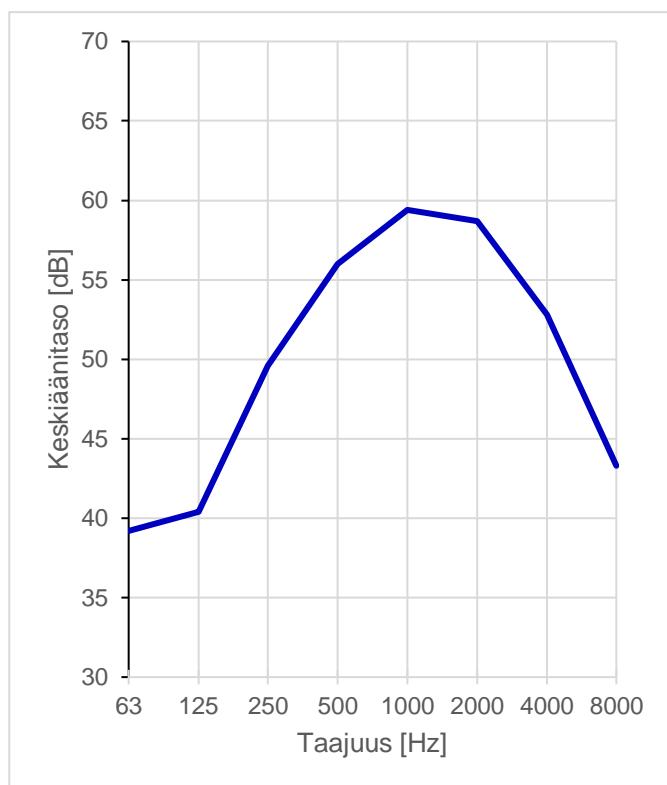


Kuva 12. Erottajanaukiolla viereisen rakennuksen julkisivusta heijastuvan äänen kulku seinäkkeen hiljaiselle puolelle voidaan estää esimerkiksi tällaisella seinäkkeen muodolla. Kuvaan on merkitty punaisella katkoviivalla äänen heijastuminen julkisivun kautta.

3 Meluseinäkkeeseen soveltuva ääntä eristävä rakenne

3.1 Tieliikenteen ja raitiovaunuliikenteen melun taajuusjakauma

Kaupunkiympäristössä liikennemelun suurimmat äänitasot kohdistuvat keskitaajuuksille 250...4000 Hz, huipputasojen ollessa taajuuksilla 1000...2000 Hz (kuvaaja 1).



Kuvaaja 1. Liikennemelun laskennallinen taajuusjakauma. Laskentapiste Erottajanaukiolla noin 11 m etäisyydellä lähimmän ajoradan reunasta. CNOSSOS-EU-laskentamalli.

Meluntorjunnan kannalta liikennemelun taajuusjakauma asettuu juuri niille taajuuksille, joihin suhteellisen kevyetkin rakenteet tehoavat helposti. Tämä mahdollistaa paljon eri materiaali- ja rakennevaihtoehtoja meluseinäkkeen toteuttamiseen.

On hyvä huomioida, että kevytrakenteiset meluseinäkkeet eivät juurikaan vaimenna matalia taajuuksia. Ne eivät myöskään estä maata pitkin kulkevan runkoäänen etenemistä, jota havaittiin kokeiluhankkeen seinäkkeiden luona raskaiden raitiovaunujen ajaessa ohi. Liikennemelun ominaisten taajuuksien vaimentuessa matalien taajuuksien osuus kuulohavainnoissa seinäkkeen suojassa saattaa korostua.

3.2 Teiden ja ratojen melusteiden ääneneristävyyden vaatimukset

Teiden ja ratojen varsille tarkoitettujen järeämpien melusteiden suunnittelua ja toteutusta ohjaavat Väyläviraston ohjeessa esitetyt vaatimukset ja periaatteet (Väylävirasto 2022). Tyypillisesti tällaiset perinteiset melusteet ovat perustuksiltaan ja rakenteiltaan raskaampia kuin kevyemmät, kaupunkiympäristöön tarkoitettut vehreät meluseinäkkeet. Raskaampien melusteiden toteutuksessa käytettyjä periaatteita voidaan kuitenkin soveltaa myös kevyempien, vehreiden meluseinäkkeiden rakenteissa.

Melustetuotteiden ääneneristävyyttä kuvataan eristävyysluvulla DL_R , joka on laboratorioissa mitattava, tiemelun taajuusjakauman huomioiva mittaluku. Teiden melusteiden ääneneristävyys luokitellaan standardissa SFS-EN 1793-2:1997 seuraavasti:

- luokka B3: DL_R vähintään 25 dB
- luokka B2: DL_R vähintään 15 dB
- luokka B1: DL_R vähintään 5 dB

Teiden ja ratojen melusteiden suunnitteluohjeen mukaan teiden melusteiden eristävyyslukuvaatimuksena on yleisesti $DL_R \geq 25$ dB (Väylävirasto 2022).

Muiden kuin standardin mukaisesti laboratoriomitattujen melustetuotteiden osalta eristävyysluvun DL_R voidaan olettaa olevan vähintään 25 dB esimerkiksi seuraavilla rakenteilla, kun seinään ei synny tässä esitettyjä suurempia rakoja (Väylävirasto 2022):

- vähintään 20 mm vaneri
- 6 mm vaneri + 20 mm lomalaudoitus
- vähintään 3 mm teräslevy (+ absorptiomateriaali ja runko), joka on tiivistetty käyttäen vähintään 15 vuotta pehmeänä säilyvää tiivistettä, käyttäen puoliponttia tai muuten varmistamalla, ettei rakenteeseen jää yli 3 mm leveitä rakoja
- vähintään 100 mm paksuiset betonielementit, joiden välissä on elastinen tiiviste
- kivi- tai betoniseinä, jonka sisällä on ytimenä yhtenäinen tiivis vähintään 150 mm paksuinen betoni- tai kivi- seinä, vähintään 3 mm paksuinen teräslevy, DL_R -luvultaan vähintään 25 dB kumimatto tai vastaava levy, tai vähintään 200 mm paksuinen hiekasta tai muusta tiivistävästä materiaalista tehty suodatinkankaalla tai levyillä kivistä erotettu yhtenäinen tiivis seinämä
- 16 mm karkaistu lasi, 2x8 mm karkaistu ja laminoitu lasi tai 8 mm kovapinnoitettu polykarbonaatti, kun rakenteessa ei ole rakoja

Yllä mainittuja rakenteita voi käyttää suuntaa antavina myös vehreiden meluseinäkkeiden suunnittelussa.

3.3 Meluseinäkerakenteen riittävä ääneneristävyys

Tieliikennemelun torjuntaan käytettävien meluestetuotteiden eristävyysluku DL_R ei suoraan vastaa ilmaäänien eristävyyslukua R_w . Kokeiluhankkeen tulosten perusteella kaupunkiympäristöön sijoitet-tavan meluseinäkkeen ääntä eristävän rakenteen riittävä ilmaäänien eristävyys voidaan kuitenkin arvioida olevan $R_w \geq 25$ dB.

3.4 Ääntä eristävän rakenteen tiiveys

Meluntorjunnallisen vaikutuksen kannalta rakenteen tulee olla riittävän hyvin ääntä eristävä. Äänieristykseen vaikuttaa merkittävästi käytettävän rakenteen äänieristysominaisuuksien lisäksi rakenteen yhtenäisyys ja tiiveys.

Ääntä eristävän rakenteen, esimerkiksi levykerroksen, tulee jatkua yhtenäisenä koko seinäkkeen matkalla. Levyjen saumoihin ei saa jäädä rakoja, vaan levyt tulee kiinnittää reunoistaan koolaukseen, jolloin koolaus itsessään peittää levyjen sauman raon.

Moduulirakenteisessa seinäkkeessä, jossa levykerrokseen syntyy moduulien väleissä katkos, levykerros tulee huolellisesti tiivistää moduulin reunoihin siten, että ääntä eristävä kerros jatkuu tiiviisti moduulin reunasta reunaan. Tämän lisäksi moduulien välisiin seinämiin tulee asettaa koko matkalle pystysuuntaiset tiivisteet ja moduulien tiivistyminen toisiaan vasten tulee varmistaa esimerkiksi ruuvaamalla ne kiinni toisiinsa.

Pienten rakojen tiivistämiseen voidaan käyttää elastista julkisivujen tiivistysmassaa. Suuremmat raot, esimerkiksi jaloillaan seisovan, ei-kiinteästi sijoitetun meluseinäkkeen alareunan ja maan välisen raon voi tiivistää äänieristysrakenteeseen kiinnitettyllä, toisesta reunasta maassa makaavalla kumi- tai bitumimatolla.

3.5 Rakennuslevyt äänieristeinä

Puiseen tai metalliseen runkoon kiinnitetty levykerros on yleinen tapa rakentaa ääntä eristävä rakenne. Rakennuslevyjä on saatavilla eri materiaaleista valmistettuna.

Kipsilevyjen korkean tiheyden vuoksi jo tavallinen kipsilevy riittää äänieristeeksi meluseinäkkeeseen. Olkilevy on kuumapuristetusta oljesta ja liimasta valmistettu rakennuslevy. Kokeiluhankkeessa Erottajanaukion seinäkkeen ääntä eristävänä rakenteena käytetty 38 mm paksuinen olkilevy todettiin toimivaksi.

Suomessa yleisesti käytettävistä vanereista lujinta on koivuvaneri (tiheys noin 680 kg/m^3). Sekavanerit, joiden pintaviilut ovat koivua ja sisäviilut joko havupuuta tai vuorotellen koivua ja havupuuta, ovat tiheydeltään noin 620 kg/m^3 . Havuvanerit valmistetaan pohjoismaissa yleensä kuusesta ja niiden tiheys on noin $460 \dots 520 \text{ kg/m}^3$ (Puuinfo 2020). Kokeiluhankkeessa Designmuseon edustan aukion seinäkkeessä ääntä eristävänä rakenteena oli 12 mm paksuinen havuvaneri ja 10 mm paksuinen PET-huopa. Rakenne todettiin kokeilussa toimivaksi, mutta kokonaisuuden kannalta seinäke hyötöyisi ääntä eristävän kerroksen suuremmasta massasta.

Ohessa on esitetty yleisten levy materiaalien ääneneristävyksiä R_w -arvoina taulukoissa 5–7 ja taajuuksittain kuvaajina 2–5. Rakenteen ääneneristävyys kasvaa yleisesti suurista taajuuksista kohti, mutta heikkenee merkittävästi ns. koinsidenssin rajataajuudella. Tämä näkyy kuvaajissa ääneneristävyys heikentymisenä. Koincidenssi-ilmiön vuoksi liikennemelun torjunnan kannalta parhaaseen lopputulokseen päästään, kun valitaan ääneneristysmateriaali siten, että sen koincidenssin

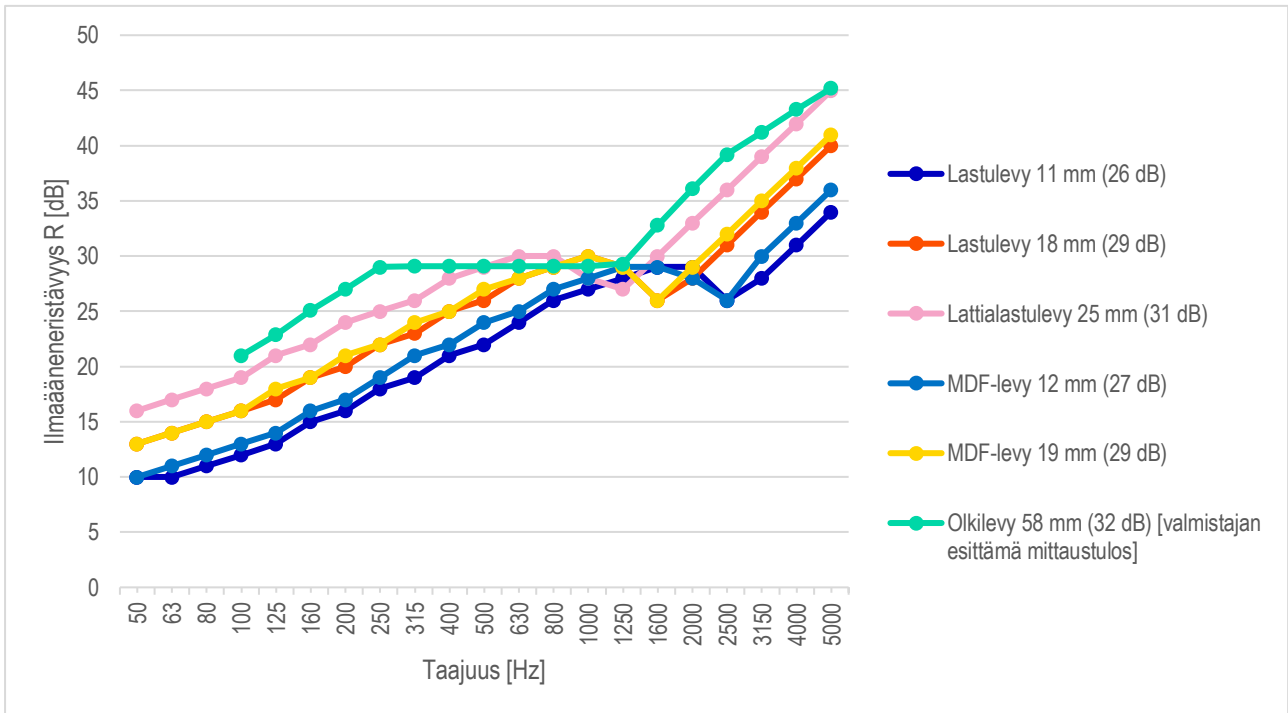
rajataajuus ei ole liikennemelun ominaisimmilla ja puheen ymmärrettävyyden kannalta tärkeimmillä taajuuksilla 500...2000 Hz.

Tämän vuoksi korkeaa ääneneristävyyttä tavoiteltaessa valitaan usein melko ohuita levyjä, joiden koinsidenssi-ilmiö tapahtuu kriittistä (500...2000 Hz) taajuusaluetta suuremmilla taajuuksilla. Jos ääneneristävyyttä halutaan lisätä, kasvatetaan levykerroksen massaa käyttämällä useampaa ohutta levykerrosta päällekkäin ruuveilla tai nautoilla kiinnitettynä. Päällekkäisiä levykerroksia ei saa liimata toisiinsa, sillä se muodostaisi niistä yhden paksun levyn, jolloin rakenteen koinsidenssi-ilmiön taajuus alenisi.

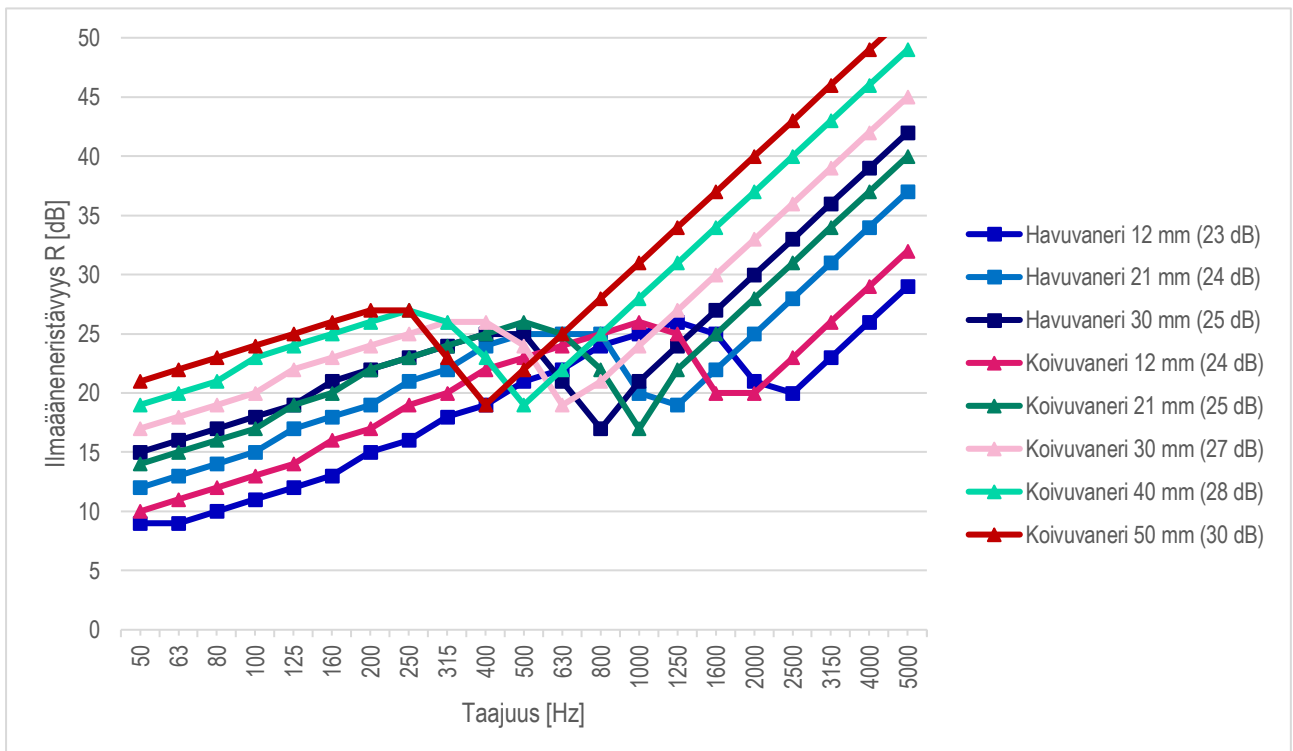
Toisaalta vaikka esimerkiksi vanerilevyjen koinsidenssi-ilmiö tapahtuukin juuri liikenne melun ominaisimmilla taajuuksilla, ilmiön vaikutus kokonaisuuteen ei ole kovin merkityksellinen, koska vanerilevyjen ääneneristävyys on suurilla taajuuksilla joka tapauksessa suhteellisen hyvä. Ilmiö on kuitenkin hyvä tiedostaa.

Taulukko 5. Puu- ja olkipohjaisten levyjen laskennallisia ääneneristävyyksiä.

Puu- ja olkipohjaiset levyt	R_w [dB]
Lastulevy 11 mm	26
Lastulevy 18 mm	29
Lattialastulevy 25 mm	31
MDF-levy 12 mm	27
MDF-levy 19 mm	29
Olkilevy 38 mm, arvio	29
Olkilevy 58 mm	32
Havuvaneri 12 mm	23
Havuvaneri 21 mm	24
Havuvaneri 30 mm	25
Koivuvaneri 12 mm	24
Koivuvaneri 21 mm	25
Koivuvaneri 30 mm	27
Koivuvaneri 40 mm	28
Koivuvaneri 50 mm	30



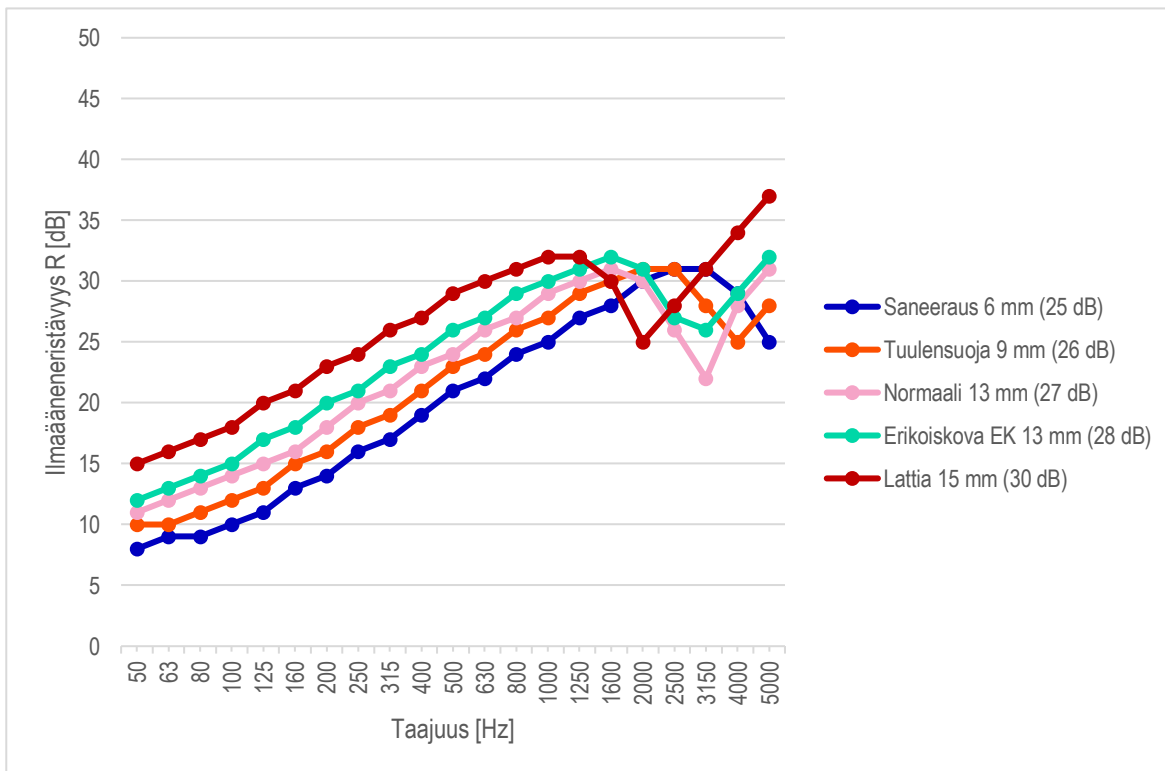
Kuvaaja 2. Lastulevyjen, MDF-levyjen ja olkilevyn ääneneristävyyksiä. Olkilevyn tiedot ovat peräisin valmistajan toimittamasta mittausraportista. Suluissa R_w -arvot



Kuvaaja 3. Vanerien ääneneristävyyksiä. Suluissa R_w -arvot.

Taulukko 6. Kipsikartonkilevyjen laskennallisia ääneneristävyyksiä.

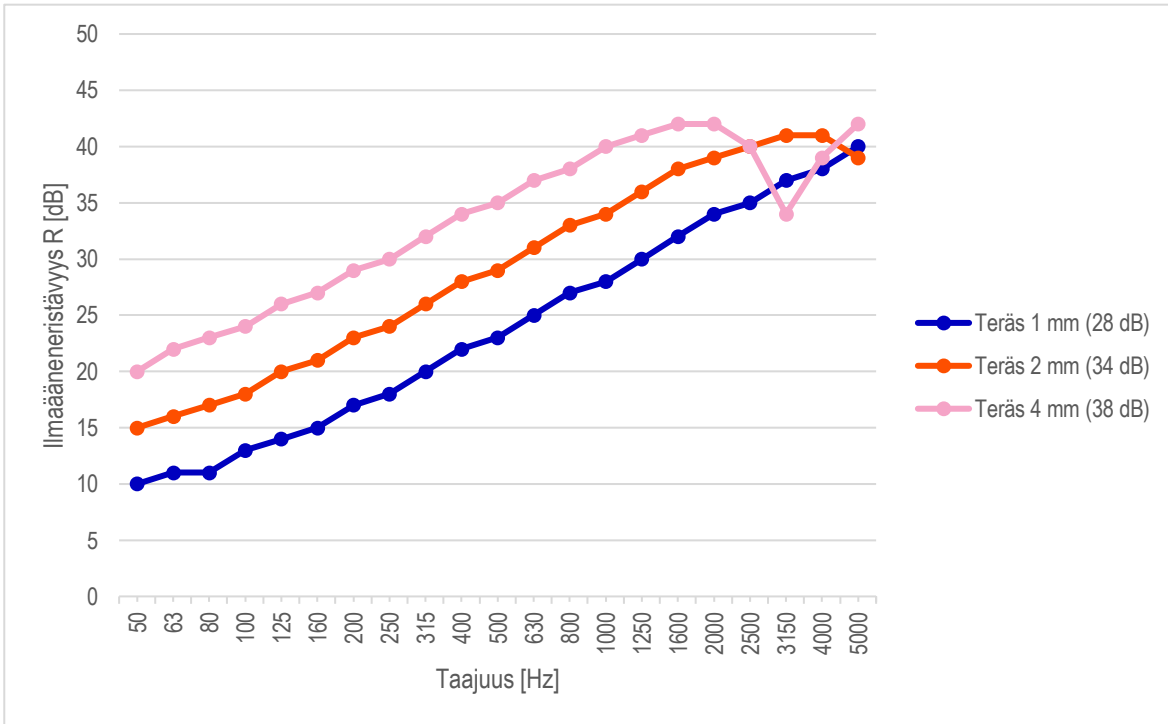
Kipsikartonkilevyt	R_w [dB]
Saneeraus 6 mm	25
Tuulensuoja 9 mm	26
Normaali 13 mm	27
Erikoiskova EK 13 mm	28
Lattia 15 mm	30



Kuvaaja 4. Kipsilevyjen ääneneristävyyksiä. Suluissa R_w -arvot.

Taulukko 7. Teräslevyjen laskennallisia ääneneristävyyksiä.

Teräslevyt	R_w [dB]
Teräs 1 mm	28
Teräs 2 mm	34
Teräs 4 mm	38



Kuvaaja 5. Teräslevyjen ääneneristävyyksiä. Suluissa R_w -arvot.

Rakennuslevyjen osalta kannattaa kiinnittää huomiota niiden säänkestoon. Tuulensuojakipsilevyjen toinen puoli on yleensä käsitelty säänkestäväksi. Vanereita on saatavilla pinnoitettuina (filmiväneri) tai kosteutta hylkiväksi käsiteltyinä. Soveltuvuus pitkäaikaiseen ulkokäyttöön tulee varmistaa valmistajalta tai tarvittaessa levy on suojattava sääolosuhteilta.

Rakenne tulee kaikin puolin suunnitella ja toteuttaa siten, että se on teknisesti toimiva ja riittävän pitkäkestoinen tarkoitukseensa. Tämä tulee huomioida erityisesti sateen, lumen ja jään osalta kaikkien rakenneosien kohdalla.

Ääntä eristävä rakenne voi kuitenkin olla piilossa seinäkkeen sisällä, joten tarkoituksenmukaisesti toteutetulla koteloinnilla ja suojauksella äänieristeinä käytettävien materiaalien valikoima on laaja, eikä äänieristysmateriaalin tarvitse rajoittaa seinäkkeen ulkonäöllisiä ratkaisuja.

3.6 Tiilimuuri

Meluseinäke voidaan rakentaa myös tiilestä. Ruotsissa Helsingborgin kaupungissa kokeiltiin puistoon kantautuvan tieliikennemelun vaimentamista puiston reunaan sekä tien kaistojen keskikorokkeelle rakennetuilla metrin korkuisilla muureilla. Tavoitteena oli vaimentaa autojen rengasmelua. Tiilimuurit rakennettiin tiilien asettelulla pinnoiltaan epätasaisiksi. Osittain muuriin jätettiin aukkoja, joista ääni pääsi muurin sisällä olevaan akustiikkalevyyn (huokoinen puukuitulevy/puulastuvilla-levy), jolloin rakenne toimi ääntä absorboivana rakenteena. Muurin harja tehtiin T-muotoiseksi ja harjalle toteutettiin maksaruohopinta. Muurit vaimensivat tieliikenteen melua puistossa 1,5 m korkeudelta mitattuna 4–6 dB. T-muotoinen harja lähellä tien reunaa todettiin meluntorjunnan kannalta parhaaksi. (Efterklang 2020)

Jo yhdellä tiilikerroksella saavutetaan ilmaääneneristävyydeksi yli R_w 40 dB.



Kuva 13. Helsingborgin tiilirakenteisen meluseinäkkeen rakenne. Kuva Efterklang (2020) (Tekstien käännös WSP Finland Oy)

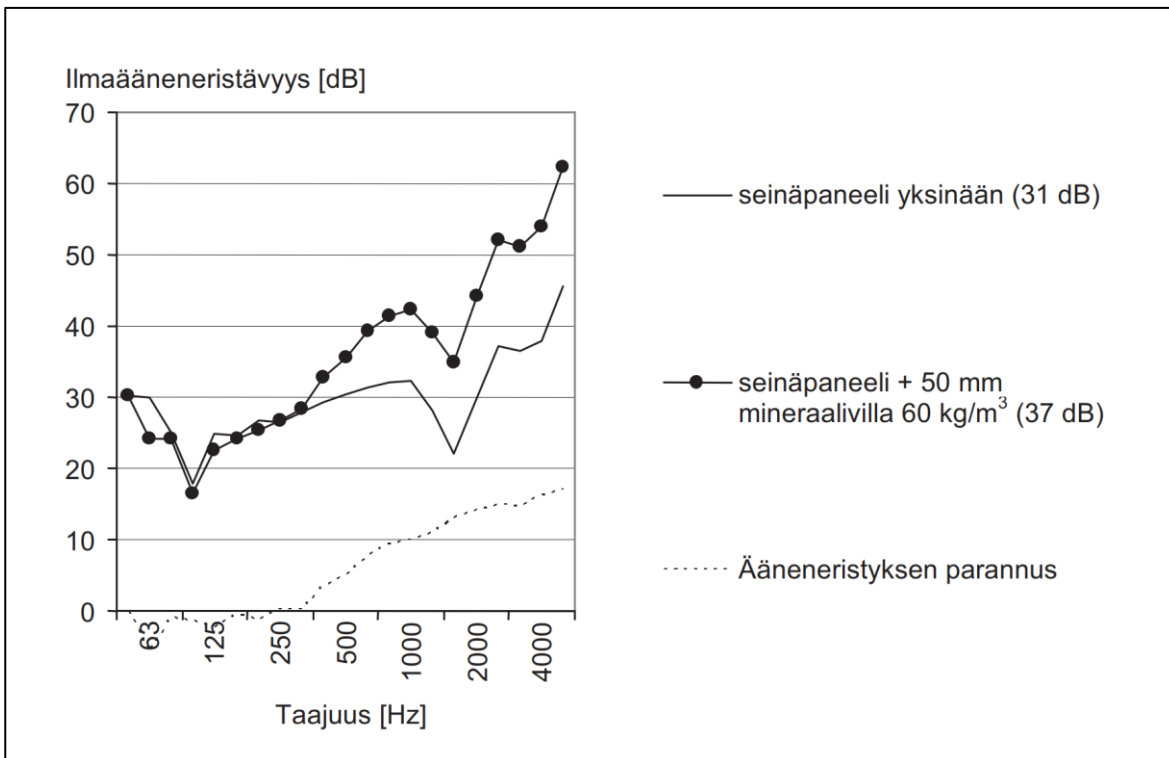


Kuva 14. Tiilestä rakennetun meluseinäkkeen maksaruohopintainen viherharja. Kuva Efterklang (2020)

3.7 Meluseinäkkeen ääntä absorboiva pinta

Meluseinäkkeen melun puoleisen seinäpinnan absorptiolla ei ole merkittävää vaikutusta seinäkkeen hiljaisen puolen melutasoihin, jos seinäkkeen rakenne on hyvin ääntä eristävä (liite 5, sivut 7–8).

Seinäkkeen meluisan puolen absorptio on kuitenkin suositeltavaa seuraavista syistä: absorboiva pinta ei lisää epätoivottuja äänen heijastuksia, joita kova, ääntä heijastava pinta saattaa tehdä. Pahimmassa tapauksessa ääntä heijastavan meluseinäkkeen toteuttaminen yllättäen kasvattaa liikenteen melutasoja äänen heijastuksen myötä tien vastakkaisella puolella. Lisäksi absorboiva pinta parantaa rakenteen ääneneristävyyttä. Esimerkiksi päällystämällä R_w 31 dB seinäpaneeli 50 mm mineraalivillakerroksella nostaa seinän R_w -arvoa 6 dB. Ääneneristyksen kasvu tapahtuu korkeilla keskitaajuuksilla, juuri liikennemelun ominaisimmilla taajuuksilla (kuva 15).



Kuva 15. 50 mm paksun akustiikkalevy-pinnoituksen vaikutus seinäpaneelin (24 kg/m^2) ääneneristävyyteen. Sulkeissa R_w -arvot. Kuva RIL 243-1-2007, s. 89

Meluseinäkkeen hiljaisella puolella olevalla ääntä absorboivalla pinnalla ei ole suurta vaikutusta seinäkkeen meluntorjunnalliseen vaikutukseen, jos melulähteet pysyvät seinäkkeen takana. (Liite 5, sivut 7–8)

Materiaalin ääntä absorboivia ominaisuuksia kuvataan absorptiokertoimella α . *Absorptiokerroin* (myös *vaimennuskerroin*) kuvaa sitä, kuinka suuri osuus materiaalin kohdistuvasta äänestä absorboituu, vaimenee, materiaaliin ja kuinka suuri osuus heijastuu siitä takaisin. Absorptiokerroin vaihtelee välillä 0–1, jolloin 0 tarkoittaa täysin heijastavaa pintaa ja 1 täydellisesti ääntä vaimentavaa pintaa. Absorptiokerroin α mitataan taajuuksittain, mutta se voidaan ilmoittaa myös yksilukuarvona α_w tai absorptioluokkana A–F, joista absorptioluokka A on parhaiten ääntä vaimentava ($\alpha_w \geq 0,90$).

Yleisesti ottaen kovat pinnat mukaan lukien puupinnat heijastavat ääntä ja pehmeät sekä huokoiset materiaalit vaimentavat ääntä. Ääntä vaimentavien materiaalien paksuus vaikuttaa yleensä siihen, kuinka mataliin taajuuksiin ne vaikuttavat. Ohut, esimerkiksi 20 mm paksuinen akustiikkalevy

ei vaikuta mataliin taajuuksiin juuri lainkaan ollessaan kiinni kovassa taustapinnassa. Erilaisten pehmeidenkin materiaalien absorptio-ominaisuuksissa voi olla suuria eroja, joten ääntä absorboivaa rakennetta toteuttaessa kannattaa valita vain sellaisia tuotteita ja rakenteita, joiden absorptiokerroin on laboratoriomittauksin todettu tarkoitukseen sopivaksi.

Seinäke hyötyy akustisesti ja meluntorjunnan kannalta korkeasta absorptiokertoimesta. Seinäkkeen hiljaisella, penkkien puolella absorboivalla seinäpinnalla on ääniympäristön kokemiseen rauhoittava vaikutus. Ääntä heijastava seinäpinta sen sijaan voimistaa äänitasoja seinäkkeen läheisyydessä, koska seinäkkeeseen kuulijan ohi osuva ääni heijastuu heijastavasta pinnasta takaisin uudelleen kuulijan korviin. Siksi erityisesti meluseinäkkeen istuinosuuden kohdalla rakenteen olisi hyvä olla ääntä absorboiva, mutta ääntä vaimentavia ominaisuuksia suositellaan seinäkkeeseen kauttaaltaan.

Liitteessä 9 on kuvattu joidenkin materiaalien ja rakenteiden absorptiokertoimia välillä 125...4000 Hz oktaavikaistoittain. Kovat pinnat, kuten tiiliseinä, betoniseinä tai puupanelointi ovat ääntä heijastavia pintoja. Seinäkkeen absorptio-ominaisuudet kannattaa toteuttaa siten, että seinäke on voimakkaasti ääntä absorboiva erityisesti puheen ymmärtämislle tärkeimmillä taajuuksilla 500...4000 Hz.

Mahdollisen istuinsyvennyksen alue hyötyy tämän lisäksi matalien taajuuksien (≤ 250 Hz) korkeasta absorptiosta. Puheäänen perustaajuus on miehillä 100–200 Hz ja naisilla noin kaksi kertaa korkeampi. Tämän vuoksi istuinsyvennyksessä puhuttaessa laatikkomaisen, matalien taajuuksien voimistumisilmiön välttämiseksi myös matalien äänien korkea absorptiokerroin on eduksi. Laatikkoilmiön voi välttää myös toteuttamalla istuinsyvennys siten, ettei istujan ympärillä ole ääntä heijastavaa pintaa. Tämä on mahdollista toteuttamalla istuinsyvennys esimerkiksi puu- tai metallirimoituksella, riittävästi rei'itetyllä metallilevyllä tai muulla vastaavalla ääntä läpäisevällä rakenteella. Tällöin matalia taajuuksia voimistavaa laatikkoilmiötä ei synny, jolloin matalien taajuuksien absorbointikaan ei ole sen vuoksi tarpeen.

Ulkokäyttöön soveltuvia, voimakkaasti ääntä absorboivia tuotteita ovat esimerkiksi erilaiset rei'itetyllä pellillä päällystetyt mineraalivillalevyt ja rimoituksen taakse tai muuten ulottumattomiin ja säältä suojaan asennetut akustiikkalevyt. Akustiikkalevyjä on saatavilla eri materiaaleista valmistettuina (esimerkiksi mineraalivilla, polyesterikuitu, turve, puukuitu/puulastuvilla, vaahtomuovi). Tuotteen soveltuvuus ulkokäyttöön tulee varmistaa valmistajalta. Tarvittaessa materiaali tulee suojata säältä. Myös pelkkä puurimoitus ilmavälillä absorboi jonkin verran ääntä, mutta ilman sen takana olevaa ääntä vaimentavaa kerrosta vaikutus jää lähinnä korkeimmille taajuuksille.

Vehreiden meluseinäkkeiden osalta paksusti multaa sisältävät istutusalustat muodostavat luonnostaan ääntä absorboivan pinnan. Multaa sisältävien istutusalustojen absorptiokerroin on luultavimmin liitteessä 9 esitettyjen ruohikon ja soran absorptiokertoimien kaltainen, eli voimakkaasti ääntä absorboiva erityisesti korkeilla taajuuksilla ylemmillä keskitaajuuksilla. Kokeiluhankkeessa Erottajanaukion seinäke oli kauttaaltaan kasviseinä, joka muodostui muovisissa telineissä olevista kasvatuspusseista. Kokeilun aikana kasvit olivat vehreimmillään ja kuulohavaintojen perusteella seinäke oli enemmän ääntä absorboiva kuin ääntä heijastava. Designmuseon edustan aukion seinäke koostui puurimoituksesta ja syvennyksissä olevista istutuslaatikoista. Myös tämä rakenne oli ainakin osittain ääntä absorboiva. Istuinsyvennyksissä käytetty sitkeä ja ohut 10 mm PET-huopa absorboi lähinnä aivan korkeimpia taajuuksia eikä sellaisenaan muodostanut merkittävää ääntä absorboivaa pintaa. Istuinsyvennyksiin paremman äänen absorption olisi voinut toteuttaa jonkinlaisella rimoituksella tai metalliverkolla, jonka takana olisi ollut paksumpi kerros huokoista, ääntä absorboivaa materiaalia.

Vehreissä meluseinäkkeissä kasvualustoja on suositeltavaa käyttää mahdollisimman suurina aloina myös ääntä absorboivana kerroksena, jolloin vehreys ja akustiset hyödyt voidaan yhdistää samassa rakenteessa. Muilta osin absorption toteutukseen on useita materiaalivaihtoehtoja, mutta ulkokäyttöön käytännöllisimmät lienevät jonkinlaisen rimoituksen tai rei'itetyn/aukotetun pinnan takana olevat absorptiokertoimiltaan korkeat huokoiset materiaalit.

3.8 Kokeiluhankkeen meluseinäkkeiden rakenteet

3.8.1 Erottajanaukion meluseinäke

Erottajanaukiolle sijoitettu seinäke koostui moduuleista, joissa oli metalliosia, puiset istuintasot sekä kasviseinät, joissa oli muovisia telineitä kasvatuspusseille. Seinämoduulien välissä ääntä eristävänä rakenteena olivat 38 mm paksut Ekopanely-olkilevyt. Moduulien aukkokokohtia tiivistettiin bitumimatolla maan ja moduulien sekä kannen ja seinärakenteen välillä rakenteen tiivyyden ja sen myötä äänieristyksen parantamiseksi.



Kuva 16. Erottajanaukion meluseinäke. Kuva Pyy Survo

38 mm paksuisen olkilevyn ilmaääneneristävyys on arviolta noin R_w 29 dB, joten rakenteellisesti seinäke oli tarkoitukseensa riittävän hyvin ääntä eristävä.

Käytännössä kokeiluhankkeessa tehtyjen melumittausten perusteella Erottajanaukion meluseinäke vaimensi penkillä seinäkkeen kulmassa istuttaessa liikennemelua 6,9 dB (mitattu istumakorkeudelta, 1,2 m maasta) ja seinäkkeen takana sen edustalla maassa seisomakorkeudella (1,5 m maasta) 5,3 dB. Kyseessä on tavoitellun kaltainen, selvästi havaittava, oleellinen muutos. Keskiäänitasot mittauspaikoittain on esitetty taulukossa 8.

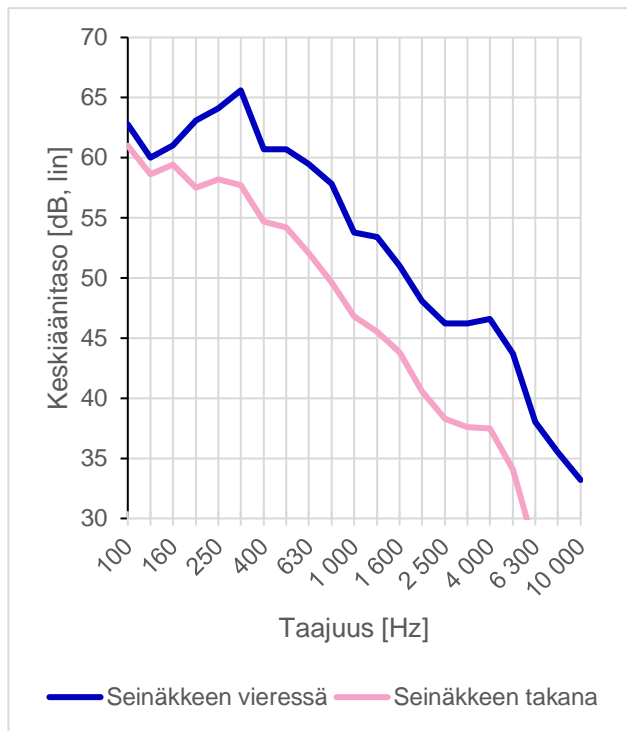
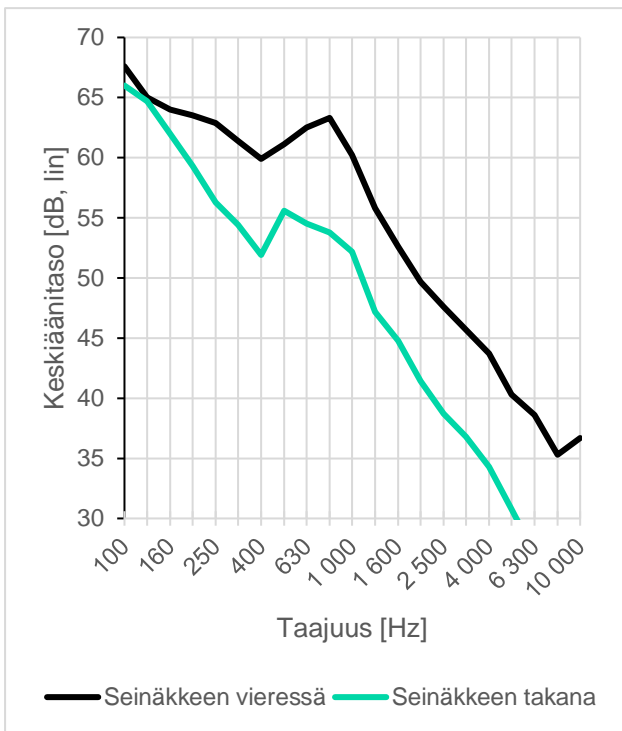
Taulukko 8. Erottajanaukion meluseinäkkeellä mitattujen melutapahtumien keskiäänitasot.

