



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

MELUESTEEN SUUNNITTE- LUN VAATIMUKSET

TEKIJÄ/T:

Jonne Korhonen

| | |
|---|--------------------------|
| Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala | |
| Tutkinto-ohjelma Konetekniikan tutkinto-ohjelma | |
| Työn tekijä(t) Jonne Korhonen | |
| Työn nimi Meluesteen suunnittelun vaatimukset | |
| Päiväys 9.7.2021 | Sivumäärä/Liitteet 46 |
| Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Kiertotalousalan startup yritys | |
| Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli hankkia tietoa melusteistä ja niiden suunnittelusta opinnäytetyön asettajan käyttöön. Opinnäytetyöhön tuli hankkia tietoa jo patentoiduista melusteistä, melusteisiin liittyvistä standardeista, jo käytössä olevista melusteistä, sekä melusteiden vaatimista testauksista ja vaadittavista testatuloksista. Lisäksi tuli tehdä konseptisuunnitelmana 3D- malli opinnäytetyön asettajan tuotantoon soveltuvasta melusteestä ja perustella sen sopivuus yrityksen omaan tuotantoon. Tavoitteena oli tuottaa kaikista hankituista tiedoista ja ideoiduista komponenteista raportti, jota opinnäytetyön asettaja voi itse hyödyntää meluesteen tuotekehityksessä.</p> <p>Opinnäytetyö alkoi meluesteen suunnittelun tietoperustan kokoamisella, jonka jälkeen tehtiin patenttitarkastelu. Patenttitarkastelussa Excel taulukkoon koostettiin tietoa, millaisia asioita melusteistä on jo patentoitu. Patenttitarkastelun jälkeen tehtiin standardi tarkastelu, jossa kerättiin meluesteen suunnitteluun tehtyjä standardeja ja selvitettiin, mihin mitäkin standardia käytetään. Seuraavaksi tarkasteltiin jo olemassa olevia melusteitä, jonka jälkeen selvitettiin melusteiden vaatimia testausmenetelmiä, sekä testeistä vaadittuja tuloksia. Opinnäytetyön viimeisessä vaiheessa ideoitiin meluste, joka olisi soveltuva opinnäytetyön asettajan omaan tuotantoon, huomioiden yrityksen valmistusmenetelmien ja materiaalien tuomia rajoitteita.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena oli raportti, jossa on käsitelty meluesteen suunnittelua ja vaatimuksia, koottu hankitut tiedot ja esitetty ideoitu meluste. Lisäksi opinnäytetyön asettajan käyttöön on tehty Excel taulukko patenteista, sekä SolidWorks 3D-malli ideoidusta melusteestä.</p> <p>Julkisesta versiosta on poistettu opinnäytetyön asettajan pyynnöstä yrityksen toiminnan kannalta kriittisiä tietoja.</p> | |
| Avainsanat Meluste, suunnittelu | |

| | |
|---|------------------------|
| Field of Study Technology, Communication and Transport | |
| Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering | |
| Author(s) Jonne Korhonen | |
| Title of Thesis Requirements for the Design of Noise Barriers | |
| Date 9.July.2021 | Pages/Appendices 46 |
| Client Organisation /Partners A Startup company in the field of circular economy | |
| <p>Abstract</p> <p>The purpose of the thesis was to acquire information about noise barriers and their design requirements for the use of the client. In addition to general design knowledge for noise barriers, information had to be obtained about existing patents, standards, and noise barriers, as well as noise barrier testing and test results. Based on the information obtained, a noise barrier suitable for the company's own production had to be designed. The aim was to make a report of the obtained data, also including the designed noise barrier model.</p> <p>In the first stage of the thesis, basic knowledge of the noise barrier design was acquired, followed by a patent review. Next a standard review was performed, and existing noise barriers were reviewed. Then the tests required by the noise barriers and the desired test results were determined. In the last stage of thesis, a noise barrier was designed that would be suitable for the client. The design work resulted in a 3D model suitable for the company's own production.</p> <p>The result of the thesis was a report, an Excel spreadsheet containing the result of the patent review and the designed 3D model of the noise barrier.</p> | |
| Keywords Noise barrier, design | |

SISÄLTÖ

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 5 |
| 2 | OPINNÄYTETYÖN ASETTAJA | 6 |
| 3 | TAUSTA | 7 |
| 3.1 | Melu | 7 |
| 3.2 | Melututkimus | 8 |
| 3.3 | Meluntorjunta | 9 |
| 4 | TIETOA | 12 |
| 4.1 | Meluste | 12 |
| 4.2 | Patentit | 17 |
| 4.3 | Standardit | 18 |
| 5 | TARKASTELU | 20 |
| 5.1 | Patenttitarkastelu | 20 |
| 5.2 | Standardikatsaus | 20 |
| 5.2.1 | Meluesteen laatuvaatimukset | 20 |
| 5.2.2 | Eurokoodit | 21 |
| 5.2.3 | Meluesteen akustiset ominaisuudet, SFS-EN 1793 ja SFS-16272 | 21 |
| 5.2.4 | Meluesteen ei-akustiset ominaisuudet, SFS-EN 1794 ja SFS-EN 16727 | 23 |
| 5.2.5 | Melusteiden käyttöikä SFS-EN 14389 ja SFS-EN 16951 | 24 |
| 5.3 | Olemassa olevien meluestetuotteiden tarkastelu | 25 |
| 5.3.1 | Melusteet Suomessa | 25 |
| 5.3.2 | Melusteet Euroopassa | 28 |
| 5.4 | Meluesteen testausmenetelmät | 32 |
| 5.4.1 | Meluesteen akustisten ominaisuuksien testausmenetelmä laboratoriossa | 33 |
| 5.4.2 | Meluesteen akustisten ominaisuuksien testausmenetelmä kenttäolosuhteissa | 34 |
| 5.4.3 | Materiaalin akustisten ominaisuuksien testausmenetelmä | 37 |
| 6 | MELUESTEEN IDEOINTI | 38 |
| 7 | POHDINTA | 42 |
| | LÄHTEET | 43 |