	Keskiäänitaso L_{Aeq} [dB]			
	Kaikki melutapahtumat	Vain autojen ohiajot	Vain raitiovaunujen ohiajot	Yhtäaikaiset raitiovaunujen ja autojen ohiajot
Seinäkkeen vieressä	69,0	68,4	66,4	69,9
Seinäkkeen takana penkillä istuessa	62,1	61,5	59,9	63,0
Seinäkkeen takana seisomakorkeudella	63,7	63,0	61,4	64,7
Melutasojen vaimentuminen seinäkkeen takana penkillä istuessa	6,9	6,9	6,5	6,9
Melutasojen vaimentuminen seinäkkeen takana seisomakorkeudella	5,3	5,4	5,0	5,2

Kaikkien mitattujen liikenteen ohiajojen melutapahtumien keskiäänitasojen taajuusjakaumat huomioiden matalilla, alle 125 Hz taajuuksilla vaimennusta ei tapahdu juuri ollenkaan, 200...250 Hz taajuuksilla vaimennus on 4–6 dB, 315...500 Hz taajuuksilla vaimennus on 6–8 dB, 630...5000 Hz taajuuksilla vaimennus on 8–9 dB ja taajuudesta 6300 Hz ylöspäin vaimennus on yli 10 dB.

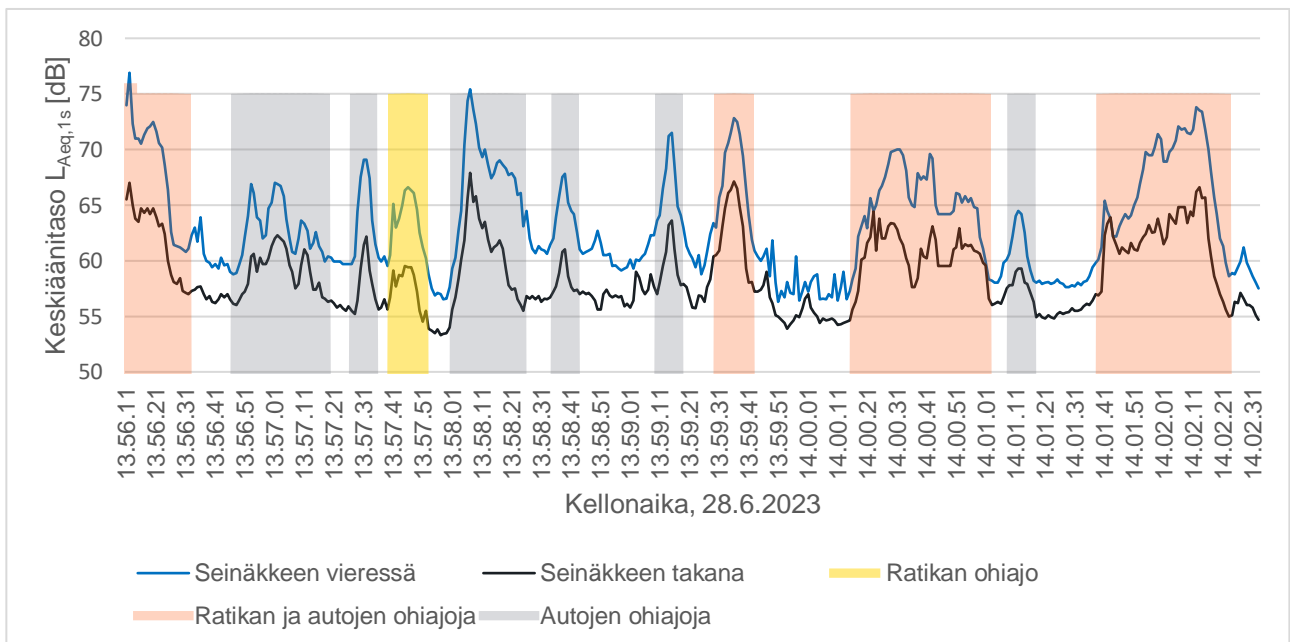
Kokeiluhankkeen aikana Erottajanaukion meluseinäkkeen meluntorjunnallista vaikutusta heikensi aukion laidalla olevan Svenska Teaternin julkisivusta muodostuva äänen heijastuminen. Liikenteen äänet kantautuivat julkisivun kautta tulevana selkeästi havaittavana heijastuksena seinäkkeen hiljaiselle puolelle. Tämä oli havaittavissa siirryttäessä seinäkkeen vierestä sen taakse suojaan, jolloin liikennemelun suora ääni vaimentui seinäkkeen vaikutuksesta huomattavasti ja heijastuksena kantautuva ääni alkoi erottua voimakkaammin. Seinäkkeen suojassa penkillä istuttaessa liikennemelu kuulostikin kantautuvan Mannerheimintien suunnan sijaan heijastuksena Svenska Teaternin seinän suunnasta.

Kuvaajissa 6–7 on esitetty autojen ja raitiovaunujen ohiajojen keskiäänitasot suojassa seinäkkeen takana penkillä ja ilman seinäkkeen suoja sen vieressä. Kuvaajassa 8 on esitetty keskiäänitaso ($L_{Aeq,1s}$) seinäkkeen vieressä ja seinäkkeen takana noin 6 minuutin jaksolta mittausten aikana.



Kuvaaja 6. Autojen ohiajojen aikainen keskiäänitaso terssikaistoittain (painottamattomat tasot) ilman seinäkettä eli seinäkkeen vieressä ja seinäkkeen takana istuimella. Erottajanaukion meluseinäke.

Kuvaaja 7. Raitiovaunujen ohiajojen aikainen keskiäänitaso terssikaistoittain (painottamattomat tasot) ilman seinäkettä eli seinäkkeen vieressä ja seinäkkeen takana istuimella. Erottajanaukion meluseinäke.



Kuvaaja 8. Sekunnin keskiäänitaso ($L_{Aeq,1s}$) ilman seinäkettä eli seinäkkeen vieressä ja seinäkkeen takana istuimella noin 6 minuutin jaksolla mittauksen aikana. Kuvaajaan on merkitty myös liikennemelun tyypit. Erottajanaukion meluseinäke.

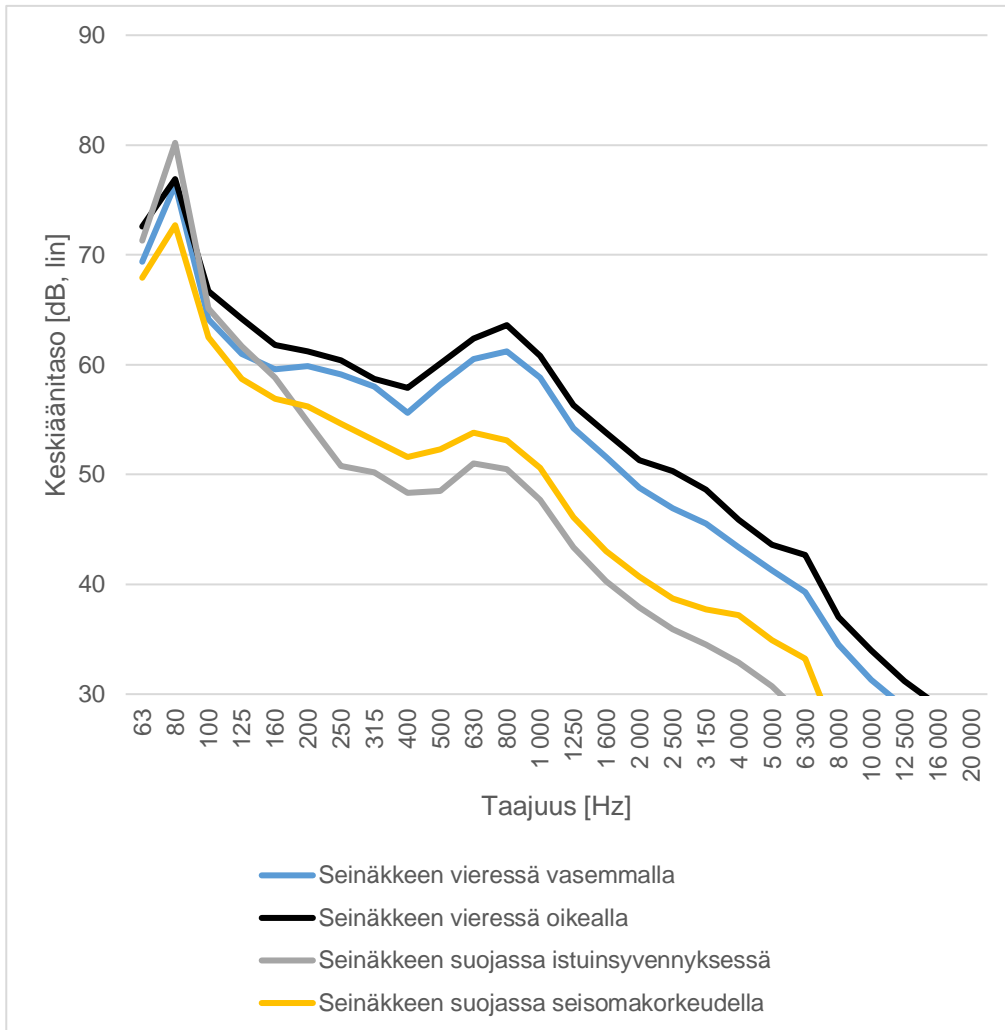
3.8.2 Designmuseon edustan aukion meluseinäke

Designmuseon edustan aukion seinäke oli puurakenteinen. Ääntä eristävänä rakenteena sen sisällä oli 50 mm paksuiseen puurunkoon koko seinäkkeen matkalle kiinnitetty 12 mm paksuinen havuvaneri sekä 10 mm paksuinen tiivis PET-huopa. Vaneri ja huopa kiinnitettiin runkopuiden eri puolille, jolloin niiden väliin jäi 50 mm ilmaväli. Seinäkkeessä oli istuinsyvennyksiä, jotka oli verhoiltu sivuilta ja katosta samalla PET-huovalla.

Laskennallisesti rakenteen ilmanääneneristävyys on R_w 25 dB, joka on tarkoitukseensa riittävä ääneneristävyys. Käytännössä seinäke vaimensi istuinsyvennyksessä autojen ohiajojen melua 6,3...8,3 dB, joka on selvästi havaittava, jopa suuri muutos.



Kuva 17. Designmuseon edustan aukion meluseinäke. Kuva Jenni Kuja-Aro



Kuvaaja 9. Autojen ohiajojen aikainen keskiäänitaso terssikaistoittain (painottamattomat tasot) eri mittauspisteillä. Designmuseon edustan aukion meluseinäke.



Kuva 18. Designmuseon edustan aukion meluseinäke. Kuva Vesa Laitinen

4 Kokeiluhankkeen meluseinäkkeiden vaikutus ääniympäristöön ja sen kokemiseen

4.1 Meluseinäkkeiden melumittaukset

Kokeiluhankkeen aikana meluseinäkkeiden meluntorjuntatehoa tutkittiin melumittauksilla. Mittausten perusteella kokeiluhankkeen meluseinäkkeiden todettiin vaimentavan melua seinäkkeen penkillä istuessa noin 6–8 dB ja meluseinäkkeen suojassa seisoessa 5–8 dB.

Mittausten yhteydessä tehtyjen kuulohavaintojen perusteella seinäkkeet vaimensivat liikenteen melua kuultavasti. Erityisesti rengasmelulle ominaiset taajuudet vaimenivat kuultavasti seinäkkeen takana ollessa. Linnunlaulun ääniä oli helpompi kuulla seinäkkeen takana suojassa kuin seinäkkeen vieressä. Myös keskusteleminen oli helpompaa seinäkkeen suojassa, sillä seinäke vaimensi puheen taajuuksilla olevaa tieliikenteen melua.

Mittausten yhteydessä havaittiin kovien seinäpintojen voivan heijastaa melua niin, että liikennemelun suora ääni vaimentuu seinäkkeen vaikutuksesta ja heijastuksena kantautuva ääni alkaa erottua voimakkaammin. Designmuseon edustan aukion seinäkkeen istuinsyvennyksissä matalataajuiset äänet voimistuivat. Lisäksi istuinsyvennys vaimensi myös muita kuin liikenteen ääniä, esimerkiksi viereisen puiston luonnonääniä.

4.2 Seinäkkeen vaikutus puheen ymmärrettävyyteen

Tiiviissä kaupunkiympäristössä liikenteen aiheuttaman melun korkeimmat äänitasot muodostuvat juuri puheen ymmärrettävyyden kannalta tärkeimmille taajuuksille. Tämä tekee vilkasliikenteisen kadun varrella keskustelemisesta tai puhelimeen puhumisesta vaikeaa. Meluseinäke vaimentaa liikennemelun äänitasoa, jolloin seinäkkeen suojassa myös keskusteleminen on helpompaa.

Puheen erotettavuutta (eli puheen ymmärrettävyyttä) kuvataan puheensiirtoindeksillä *STI* (Speech Transmission Index). Puheen erotettavuus riippuu taustamelutason ja puheen äänitasojen erotuksesta, tilan jälkikaiunta-ajasta, puhujan ja kuulijan välisestä etäisyydestä sekä puhujan suunnasta kuulijaan nähden. $STI = 0$ tarkoittaa sitä, että puhujan yhdestäkään tavusta ei saada selvää ja $STI = 1$ tarkoittaa sitä, että puhuja kaikista sanoista saadaan selvää täydellisesti. Käytännössä arvo 1 voidaan saavuttaa vain hiljaisessa huonetilassa, kun puhuja ja kuulija ovat lähellä toisiaan. Esimerkiksi uusissa opetus- ja kokoustiloissa puheensiirtoindeksin ohjearvo on vähintään 0,7. Puheensiirtoindeksin lukuarvojen subjektiivinen merkitys on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Puheensiirtoindeksin STI subjektiivinen merkitys ja meluseinäkkeen vaikutus.

Puheensiirtoindeksi STI, Puheen erotettavuus	Kuvaus	Esimerkki
≤ 0,30	Kelvoton	Vilkkaan kadun varrella
0,30...0,45	Huono	
0,45...0,60	Välttävä	Vilkkaan kadun varrella vehreän meluseinäkkeen suojassa
0,60...0,75	Hyvä	
> 0,75	Erinomainen	

Kokeiluhankkeen meluseinäkkeiden luona mitattujen liikenteen ohiajojen aikaisten taustamelun keskiäänitasojen perusteella tarkasteltiin seinäkkeen vaikutusta puheen ymmärrettävyyteen laskennallisesti 1,5 m etäisyydellä puhujasta. Vilkkaan liikenteen aikana kadun varrella keskusteleminen korotetullakin puheäänellä on vaikeaa, ellei jopa mahdotonta. Puheen ymmärrettävyys liikenteen ohiajojen aikana on kelvoton, STI = 0,21.

Meluseinäkkeen suojassa penkillä tai istuinsyvennyksessä istuessa keskustelu on sen sijaan vilkasliikenteisenkin kadun varrella helpompaa. Erottajanaukion meluseinäkkeen suojassa penkillä puheen ymmärrettävyys on Mannerheimintien vilkkaasta tie- ja raitioliikenteestä huolimatta ohiajojen aikana jo välttävä (STI = 0,47) ja Designmuseon edustan aukion meluseinäkkeen istuinsyvennyksessä ohiajojen aikana jopa lähes hyvä (STI = 0,58).

4.3 Käyttäjäkokemukset meluseinäkkeistä

Meluseinäkekokeilun aikana kerättiin käyttäjien kokemuksia seinäkkeistä. Käyttäjiltä saatiin pääasiassa positiivista palautetta, jossa seinäkkeiden kuvattiin lisäävän vehreyttä ja viihtyisyyttä ja muodostavan oleskelualueita uusiin paikkoihin.

Muutamissa palautteissa otettiin kantaa ääniympäristön laatuun; meluseinäkkeiden kerrottiin parantavan ääniympäristöä, mahdollistavan keskustelemisen ja vähentävän voimakkaita sekä teräviä ääniä. Designmuseon edustan aukiolla ääniympäristö koettiin hyväksi seinäkkeen suojassa. Erottajanaukion seinäkkeen suojassa liikennemelun koettiin vaimenevan, mutta aluetta pidettiin silti yleisesti meluisana.

4.4 Kasvillisuuden vaikutus melun kokemiseen

4.4.1 Kasvillisuuden ja maanpinnan vaikutukset äänen etenemiseen

Kasvillisuus vaikuttaa äänen etenemiseen seuraavien mekanismien kautta:

Estevaikutus

- Vaikutus on verrannollinen kasvin osien (materiaalin) ääntä eristäviin ominaisuuksiin sekä estävän kasvin osien (materiaalin) paksuuteen, peittävyYTEEN/aukkoisuuteen melulähteen ja kuuntelupaikan välillä sekä kasvinosien fyysisiin mittoihin (kasvillisuusvyöhykkeen korkeus ja leveys). Meluseinäkkeissä estevaikutuksen voidaan katsoa olevan hyvin vähäinen.

Äänen absorptio

- Äänen imeytymisen (absorption) määrään ja äänen vaimentumiseen vaikuttavat kasvinosien akustiset ominaisuudet, peittävyys/aukkoisuus melulähteen ja kuuntelupaikan välillä sekä kasvillisuuden vyöhykkeen fyysiset mitat (kasvillisuusvyöhykkeen korkeus ja leveys)

Äänen siroutuminen

- Äänen heijastuminen eri suuntiin (sironta) kasvillisuusvyöhykkeessä pienentää äänienergiaa ja vaimentaa äänitasoa. Sironta siis eroaa absorptiosta siinä mielessä, että äänienergia suuntautuu uudelleen mutta ei imeydy.

Kasvillisuus- ja puustovyöhykkeet voivat vaikuttaa äänen etenemiseen myös epäsuorien vaikutusten kautta. Epäsuorat vaikutukset syntyvät kasvillisuuden vaikutuksesta sääolosuhteisiin sekä kasvillisuuden vaikutuksesta maaperään.

Maanpinnan absorboivat ominaisuudet riippuvat erityisesti maaperän huokoisuudesta eli käytännössä sen sisältämän ilman määrästä. Mitä huokoisempaa maan pinta on, sitä suuremmaksi äänen absorptio muodostuu. Kasvillisuus vaikuttaa maaperän ominaisuuksiin lisäten maaperän huokoisuutta ja siten myös sen kykyä absorboida melua. Keinotekoisessa kasvialustassa maaperän huokoisuutta voidaan kasvattaa lisäämällä maa-ainekseen mm. perliittiä, huokoista vulkaanista lasia, kookoskuituja tai hydrofiillistä polymeeriä. Kasvillisuus voidaan suunnitella siten, että se lisää myös maaperän absorptiokykyä.

Kasvien osien absorptio voi aikaan saada merkittävää äänienergian vaimentumista. Lisäksi maa-aineksilla voi olla erittäin korkea absorptiosuhde, joka voi vastata akustiikkamateriaaleilla saavutettavaa absorptiosuhdetta. Myös sironta voi yksittäisten paikkojen vaimentumisen osalta olla merkittävä melua vaimentava tekijä. Kasvillisuus absorboi erityisesti korkeita äänen taajuuksia, jolloin äänen taajuusjakauma muuttuu. Myös kasvillisuuden aikaan saama sironta vaikuttaa korkeilla taajuusalueilla.

Kuulijan kokemuksen kannalta äänen taajuusjakauman muuttumisella on merkitystä. Korkeita taajuuksia sisältävä melu kuulostaa terävämmältä kuin sama äänisisältö, josta korkeita taajuuksia on seuloutunut pois. Korkeita taajuuksia sisältävä ääni mielletään olevan lähellä kuulijaa tai sen arvioidaan olevan voimakkaampaa kuin äänellä, jossa korkeita taajuuksia ei ole. (WSP Finland Oy 2021)

4.4.2 Melun kokemiseen vaikuttavat tekijät

Useimmat meluntorjuntatoimet eivät pelkästään vaimenna kokonaismelutasoa vaan vaikuttavat myös muilla tavoin ääneen. Kasvillisuus vaimentaa melun korkeita taajuuksia enemmän kuin matalia taajuuksia, jolloin kuultavan äänen taajuusjakauma muuttuu. Eräissä tutkimuksissa raitiovaijien aiheuttaman melun häiritsevyydessä todettiin suurempi ero nurmi- ja asfalttiradan välillä kuin A-taajuuspainotetun kokonaismelutason perusteella olisi voinut arvioida. Haastattelujen perusteella tämä muutos kokemuksessa johtui korkeiden äänien vaimentumisesta nurmiradalla verrattuna asfalttirataan (Nilsson et al. 2015). Sama kokemus nousi esiin myös meluseinäkoekielun käyttäjäkokemuksena.

Äänimaisema sisältää haluttuja, ei-haluttuja ja neutraaleja ääniä. Teoriassa äänimaisemaa voidaan parantaa lisäämällä siihen haluttuja ääniä. Tällöin halutut äänet voivat peittää ei-haluttuja ääniä sekä kääntää huomion pois ei-halutuista äänistä. Usein ei-halutut äänet kuitenkin huonontavat äänimaisemaa enemmän kuin halutut äänet pystyvät sitä parantamaan. Onnistunut meluntorjunta vaimentaa ei-haluttuja ääniä, jolloin halutut äänet tulevat kuultaviksi. Meluseinäkoekielun käyttäjäkokemuksena mainittiin seinäkkeiden mahdollistavan keskustelun, mitä voidaan pitää haluttuna äänenä.

Kasvillisuus aiheuttaa itsessään ääniä, jotka mielletään yleisesti miellyttäviksi. Kasvillisuuden äänet voivat osaltaan peittää haitalliseksi koettuja ääniä sekä toisaalta kiinnittää kuulijan huomion positiiviseen ääneen. Nämä molemmat tekijät vähentävät melun häiritsevyyden kokemusta.

4.5 Visuaalisen kokemuksen vaikutukset äänen kokemiseen

Visuaalisten kokemusten on todettu vaikuttavan äänen kokemiseen. Kasvillisuus yhdistetään usein hiljaisuuteen ja miellyttävään ääniympäristöön ja sen on todettu vähentävän melun häiritsevyyden kokemusta (Kastka & Noak 1987, Gidlöf-Gunnarsson & Öhrström 2007, Li et al. 2010, Ulrich et al. 1991). Siten meluntorjuntarakenteiden kasvillisuus lisää kokemusta hiljaisesta ja rauhallisesta ääniympäristöstä.

Katutilan visuaalista kokemusta voidaan parantaa tuomalla katutilaan kasvillisuutta, puita ja pensaita. Vesiaiheiden lisäämisellä ei saavutettu Hong & Jeonin (2013b) kyselytutkimuksessa yhtä suurta visuaalista kokemusta parantavaa vaikutusta kuin vihreän kasvillisuuden lisäyksellä. Koetilanteessa lintujen äänten todettiin parantavan kokemusta kaupunkitilasta verrattuna vesiaiheisiin ääniin (Hong & Jeon 2013b). Veden äänet lintujen äänten tapaan luonnollisina ääniä ovat kuitenkin yleisesti miellyttävämpiä kuin esimerkiksi liikenteen melu. Myös melusteiden peittäminen kasvillisuudella lisäsi koehenkilöiden kokemusta melusteiden akustisesta toimivuudesta (Hong & Jeon 2013b).

Kasvillisuuden vaikutuksille melun kokemiseen on esitetty kolme eri mekanismia. 1) Kasvillisuus vaikuttaa äänilähteen näkymiseen ja vaikuttaa siten melun koettuun häiritsevyyteen korkeilla melun altistumistasoilla. 2) Pienemmällä melutasoilla kasvillisuuden aiheuttamat äänet saavat kuulijan huomion keskittymään luonnon aiheuttamiin ääniin, jolloin kokemus häiritsevästä melusta vähennee. 3) Näkyvän kasvillisuuden voimaannuttava vaikutus vähentää kuulijan kokemaa melun häiritsevyyttä, vaikka kasvillisuus ei peittäisikään melun aiheuttajaa. (Von Renterghem 2019) Myös Leung et al. (2016) ovat päätyneet vastaavaan kolmanteen johtopäätökseen.

Kasvillisuus siis vaikuttaa merkittävästi ihmisen kokemukseen voimaannuttavasta ympäristöstä. Mitä suurempi ärsykkeen voimaannuttava vaikutus on, sitä suurempi on sen kyky vähentää saman aikaista negatiivista kokemusta. Toisin sanoen voimaannuttava kokemus vähentää melusta koettavaa kiusaantuneisuutta.

4.6 Peittoäänien käyttö äänimaiseman parantamisessa

Äänimaisemaan voidaan lisätä miellyttäväksi koettuja ääniä, joiden tavoitteena on peittää ei-haluttuja ääniä. Äänimaisemaa voidaan muokata tuomalla alueelle luonnon ääniä (kasvillisuuden tai veden äänet), ihmisten ääniä tai tuottamalla ääntä kaiuttimilla.

Veden ääniä on käytetty laajalti peittoääninä. Tutkimuksessa on todettu, että suihkulähteen äänen tulisi olla ainakin 10 dB voimakkaampi kuin tieliikennemelun, jotta se peittäisi liikenteen äänekyyttä. Siten peittovaikutusta saadaan vain suihkulähteen läheisyydessä. Tähän vaikutti tieliikenteen painottuminen enemmän matalille taajuuksille ja suihkulähteen melun painottuminen korkeille taajuuksille, joka johti tieliikenteen kuulumiseen kauemmas (Nilsson et al 2010). Veden äänen peittovaikutus on paras, jos vedenääntä tuotetaan useassa eri paikassa alueella. Myös vedenääntä heijastavia pintoja voidaan käyttää äänen voimistamiseen esimerkiksi istumapaikkojen yhteydessä olevilla seinäkkeillä (Tukholman kaupunki 2019).

Fraissen et al. tutkimuksessa tuotettiin kaiuttimilla erilaisia peittoääniä katutilaan, jossa oli tieliikenteen melua. Luonnonäänet koettiin rentouttaviksi ja palauttaviksi. Abstraktit äänet (esimerkiksi syntetisaattorilla tehdyt äänet) puolestaan erottuivat parhaiten taustamelusta. Sekä luonnon äänet että abstraktit äänet joko lisäsivät äänimaiseman miellyttävyyttä tai vähensivät koettua äänekyyttä. Kaikki äänet myös vähensivät huomion kiinnittymistä liikennemeluun (Fraisie et al. 2024).

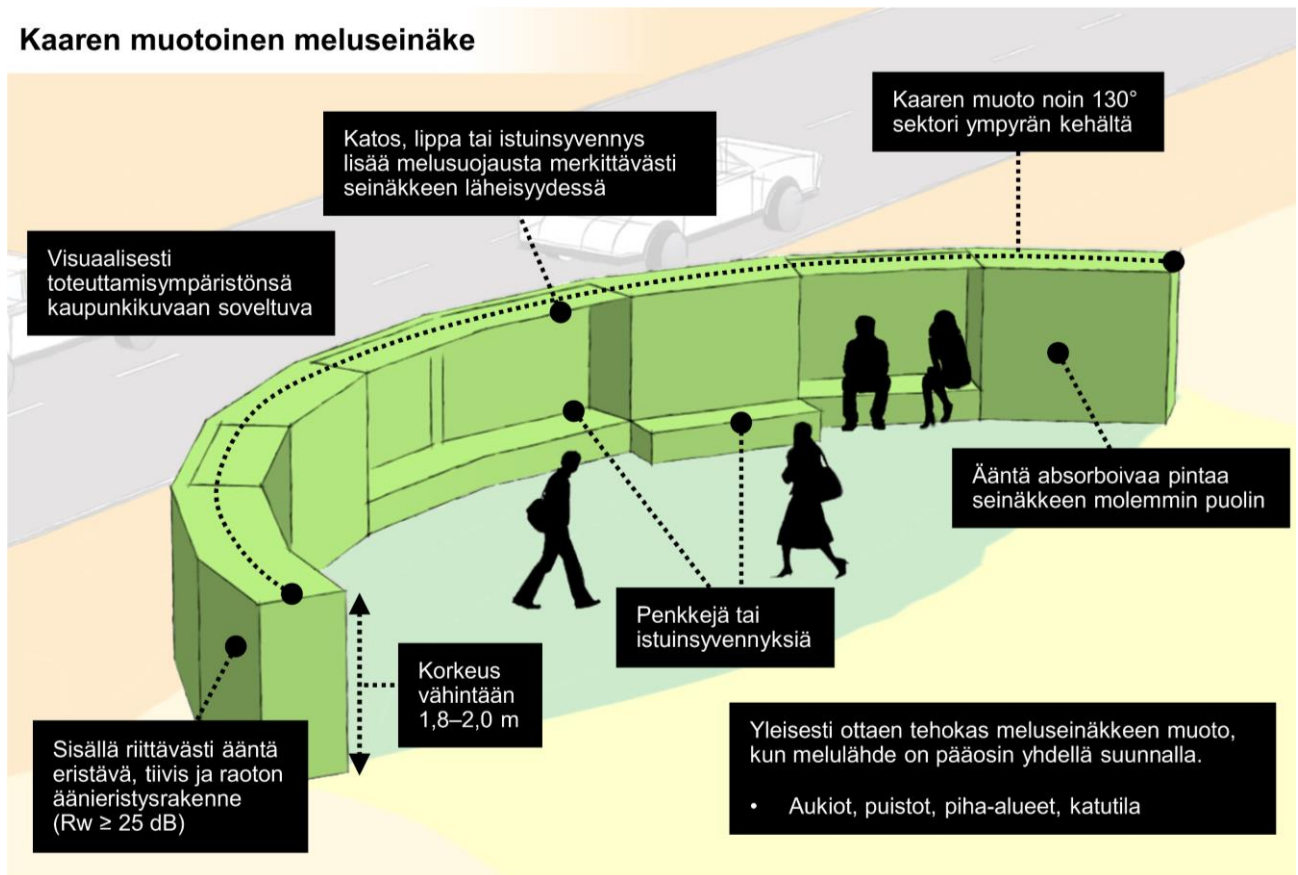
Häiritseviksi koetut äänet ovat usein matalataajuisempia kuin esimerkiksi miellyttäväksi koetut luonnon äänet. Jos peittoääninä käytetään luonnon ääntä, on sen äänitaso vaihteleva, joka myös osaltaan heikentää peittoäänien vaikutusta.

Peittoäänien merkitys voi kuitenkin olla merkittävä, jos peittoääni erottuu melusta ja kiinnittää kuulijan huomion. Tällöin melu voi jäädä kuulijan havainnossa taka-alalle. Usein parhaaseen tulokseen päästään, jos ei-toivottua ääntä ensin vaimennetaan esimerkiksi meluseinäkkeellä ja sen jälkeen tuodaan kohteeseen lisäksi peittoääntä (WSP Finland Oy 2021).

5 Yhteenveto

Meluseinäkekokeilun perusteella seinäkkeillä voidaan lisätä ääniympäristön miellyttävyyttä ja huomattavasti alentaa liikennemelusta aiheutuvia melutasoja seinäkkeen suojassa. Liikennemelun vaimentuessa luonnon äänet, kuten linnunlaulu, olivat seinäkkeen suojassa helpommin kuultavissa. Kerättyjen käyttäjäkokemusten perusteella meluseinäkkeiden koettiin parantavan ääniympäristöä, mahdollistavan keskustelemisen ja vähentävän voimakkaita sekä teräviä ääniä. Lisäksi todettiin useasti vihreyden lisäävän viihtyisyyttä.

Ääniympäristön parantamiseen tähtäävä meluseinäke, jonka ääreen voi istahtaa, saattaa myös avata ohikulkijoiden aistit havainnoimaan ympäristöään entistä tarkemmin. Ääniympäristön kokonaisuuden miellyttävyydellä on aktiivisen ja tarkkaavaisen kuuntelijan kokemukselle suuri merkitys.



Kuva 19. Yhteenveto kaaren muotoisen meluseinäkkeen keskeisistä ominaisuuksista tyypikkortissa (liite 8, sivu 1)

5.1 Meluseinäkkeen ominaisuudet

Yhteenveto vehreiden meluseinäkkeiden keskeisistä ominaisuuksista on esitetty alla sekä liitteen 8 tyyppikorteissa.

Seinäkkeen korkeus

Mitä korkeampi seinäke on, sitä paremmin se suojaa melulta. 6 dB vaimennus istumakorkeudella 1,2 m saavutetaan seinäkkeen välittömässä läheisyydessä 1,6 m korkealla seinäkkeellä. Suositeltu paikalliseen meluntorjuntaan tarkoitettun meluseinäkkeen korkeus on 1,8–2,0 m. Noin 2 m korkuinen seinäke on vielä mahdollista rakentaa ilman maahan kiinnittämistä sellaiseksi, että rakenne on kuitenkin turvallinen ja kestävä eikä sitä pysty siirtämään tai kaatamaan.

Riittävä ääneneristävyys ja tiiveys

Seinäkkeessä tulee olla ääntä eristävä kerros, esimerkiksi levyrakenne, joka jatkuu ilman rakoja koko seinäkkeen pituudelta. Rakenteen ääneneristävyyden tulee olla vähintään $R_w \geq 25$ dB. Moduulirakenteisessa seinäkkeessä ääntä eristävän kerroksen ja moduulien väliseen tiiveyteen on kiinnitettävä erityistä huomiota ja kaikki raot on tiivistettävä huolellisesti. Seinäkkeen alareunan ja maan välinen rako tulee tiivistää esimerkiksi äänieristysrakenteeseen kiinnitettyllä bitumimattokais-taleella, joka alareunastaan lepää maassa.

Seinäkkeen muoto ja sijoittelu

Seinäkkeen muoto vaikuttaa olennaisesti siihen, kuinka suuri seinäkkeen vaimennusvaikutus parhaimmillaan on ja kuinka suuri alue sillä saadaan suojattua tehokkaasti. Jos tilaa on runsaasti, paras seinäkkeen muoto on kaari. Myös erilaiset kulman tai L-kirjaimen malliset seinät voivat olla tehokkaita, kun ne sijoitellaan oikein. Haastavia kohteita ovat alueet, joiden ympärillä melulähteitä on useassa eri suunnassa, tai joiden läheisyydessä on suuria, kovapintaisia rakennuksia, joista muodostuu äänen heijastuksia. Näissä tapauksissa seinäkkeen muotoon ja sijoitteluun tulee kiinnittää erityistä huomiota. Sama muoto ei sovi kaikkialle.

Katos tai lippa

Seinäkkeessä hiljaisella puolella sijaitseva katos, lippa tai istuinsyvennys lisää seinäkkeen melulta suojaavaa vaikutusta huomattavasti.

Absorboiva pintamateriaali

Ääntä absorboiva pintamateriaali seinäkkeessä istuimen puolella kuulijan korkeudella vähentää äänen häiritsevää heijastumista seinäkkeestä tehden seinäkkeen suojassa istumisesta miellyttävämpää. Kova, ääntä heijastava pinta lähellä korvaa sen sijaan voimistaa äänitasoja seinäkkeen välittömässä läheisyydessä. Myös melun puolella seinäkkeen absorboiva pinta on eduksi. Parhaimmillaan absorboiva pinta muodostuu vehreän meluseinäkkeen kasveista ja niiden istutusalustoista.

Kasvillisuus ja istutusalusta

Seinäkkeen kasvillisuus ja etenkin sen istutusalusta absorboivat ääntä. Pienialaisen kasvillisuuden vaikutus on pieni desibeleissä mitattuna, mutta korkeiden taajuuksien vaimentuminen voi vaikuttaa melun kokemiseen. Merkittävin vaikutus on vihreyden lisääntymisellä, joka koetaan ympäristön ja ääniympäristön miellyttävyyttä lisäävänä tekijänä. Myös laajalla, koko seinäkkeen kokoisella viherseinällä voi istutusalustojen runsaan määrän vuoksi olla merkittävä vaikutus seinäkkeen absorptioon.

5.2 Kokeiluhankkeen meluseinäkkeiden kehitysideoita meluntorjunnan kannalta

Kehityskohteina nousivat esiin erityisesti Designmuseon edustan aukion meluseinäkkeen istuinsyvennyksissä muodostunut matalien äänten voimistuminen sekä pääasiallisen melulähteen vaimentumisen myötä esiin nousseet muut melulähteet. Erottajanaukion meluseinäkkeen tiiveyttä paranneltiin kokeilun alussa, kun esimerkiksi maanpinnan ja seinäkkeen alaosan väliin muodostunut aukko havaittiin meluntorjunnan kannalta heikoksi kohdaksi ja se tiivistettiin bitumimatolla. Lisäksi Erottajanaukion meluseinäkkeen sijoittelu ja muoto eivät olleet täysin optimaaliset, sillä viereisen rakennuksen julkisivun kautta liikenteen melu pääsi heijastumaan seinäkkeen taakse.

Jos seinäke koostuu vierekkäin asetettavista moduuleista, moduulien välinen sekä moduulien ja maanpinnan välinen tiivistyminen on varmistettava integroimalla soveltuvat tiivisteet moduuleihin jo rakennusvaiheessa. Moduulien väleihin voidaan asentaa pystysuuntaiset, koko seinäkkeen matkalle ulottuvat tiivisteet ja sen jälkeen kiinnittää moduulit tiukasti toisiinsa esimerkiksi ruuveilla. Moduulirakenteisessa seinäkkeessä tärkeää on, että myös moduulin sisällä oleva ääntä eristävä levykerros on tiivistetty moduulin sisäreunoihin esimerkiksi tiivistysmassalla, jotta ääntä eristävään levykerrokseen ei muodostu rakoja moduulien reunoissa.

Alareunan paras tiiveys toteutetaan rakentamalla seinäke maahan upotetun perustuksen päälle, mutta kevyemmissä seinäkeratkaisuissa alareuna voidaan tiivistää esimerkiksi maahan ulottuvilla, seinäkkeen äänieristyskerrokseen kiinnitetyillä bitumi- tai kumimatoilla.

Matalien äänten voimistuminen istuinsyvennyksessä on huomionarvoista, vaikka meluntorjunnan kannalta se ei olekaan kaikkein merkityksellisin asia. Ympäristöissä, joissa on matalataajuisia ääniä, kuten puhaltimia, kompressoreita, moottoreita tai generaattoreita, istuinsyvennyksen akustiikkaan tulee kiinnittää erityistä huomiota. Lisäksi istuinsyvennyksessä oleskelu ja puhuminen on miellyttävämpää, kun syvennys ei muodosta kumisevaa, laatikkomaista voimistumisilmiötä syvennyksessä syntyvään tai sinne kantautuvaan ääneen. Ilmiötä voidaan vähentää esimerkiksi teemmällä syvennyksistä suurempia, lisäämällä syvennykseen voimakkaammin ääntä absorboivaa pintaa ja ”avaamalla” syvennyksen seinäpintoja akustisesti esimerkiksi toteuttamalla syvennyksen pintoja rimoituksella tai vastaavalla ääntä läpäisevällä rakenteella.

Heijastuksena lähimpien rakennusten kautta kantautuvan äänen merkitys tulee huomioida huolellisesti meluseinäkkeen sijoittelua ja muotoa suunniteltaessa. Tarvittaessa seinäke tulee muotoilla siten, että seinäke peittää melulähteen suunnan lisäksi myös äänen heijastusten suunnan.

5.3 Muistilista meluseinäkkeiden suunnitteluun

Rakenteen riittävästä ääneneristävydestä on huolehdittava

- Voimakkaan melun rajaaminen seinäkkeen taakse
- Miellyttävät äänet kuultaviksi
- Huomioitava mahdolliset uudet kuultavaksi tulevat melulähteet (esim. talotekniikan äänet, liikennemelun heijastukset)

Rakenteen sopiva absorptio

- Erityisesti istuinsyvennyksissä absorptiota lisättävä

Monipuolinen vehreys ja lajisto seinäkkeessä

- Parantaa kokemusta ääniympäristöstä
- Luonnon äänien monipuolisuus (veden ääni, kasvien lehvästön havina, lintujen ja hyönteisten äänet) parantaa usein kokemusta ääniympäristöstä
- Istutusruukut voivat lisätä vehreyttä ja sitä kautta positiivista kokemusta ääniympäristöstä

Äänen tuottaminen kaiuttimilla

- Luonnonäänien lisäksi voidaan tuottaa myös muita ääniä, esim. musiikkia

Rakenteen muoto

- Visuaalinen este melulähteeseen vähentää melun häiritsevyyttä
- Muoto vaikuttaa seinäkkeen tehoon
- Melulähteen suoran äänen vaimenemisen myötä syntyvien mahdollisten heijastusten huomiointi seinäkkeen muodossa
- Suunniteltava kohteeseen sopivaksi

Tarkka esisuunnittelu

- Seinäkkeen sijoittelu
- Asentaminen tiiviisti, huomioitava kaltevat pinnat yms.
- Myös alueen äänimaiseman kartoitus eli ääniympäristön kokemuksellinen havainnointi

6 Viitteet

Kuja-Aro, Leppänen (2023). Vehreät meluseinäkkeet -innovaatiokokeilu. Kaupunkiympäristön aineistoja 2023:14. Helsingin kaupunki.

Helsingin kaupunki (2022). Liikennemeluselvityksen laatiminen maankäytön suunnitteluun. Maankäytön yleissuunnittelun ohje 9.9.2019, Päivitys 13.9.2022.

Tiehallinto (2006). Tieliikenteen melu – Perustietoa tieliikenteen melusta ja sen torjunnasta.

McMullan, R (2007). Environmental Science in Building. Sixth Edition. Yhdysvallat. New York: Palgrave MacMillan. (163–164)

RIL 243-1-2007. Rakennusten akustinen suunnittelu – Akustiikan perusteet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2007

RIL 129-2003. Ääneneristyksen toteuttaminen. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2003

Väylävirasto (2022). Teiden ja ratojen melusteiden suunnittelu 1.5.2022. Väyläviraston ohjeita 27/2022

Nave, C. R (2017). HyperPhysics. Luettu 29.11.2024. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Acoustic/reflc.html>

Puuinfo Oy (2020). Vaneri. 23.6.2020. <https://puuinfo.fi/puutieto/puulevyt/vaneri/>

Koskisen Oy, Vanerikäsikirja. Luettu 21.11.2024. https://koskisen.fi/wp-content/uploads/materials/Koskisen_vanerikasikirja.pdf

Efterklang. Ljudmurar, Helsingborg. Luettu 2.12.2024. <https://etterklang.org/sv/projects/ljudmurar-helsingborg/>

Efterklang (2020). Ljudmätning av ljudmuren 78250402. 17.11.2020

WSP Finland Oy (2023). Green House Effect Oy, Vehreä meluseinäke Erottajanaukio, melumittaukset 28.6.2023. Raportti.

WSP Finland Oy (2023). Wau Efekti Oy, Vehreä meluseinäke Designmuseon edustan aukio, melumittaukset 28.6.2023. Raportti.

WSP Finland Oy (2021). Kasvillisuuden vaikutus äänen etenemiseen ja melun kokemiseen. 8.9.2021. <https://www.kuopio.fi/uploads/2023/04/kasvillisuuden-vaikutus-aaenen-etenemiseen-ja-melun-kokemiseen.pdf>

Nilsson M.E., Botteldooren D., Joen J.Y., Rådsten-Ekman M., De Coensel B., Hong Y.J., Maillard J. and Vincent B (2015). Perceptual effects of noise mitigation - Environmental Methods for Transport Noise Reduction, pp. 195 – 220.

Kastka, J., and Noak, R (1987). "On the interaction of sensory experience, causal attributive cognitions and visual context parameters in noise annoyance Environmental annoyance:

Characterization, measurement, and control - Proceedings of the International AN," Ministry of Communications, Republic of China).

Gidlöf-Gunnarsson, A., & Öhström, E (2010). Attractive "Quiet" Courtyards: A Potential Modifier of Urban Residents' Responses to Road Traffic Noise? - *Int J Environ Res Public Health*. 2010 Sep; 7(9): 3359–3375.

Li, H. N., Chau, C. K., and Tang, S. K (2010). "Can surrounding greenery reduce noise annoyance at home?," *Sci. Total Environ*. 408, 4376–4384.

Ulrich, R. S., Simons, R. F., Losito, B. D., Fiorito, E., Miles, M. A., and Zelson, M (1991). "Stress recovery during exposure to natural and urban environments," *J. Environ. Psychol*. 11, 201–230.

Hong, J. Y., and J. Y. Jeon (2013a). Designing sound and visual components for enhancement of urban soundscapes. *The Journal of the Acoustical Society of America* 134(3): 2026–2036.

Hong, J. Y., and J. Y. Jeon (2013b). The effects of audio–visual factors on perceptions of environmental noise barrier performance. *Landscape and Urban Planning* 125: 28– 37.2013.

Von Renterghem (2019). Using vegetation to tackle environmental noise problem – combining exposure level reduction and noise perception improvement – *Internoise 2019 June 16-19- Noise control for better environment*.

Leung T., Xu J., Chau C., Tang S., Pun-Cheng L (2017). The effects of neighborhood views containing multiple environmental features on road traffic noise perception at dwellings. *J. Acoust. Soc. Am*. 141, 2399-2407.

Tukholman kaupunki (2019). Grönä lösningar för en bättre ljudmiljö.

<https://miljobarometern.stockholm.se/content/docs/tema/buller/Grona-losningar-for-en-battre-ljudmiljo.pdf>

Leppänen, Kuja-Aro (2020). Hiljaisiksi ja rauhallisiksi koetut alueet Helsingissä, asukaskyselyn tuloksia. *Kaupunkiympäristön aineistoja 2020:16*. Helsingin kaupunki.

Nilsson, M. E., Alvarsson, J., Rådsten-Ekman, M., Bolin, K (2010). Auditory masking of wanted and unwanted sounds in a city park. *Noise Control Engineering Journal*, September 2010.

Fraisse, V, Tarlao, C., Guastavino, C (2024). Shaping city soundscapes: In situ comparison of four sound installations in an urban public space. *Landscape an Urban planning* 25.

7 Liitteet

Liite 1. Meluseinäkkeen muodon vaikutuksen tarkastelu.

Liite 2. Niitin muotoisten meluseinäkkeiden vaikutusten tarkastelu.

Liite 3. Kaaren muotoisten meluseinäkkeiden vaikutusten tarkastelu.

Liite 4. Meluseinäkkeen korkeuden ja muodon sekä julkisivun äänen absorptio vaikutuksen tarkastelu katutilassa.

Liite 5. Meluseinäkkeen muodon sekä meluseinäkkeen lipan muodon vaikutuksen tarkastelu kerrostalojen välisellä piha-alueella.

Liite 6. Meluseinäkkeen muodon vaikutuksen tarkastelu puistoalueella.

Liite 7. Meluseinäkkeen muodon vaikutuksen tarkastelu aukiolla, kun lähellä on ääntä seinäkkeen taakse heijastava julkisivu.

Liite 8. Vehreiden meluseinäkkeiden tyyppikortit.

Liite 9. Eri materiaalien absorptiokertoimia oktaavikaistoittain.



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

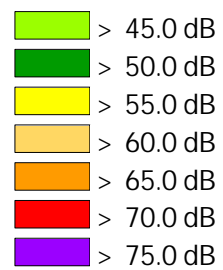
Lähtötilanne
ilman meluseinäkettä

Tarkasteltava kohde:
koulun piha-alue

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
12 800 ajon./vrk

Päiväajan keskiäänitaso
LAeq07-22 [dB]

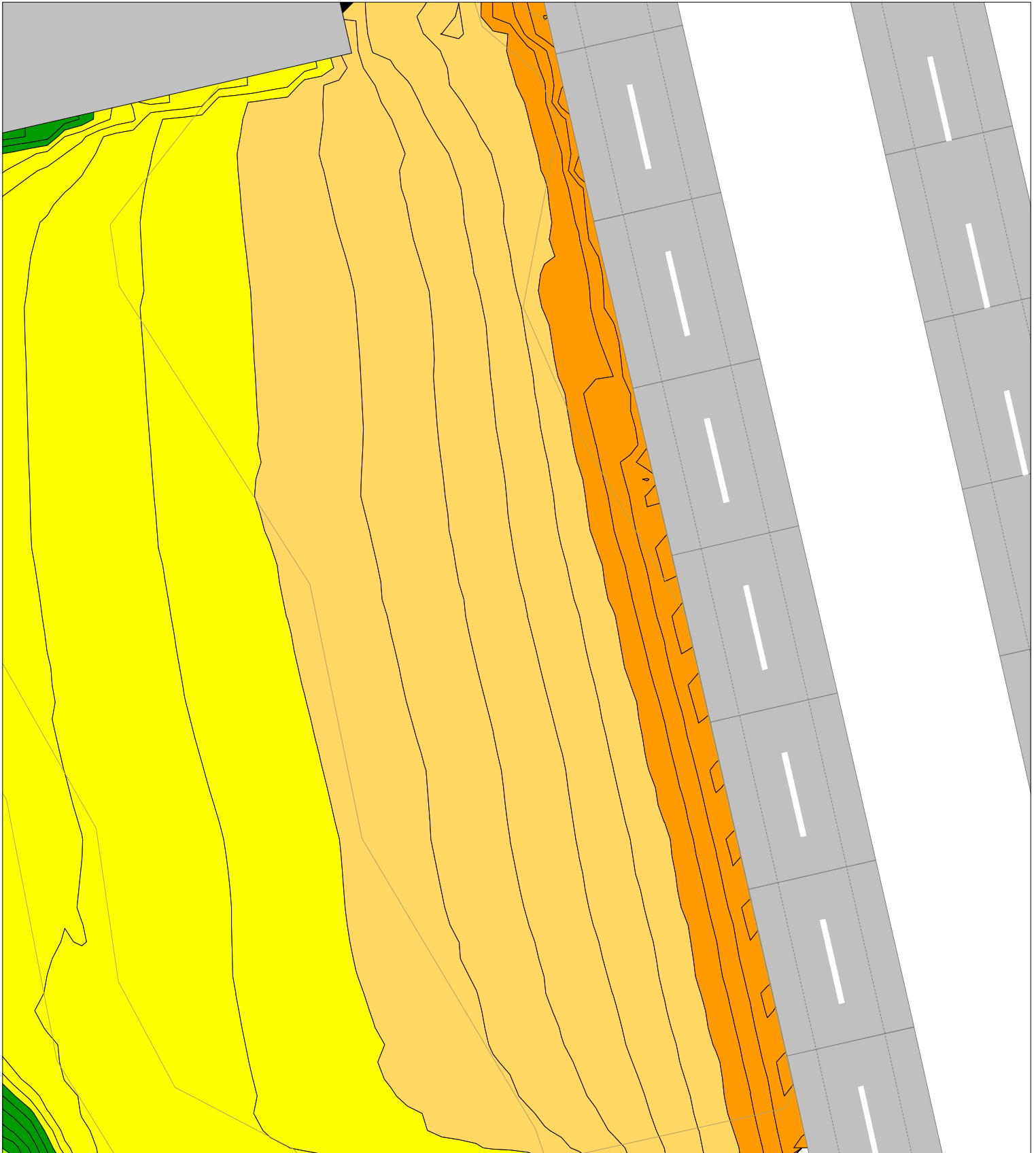


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:800 (A4)

WSP Finland Oy
9.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

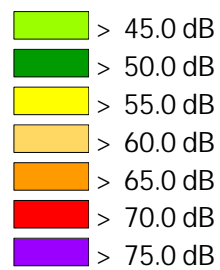
Lähtötilanne
ilman meluseinäkettä

Tarkasteltava kohde:
koulun piha-alue

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
12 800 ajon./vrk

Päiväajan keskiäänitaso
LAeq07-22 [dB]

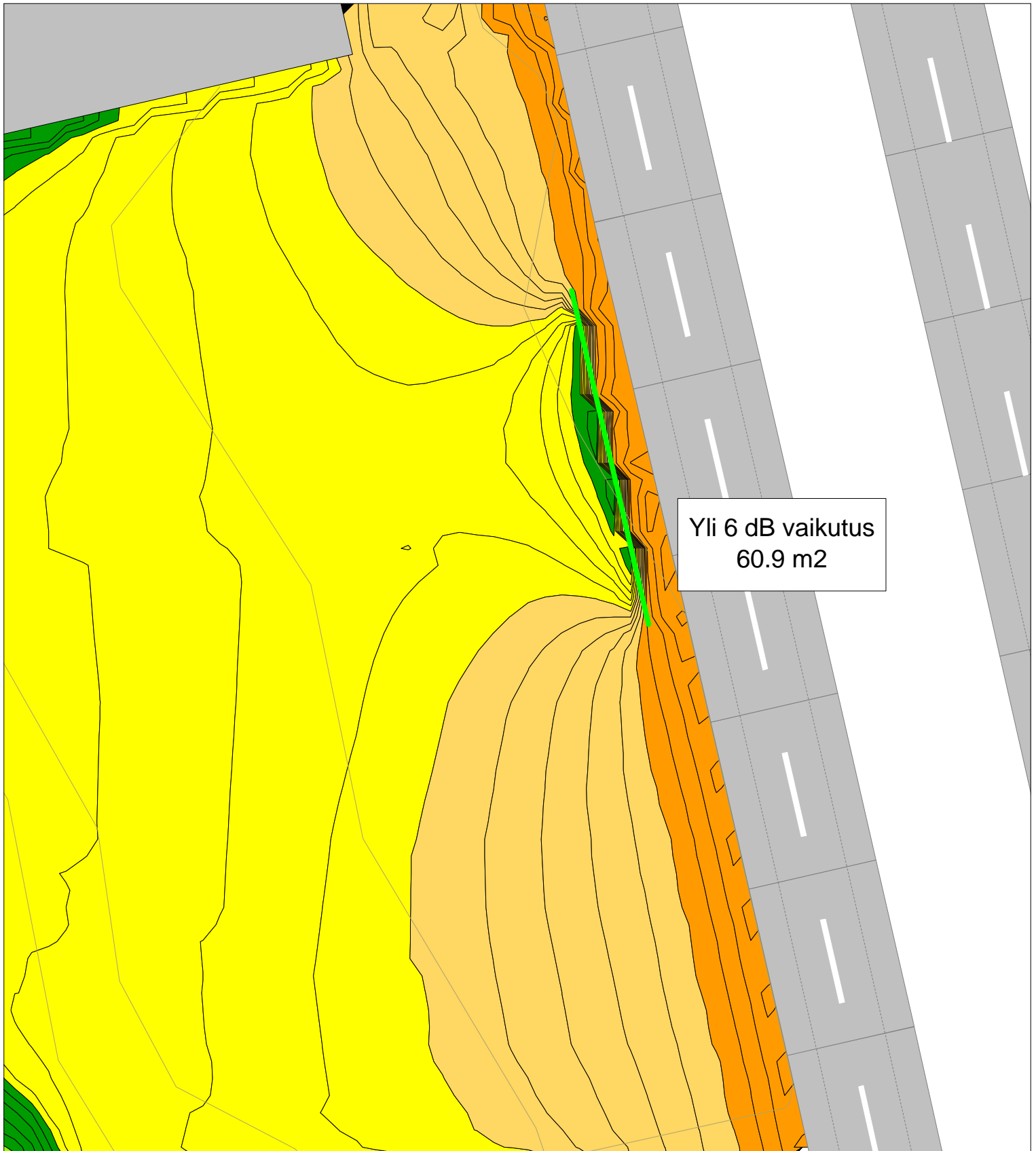


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:300 (A4)

WSP Finland Oy
9.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet
jatkoselvitys

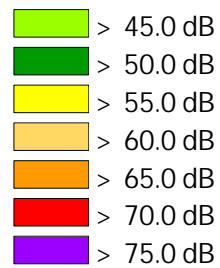
Meluseinäke:
- kokonaispituus 20 m
- korkeus 1,8 m

Tarkasteltava kohde:
koulun piha-alue

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
12 800 ajon./vrk

Päiväajan keskiäänitaso
LAeq07-22 [dB]

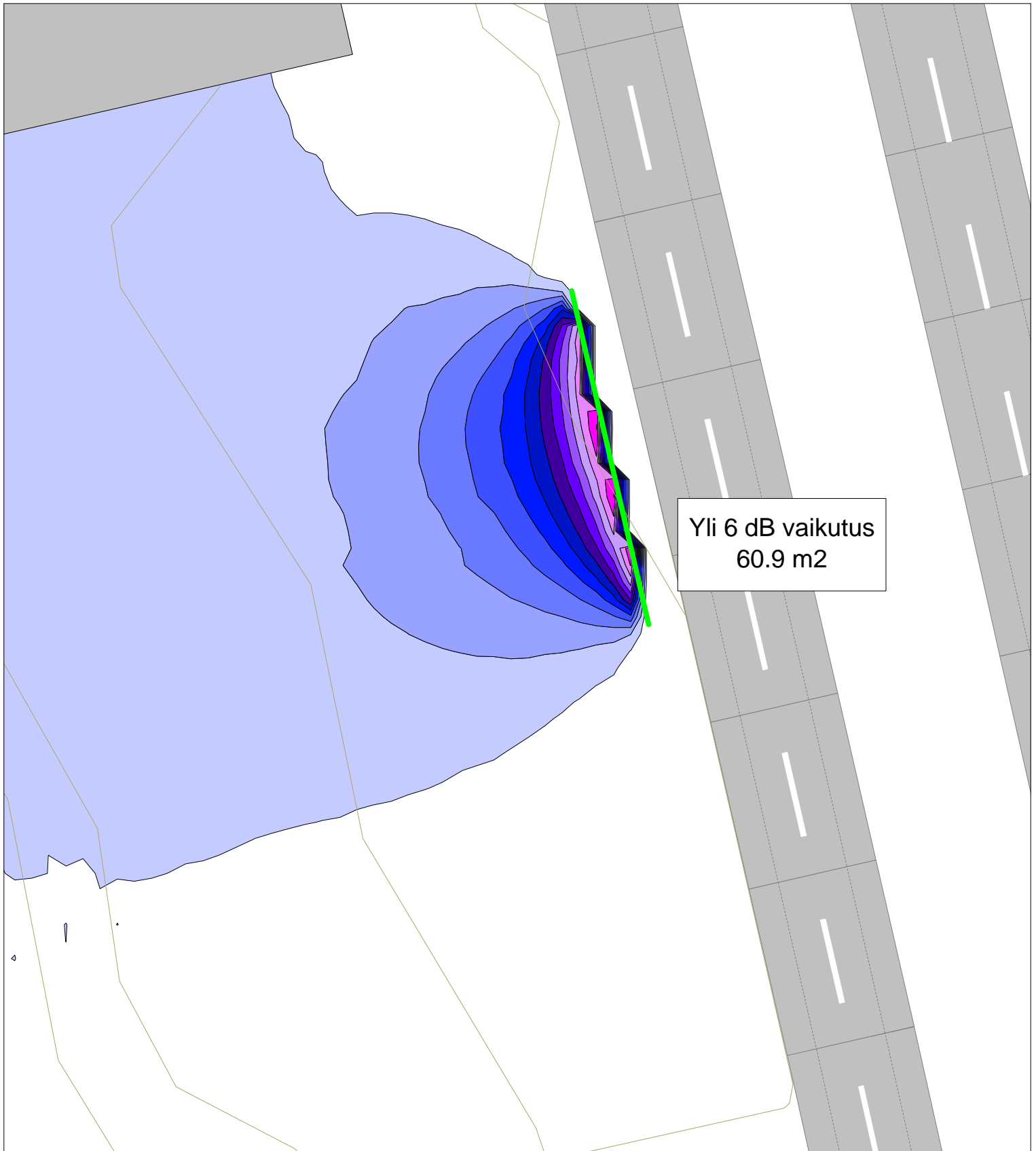


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:300 (A4)

WSP Finland Oy
9.12.2024



Yli 6 dB vaikutus
60.9 m²

Vehreät meluseinäkkeet
jatkoselvitys

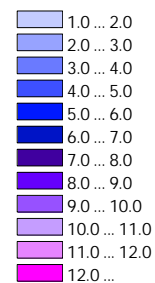
Meluseinäke:
- kokonaispituus 20 m
- korkeus 1,8 m

Tarkasteltava kohde:
koulun piha-alue

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
12 800 ajon./vrk

Melun vaimeneminen
[dB]

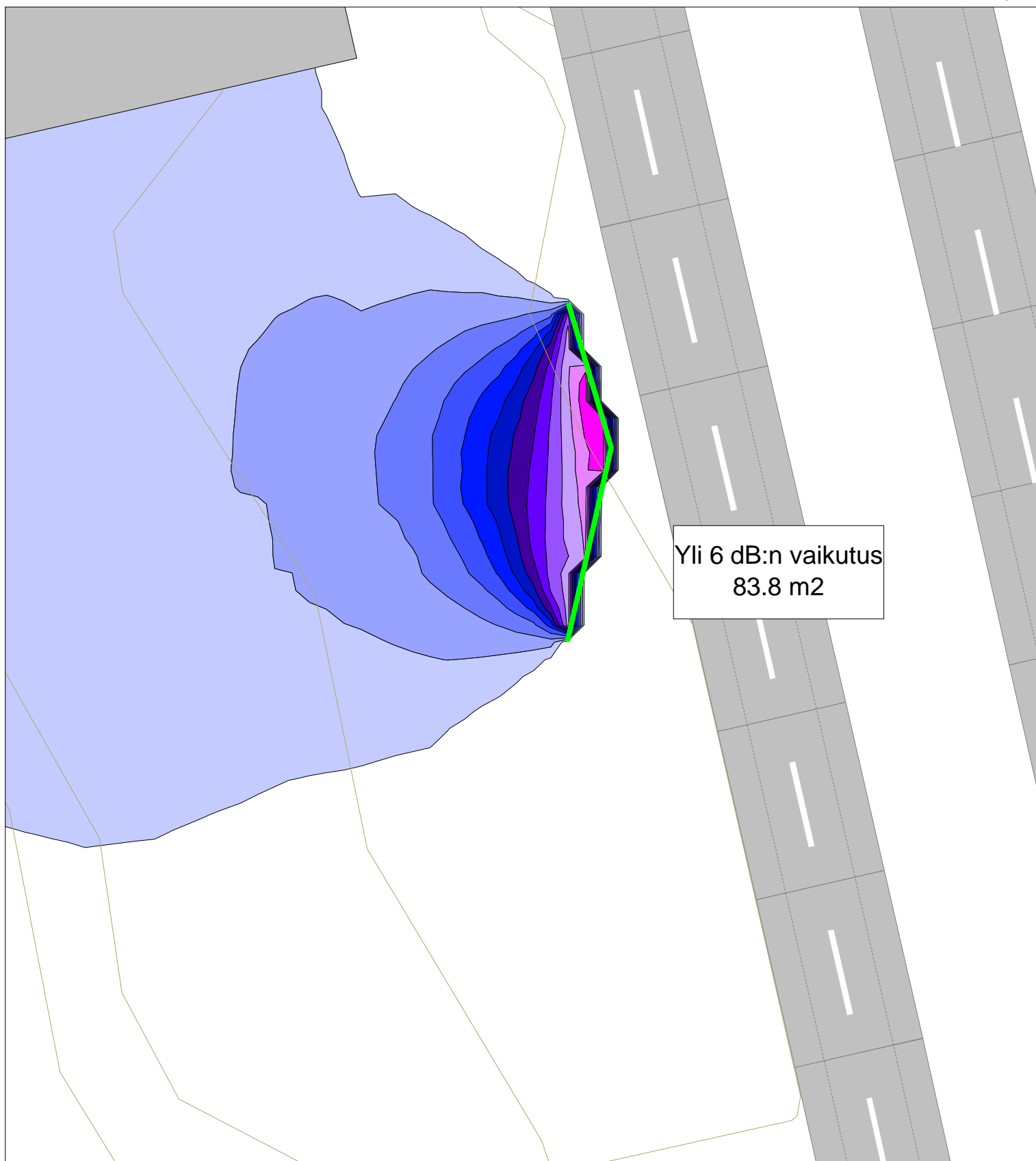


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:300 (A4)

WSP Finland Oy
9.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet
jatkoselvitys

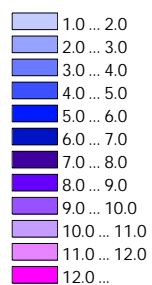
Meluseinäke:
- kokonaispituus 20 m
- korkeus 1,8 m

Tarkasteltava kohde:
koulun piha-alue

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
12 800 ajon./vrk

Melun vaimeneminen
[dB]

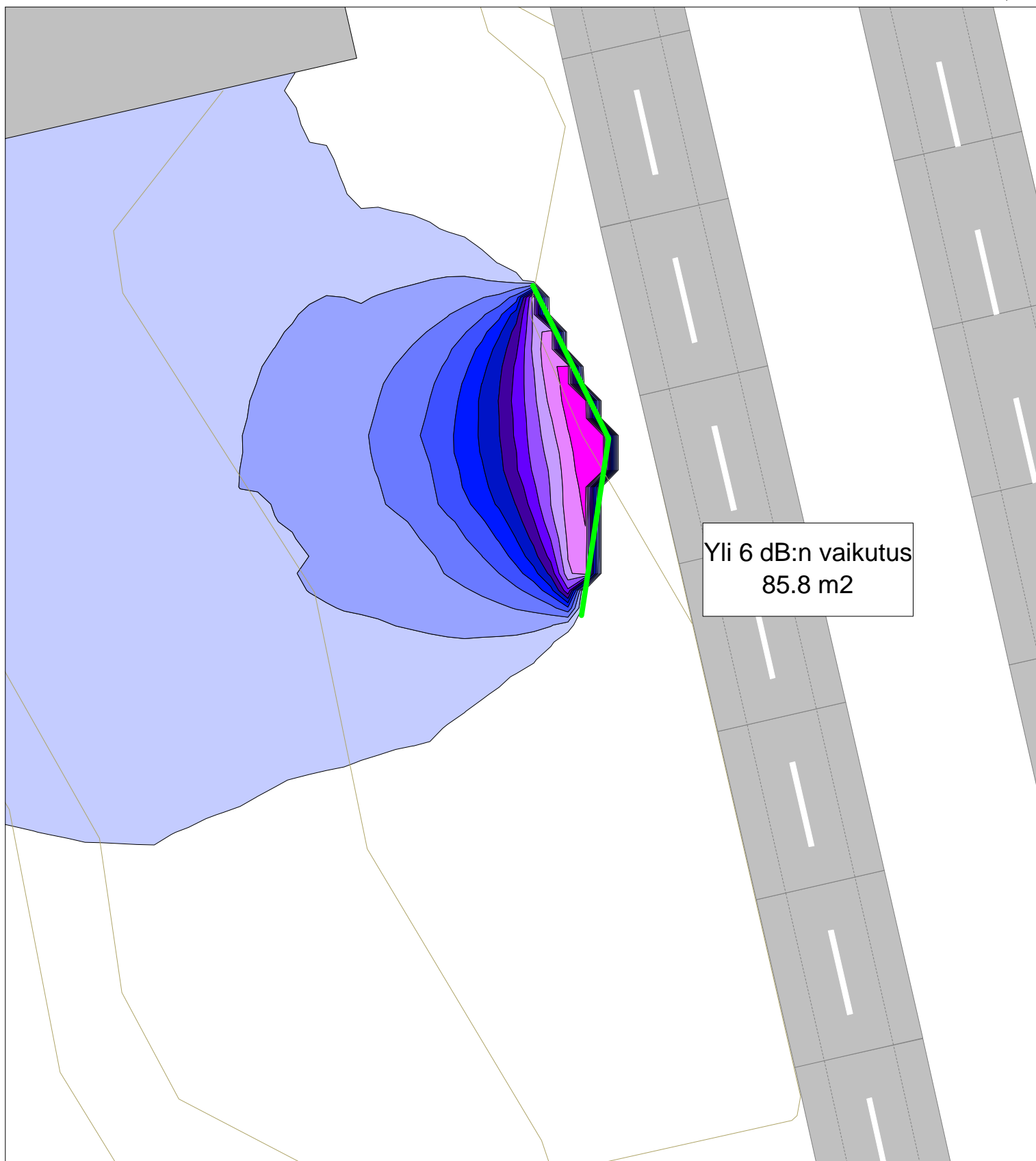


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:300 (A4)

WSP Finland Oy
9.12.2024



Yli 6 dB:n vaikutus
85.8 m²

Vehreät meluseinäkkeet
jatkoselvitys

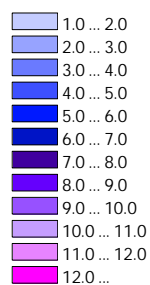
Meluseinäke:
- kokonaispituus 20 m
- korkeus 1,8 m

Tarkasteltava kohde:
koulun piha-alue

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
12 800 ajon./vrk

Melun vaimeneminen
[dB]

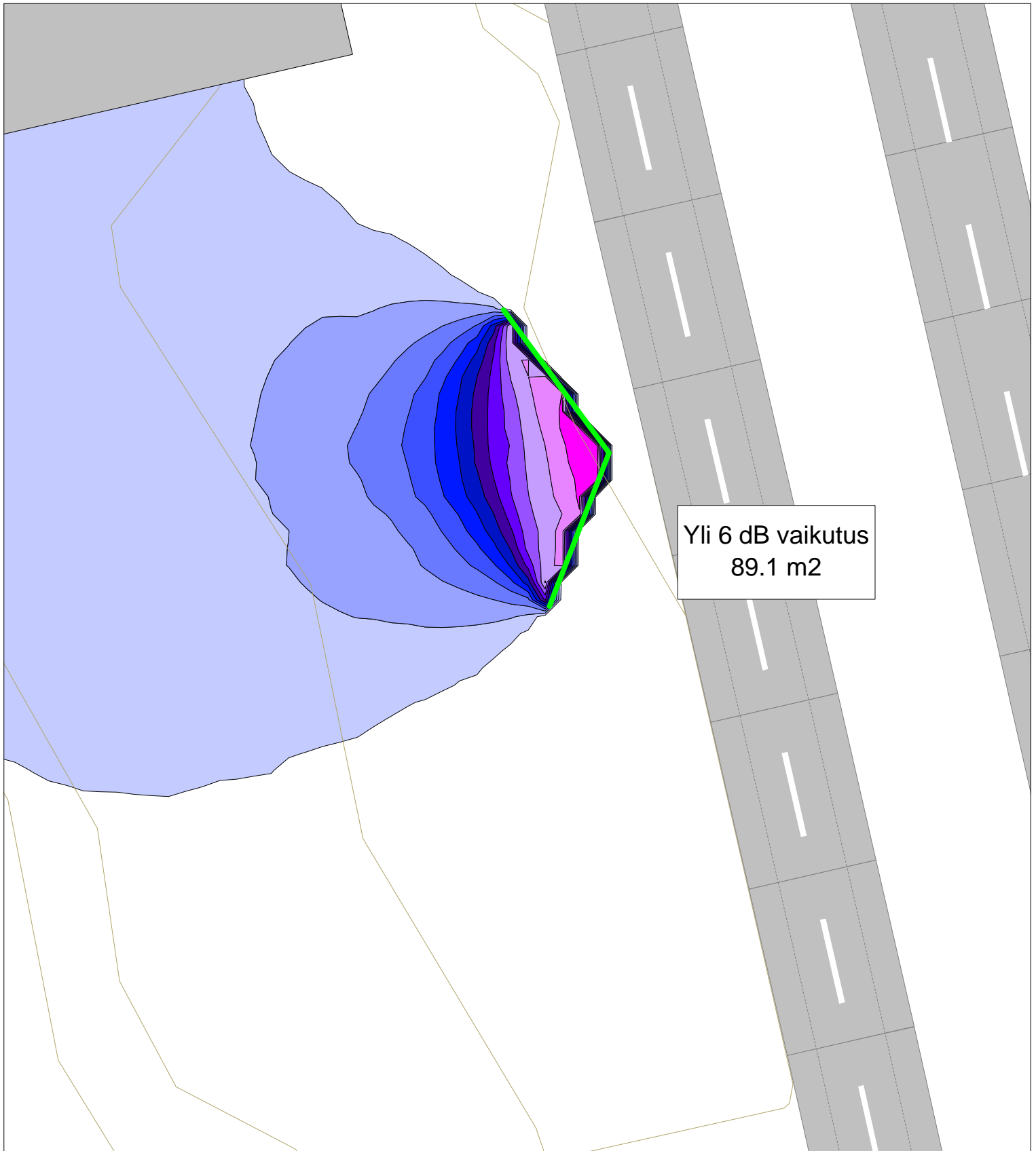


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:300 (A4)

WSP Finland Oy
9.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet
jatkoselvitys

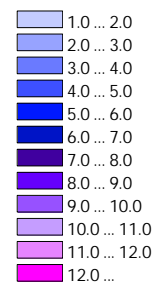
Meluseinäke:
- kokonaispituus 20 m
- korkeus 1,8 m

Tarkasteltava kohde:
koulun piha-alue

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
12 800 ajon./vrk

Melun vaimeneminen
[dB]



Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:300 (A4)

WSP Finland Oy
9.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet
jatkoselvitys

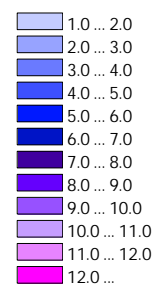
Meluseinäke:
- kokonaispituus 20 m
- korkeus 1,8 m

Tarkasteltava kohde:
koulun piha-alue

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
12 800 ajon./vrk

Melun vaimeneminen
[dB]

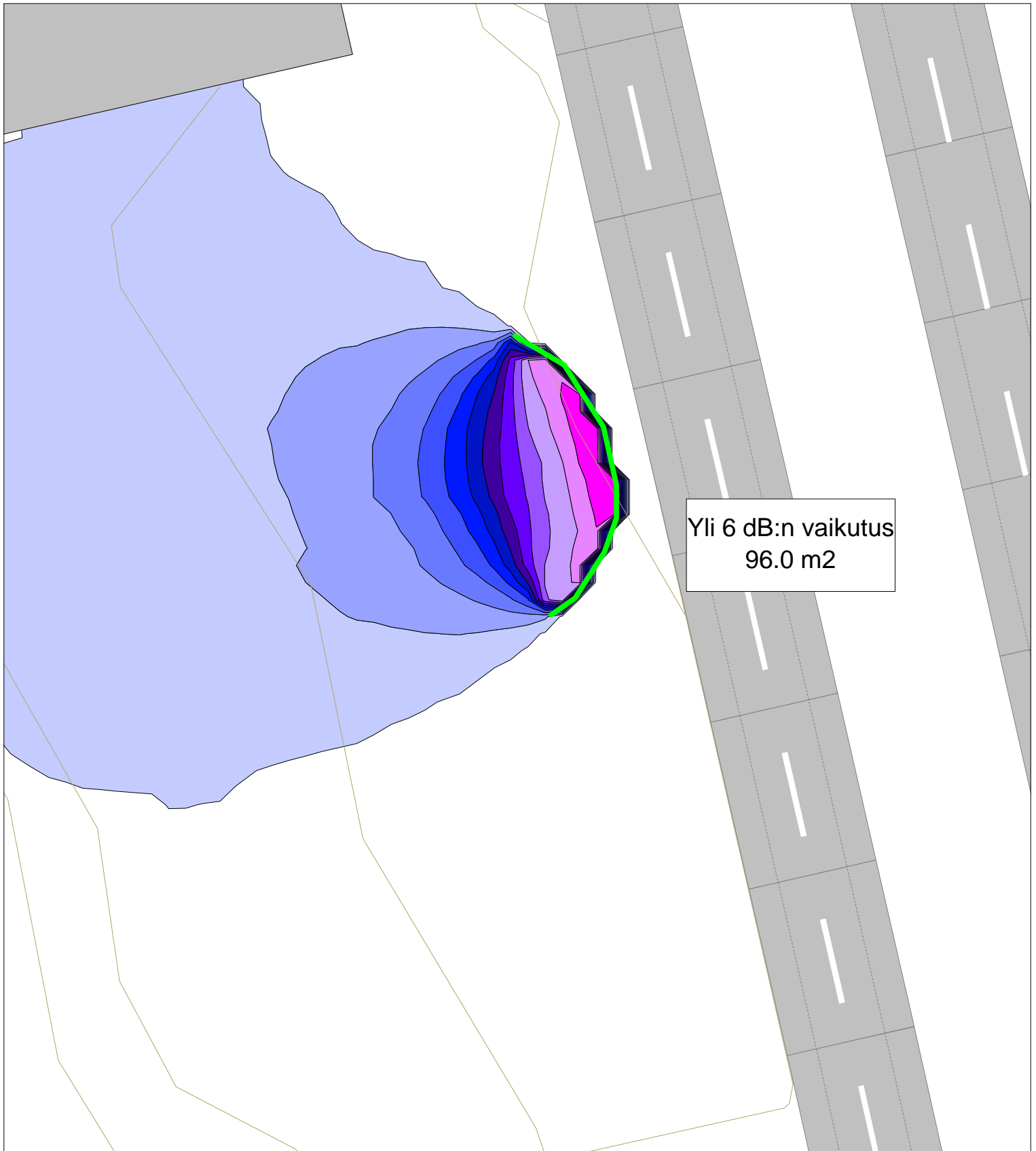


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:300 (A4)

WSP Finland Oy
9.12.2024



Yli 6 dB:n vaikutus
96.0 m²

Vehreät meluseinäkkeet
jatkoselvitys

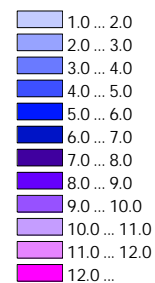
Meluseinäke:
- kokonaispituus 20 m
- korkeus 1,8 m

Tarkasteltava kohde:
koulun piha-alue

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
12 800 ajon./vrk

Melun vaimeneminen
[dB]

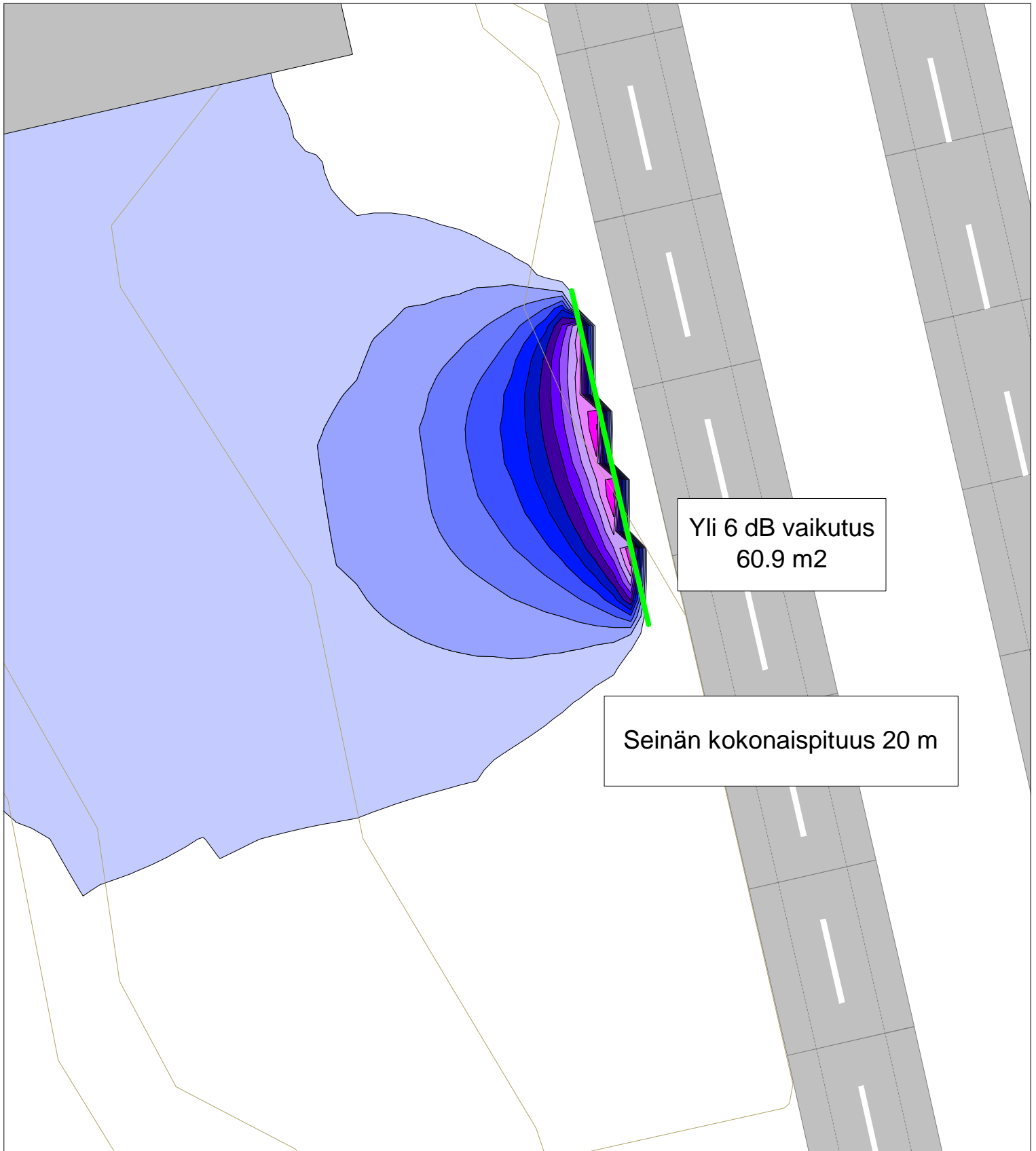


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:300 (A4)

WSP Finland Oy
9.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

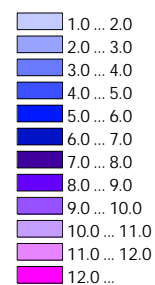
Meluseinäke:
- kokonaispituus 20 m
- korkeus 1,8 m

Tarkasteltava kohde:
koulun piha-alue

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
12 800 ajon./vrk

Melun vaimeneminen
[dB]

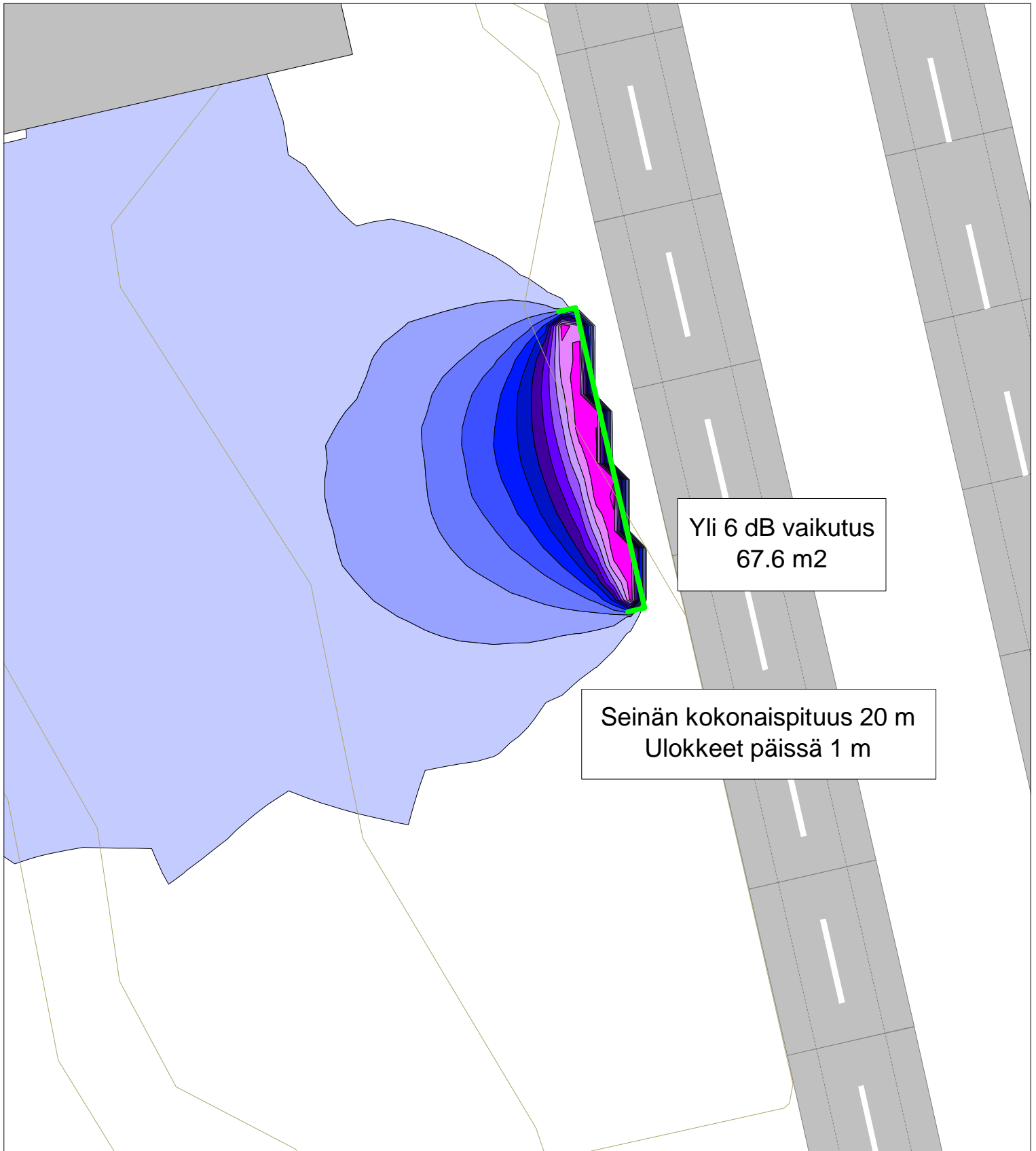


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:300 (A4)

WSP Finland Oy
11.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

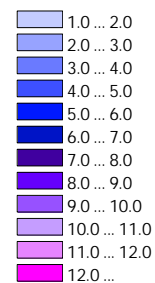
Meluseinäke:
- kokonaispituus 20 m
- korkeus 1,8 m

Tarkasteltava kohde:
koulun piha-alue

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
12 800 ajon./vrk

Melun vaimeneminen
[dB]

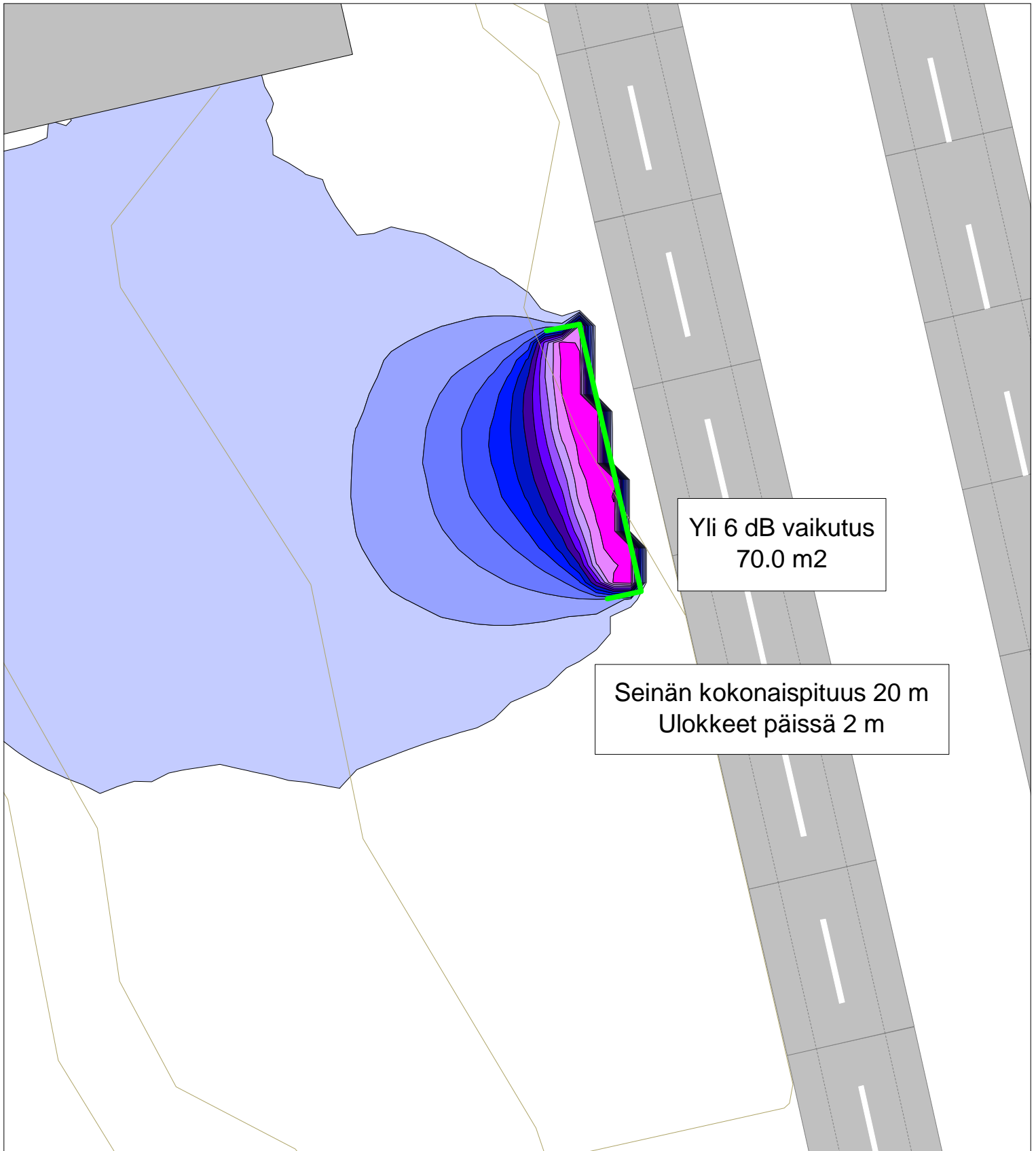


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:300 (A4)

WSP Finland Oy
11.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

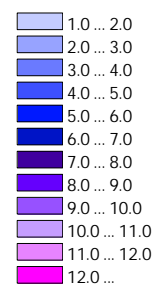
Meluseinäke:
- kokonaispituus 20 m
- korkeus 1,8 m

Tarkasteltava kohde:
koulun piha-alue

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
12 800 ajon./vrk

Melun vaimeneminen
[dB]

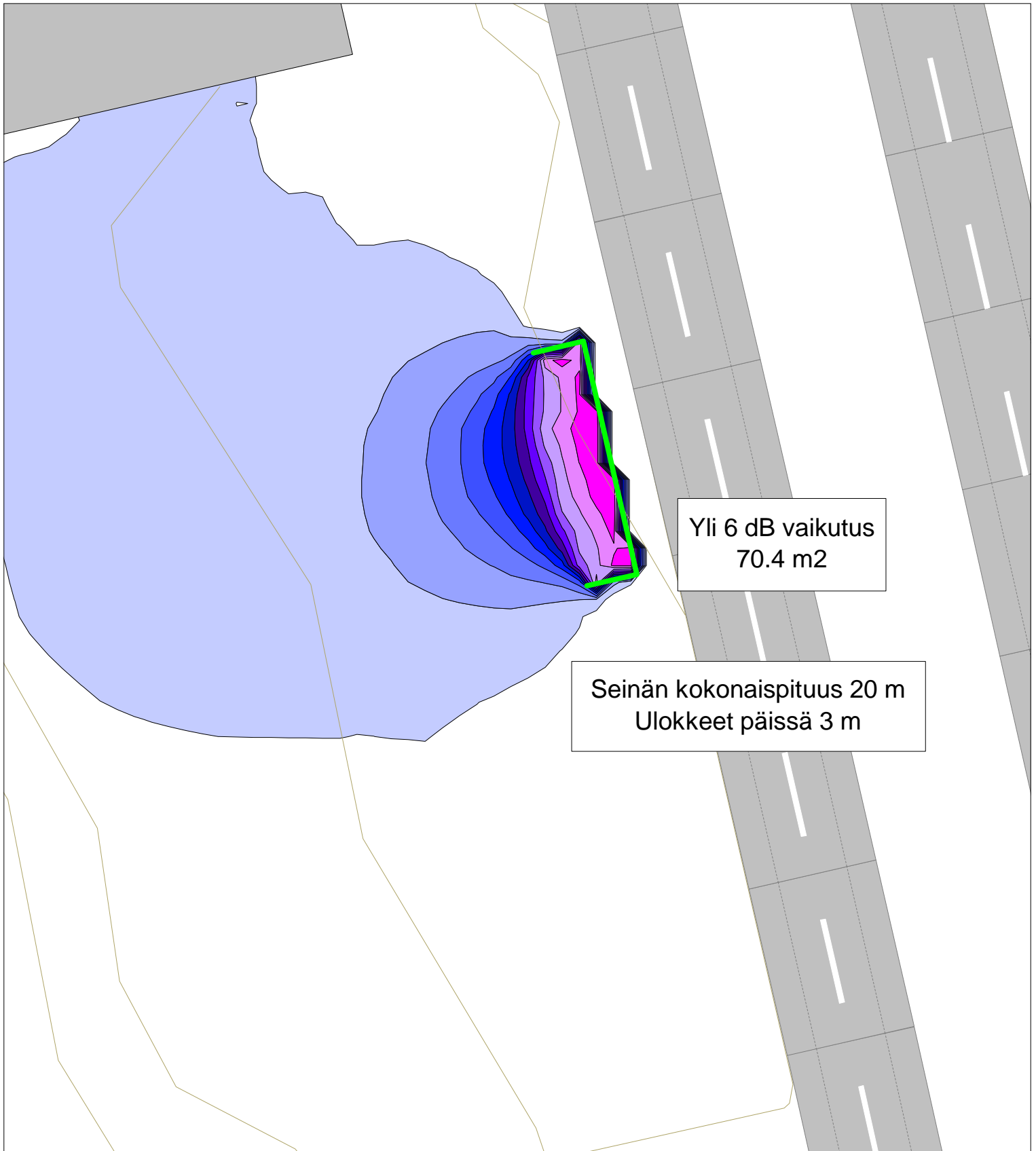


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:300 (A4)

WSP Finland Oy
11.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

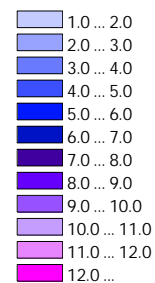
Meluseinäke:
- kokonaispituus 20 m
- korkeus 1,8 m

Tarkasteltava kohde:
koulun piha-alue

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
12 800 ajon./vrk

Melun vaimeneminen
[dB]

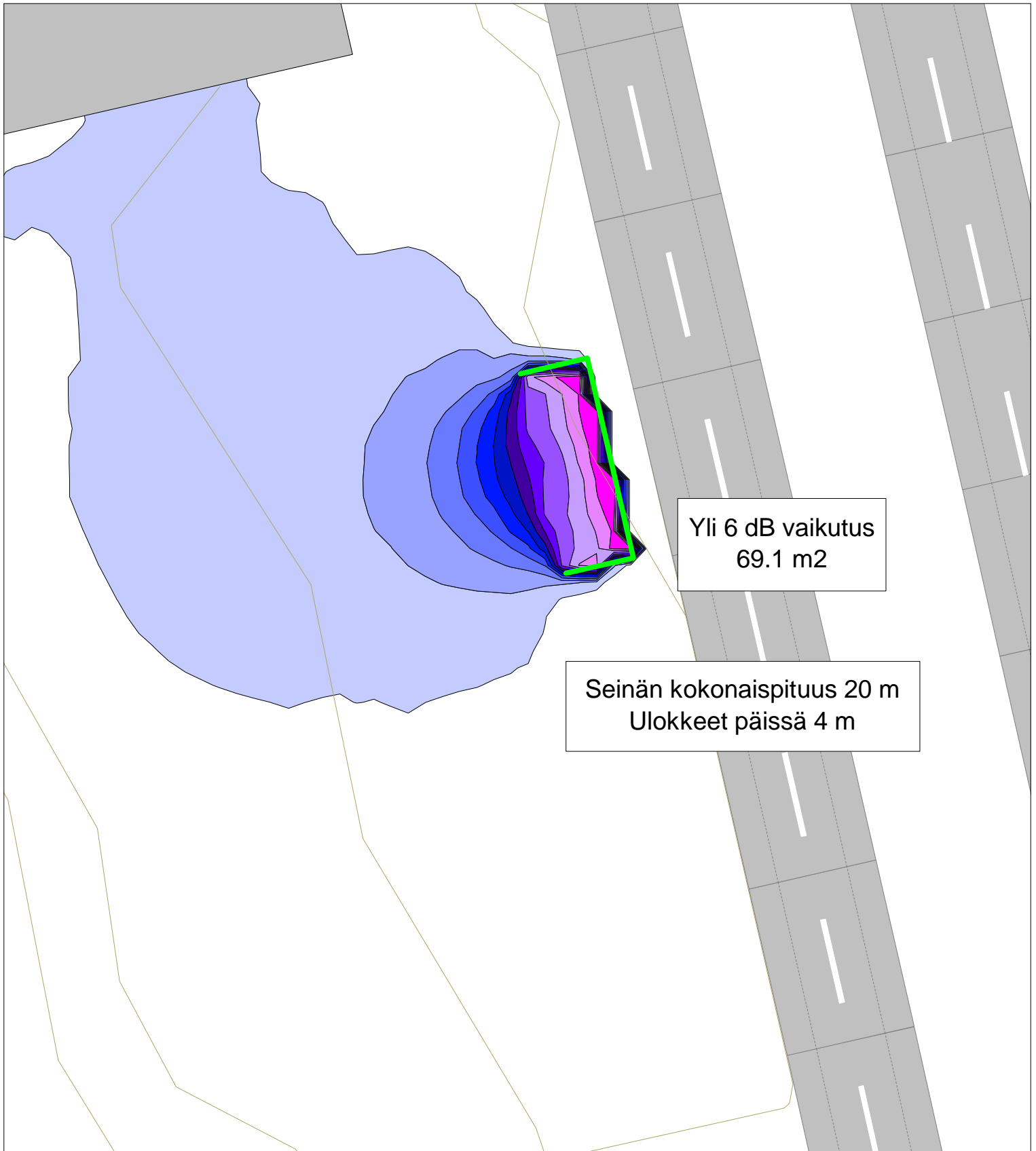


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:300 (A4)

WSP Finland Oy
11.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

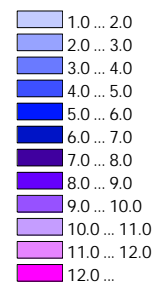
Meluseinäke:
- kokonaispituus 20 m
- korkeus 1,8 m

Tarkasteltava kohde:
koulun piha-alue

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
12 800 ajon./vrk

Melun vaimeneminen
[dB]

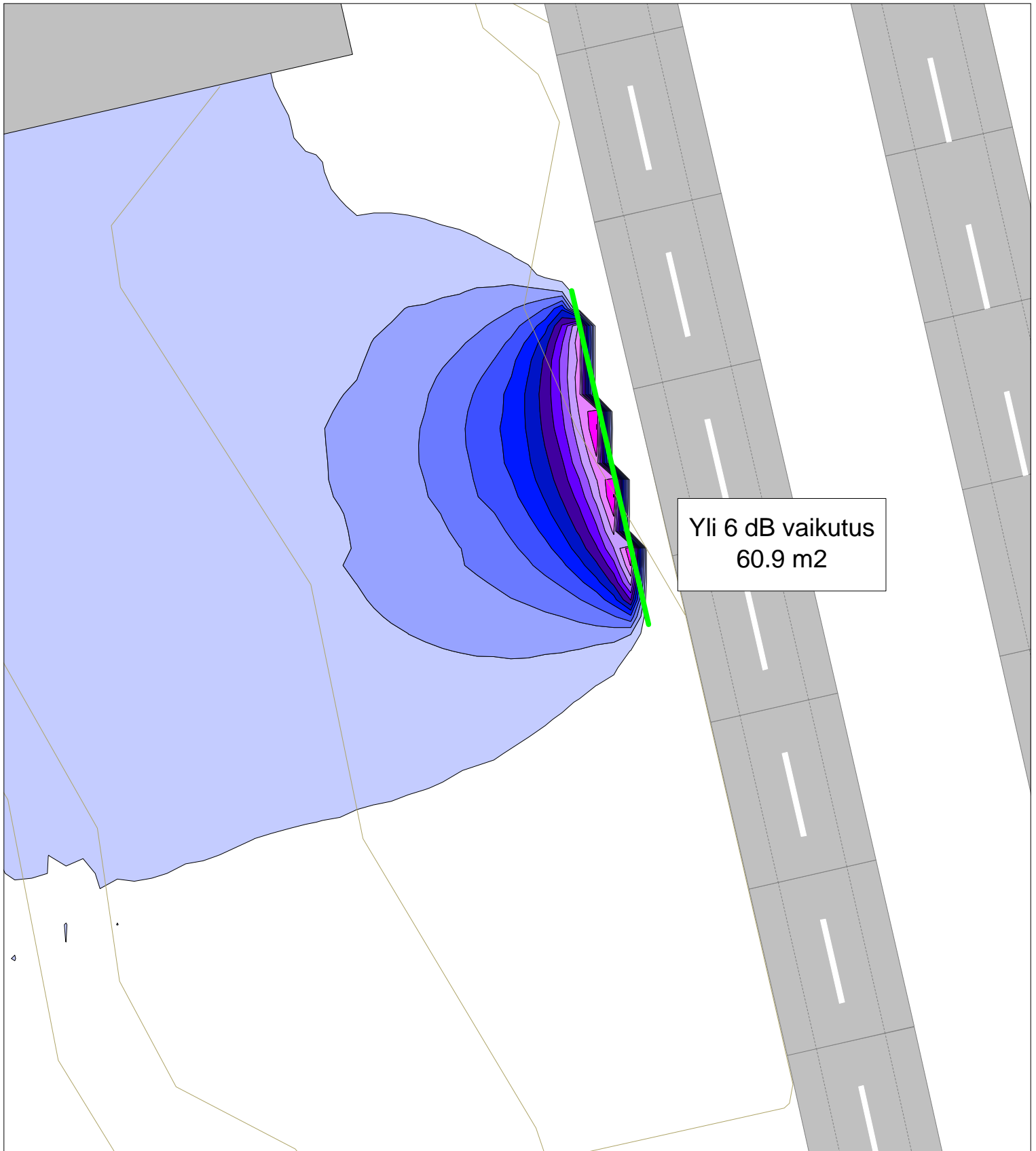


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:300 (A4)

WSP Finland Oy
11.12.2024



Yli 6 dB vaikutus
60.9 m²

Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

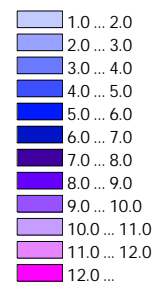
Meluseinäke:
- kokonaispituus 20 m
- korkeus 1,8 m

Tarkasteltava kohde:
koulun piha-alue

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
12 800 ajon./vrk

Melun vaimeneminen
[dB]

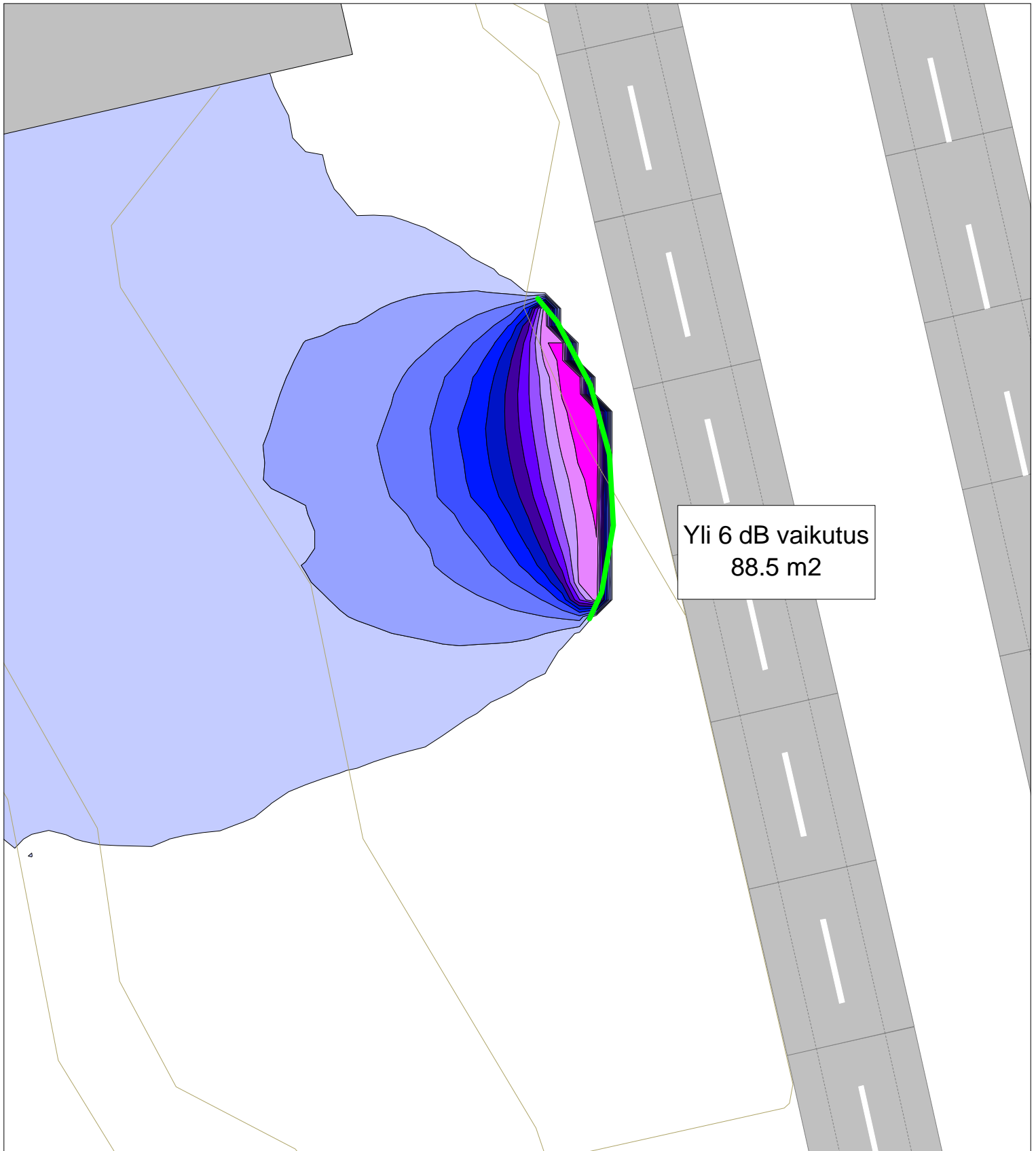


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:300 (A4)

WSP Finland Oy
11.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

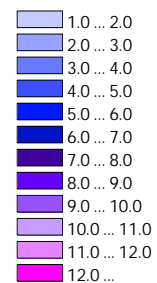
Meluseinäke:
- kokonaispituus 20 m
- korkeus 1,8 m

Tarkasteltava kohde:
koulun piha-alue

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
12 800 ajon./vrk

Melun vaimeneminen
[dB]

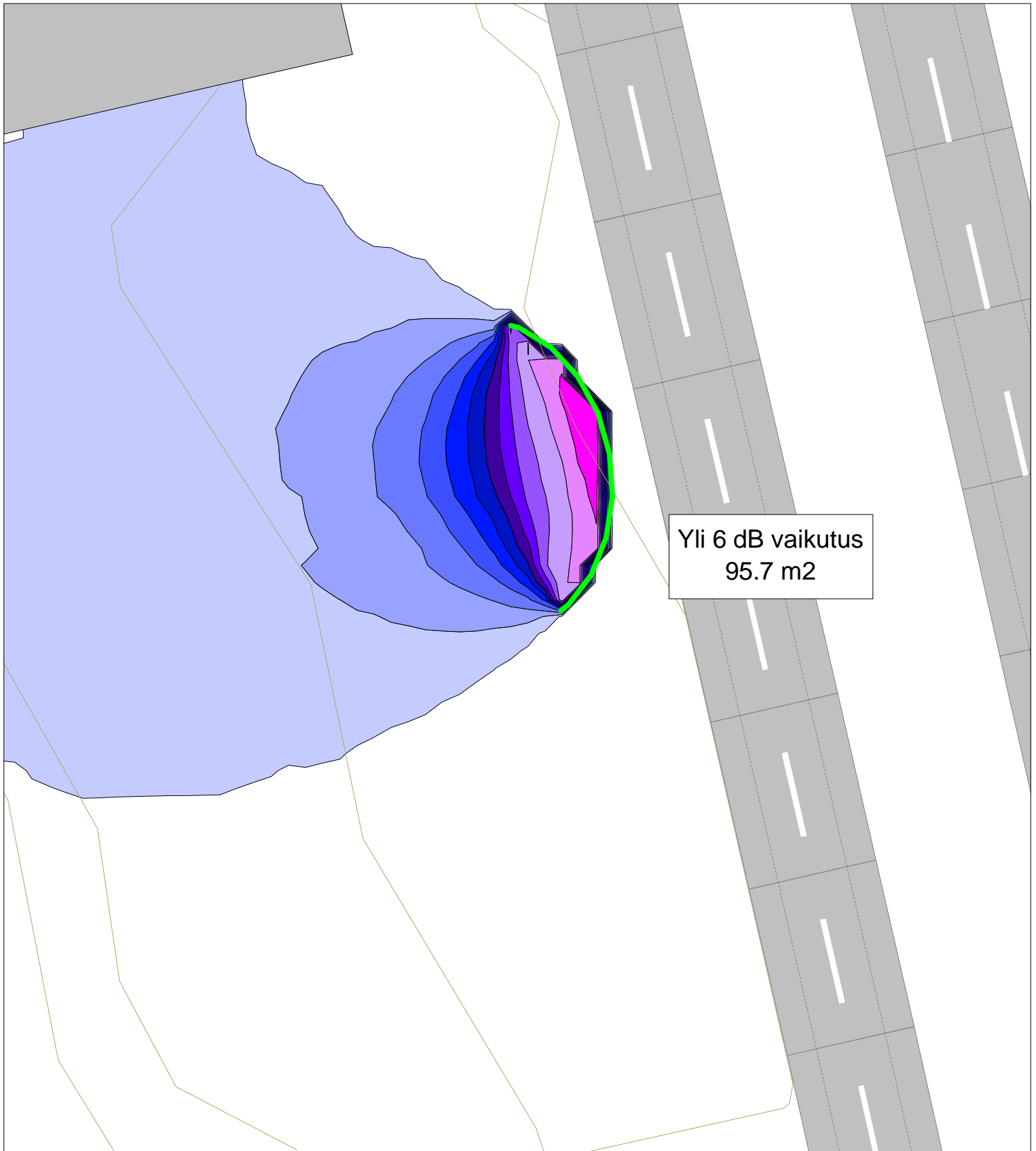


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:300 (A4)

WSP Finland Oy
11.12.2024



Yli 6 dB vaikutus
95.7 m²

Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

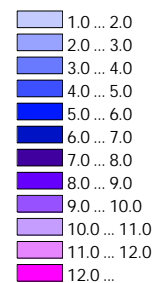
Meluseinäke:
- kokonaispituus 20 m
- korkeus 1,8 m

Tarkasteltava kohde:
koulun piha-alue

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
12 800 ajon./vrk

Melun vaimeneminen
[dB]

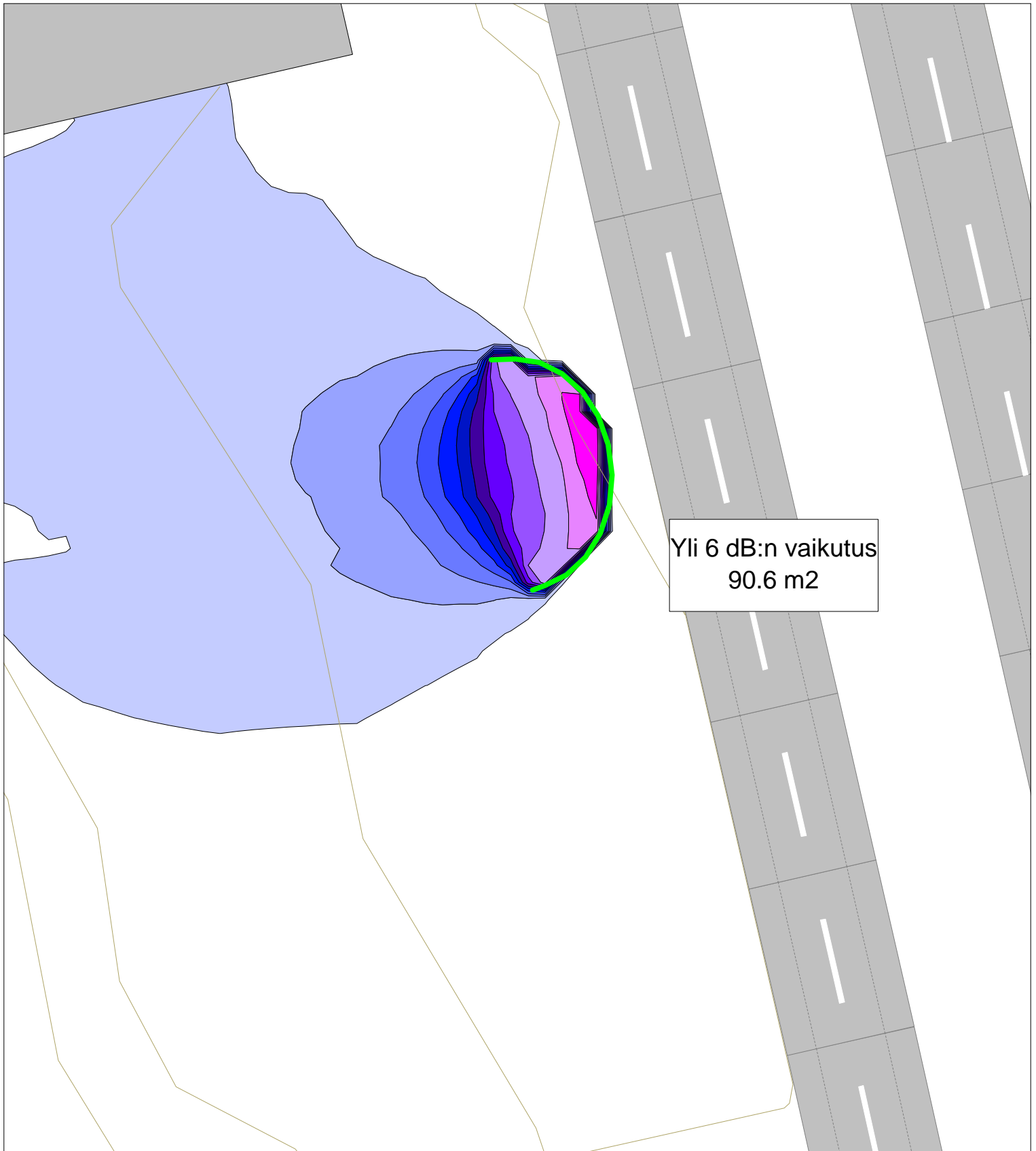


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:300 (A4)

WSP Finland Oy
11.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

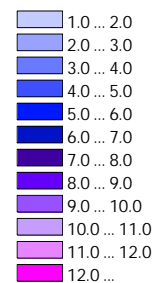
Meluseinäke:
- kokonaispituus 20 m
- korkeus 1,8 m

Tarkasteltava kohde:
koulun piha-alue

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
12 800 ajon./vrk

Melun vaimeneminen
[dB]




Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m

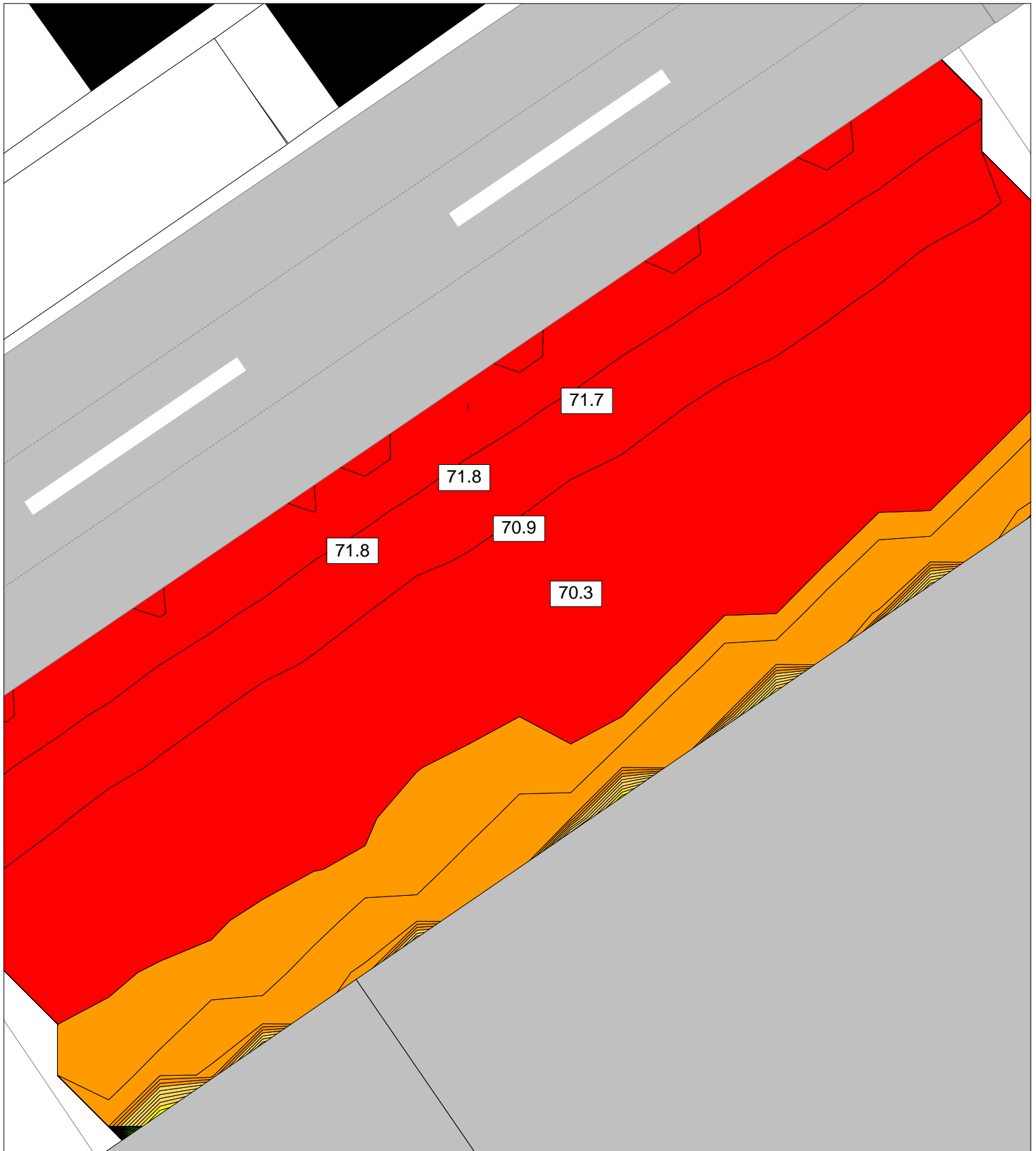


Mittakaava: 1:300 (A4)

WSP Finland Oy
11.12.2024



<p>Vehreät meluseinäkkeet, jatkoselvitys</p> <p>Lähtötilanne ilman meluseinäkettä</p> <p>Tarkasteltava kohde: katutila</p> <p>Vieressä rakennuksen julkisivu</p>	<p>Melulähde: tie- ja raitiovaunuliikenne yhdellä suunnalla</p> <p>Tieliikenne: 6 000 ajon./vrk (40 km/h)</p> <p>Raitiovaunuliikenne: Päivällä 350 vaunua, à 27 m (40 km/h)</p>	<p>Päiväajan keskiäänitaso LAeq07-22 [dB]</p> <ul style="list-style-type: none"> > 45.0 dB > 50.0 dB > 55.0 dB > 60.0 dB > 65.0 dB > 70.0 dB > 75.0 dB 	<p>Pohjoismainen tie- ja raideliikennemelumalli: laskentakorkeus 1.2 m laskentatiheys 1 x 1 m</p>  <p>Mittakaava: 1:500 (A4)</p> <p>WSP Finland Oy 11.12.2024</p>
--	---	---	--



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

Lähtötilanne
ilman meluseinäkettä

Tarkasteltava kohde:
katutila

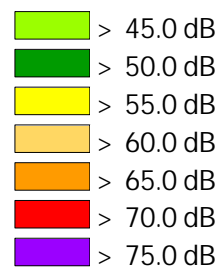
Vieressä rakennuksen julkisivu

Melulähde:
tie- ja raitiovaunuliikenne
yhdellä suunnalla

Tieliikenne:
6 000 ajon./vrk (40 km/h)

Raitiovaunuliikenne:
Päivällä 350 vaunua, à 27 m
(40 km/h)

Päiväajan keskiäänitaso
LAeq07-22 [dB]

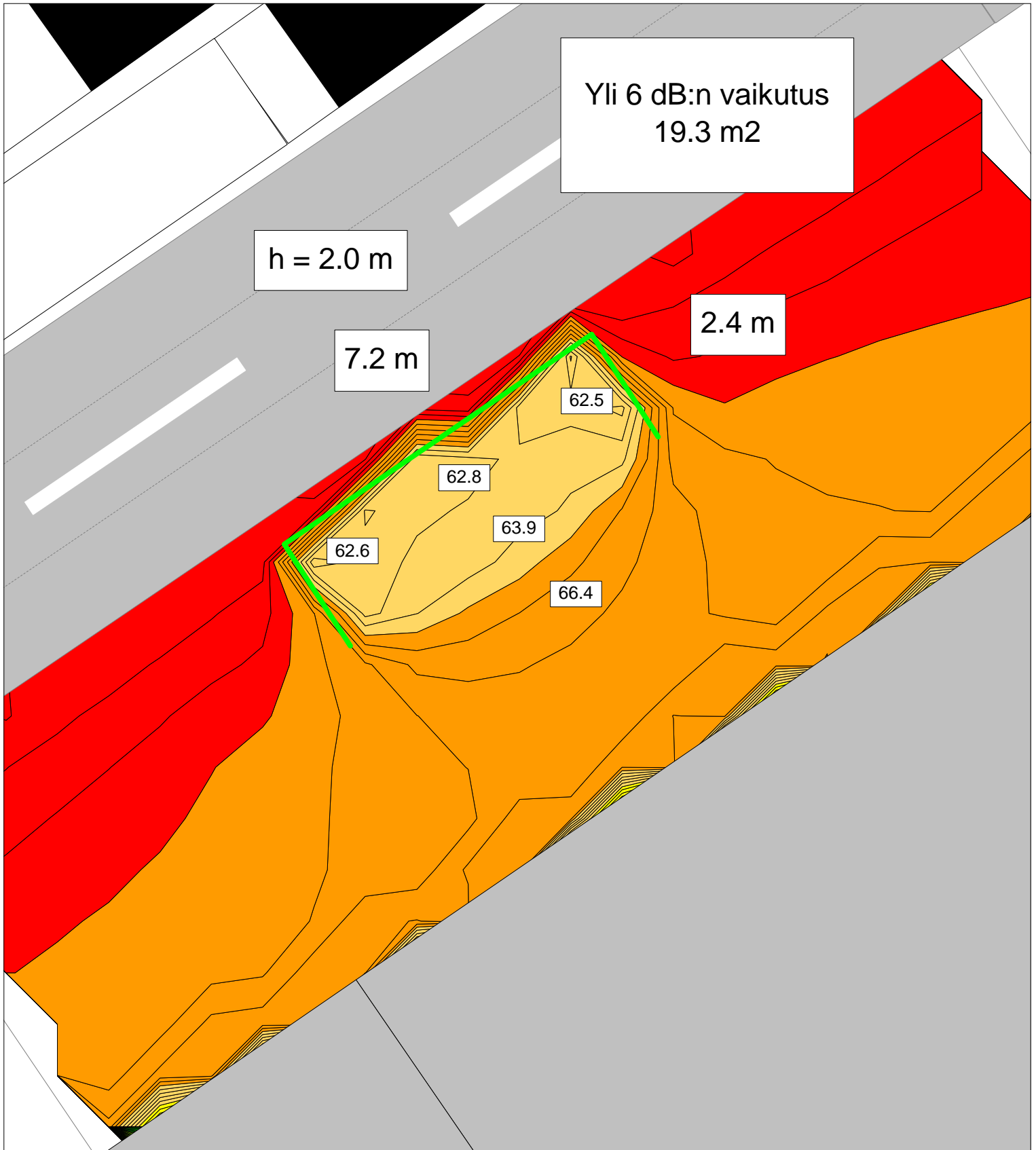


Pohjoismainen
tie- ja raitieliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m

wsp

Mittakaava: 1:100 (A4)

WSP Finland Oy
11.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

Meluseinäkkeen korkeuden
ja muodon vaikutus
katutilassa.

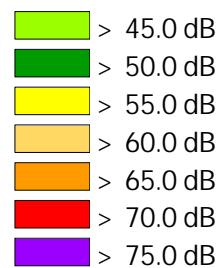
Vieressä rakennuksen julkisivu.

Melulähde:
tie- ja raitiovaunuliikenne
yhdellä suunnalla

Tieliikenne:
6 000 ajon./vrk (40 km/h)

Raitiovaunuliikenne:
Päivällä 350 vaunua, à 27 m
(40 km/h)

Päiväajan keskiäänitaso
LAeq07-22 [dB]

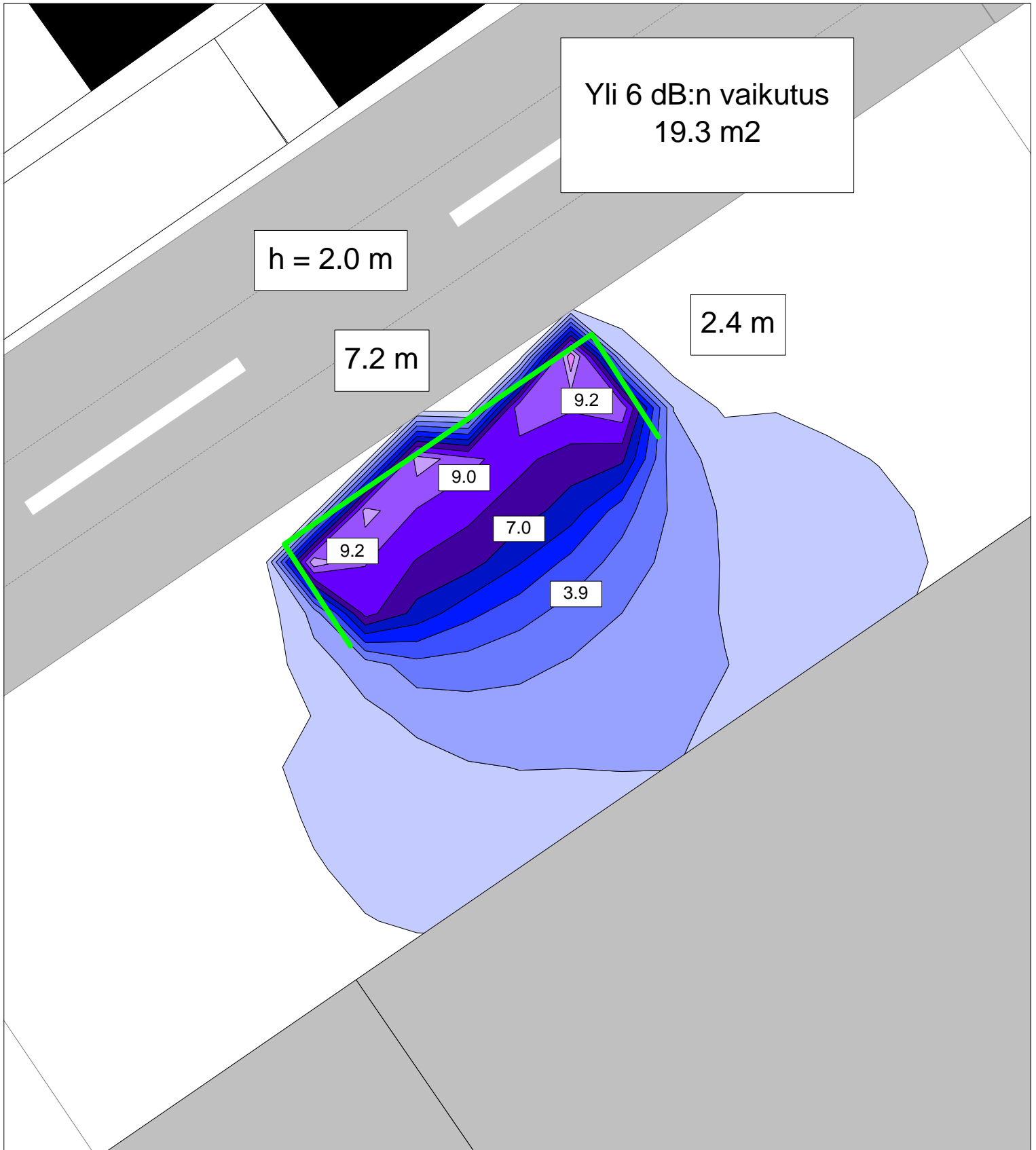


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m

wsp

Mittakaava: 1:100 (A4)

WSP Finland Oy
11.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

Meluseinäkkeen korkeuden
ja muodon vaikutus
katutilassa.

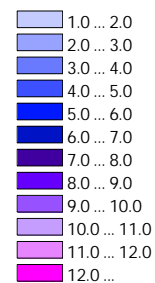
Vieressä rakennuksen julkisivu.

Melulähde:
tie- ja raitiovaunuliikenne
yhdellä suunnalla

Tieliikenne:
6 000 ajon./vrk (40 km/h)

Raitiovaunuliikenne:
Päivällä 350 vaunua, à 27 m
(40 km/h)

Melun vaimeneminen
[dB]

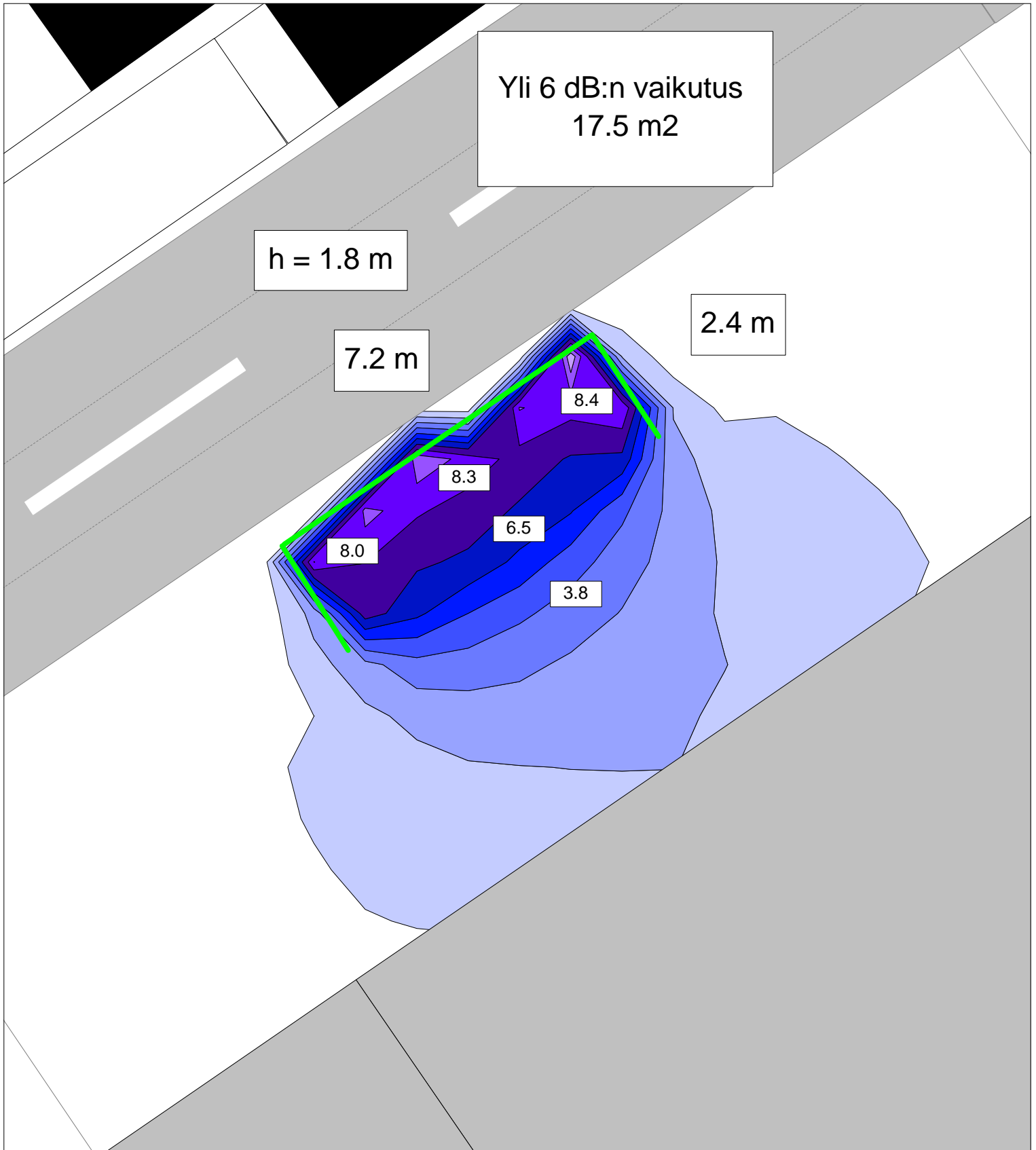


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:100 (A4)

WSP Finland Oy
11.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

Meluseinäkkeen korkeuden
ja muodon vaikutus
katutilassa.

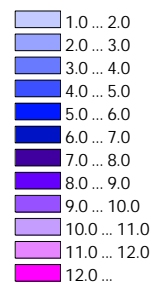
Vieressä rakennuksen julkisivu.

Melulähde:
tie- ja raitiovaunuliikenne
yhdellä suunnalla

Tieliikenne:
6 000 ajon./vrk (40 km/h)

Raitiovaunuliikenne:
Päivällä 350 vaunua, à 27 m
(40 km/h)

Melun vaimeneminen
[dB]

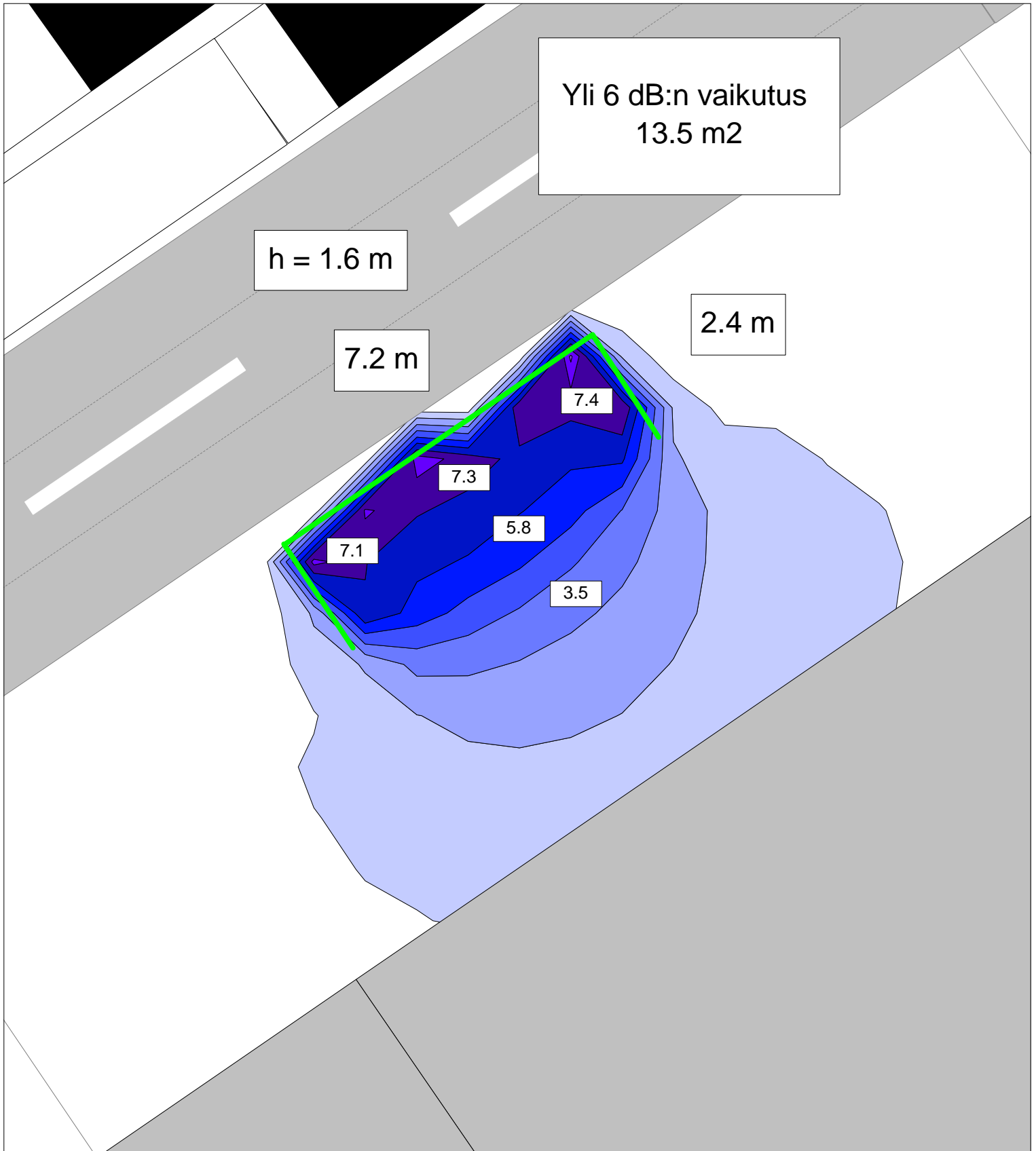


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:100 (A4)

WSP Finland Oy
11.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

Meluseinäkkeen korkeuden
ja muodon vaikutus
katutilassa.

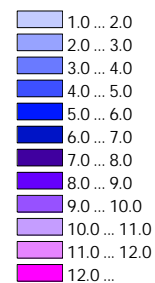
Vieressä rakennuksen julkisivu.

Melulähde:
tie- ja raitiovaunuliikenne
yhdellä suunnalla

Tieliikenne:
6 000 ajon./vrk (40 km/h)

Raitiovaunuliikenne:
Päivällä 350 vaunua, à 27 m
(40 km/h)

Melun vaimeneminen
[dB]

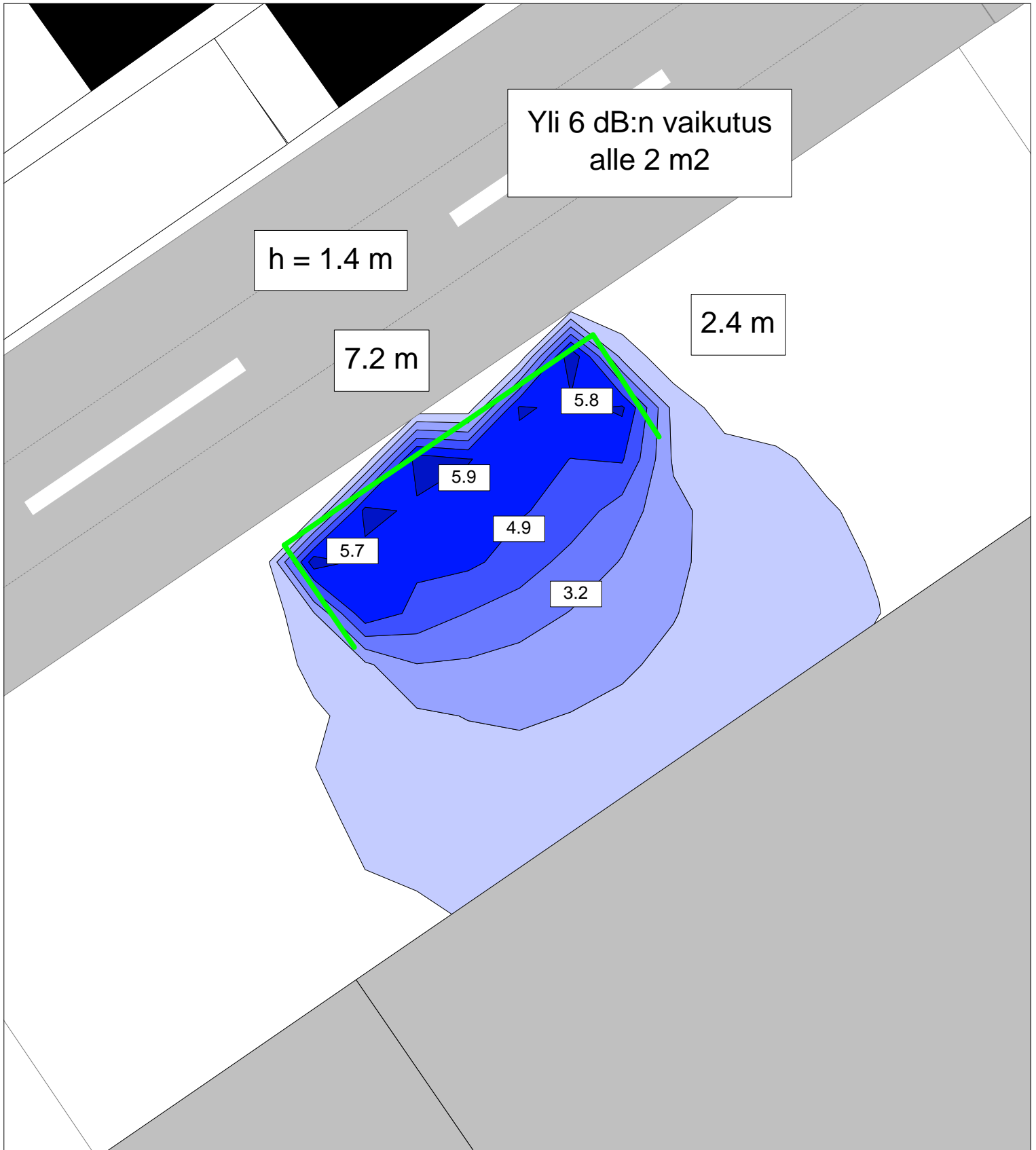


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:100 (A4)

WSP Finland Oy
11.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

Meluseinäkkeen korkeuden
ja muodon vaikutus
katutilassa.

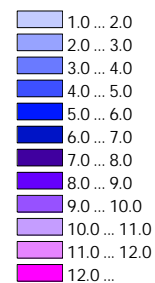
Vieressä rakennuksen julkisivu.

Melulähde:
tie- ja raitiovaunuliikenne
yhdellä suunnalla

Tieliikenne:
6 000 ajon./vrk (40 km/h)

Raitiovaunuliikenne:
Päivällä 350 vaunua, à 27 m
(40 km/h)

Melun vaimeneminen
[dB]

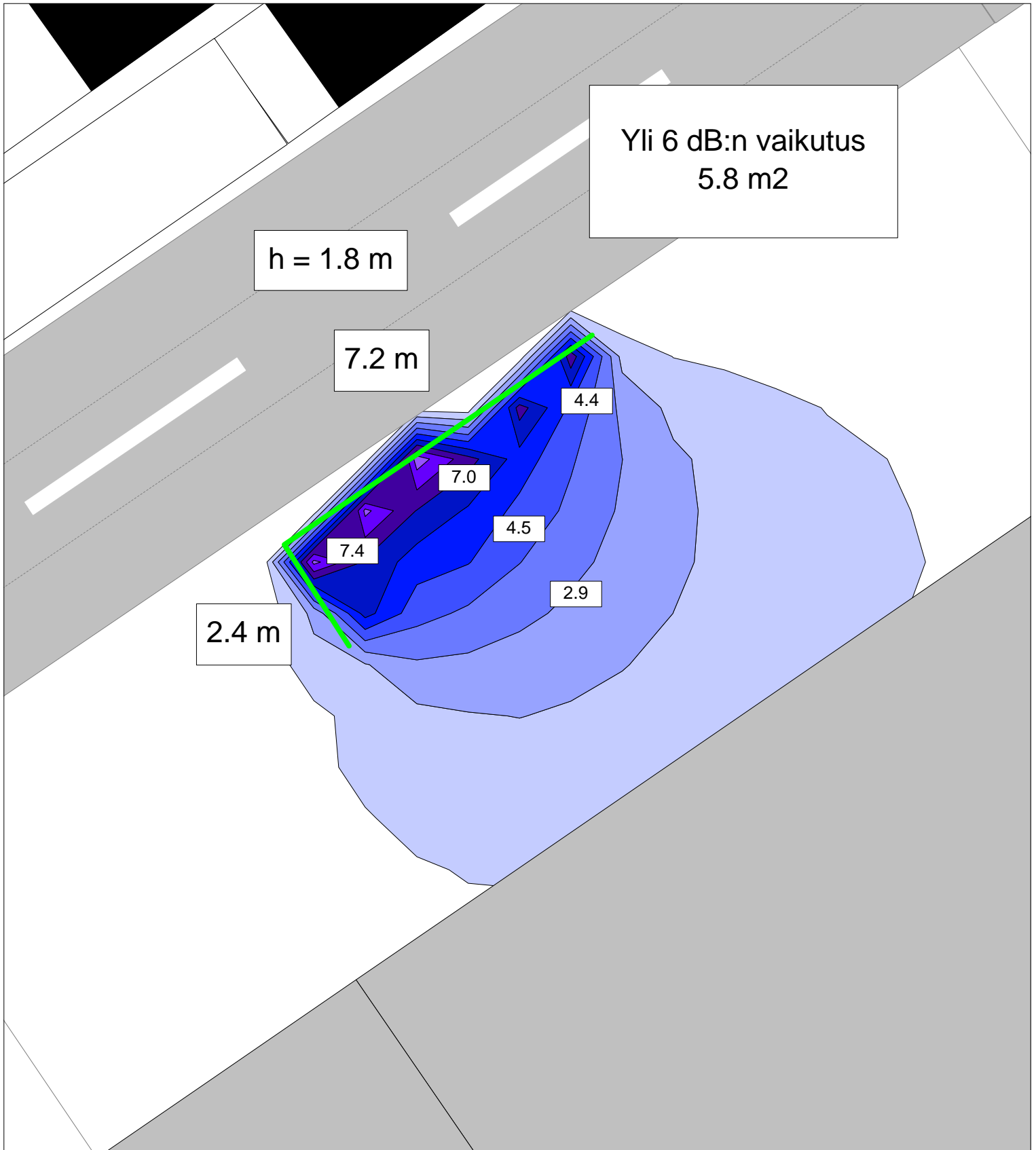


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:100 (A4)

WSP Finland Oy
11.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

Meluseinäkkeen korkeuden
ja muodon vaikutus
katutilassa.

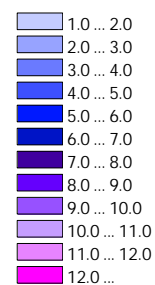
Vieressä rakennuksen julkisivu.

Melulähde:
tie- ja raitiovaunuliikenne
yhdellä suunnalla

Tieliikenne:
6 000 ajon./vrk (40 km/h)

Raitiovaunuliikenne:
Päivällä 350 vaunua, à 27 m
(40 km/h)

Melun vaimeneminen
[dB]

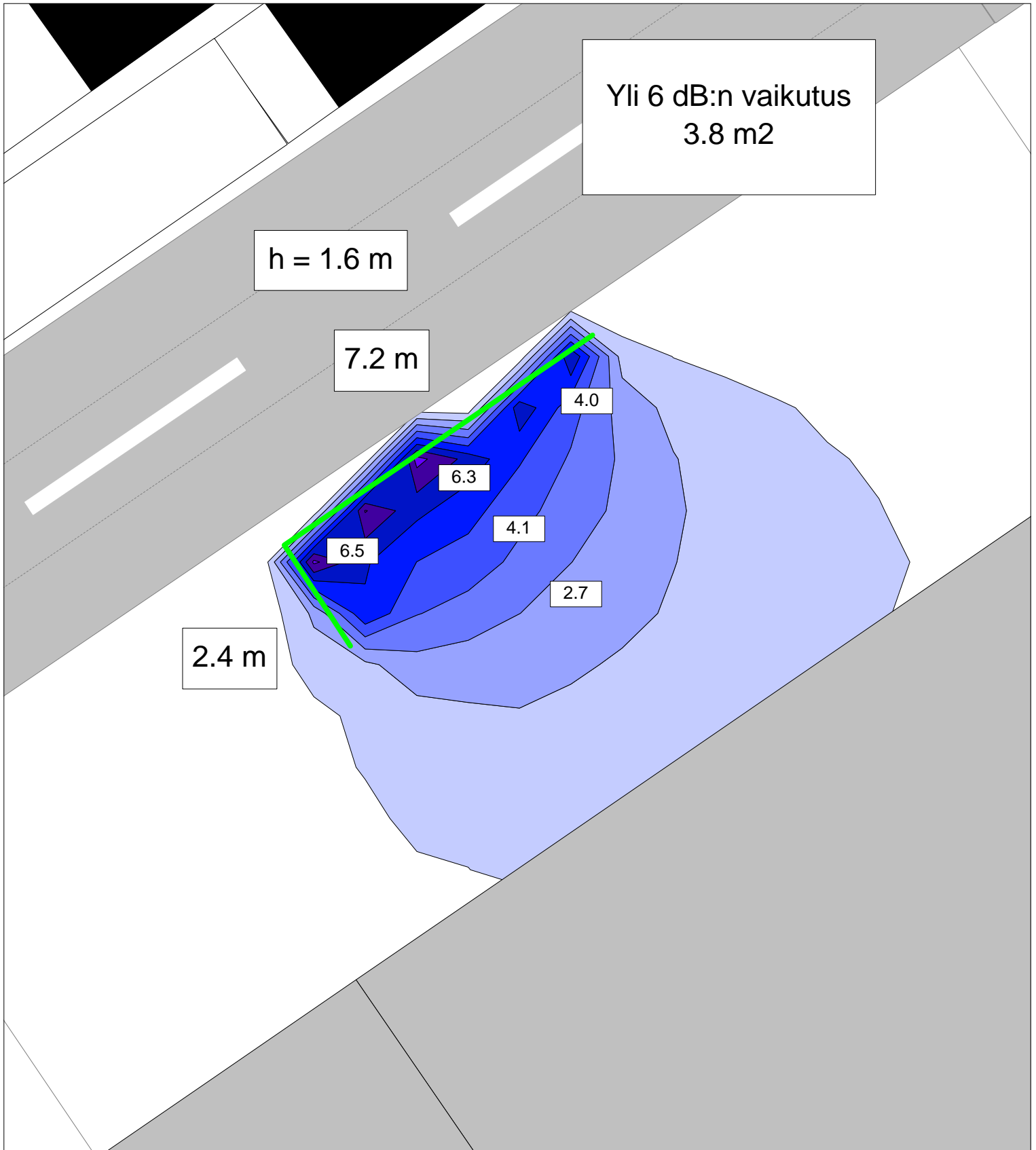


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:100 (A4)

WSP Finland Oy
11.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

Meluseinäkkeen korkeuden
ja muodon vaikutus
katutilassa.

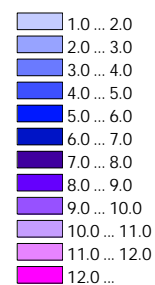
Vieressä rakennuksen julkisivu.

Melulähde:
tie- ja raitiovaunuliikenne
yhdellä suunnalla

Tieliikenne:
6 000 ajon./vrk (40 km/h)

Raitiovaunuliikenne:
Päivällä 350 vaunua, à 27 m
(40 km/h)

Melun vaimeneminen
[dB]

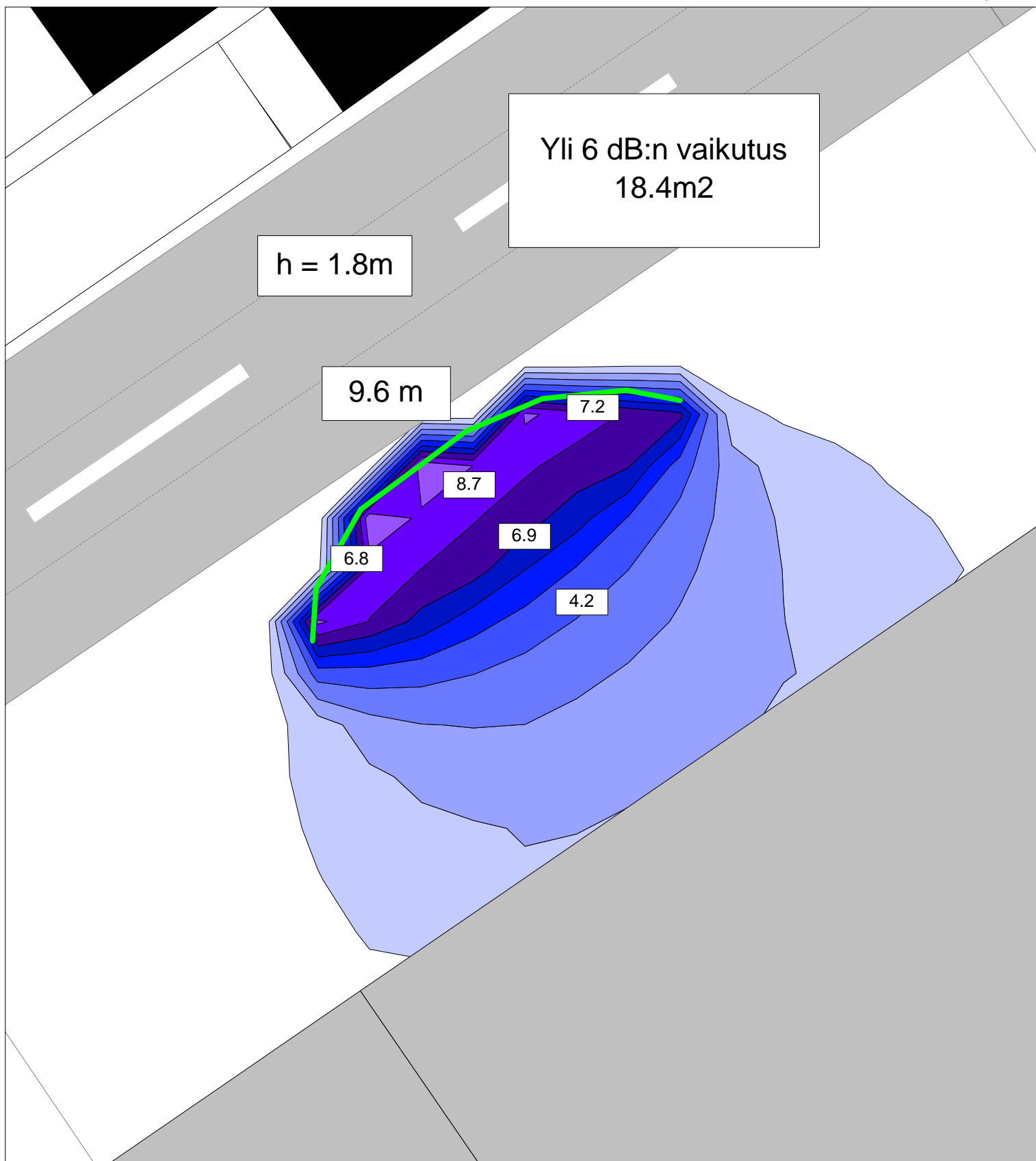


Pohjoismainen
tie- ja raitieliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:100 (A4)

WSP Finland Oy
11.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

Meluseinäkkeen korkeuden
ja muodon vaikutus
katutilassa.

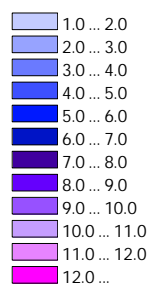
Vieressä rakennuksen julkisivu.

Melulähde:
tie- ja raitiovaunuliikenne
yhdellä suunnalla

Tieliikenne:
6 000 ajon./vrk (40 km/h)

Raitiovaunuliikenne:
Päivällä 350 vaunua, à 27 m
(40 km/h)

Melun vaimeneminen
[dB]

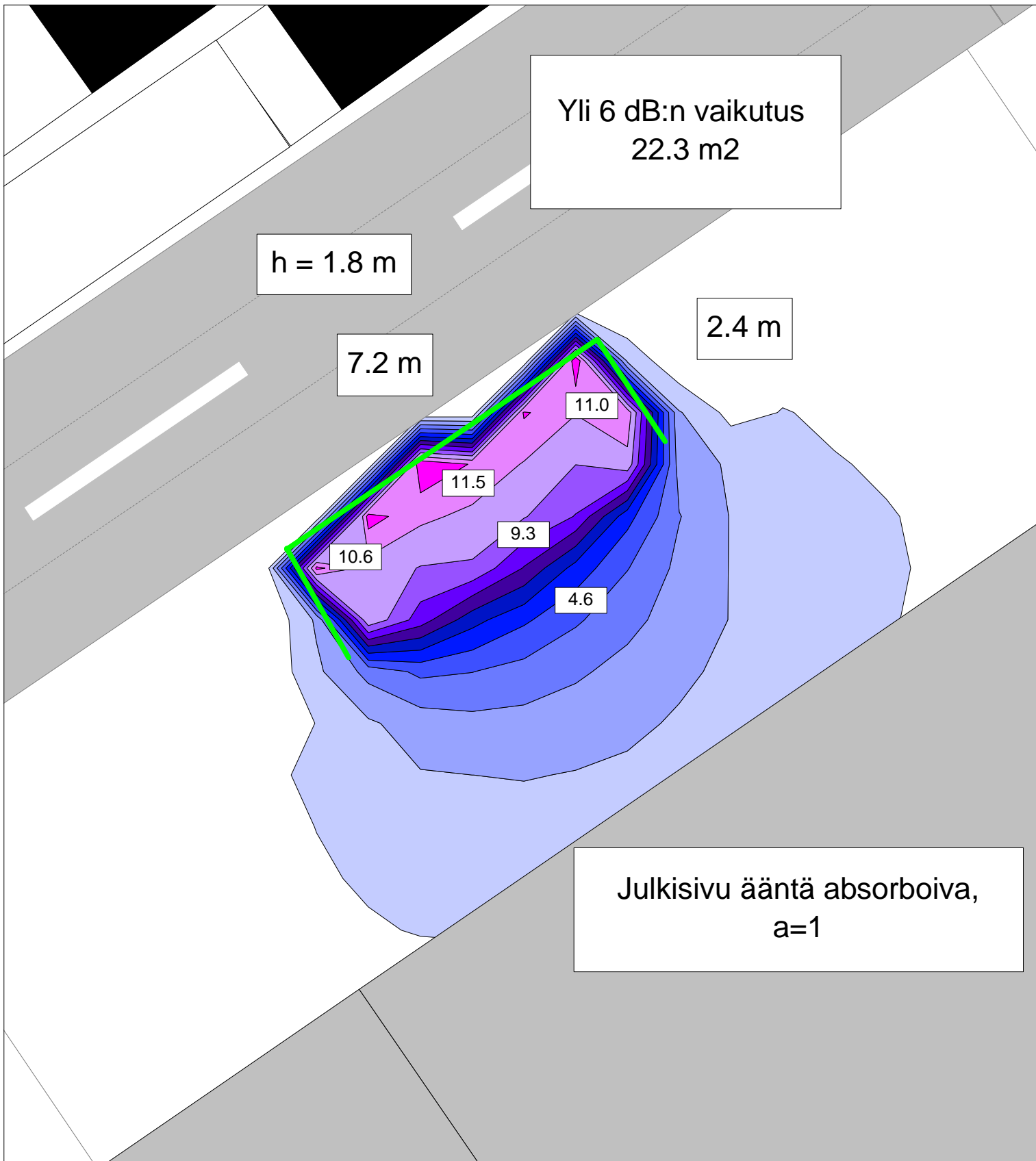



Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m

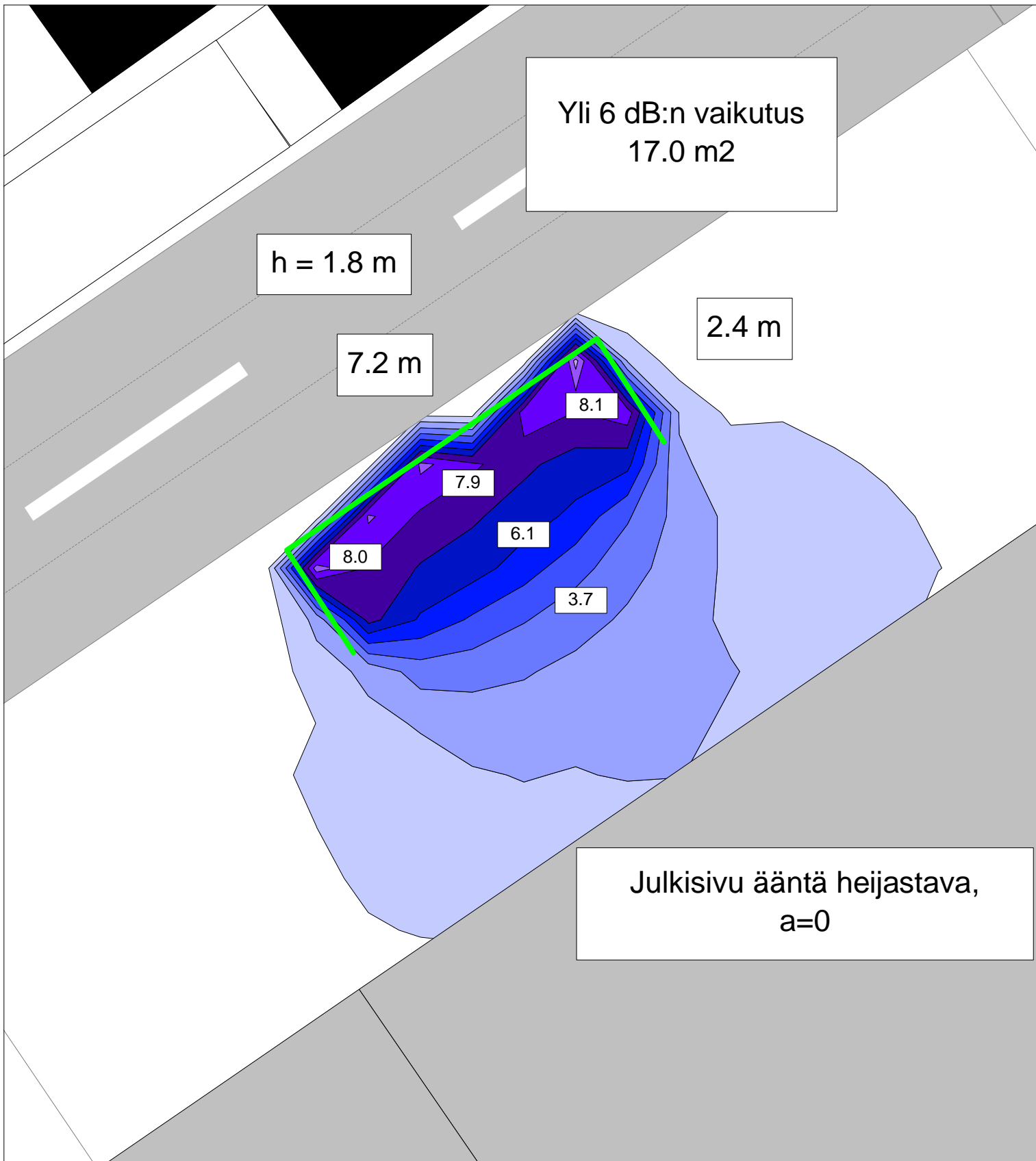



Mittakaava: 1:100 (A4)

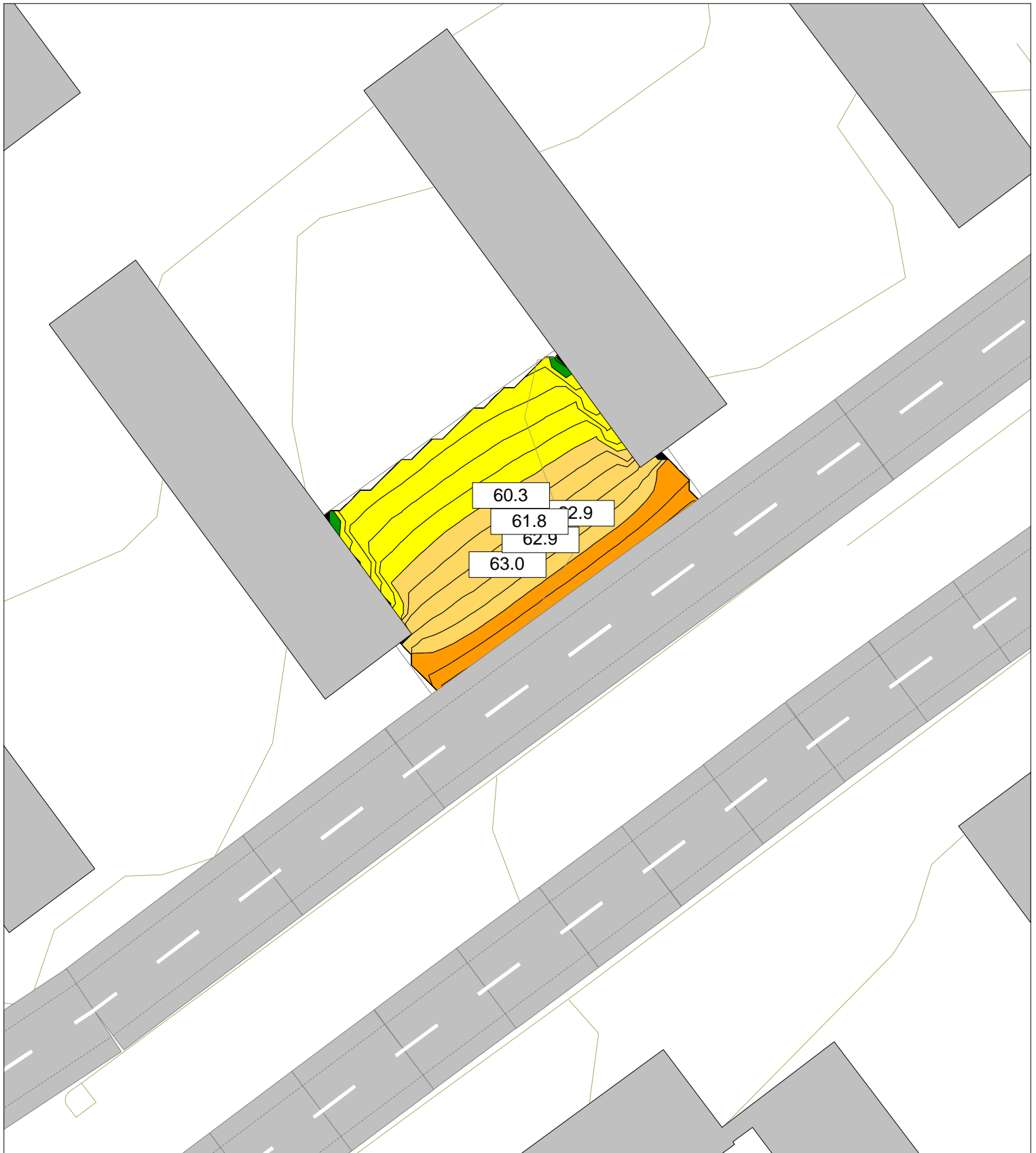
WSP Finland Oy
11.12.2024



<p>Vehreät meluseinäkkeet, jatkoselvitys</p> <p>Lähimmän rakennuksen ääntä absorboivan seinäpinnan vaikutus</p>	<p>Melulähde: tie- ja raitiovaunuliikenne yhdellä suunnalla</p> <p>Tieliikenne: 6 000 ajon./vrk (40 km/h)</p> <p>Raitiovaunuliikenne: Päivällä 350 vaunua, à 27 m (40 km/h)</p>	<p>Melun vaimeneminen [dB]</p> <ul style="list-style-type: none"> 1.0 ... 2.0 2.0 ... 3.0 3.0 ... 4.0 4.0 ... 5.0 5.0 ... 6.0 6.0 ... 7.0 7.0 ... 8.0 8.0 ... 9.0 9.0 ... 10.0 10.0 ... 11.0 11.0 ... 12.0 12.0 ... 	<p>Pohjoismainen tie- ja raitieliikennemelumalli: laskentakorkeus 1.2 m laskentatiheys 1 x 1 m</p>  <p>Mittakaava: 1:100 (A4)</p> <p>WSP Finland Oy 11.12.2024</p>
---	---	---	---



<p>Vehreät meluseinäkkeet, jatkoselvitys</p> <p>Lähimmän rakennuksen ääntä absorboivan seinäpinnan vaikutus</p>	<p>Melulähde: tie- ja raitiovaunuliikenne yhdellä suunnalla</p> <p>Tieliikenne: 6 000 ajon./vrk (40 km/h)</p> <p>Raitiovaunuliikenne: Päivällä 350 vaunua, à 27 m (40 km/h)</p>	<p>Melun vaimeneminen [dB]</p> <ul style="list-style-type: none"> 1.0 ... 2.0 2.0 ... 3.0 3.0 ... 4.0 4.0 ... 5.0 5.0 ... 6.0 6.0 ... 7.0 7.0 ... 8.0 8.0 ... 9.0 9.0 ... 10.0 10.0 ... 11.0 11.0 ... 12.0 12.0 ... 	<p>Pohjoismainen tie- ja raitieliikennemelumalli: laskentakorkeus 1.2 m laskentatiheys 1 x 1 m</p>  <p>Mittakaava: 1:100 (A4)</p> <p>WSP Finland Oy 11.12.2024</p>
---	---	---	---



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

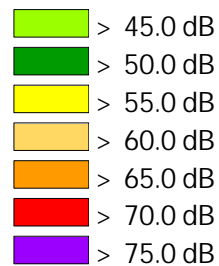
Tarkasteltava kohde:
kerrostalojen välinen
piha-alue, maanpinta a=1

Lähtötilanne
ilman seinäkettä

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
20 500 ajon./vrk

Päiväajan keskiäänitaso
LAeq07-22 [dB]

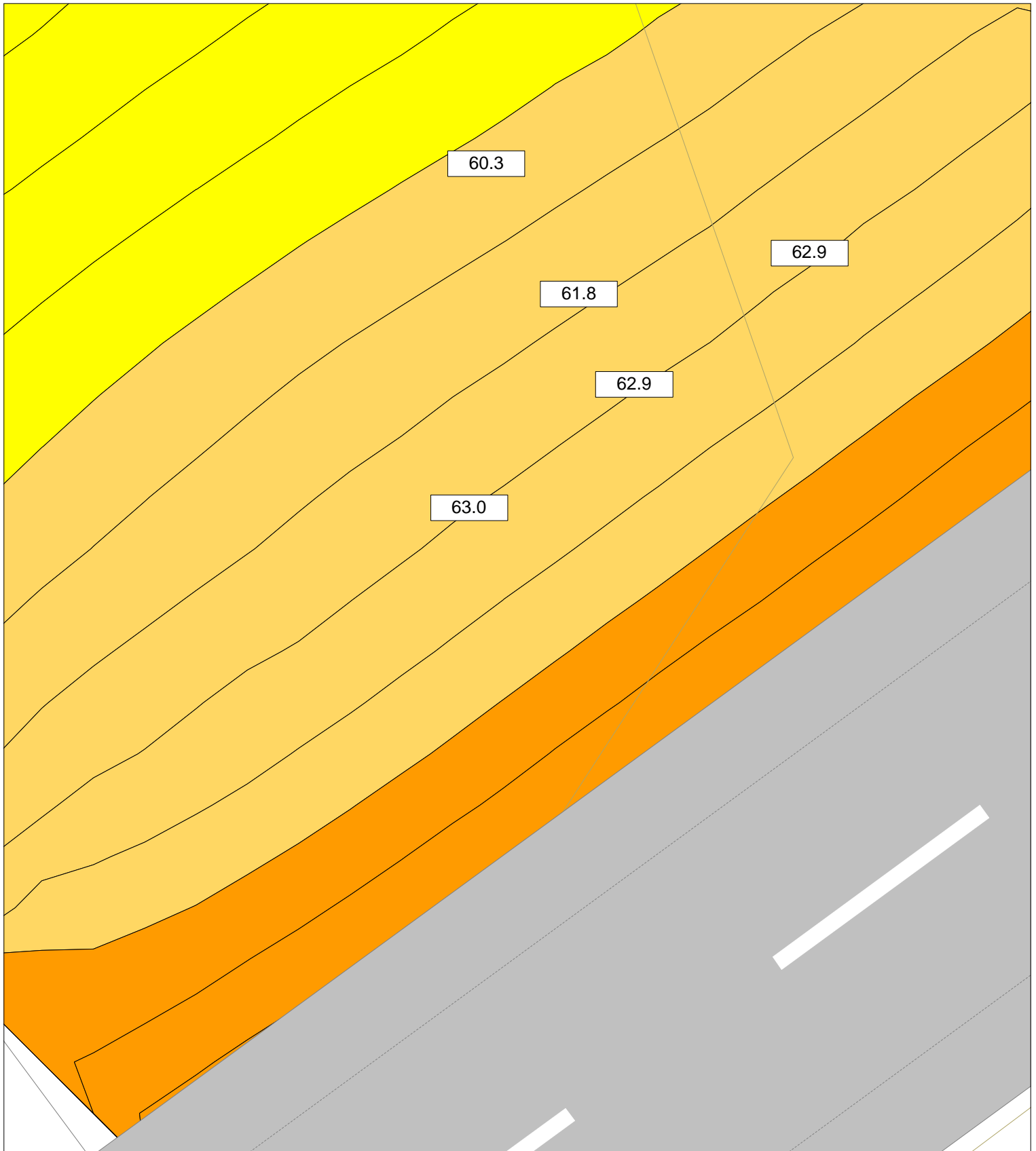


CNOSSOS-melumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:500 (A4)

WSP Finland Oy
11.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

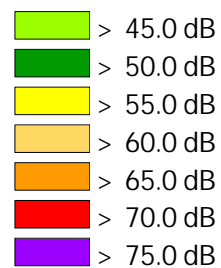
Tarkasteltava kohde:
kerrostalojen välinen
piha-alue, maanpinta $a=1$

Lähtötilanne
ilman seinäkettä

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
20 500 ajon./vrk

Päiväajan keskiäänitaso
LAeq07-22 [dB]

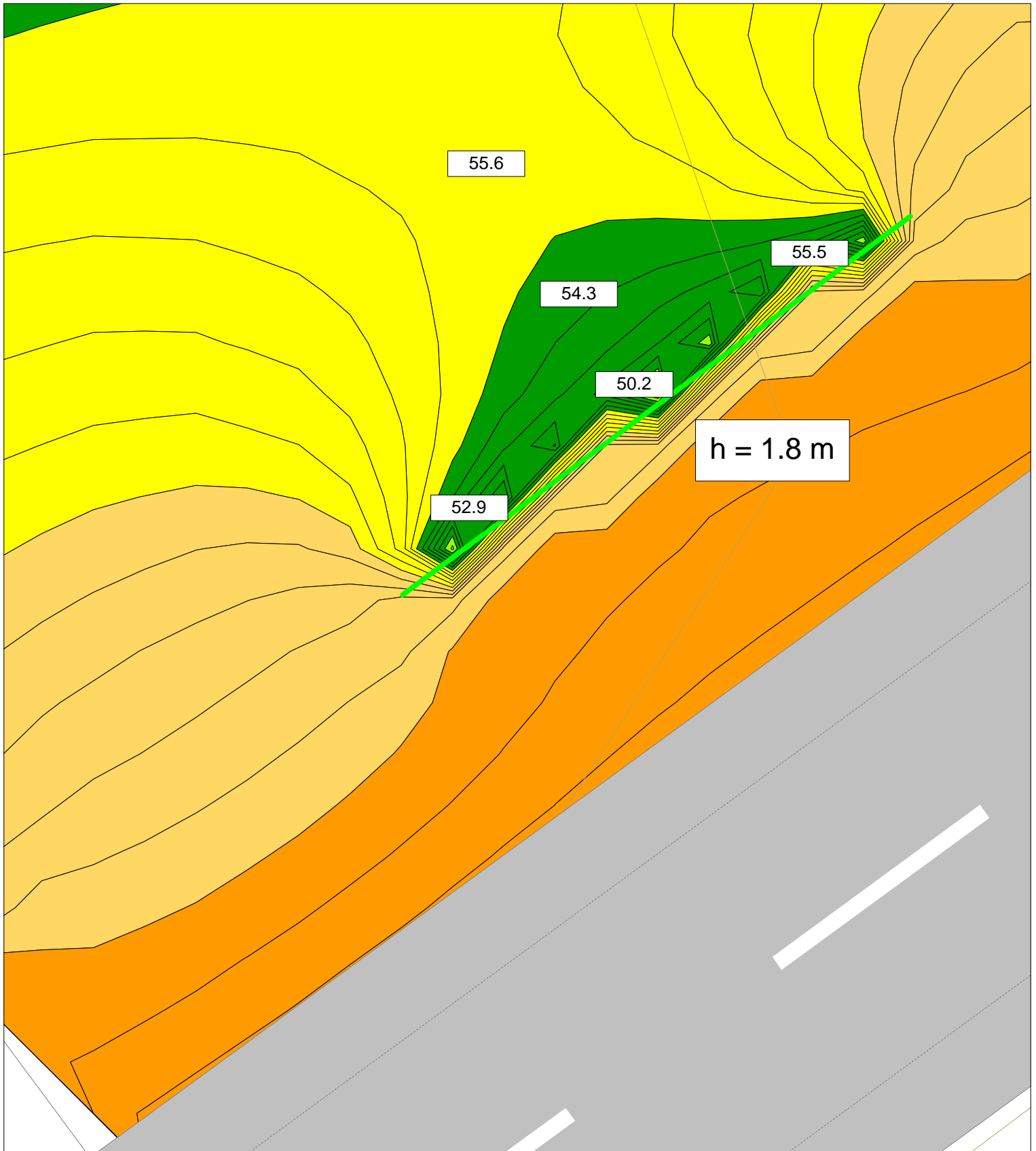


CNOSSOS-melumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:100 (A4)

WSP Finland Oy
11.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

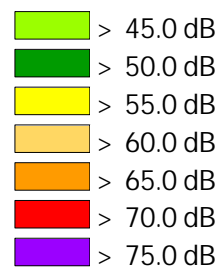
Tarkasteltava kohde:
kerrostalojen välinen
piha-alue, maanpinta $a=1$

Suora seinäke

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
20 500 ajon./vrk

Päiväajan keskiäänitaso
 $LA_{eq07-22}$ [dB]

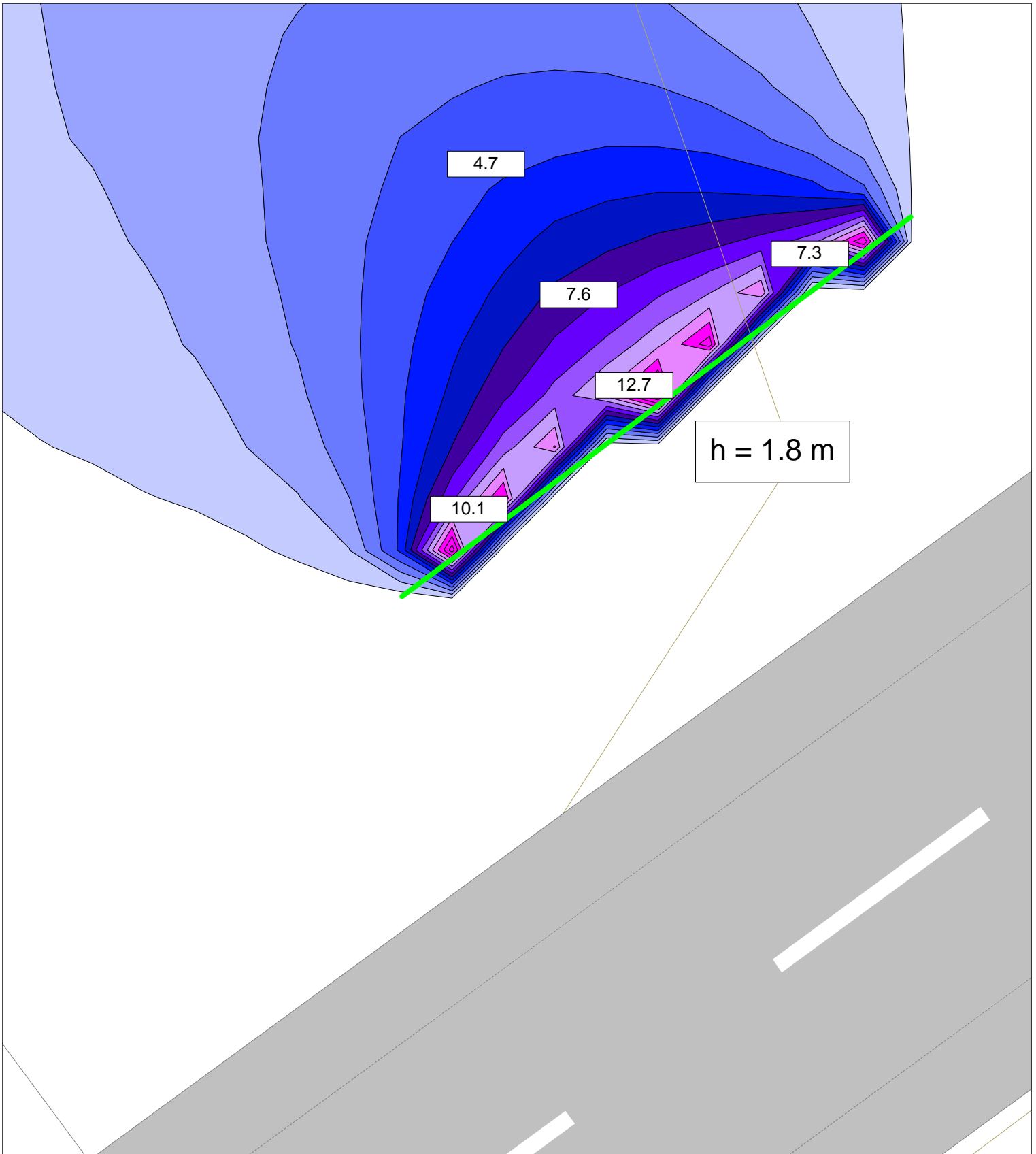


CNOSSOS-melumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:100 (A4)

WSP Finland Oy
11.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

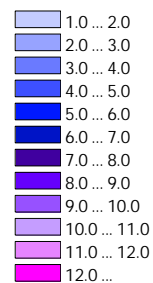
Tarkasteltava kohde:
kerrostalojen välinen
piha-alue, maanpinta $a=1$

Suora seinäke

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
20 500 ajon./vrk

Melun vaimeneminen
[dB]

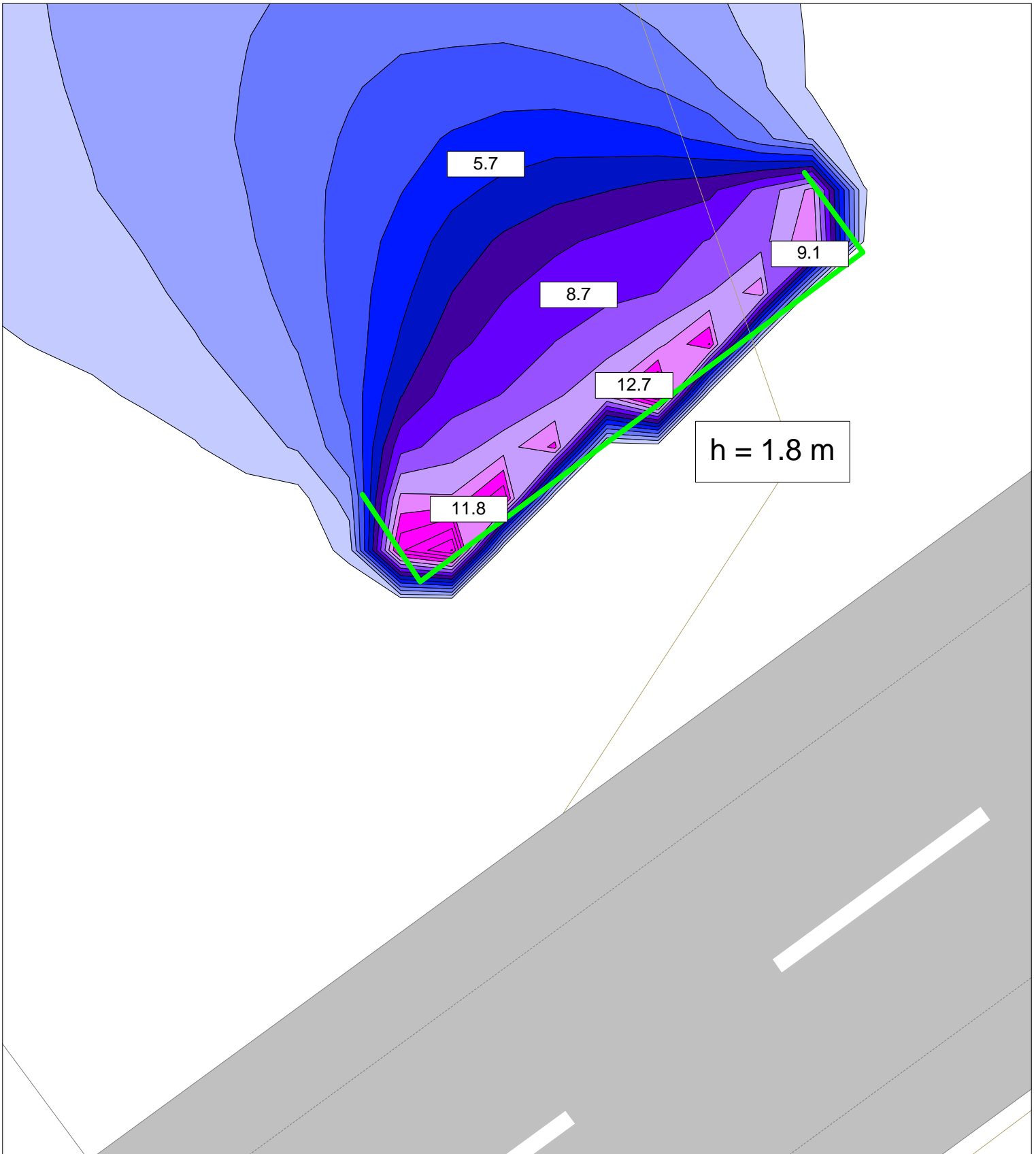


CNOSSOS-melumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:100 (A4)

WSP Finland Oy
11.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

Tarkasteltava kohde:
kerrostalojen välinen
piha-alue, maanpinta $a=1$

Suora seinäke + sivuseinät

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
20 500 ajon./vrk

Melun vaimeneminen
[dB]

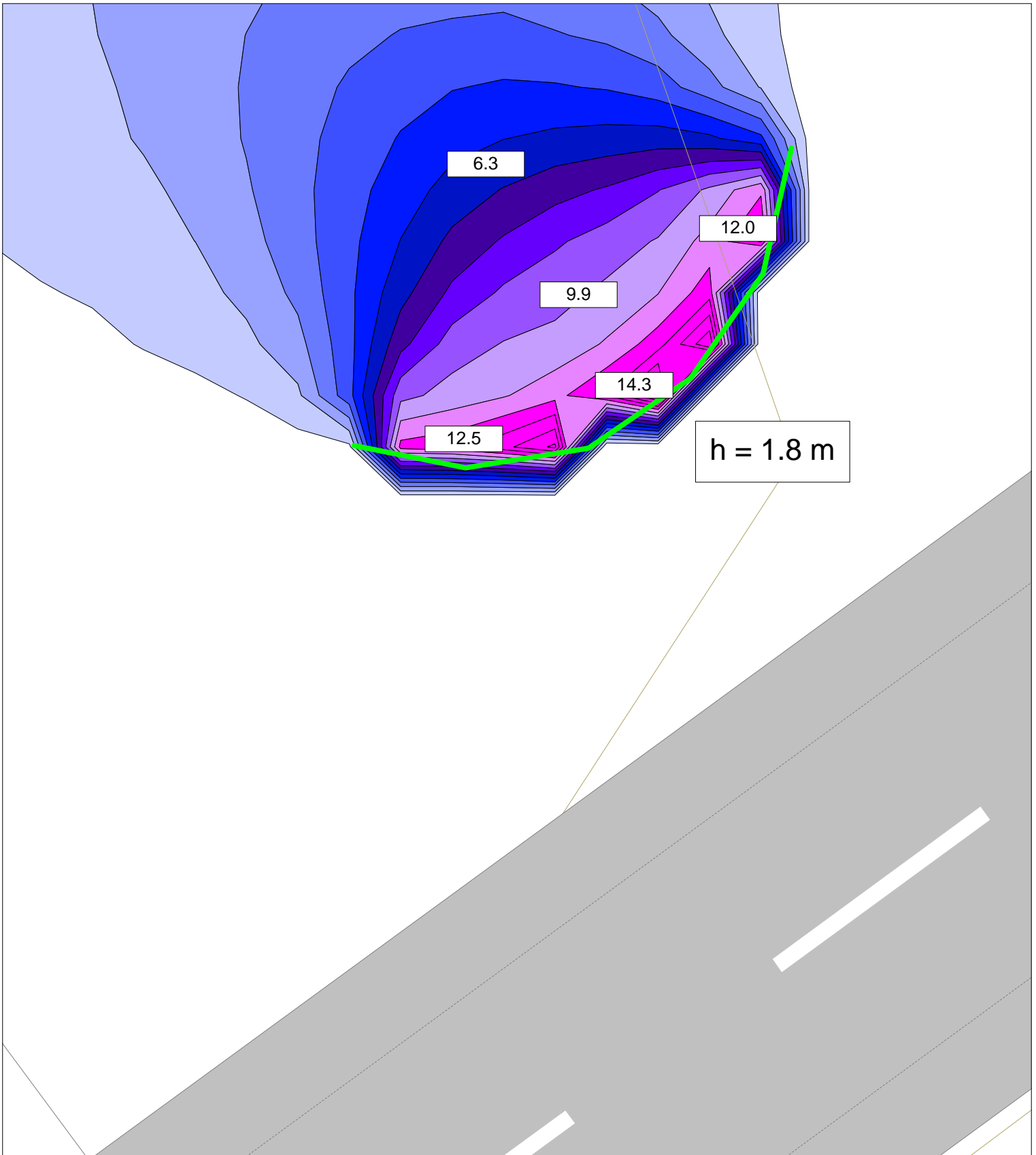
- 1.0 ... 2.0
- 2.0 ... 3.0
- 3.0 ... 4.0
- 4.0 ... 5.0
- 5.0 ... 6.0
- 6.0 ... 7.0
- 7.0 ... 8.0
- 8.0 ... 9.0
- 9.0 ... 10.0
- 10.0 ... 11.0
- 11.0 ... 12.0
- 12.0 ...

CNOSSOS-melumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:100 (A4)

WSP Finland Oy
11.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

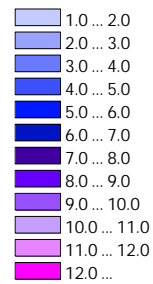
Tarkasteltava kohde:
kerrostalojen välinen
piha-alue, maanpinta a=1

Kaareva seinäke

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
20 500 ajon./vrk

Melun vaimeneminen
[dB]

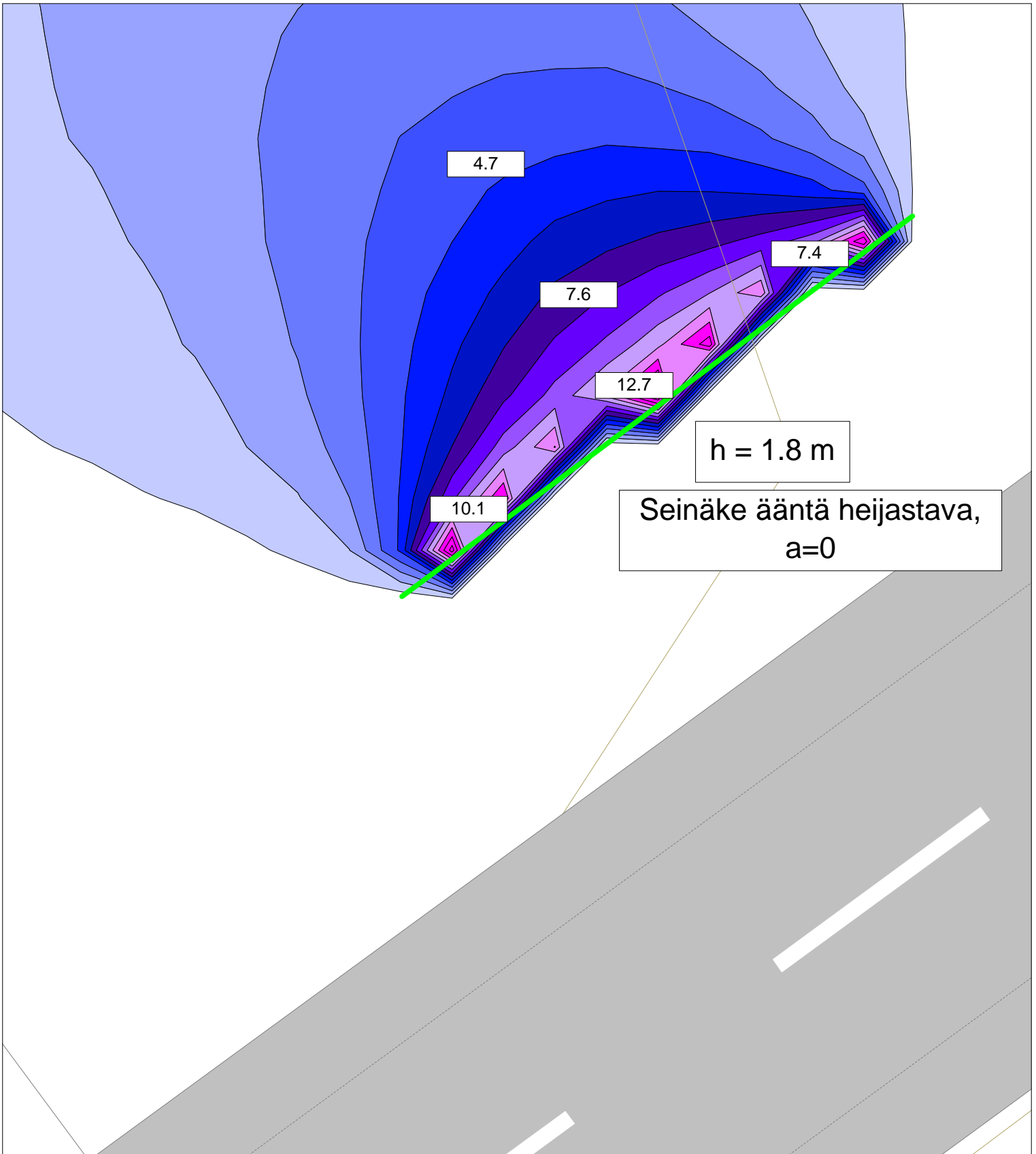


CNOSSOS-melumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:100 (A4)

WSP Finland Oy
11.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

Tarkasteltava kohde:
kerrostalojen välinen
piha-alue, maanpinta a=1

Ääntä heijastava suora seinäke

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
20 500 ajon./vrk

Melun vaimeneminen
[dB]

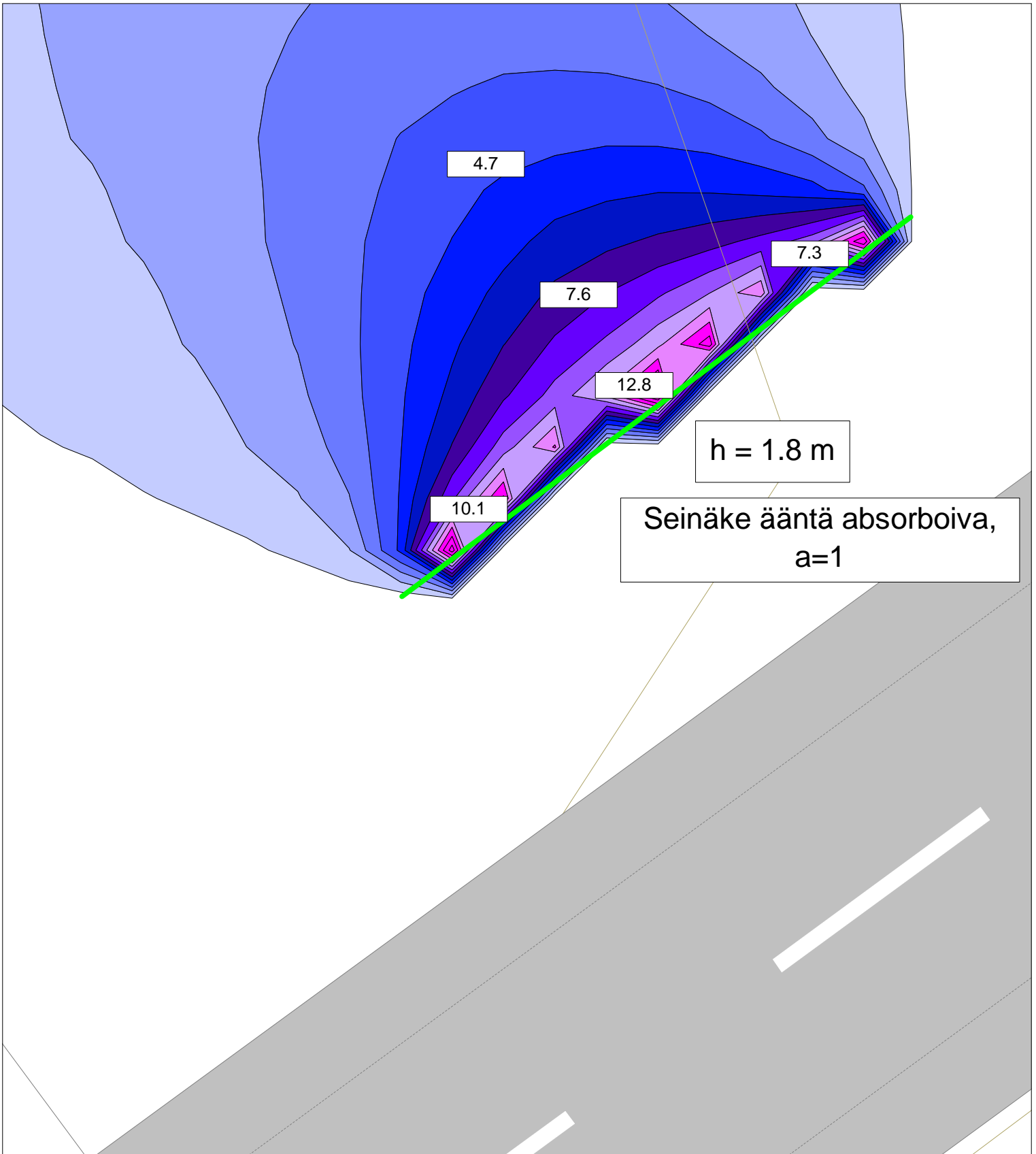
- 1.0 ... 2.0
- 2.0 ... 3.0
- 3.0 ... 4.0
- 4.0 ... 5.0
- 5.0 ... 6.0
- 6.0 ... 7.0
- 7.0 ... 8.0
- 8.0 ... 9.0
- 9.0 ... 10.0
- 10.0 ... 11.0
- 11.0 ... 12.0
- 12.0 ...

CNOSSOS-melumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:100 (A4)

WSP Finland Oy
11.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

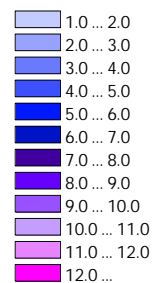
Tarkasteltava kohde:
kerrostalojen välinen
piha-alue, maanpinta a=1

Ääntä absorboiva suora seinäke

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
20 500 ajon./vrk

Melun vaimeneminen
[dB]

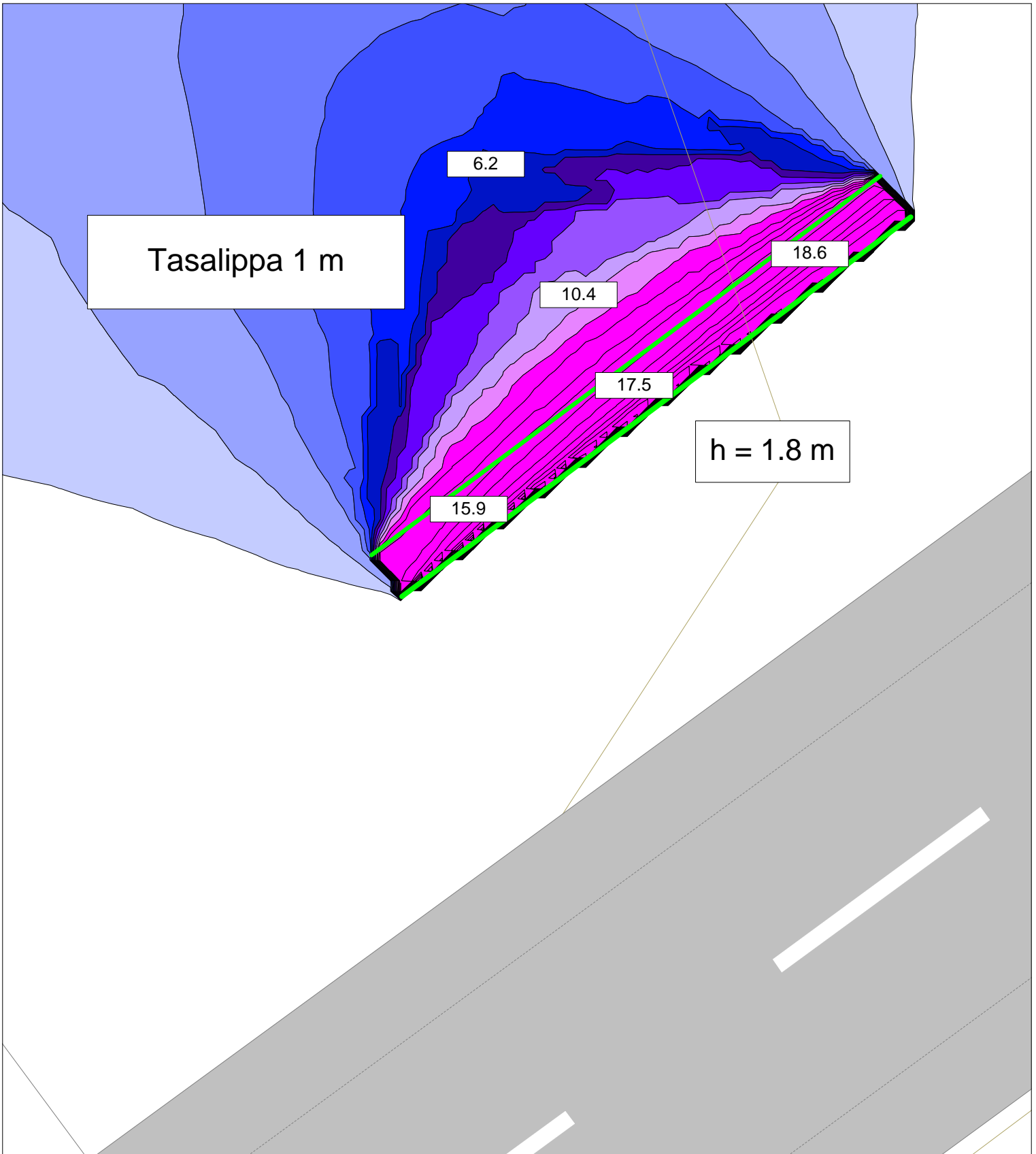



CNOSSOS-melumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m

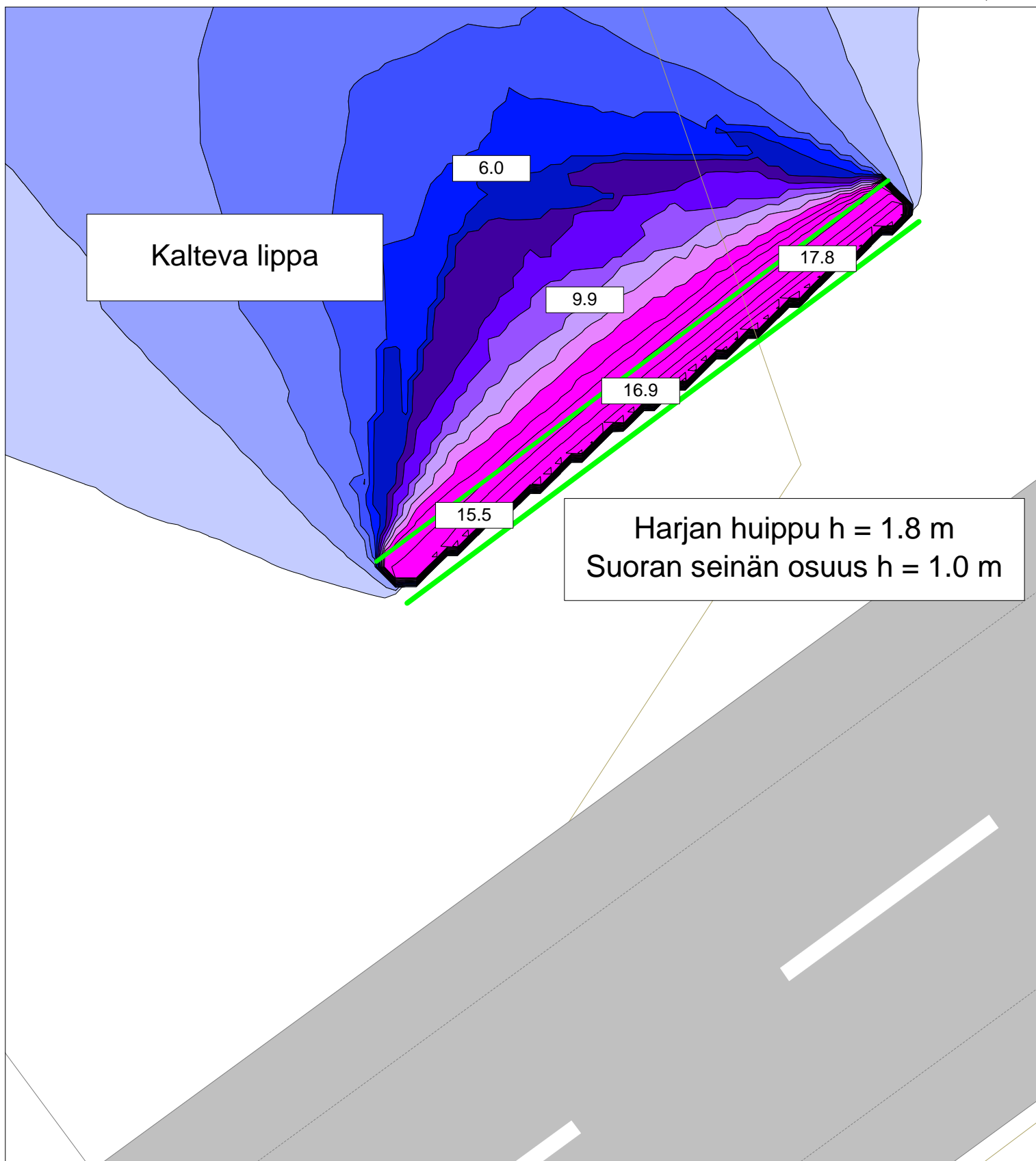


Mittakaava: 1:100 (A4)

WSP Finland Oy
11.12.2024



<p>Vehreät meluseinäkkeet, jatkoselvitys</p> <p>Tarkasteltava kohde: kerrostalojen välinen piha-alue, maanpinta a=1</p> <p>Suora seinäke, jossa vaakasuora lippa, joka ulottuu 1 m seinäkkeestä</p>	<p>Melulähde: tieliikenne yhdellä suunnalla</p> <p>Liikennemäärä: 20 500 ajon./vrk</p>	<p>Melun vaimeneminen [dB]</p> <ul style="list-style-type: none"> 1.0 ... 2.0 2.0 ... 3.0 3.0 ... 4.0 4.0 ... 5.0 5.0 ... 6.0 6.0 ... 7.0 7.0 ... 8.0 8.0 ... 9.0 9.0 ... 10.0 10.0 ... 11.0 11.0 ... 12.0 12.0 ... 	<p>CNOSSOS-melumalli: laskentakorkeus 1.2 m laskentatiheys 0.2 x 0.2 m</p>  <p>Mittakaava: 1:100 (A4)</p> <p>WSP Finland Oy 11.12.2024</p>
---	--	---	---



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

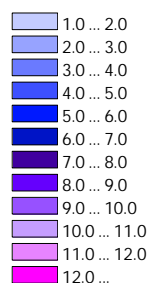
Tarkasteltava kohde:
kerrostalojen välinen
piha-alue, maanpinta $a=1$

Suora seinäke,
jossa kalteva lippa,
joka ulottuu 1 m seinäkkeestä

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
20 500 ajon./vrk

Melun vaimeneminen
[dB]

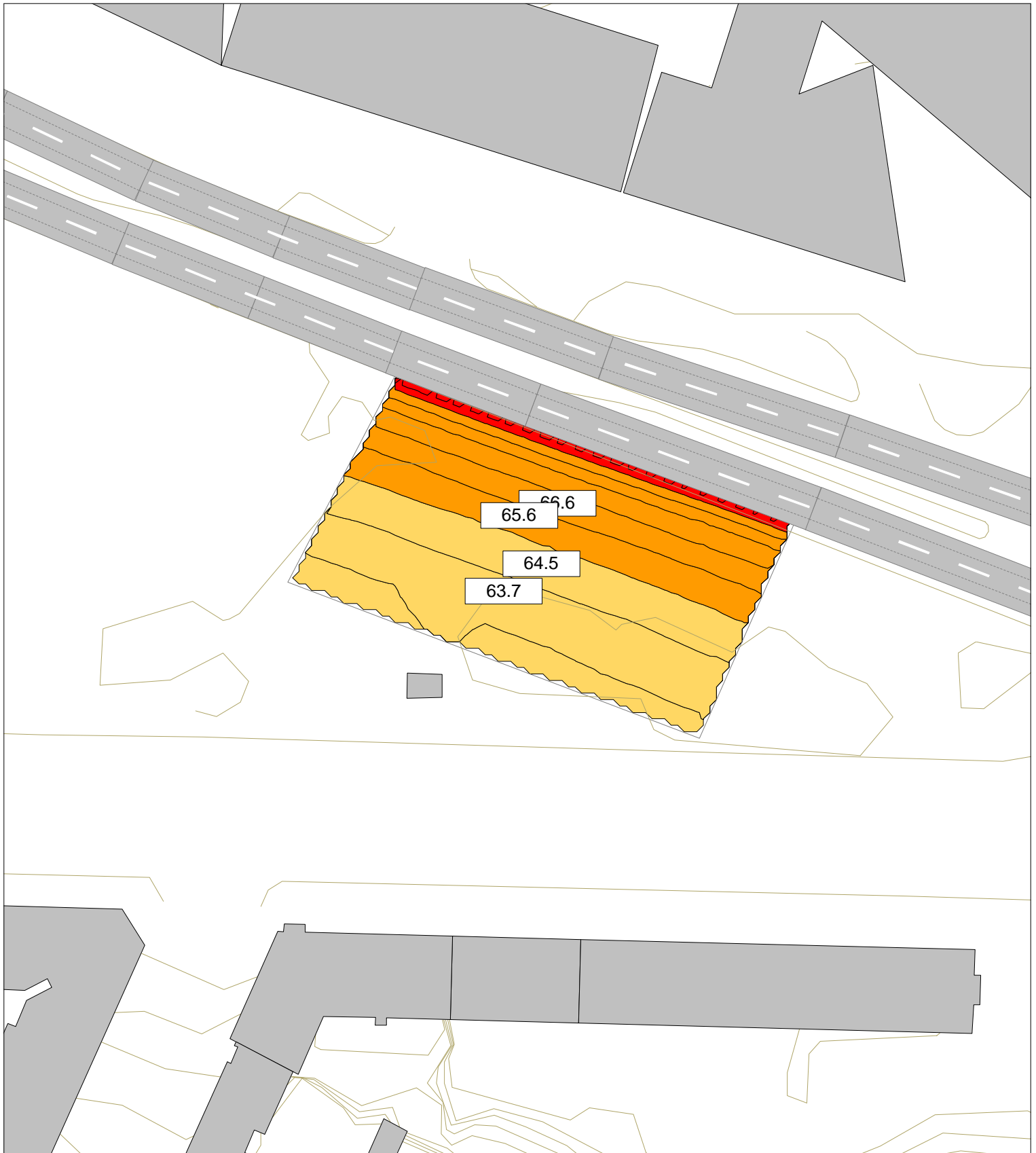


CNOSSOS-melumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 0.2 x 0.2 m



Mittakaava: 1:100 (A4)

WSP Finland Oy
11.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

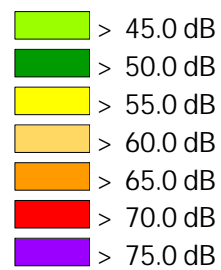
Lähtötilanne
ilman meluseinäkettä

Tarkasteltava kohde:
puisto: maanpinta $a=1$

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
26 200 ajon./vrk
50 km/h

Päiväajan keskiäänitaso
LAeq07-22 [dB]

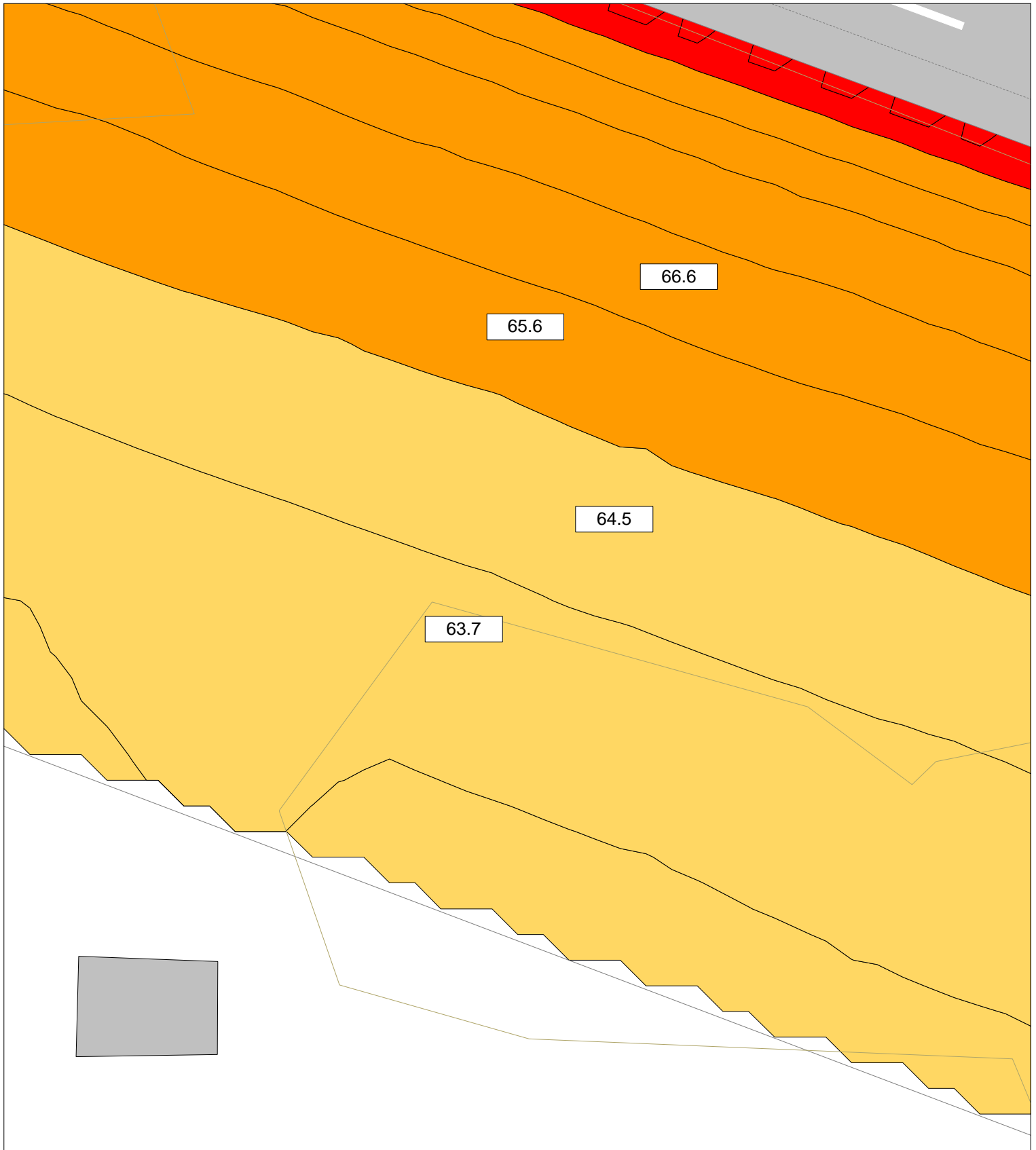


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:800 (A4)

WSP Finland Oy
9.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

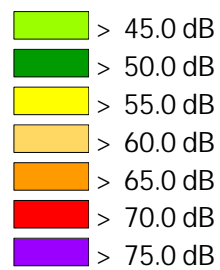
Lähtötilanne
ilman meluseinäkettä

Tarkasteltava kohde:
puisto: maanpinta a=1

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
26 200 ajon./vrk
50 km/h

Päiväajan keskiäänitaso
LAeq07-22 [dB]

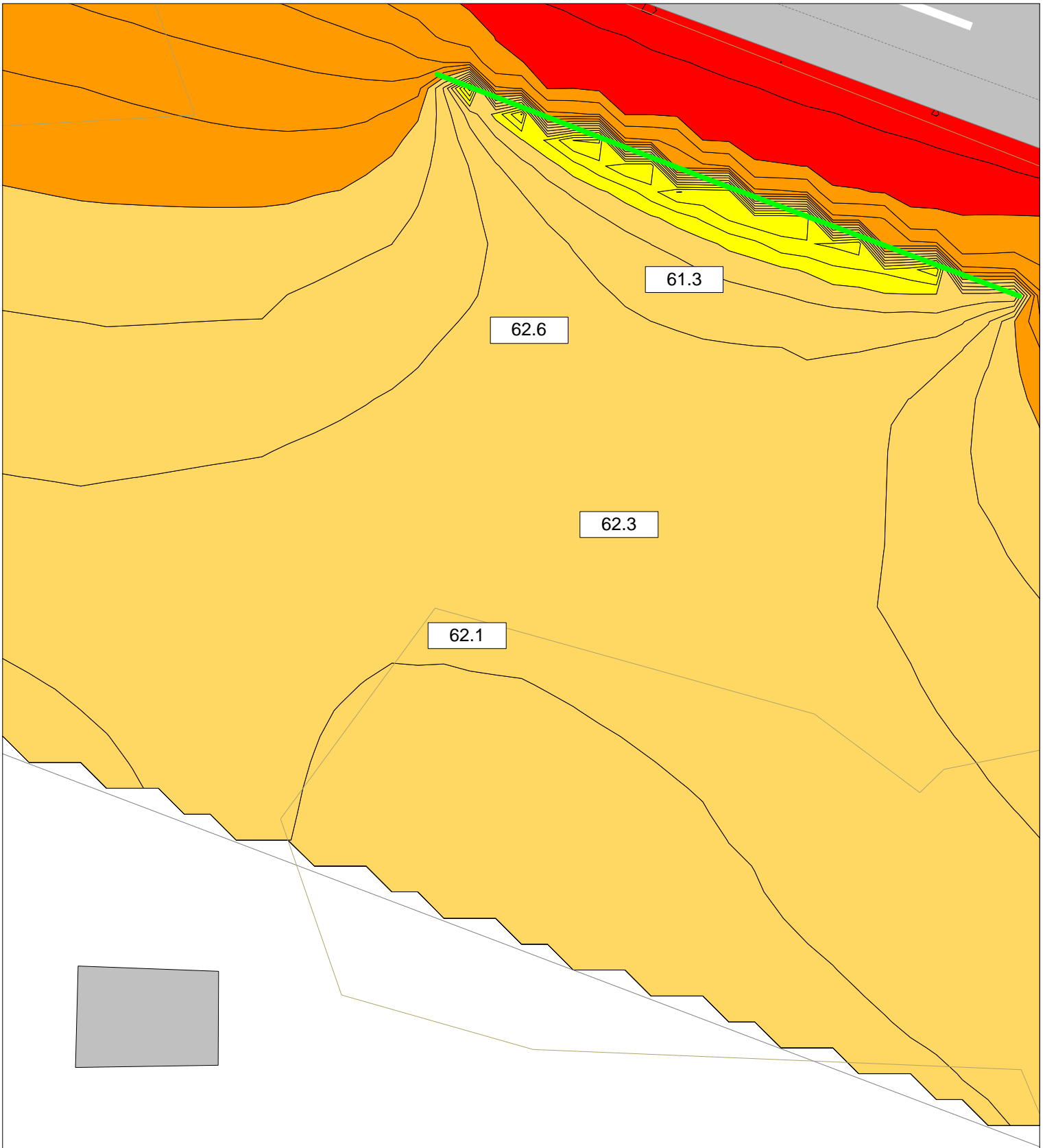


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:200 (A4)

WSP Finland Oy
9.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

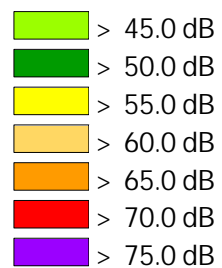
Meluseinäke:
- kokonaispituus n. 24 m
- korkeus 1,8 m

Tarkasteltava kohde:
puisto, maanpinta $a=1$

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
26 200 ajon./vrk
50 km/h

Päiväajan keskiäänitaso
LAeq07-22 [dB]

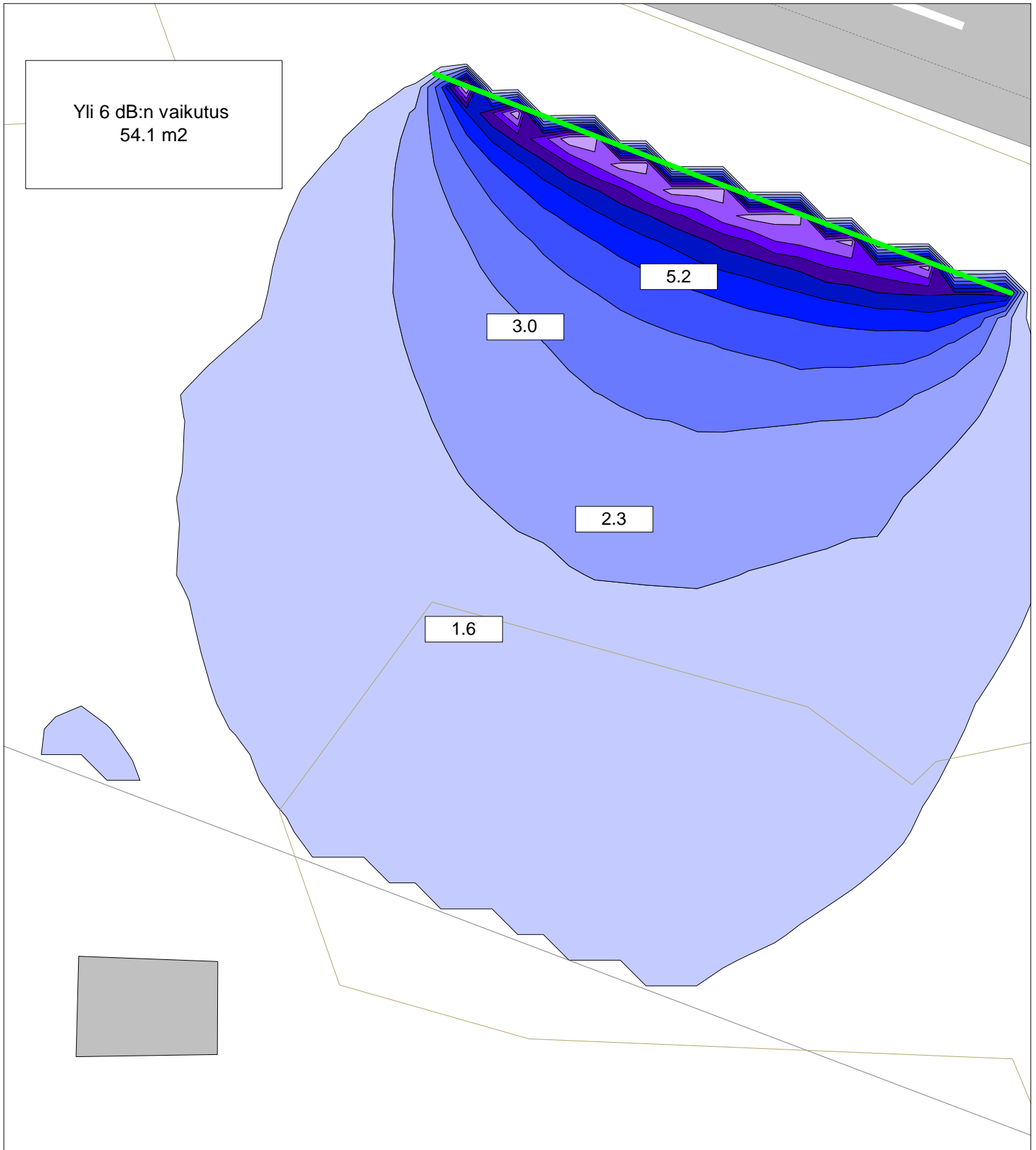


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m

wsp

Mittakaava: 1:200 (A4)

WSP Finland Oy
9.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

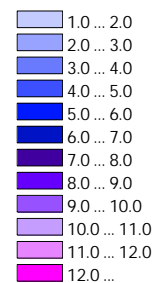
Meluseinäke:
- kokonaispituus n. 24 m
- korkeus 1,8 m

Tarkasteltava kohde:
puisto, maanpinta $a=1$

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
26 200 ajon./vrk
50 km/h

Melun vaimeneminen
[dB]

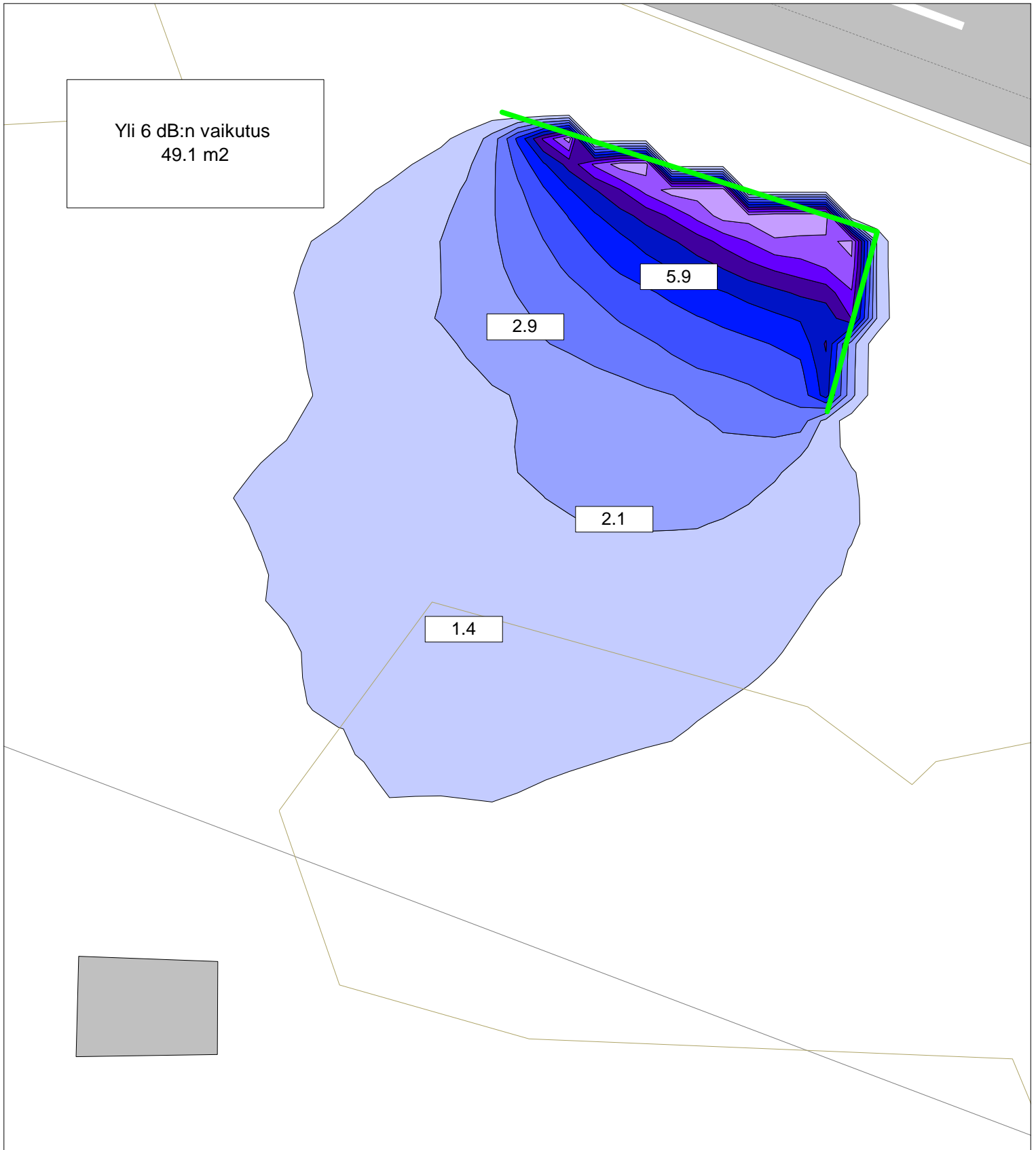


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:200 (A4)

WSP Finland Oy
9.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

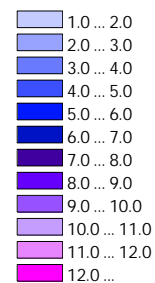
Meluseinäke:
- kokonaispituus n. 24 m
- korkeus 1,8 m

Tarkasteltava kohde:
puisto, maanpinta a=1

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
26 200 ajon./vrk
50 km/h

Melun vaimeneminen
[dB]



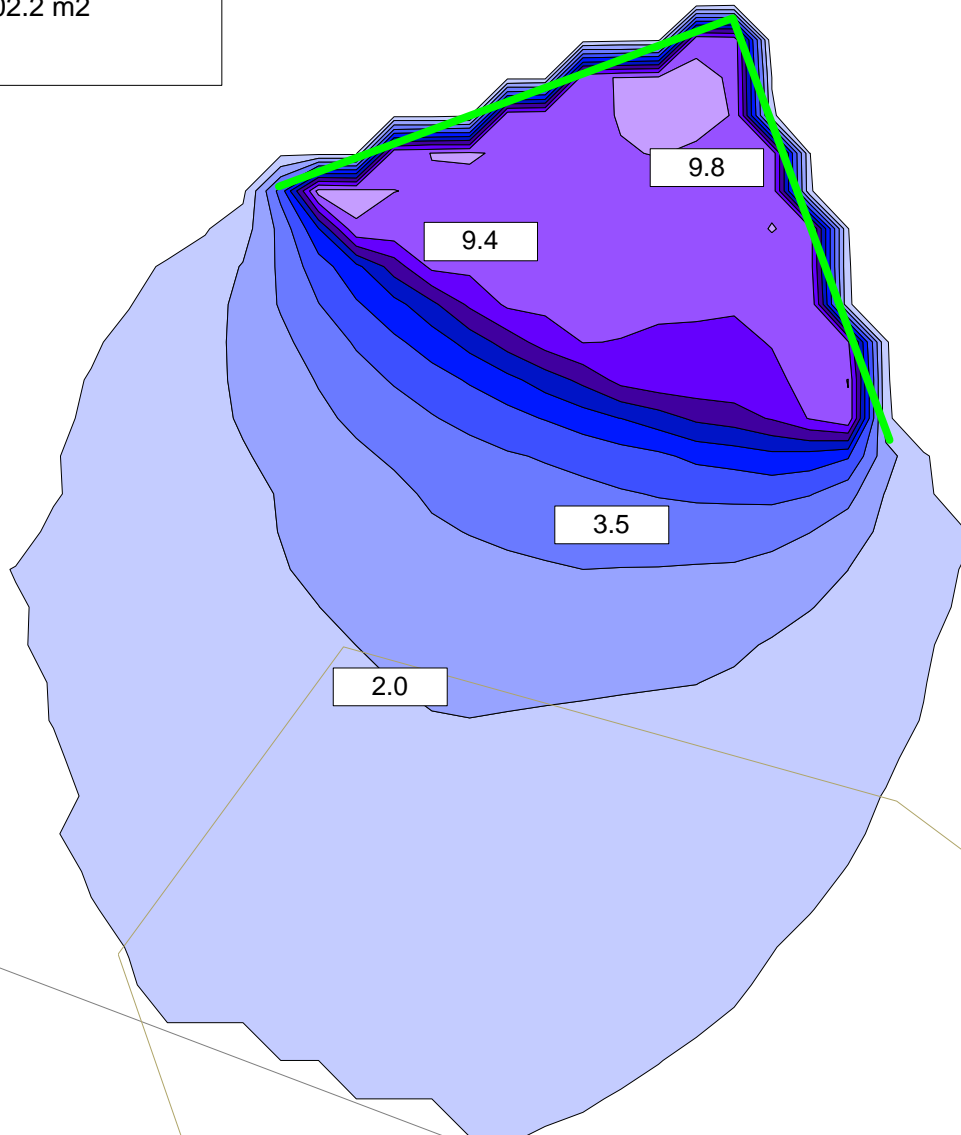
Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:200 (A4)

WSP Finland Oy
9.12.2024

Yli 6 dB:n vaikutus
102.2 m²



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

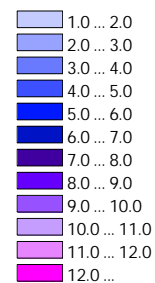
Meluseinäke:
- kokonaispituus n. 24 m
- korkeus 1,8 m

Tarkasteltava kohde:
puisto, maanpinta a=1

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
26 200 ajon./vrk
50 km/h

Melun vaimeneminen
[dB]

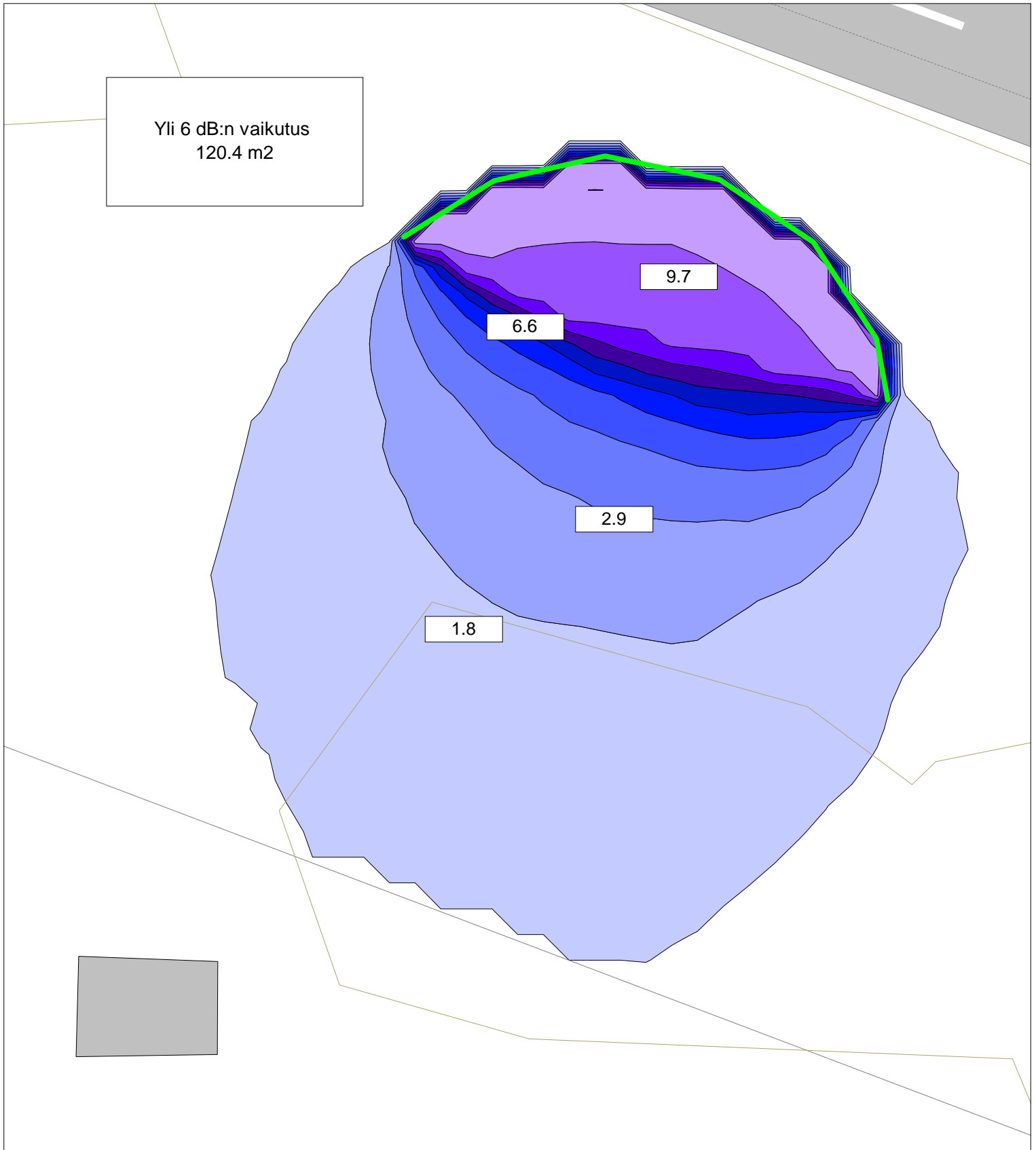


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:200 (A4)

WSP Finland Oy
9.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

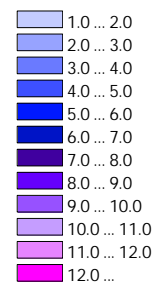
Meluseinäke:
- kokonaispituus n. 24 m
- korkeus 1,8 m

Tarkasteltava kohde:
puisto, maanpinta a=1

Melulähde:
tieliikenne yhdellä suunnalla

Liikennemäärä:
26 200 ajon./vrk
50 km/h

Melun vaimeneminen
[dB]

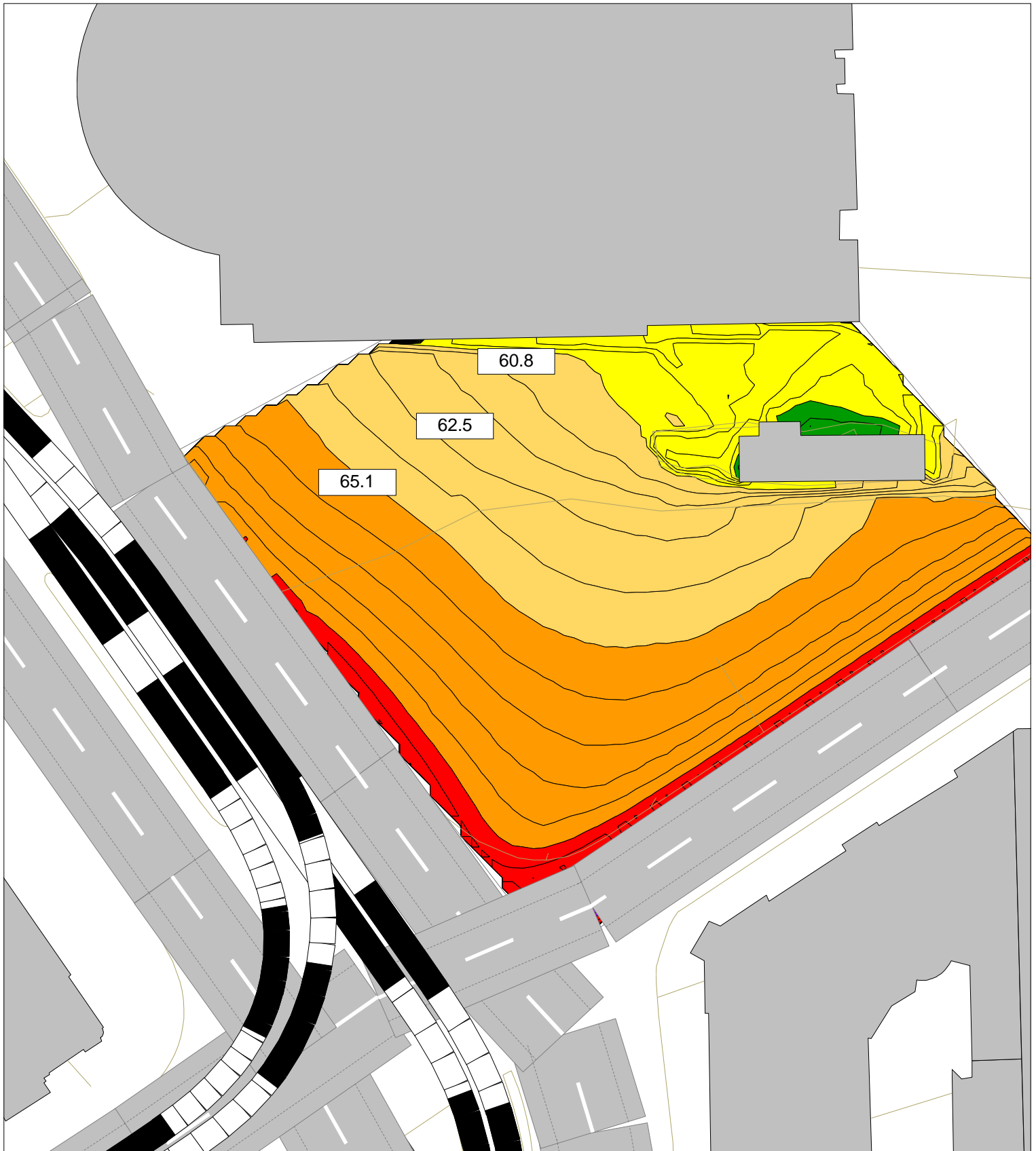


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:200 (A4)

WSP Finland Oy
9.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

Lähtötilanne
ilman meluseinäkettä

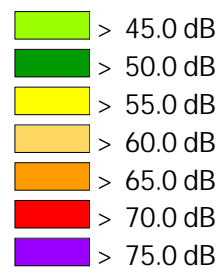
Tarkasteltava kohde:
aukio, maanpinta a=0

Melulähde kahdella suunnalla

Tieliikenne:
lounaassa 8 400 ajon./vrk
kaakossa 6 200 ajon./vrk
(40 km/h)

Raitiovaunuliikenne:
Päivällä 735 vaunua, à 27 m
(30 km/h)

Päiväajan keskiäänitaso
LAeq07-22 [dB]

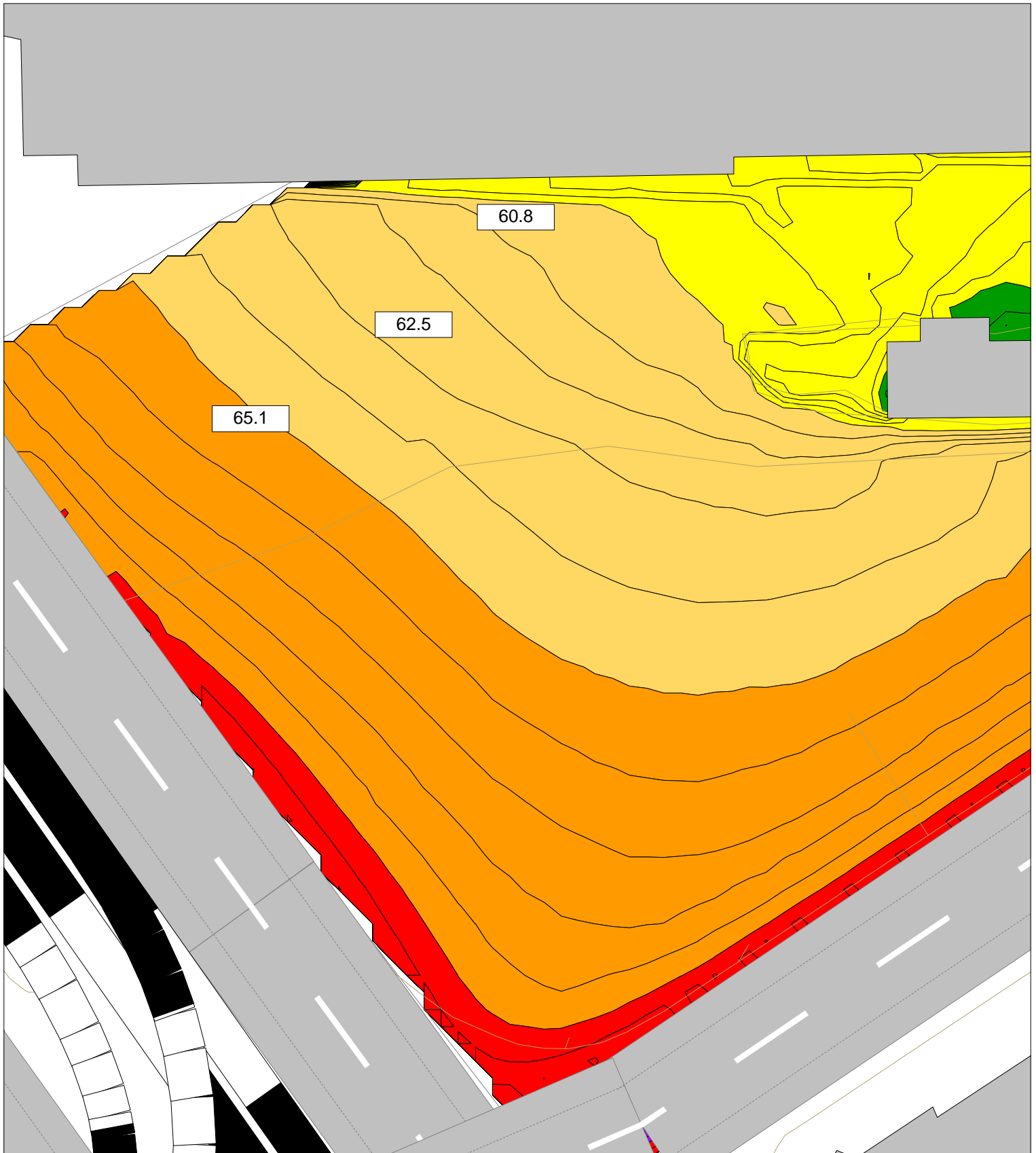


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m

wsp

Mittakaava: 1:500 (A4)

WSP Finland Oy
9.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

Lähtötilanne
ilman meluseinäkettä

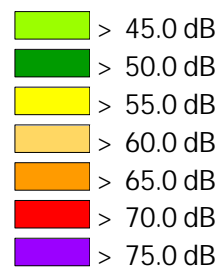
Tarkasteltava kohde:
aukio, maanpinta a=0

Melulähde kahdella suunnalla

Tieliikenne:
lounaassa 8 400 ajon./vrk
kaakossa 6 200 ajon./vrk
(40 km/h)

Raitiovaunuliikenne:
Päivällä 735 vaunua, à 27 m
(30 km/h)

Päiväajan keskiäänitaso
LAeq07-22 [dB]

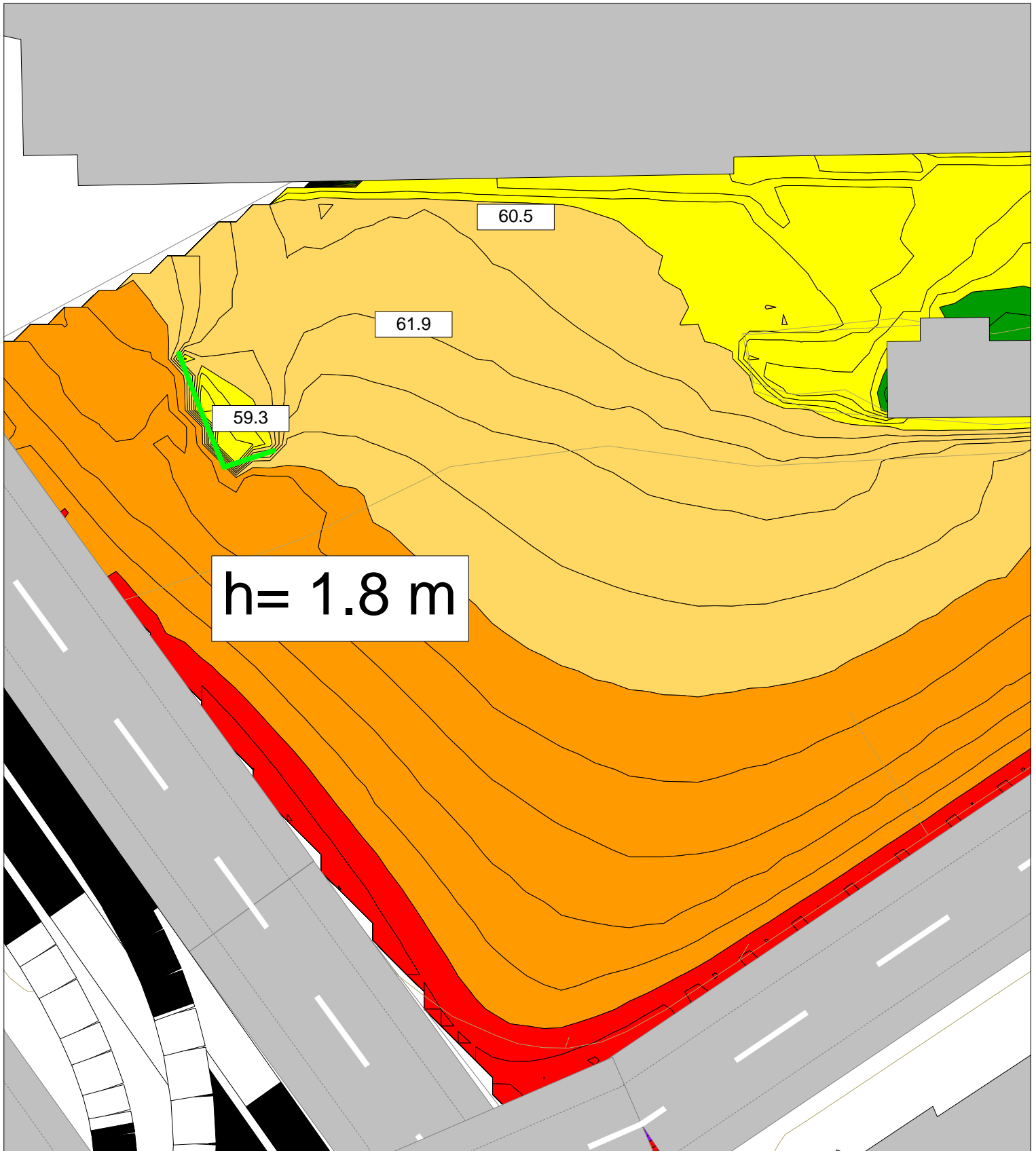


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m

wsp

Mittakaava: 1:300 (A4)

WSP Finland Oy
9.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

Meluseinäkkeen muodon
vaikutus, kun lähellä
ääntä seinäkkeen taakse
heijastava julkisivu

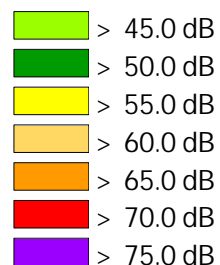
Tarkasteltava kohde:
aukio, maanpinta $a=0$

Melulähde kahdella suunnalla

Tieliikenne:
lounaassa 8 400 ajon./vrk
kaakossa 6 200 ajon./vrk
(40 km/h)

Raitiovaunuliikenne:
Päivällä 735 vaunua, à 27 m
(30 km/h)

Päiväajan keskiäänitaso
LAeq07-22 [dB]

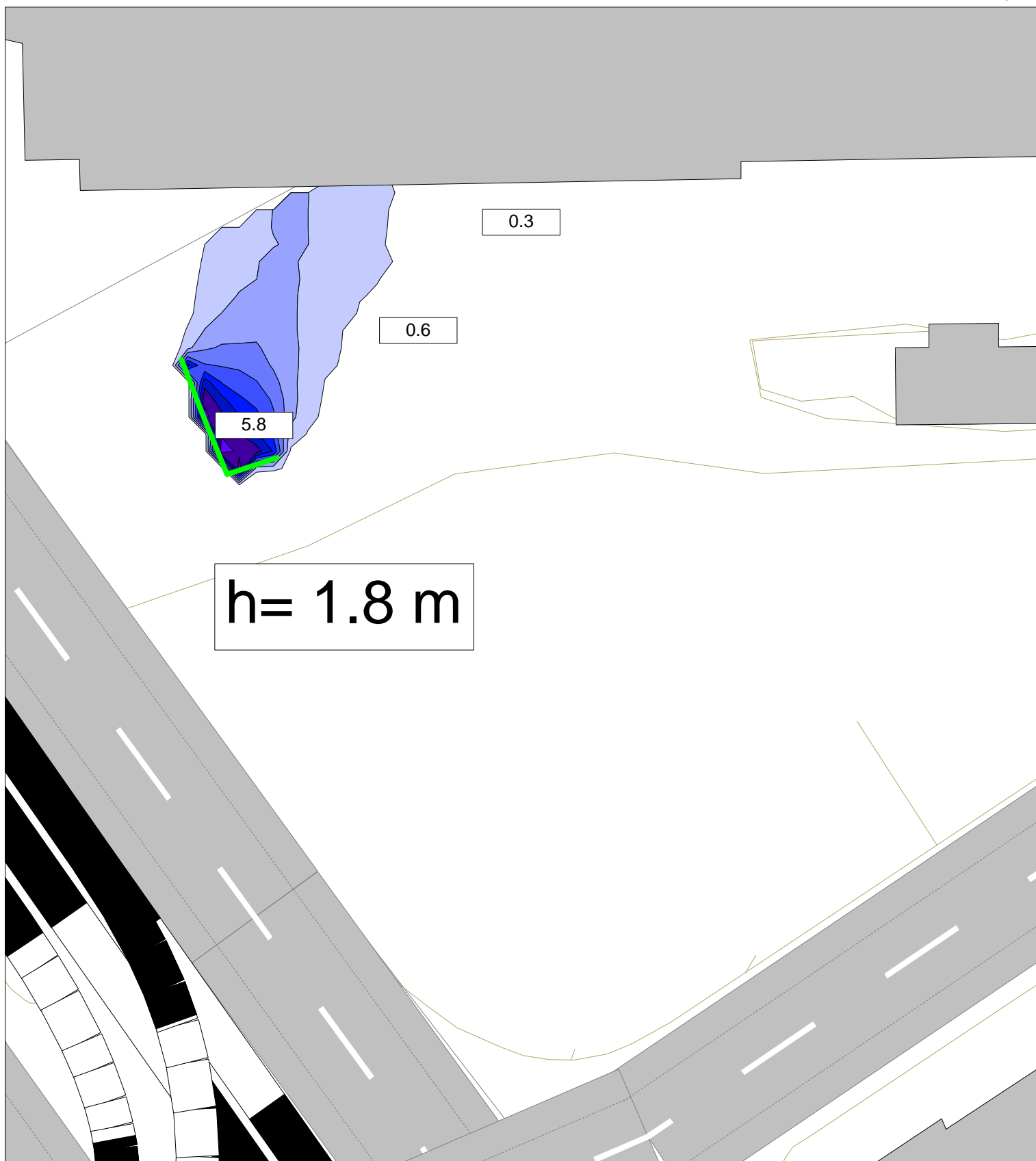


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m

wsp

Mittakaava: 1:300 (A4)

WSP Finland Oy
9.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

Meluseinäkkeen muodon
vaikutus, kun lähellä
ääntä seinäkkeen taakse
heijastava julkisivu

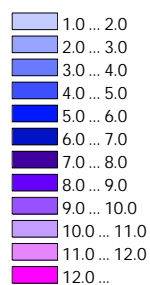
Tarkasteltava kohde:
aukio, maanpinta $a=0$

Melulähde kahdella suunnalla

Tieliikenne:
lounaassa 8 400 ajon./vrk
kaakossa 6 200 ajon./vrk
(40 km/h)

Raitiovaunuliikenne:
Päivällä 735 vaunua, à 27 m
(30 km/h)

Melun vaimeneminen
[dB]

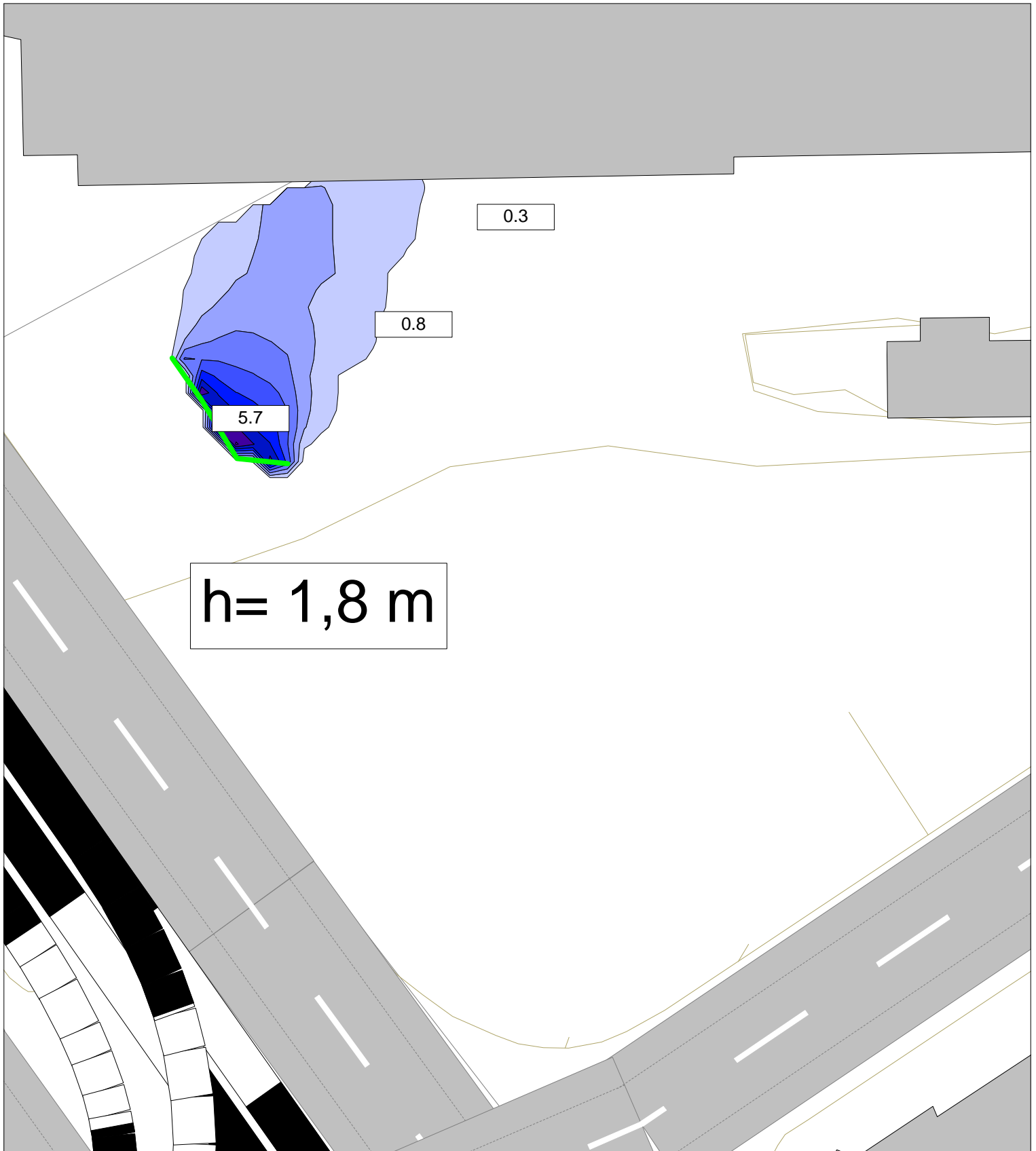


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:300 (A4)

WSP Finland Oy
9.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

Meluseinäkkeen muodon
vaikutus, kun lähellä
ääntä seinäkkeen taakse
heijastava julkisivu

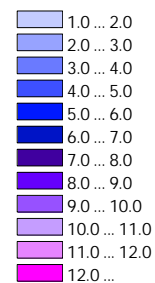
Tarkasteltava kohde:
aukio, maanpinta $a=0$

Melulähde kahdella suunnalla

Tieliikenne:
lounaassa 8 400 ajon./vrk
kaakossa 6 200 ajon./vrk
(40 km/h)

Raitiovaunuliikenne:
Päivällä 735 vaunua, λ 27 m
(30 km/h)

Melun vaimeneminen
[dB]

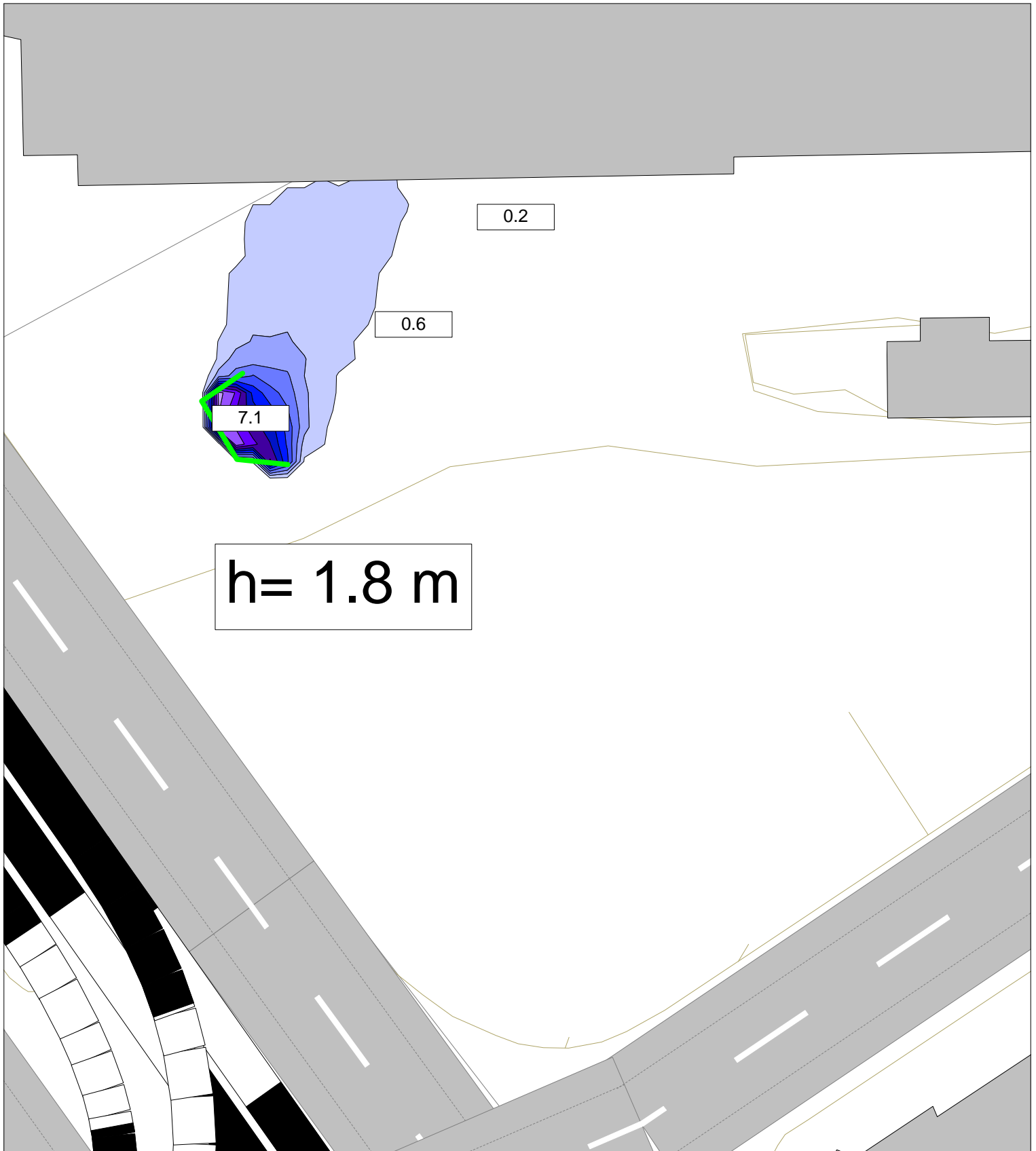


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:300 (A4)

WSP Finland Oy
9.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

Meluseinäkkeen muodon
vaikutus, kun lähellä
ääntä seinäkkeen taakse
heijastava julkisivu

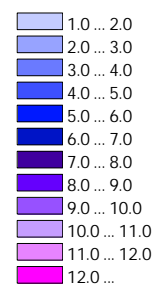
Tarkasteltava kohde:
aukio, maanpinta $a=0$

Melulähde kahdella suunnalla

Tieliikenne:
lounaassa 8 400 ajon./vrk
kaakossa 6 200 ajon./vrk
(40 km/h)

Raitiovaunuliikenne:
Päivällä 735 vaunua, à 27 m
(30 km/h)

Melun vaimeneminen
[dB]

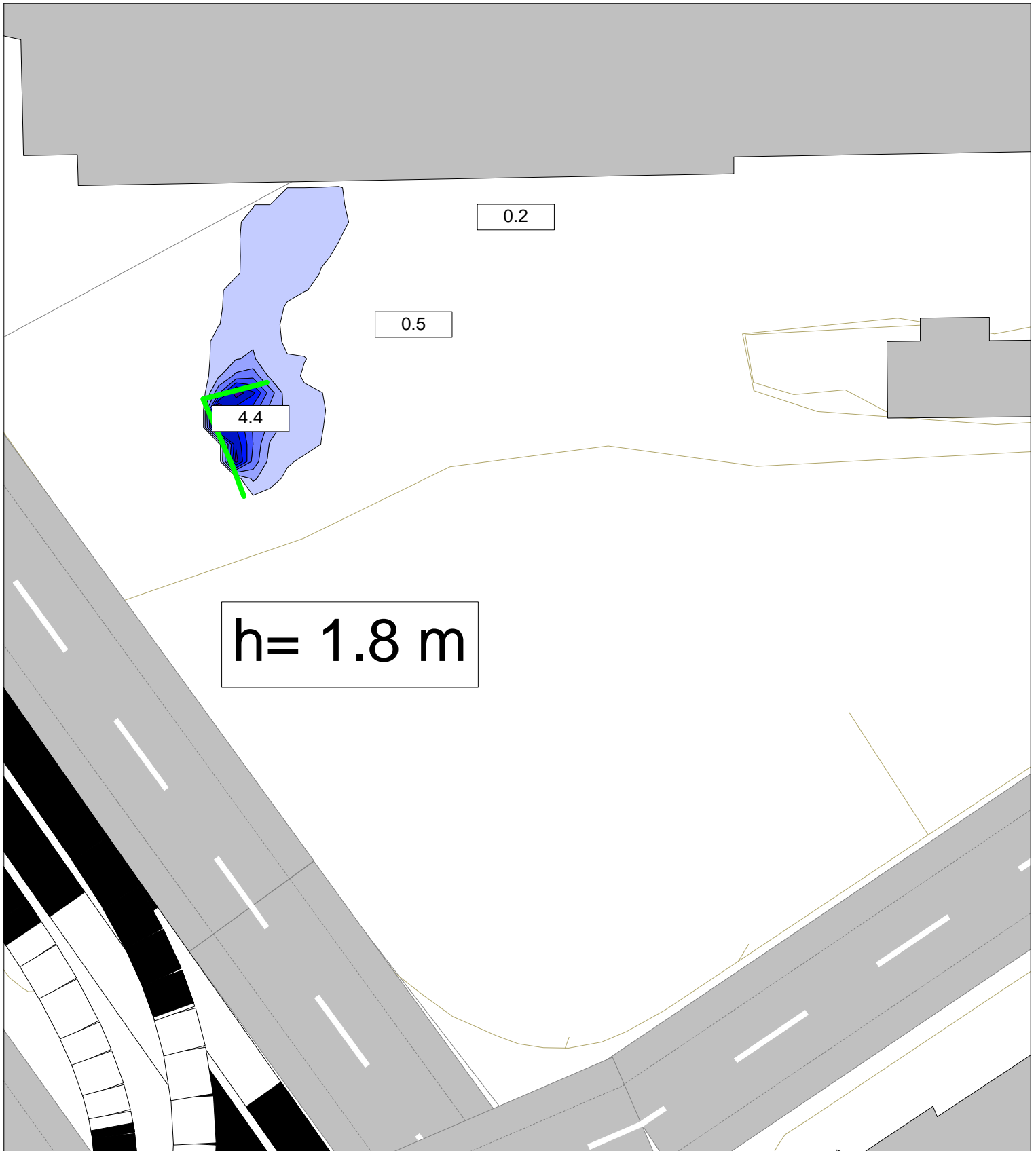


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:300 (A4)

WSP Finland Oy
9.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

Meluseinäkkeen muodon
vaikutus, kun lähellä
ääntä seinäkkeen taakse
heijastava julkisivu

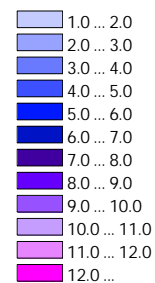
Tarkasteltava kohde:
aukio, maanpinta $a=0$

Melulähde kahdella suunnalla

Tieliikenne:
lounaassa 8 400 ajon./vrk
kaakossa 6 200 ajon./vrk
(40 km/h)

Raitiovaunuliikenne:
Päivällä 735 vaunua, à 27 m
(30 km/h)

Melun vaimeneminen
[dB]

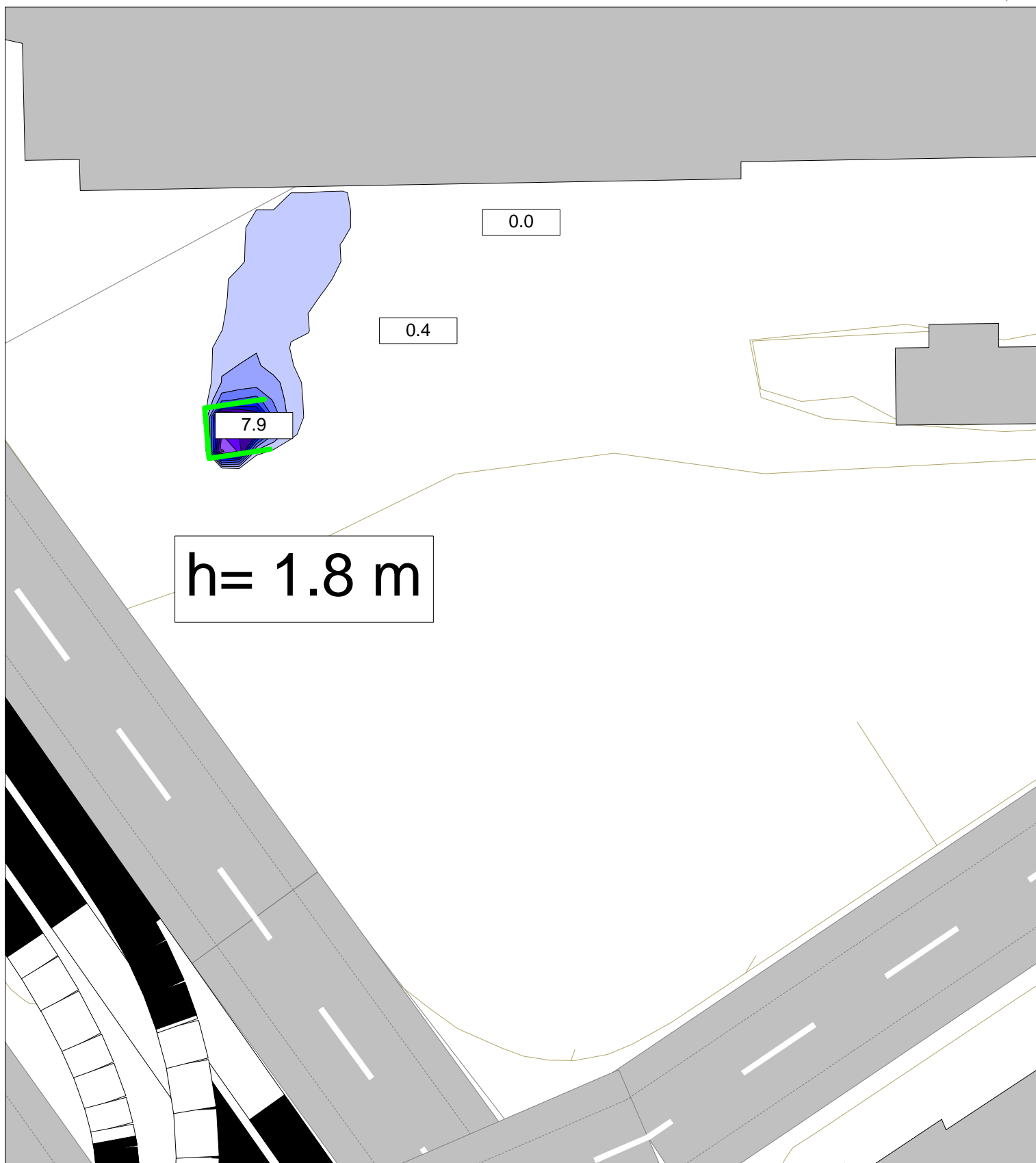


Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:300 (A4)

WSP Finland Oy
9.12.2024



Vehreät meluseinäkkeet,
jatkoselvitys

Meluseinäkkeen muodon
vaikutus, kun lähellä
ääntä seinäkkeen taakse
heijastava julkisivu

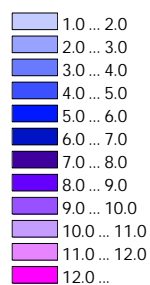
Tarkasteltava kohde:
aukio, maanpinta $a=0$

Melulähde kahdella suunnalla

Tieliikenne:
lounaassa 8 400 ajon./vrk
kaakossa 6 200 ajon./vrk
(40 km/h)

Raitiovaunuliikenne:
Päivällä 735 vaunua, λ 27 m
(30 km/h)

Melun vaimeneminen
[dB]



Pohjoismainen
tie- ja raideliikennemelumalli:
laskentakorkeus 1.2 m
laskentatiheys 1 x 1 m



Mittakaava: 1:300 (A4)

WSP Finland Oy
9.12.2024

Kaaren muotoinen meluseinäke

Katos, lippa tai istuinsyvennys lisää melusuojaa merkittävästi seinäkkeen läheisyydessä

Kaaren muoto noin 130° sektori ympyrän kehältä

Visuaalisesti toteuttamisympäristönsä kaupunkikuvaan soveltuva

Ääntä absorboivaa pintaa seinäkkeen molemmin puolin

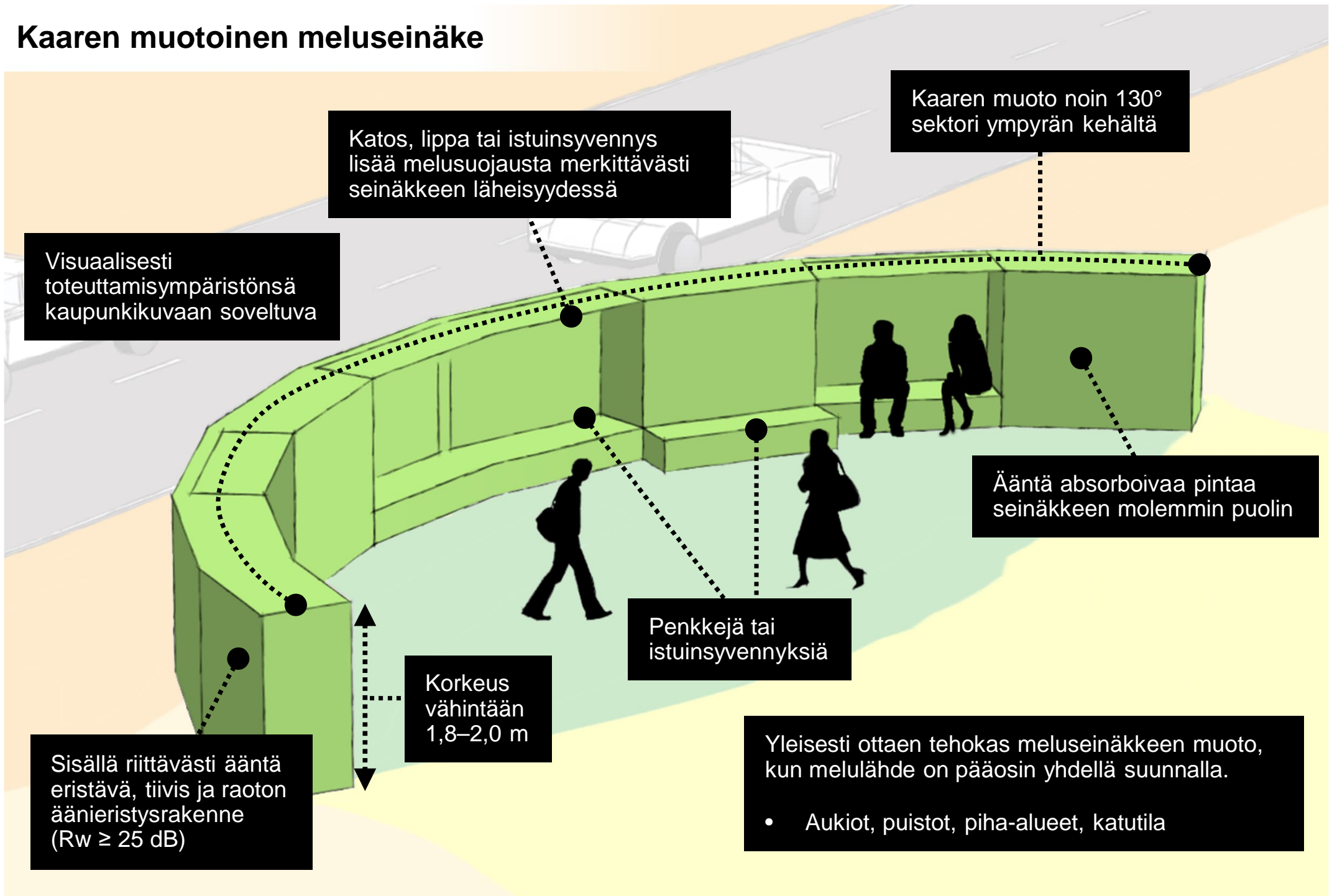
Penkkejä tai istuinsyvennyksiä

Korkeus vähintään 1,8–2,0 m

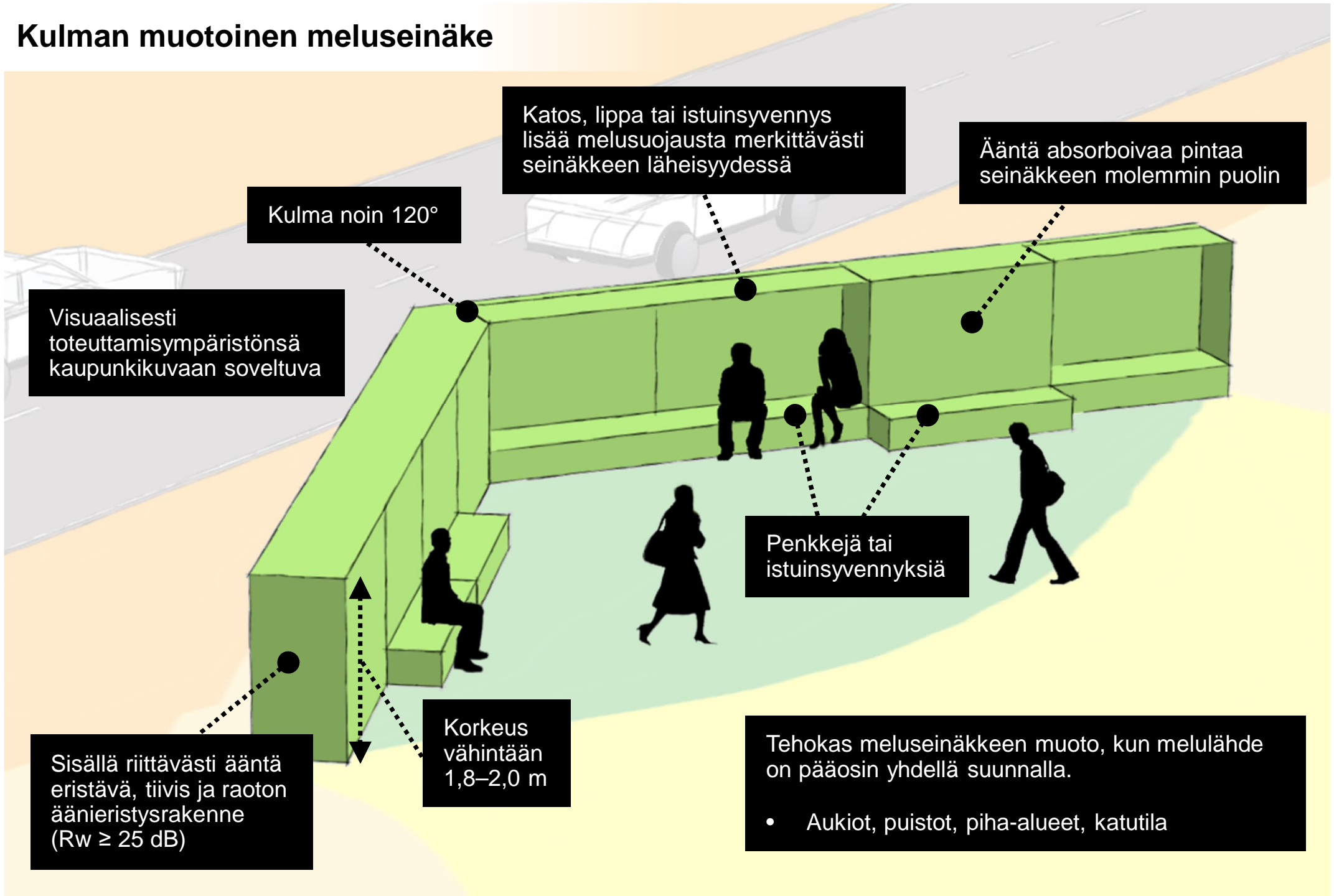
Sisällä riittävästi ääntä eristävä, tiivis ja raoton äänieristysrakente (Rw ≥ 25 dB)

Yleisesti ottaen tehokas meluseinäkkeen muoto, kun melulähde on pääosin yhdellä suunnalla.

- Aukiot, puistot, piha-alueet, katutila



Kulman muotoinen meluseinäke



Suora meluseinäke päätyseinillä

Visuaalisesti toteuttamisympäristönsä kaupunkikuvaan soveltuva

Katos, lippa tai istuinsyvennys lisää melusuojausta merkittävästi seinäkkeen läheisyydessä

Ulkonevat päätyseinät molemmissa päissä lisäävät suoran seinän melusuojausta merkittävästi

Korkeus vähintään 1,8–2,0 m

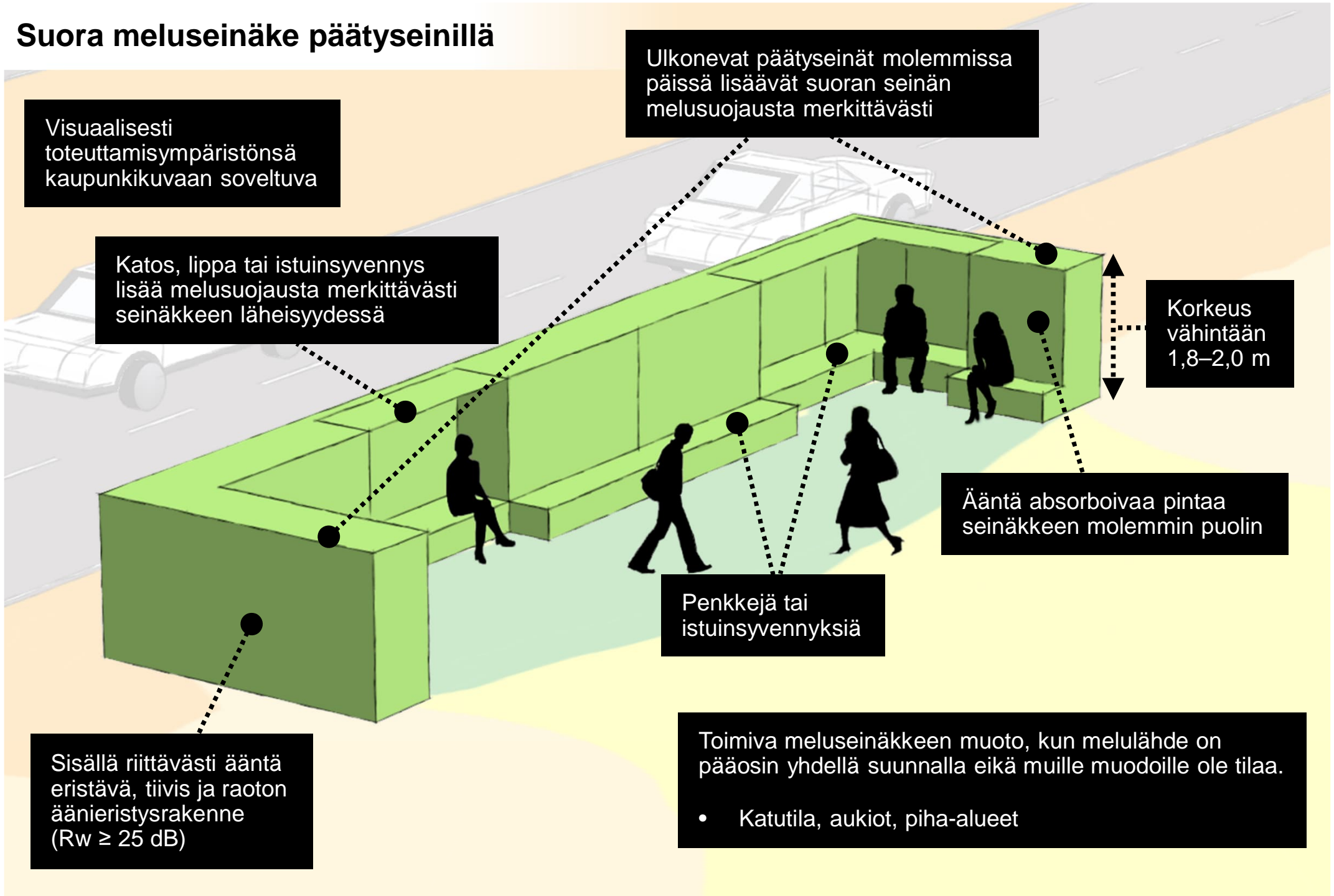
Ääntä absorboivaa pintaa seinäkkeen molemmin puolin

Penkkejä tai istuinsyvennyksiä

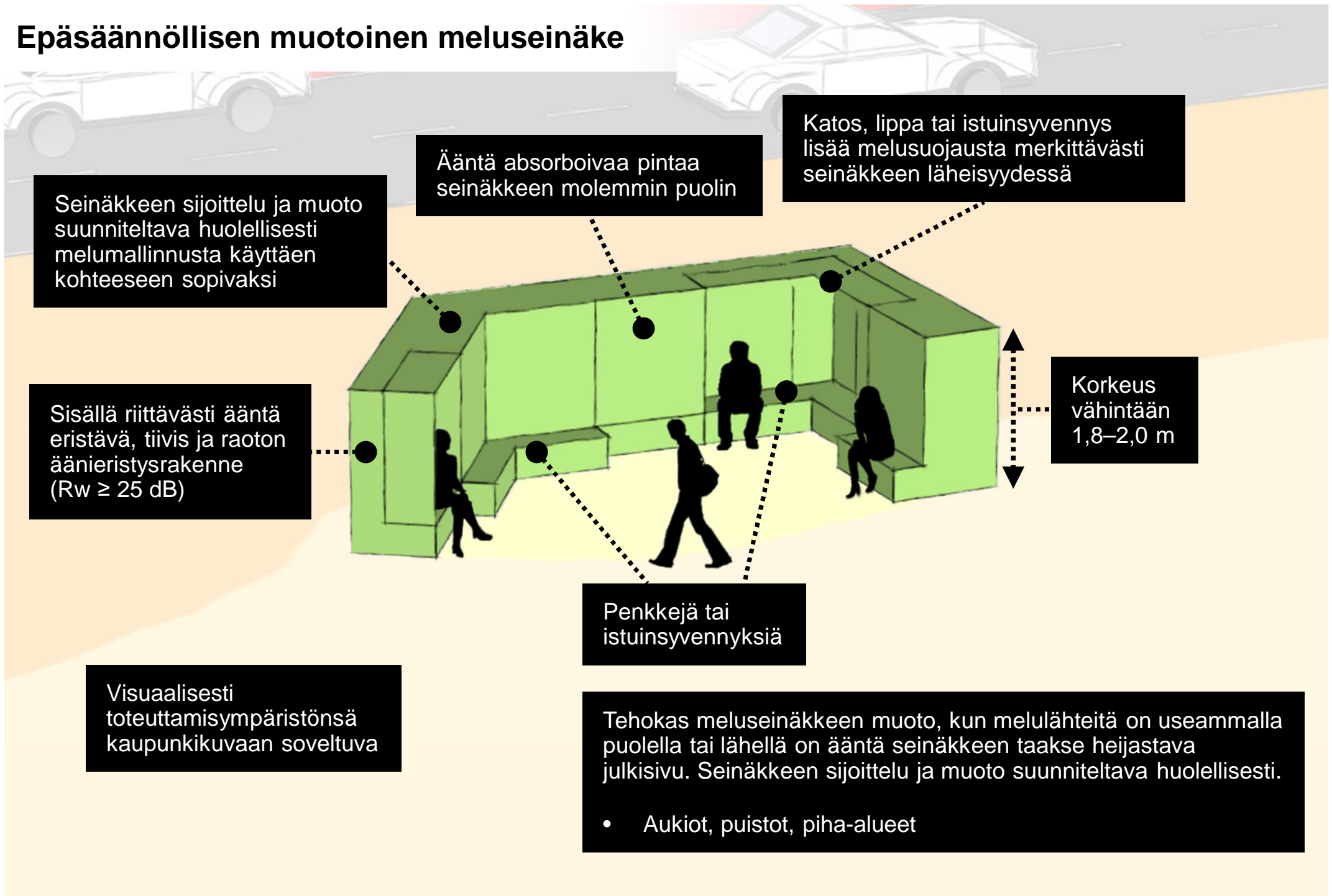
Sisällä riittävästi ääntä eristävä, tiivis ja raoton äänieristysrakente (R_w ≥ 25 dB)

Toimiva meluseinäkkeen muoto, kun melulähde on pääosin yhdellä suunnalla eikä muille muodoille ole tilaa.

- Katutila, aukiot, piha-alueet



Epäsäännöllisen muotoinen meluseinäke



Eri materiaalien absorptiokertoimia oktaavikaistoittain. Kertoimet ovat eri lähteistä kerättyjä keskimääräisiä arvoja. Suurin osa taulukon kertoimista on esitetty oppaassa RIL 129-2003.

Materiaali tai rakenne	Oktaavikaista [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
Tiiliseinä	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Betoni	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
5 mm kumimatto suoraan betonin päällä	0,04	0,04	0,08	0,12	0,13	0,10
Huopapohjainen muovimatto, villanukkamatto tai vastaava tekokuitumatto + alusmatto, kokonaispaksuus 10 mm betonin päällä	0,03	0,05	0,09	0,10	0,08	0,06
Vedenpinta	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
Maan pinta yleensä	0,15	0,25	0,40	0,55	0,60	0,60
Sora	0,25	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
Lumi 100 mm	0,45	0,75	0,90	0,95	0,95	0,95
Ruohikko	0,15	0,26	0,60	0,69	0,92	0,96
50 mm puupaneeli suoraan seinää vasten	0,10	0,07	0,05	0,05	0,04	0,04
16 mm puupaneeli 40 mm koolauksella	0,18	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07
8 mm vaneri 50 mm koolauksella	0,28	0,22	0,17	0,09	0,10	0,11
3 mm vaneri 50 mm koolauksella	0,20	0,28	0,26	0,09	0,10	0,11
3 mm vaneri 50 mm koolauksella, mutta koolausvälissä mineraalivilla 50 mm	0,42	0,62	0,22	0,09	0,10	0,11
40 mm avosoluinen vaahtomuovi (Superlon)	0,16	0,27	0,50	0,56	0,70	0,68
Mineraalivilla (kivivilla tai lasivilla 40...100 kg/m ³ kiinni taustassa, paksuus:						
20 mm	0,05	0,10	0,32	0,55	0,85	0,92
30 mm	0,10	0,30	0,65	0,90	0,96	0,96
40 mm	0,20	0,45	0,80	0,92	0,96	0,95
50 mm	0,30	0,52	0,92	0,96	0,96	0,96
80 mm	0,50	0,90	0,96	0,96	0,96	0,96
100 mm	0,65	0,92	0,96	0,96	0,96	0,96
Mineraalivilla 50 mm peitetty 20x20 mm puulistoilla, listojen väli 20 mm	0,35	0,72	0,75	0,70	0,70	0,70
Levyseinä, 13 mm kipsilevyt, ilmaväli noin 100...150 mm	0,20	0,10	0,05	0,05	0,05	0,10
Kuten edellä, mutta ilmavälissä mineraalivilla	0,30	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10
Akustiikkalevy 20 mm, mineraalivillaa, kiinni taustassa	0,05	0,20	0,60	0,95	0,96	0,96
Akustiikkalevy 40 mm, mineraalivillaa, kiinni taustassa	0,25	0,60	0,95	0,96	0,96	0,96
Akustiikkalevy 15 mm, puukuitu, kiinni taustassa	0,05	0,10	0,20	0,35	0,60	0,85
Akustiikkalevy 15 mm, puukuitu, takana 20 mm mineraalivilla ja 180 mm ilmaväli	0,35	0,70	0,90	0,90	0,85	0,90

Kuvailulehti

Tekijä	Pyry Survo, Sirpa Lappalainen, Ville-Veikko Kyllönen, Joni Kemppainen (WSP Finland Oy)
Nimike	Vehreät meluseinäkkeet, jatkoselvitys
Sarjan nimike	Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön aineistoja
Sarjanumero	2024:19
Julkaisuaika	1/2025
Sivuja	45
Liitteitä	9
ISBN	978-952-386-533-4
ISSN	2489-4257 (verkkojulkaisu)
Kieli, koko teos	Suomi
Kieli, yhteenveto	Suomi

Tiivistelmä:

Tämä työ on jatkoselvitys vehreät meluseinäkkeet -kokeiluhankkeelle, jonka tavoitteena oli löytää innovatiivisia ratkaisuja hiljaisempien ja viihtyisämpiin vihertaskujen luomiseen tiiviiseen kaupunkiympäristöön. Kokeiluhankkeessa kerättyjen kokemusten ja aineistojen pohjalta meluseinäkkeiden vaikutuksia ja kehitystarpeita tutkittiin tässä työssä tarkemmin meluntorjunnan ja ääniympäristön kokemisen näkökulmasta.

Selvityksen tavoitteena on laatia aineisto, jota voidaan käyttää apuna meluseinäkkeiden toteuttamisessa kaupunkiympäristöön. Aineistosta ilmenee erilaisten kohdetyyppien avulla tehtyjen tarkastelujen myötä periaatteita meluseinäkkeiden sopivaan sijoitteluun, muotoon ja korkeuteen. Selvityksessä tarkastellaan meluseinäkkeeseen soveltuvaa rakennetta, pintamateriaaleja ja muita erityispiirteitä, kuten katosta ja istuinsyvennystä, meluntorjunnan näkökulmasta. Selvityksessä käsitellään myös meluseinäkkeiden ja kasvillisuuden vaikutusta ääniympäristön kokemiseen.

Meluseinäkekokeilun ja tämän jatkoselvityksen perusteella vehreillä meluseinäkkeillä voidaan lisätä ääniympäristön miellyttävyyttä ja huomattavasti alentaa liikennemelusta aiheutuvia melutasoja suojattavalla alueella. Seinäkkeen suojassa luonnon äänet, kuten linnunlaulu, ovat helpommin kuultavissa ja keskusteleminen on helpompaa. Käyttäjäkokemusten perusteella vehreät meluseinäkkeet parantavat ääniympäristöä ja lisäävät viihtyisyyttä.

Selvityksessä määriteltiin vehreiden meluseinäkkeiden keskeisiä ominaisuuksia ja meluseinäkkeiden suunnittelussa huomioitavia asioita. Selvityksen aineistoa sekä sen pohjalta laadittuja vehreiden meluseinäkkeiden tyyppikortteja voivat hyödyntää niin meluseinäkkeiden valmistajat, suunnittelijat kuin tilaajatkin.

Avainsanat:

Ääniympäristö, meluntorjunta, kasvillisuus, kaupunkivihreä

Presentationsblad

Författare	Pyry Survo, Sirpa Lappalainen, Ville-Veikko Kyllönen, Joni Kemppainen (WSP Finland Oy)
Titel	Vehreät meluseinäkkeet, jatkoselvitys
Seriens titel	Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön aineistoja
Serienummer	2024:19
Utgivningsdatum	1/2025
Sidantal	45
Bilagor	9
ISBN	978-952-386-533-4
ISSN	2489-4257
Språk, hela verket	Finska
Språk, sammanfattning	Finska

Sammanfattning:

Det här projektet är en fortsatt utredning för pilotprojektet med gröna bullerväggar, som syftade till att hitta innovativa lösningar för att skapa tystare och trivsammare gröna fickor i en tät stadsmiljö. Baserat på de erfarenheter och det material som samlades in under pilotprojektet undersöktes effekterna av och utvecklingsbehoven för bullerväggarna ytterligare i det här projektet utifrån perspektivet bullerbekämpning och upplevelsen av ljudmiljön.

Syftet med utredningen är att ta fram material som kan användas för att hjälpa till att implementera bullerväggar i stadsmiljö. Genom att analysera olika typer av objekt ger materialet principer för lämplig placering, form och höjd på bullerväggarna. I utredningen undersöks struktur, ytmaterial och andra särdrag, som tak och sittgröpar, som kan implementeras på bullerväggarna utifrån perspektivet bullerbekämpning. I utredningen granskas också bullerväggarnas och växtlighetens påverkan på upplevelsen av ljudmiljön.

Baserat på försöket med bullerväggar och den här fortsatta utredningen kan gröna bullerväggar göra ljudmiljön mer behaglig och avsevärt minska nivån av trafikbuller i det skyddade området. I skydd av en bullervägg är det lättare att höra naturens ljud, exempelvis fågelsång, och det är lättare att samtala. Användarerfarenheter visar att gröna bullerväggar förbättrar ljudmiljön och ökar trivsamteten.

I utredningen identifierades de viktigaste egenskaperna hos gröna bullerväggar och de frågor som behöver beaktas vid utformningen av bullerväggarna. Materialet från utredningen och typkorten för gröna bullerväggar som skapats baserat på det kan användas av både tillverkare, planerare och beställare av bullerväggar.

Nyckelord:

Ljudmiljö, bullerbekämpning, vegetation, stadsgrönska

Description

Author	Pyry Survo, Sirpa Lappalainen, Ville-Veikko Kyllönen, Joni Kemppainen (WSP Finland Oy)
Title	Vehreät meluseinäkkeet, jatkoselvitys
Series name	Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön aineistoja
Series number	2024:19
Time of publication	1/2025
Pages	45
Appendices	9
ISBN	978-952-386-533-4
ISSN	2489-4257
Language, entire work	Finnish
Language, summary	Finnish

Summary:

This work is a follow-up to the green noise barriers pilot project, which aimed to find innovative solutions for creating quieter and more comfortable green pockets in a dense urban environment. Based on the experiences and data collected in the pilot project, the effects and development needs of the noise barriers were studied in more detail in this work from the perspective of noise abatement and the experience of the acoustic environment.

The report aims to produce material that can be used to help implement noise barriers in the urban environment. This material will provide principles for the appropriate placement, shape and height of noise barriers based on the analysis of different types of sites. The report will examine the appropriate structural elements, surface materials and other special features, such as roof coverings and seat recesses, for noise barriers from a noise abatement perspective. The report will also discuss the impact of noise barriers and vegetation on the experience of the acoustic environment.

Based on the noise barrier experiment and this follow-up report, green noise barriers can increase the pleasantness of the acoustic environment and significantly reduce traffic noise levels in the protected area. Protected by the barrier, the sounds of nature – such as birdsong – are easier to hear, and it is easier to have a conversation. Based on user experiences, green noise barriers improve the acoustic environment and increase comfort.

This report defines the key characteristics of green noise barriers and issues to be taken into account in their design. The material from the report and the resulting type cards for green noise barriers can be used by manufacturers, designers and clients alike.

Keywords:

Acoustic environment, noise abatement, vegetation, urban green spaces

Helsinki

Kaupunkiympäristön toimiala huolehtii Helsingin kaupunkiympäristön suunnittelusta, rakentamisesta ja ylläpidosta, rakennusvalvonnasta sekä ympäristöön liittyvistä palveluista.