1 JOHDANTO

Nyky-yhteiskunta on nopeasti laajeneva ja ihmisten liikkumisen tarve eri kulkuneuvolla lisääntyy jatkuvasti. Varsinkin Suomessa tiestön tarve on korostunut, koska välimatkat ovat suuria, eikä pienemmillä paikkakunnilla ole mahdollista päästä rautatieliikennettä hyödyntäen. Tästä johtuen tiestöt laajenevat ja sitä käyttävän kaluston määrä kasvaa. Lisäksi tiestöä käyttävän kaluston koko suurenee, koska nyky-yhteiskunnassa pyritään tehokkuuteen ja suuremman tavaramäärän siirtäminen kerralla on tehokkaampaa, kuin siirtää se pienemmissä osissa useaan kertaan.

Koska yksityishenkilöiden maantieliikenne rasittaa ilmastoa hyvin paljon verrattuna joukkoliikenteeseen, pyritään joukkoliikennevaihtoehtoja lisäämään ympäri maata. Ympäristön kannalta ekologinen vaihtoehto on raideliikenne, koska se hyödyntää toiminnassaan polttoaineen lisäksi sähköä, jolloin sen päästövaikutukset eivät ole niin suuret. Raideliikenteen suosimisen myötä junien massat kasvavat ja niiden kulkunopeudet suurenevät, jolloin myös raiteiden rasitus kasvaa.

Nämä seikat lisäävät liikenteen melupäästöjä, jotka eivät ole toivottuja. Erityisen hankalan tilanteesta tekee se, että ihmiset keskittyvät asumaan samoihin paikkoihin toistensa kanssa, jolloin liikennemäärät kyseisille alueille kasvavat. Tämä johtaa siihen, että tiestöä ja raideliikennettä täytyy lisätä alueella ja se aiheuttaa alueelle yhä enemmän liikennemelua. Melupäästöjen rajoittamiseen käytettyjä keinoja ovat tiepäällysteiden koostumus, meluvallit ja meluseinät.

Melusteilla saadaan vähennettyä liikennemelua ihmisten käyttämillä alueilla, jolloin viihtyvyys kyseisillä alueilla on parempaa. Melusteet ja meluvallit ovat helppo ja suhteellisen edullinen tapa hallita liikenteestä lähtevää melua.

Tässä opinnäytetyössä on käsitelty meluestettä, joka on tyypiltään meluseinä. Opinnäytetyössä on hankittu tietoa melusteiden valmistuksen ja suunnittelun vaatimista standardeista, patenteista, olemassa olevista melusteista, vaadittavista testeistä ja niiden tuloksista, sekä pohdittu millainen meluste sopisi opinnäytetyön asettajan tuotantoon. Työ on tehty opinnäytetyön asettajan käyttöön ja se on tehty ajatellen meluesteen valmistusta yrityksen omassa tuotannossa. Tavoitteena oli saada selvitettyä tarvittavat tiedot ja koostaa niistä selkeä raportti opinnäytetyön asettajan käyttöön.

2 OPINNÄYTETYÖN ASETTAJA

Opinnäytetyön asettajana toimi kiertotalousalan startup yritys, joka on vuonna 2016 perustettu kehittämään ja kaupallistamaan kierrätysteknologiaa ekologisten komposiittien valmistamiseksi. Yritys valmistaa komposiittituotteita, joissa pääraaka-aineina ovat pääasiassa jätteperäiset kierrätysmateriaalit omilla Suomessa sijaitsevilla laitoksillaan.

Tuotteiden valmistus ja jätteiden kierrätys perustuu patentoituun teknologiaan. Yhdistämällä eri raaka- ja sidosaineita saavutetaan materiaaliin ja tuotteisiin ominaisuuksia, joita voidaan hyödyntää eri toimialoilla monenlaisissa sovelluskohteissa. Mahdollinen kierrätysraaka-ainepohja on monipuolinen, raaka-aineeksi soveltuvat sekalaiset muovit, jotka nykyisin menevät pääasiassa polttoon sekä erilaiset kierrätyskuidut kuten puu-, paperi- ja kartonkipohjaiset kuidut, tekstiilit sekä esimerkiksi erilaiset muutoin kaatopaikalle loppusijoitettavaksi päätyvät poltettavaksi kelpaamattomat sivuvirrat kuten kivi-, lasi- ja mineraalivillat.

Yritys työskentelee kiertotalouden edistämiseksi ja löytääkseen uusia tapoja hyödyntää erilaisia raaka-aineita ja kierrätysmateriaaleja. Yritys tarjoaa valmistamiensa tuotteiden lisäksi myös tuotekehitystä, sekä patentoimaansa kierrätysteknologiaa asiakkaidensa käyttöön. Tuotantolaitosverkoston laajentamisen lisäksi yrityksellä on myös suunnitteilla uusia tuotteita, kuten meluesteet liikenneväylien varsille, jota varten tämä opinnäytetyö on teetetty.

3 TAUSTA

3.1 Melu

Ääni muodostuu aaltoliikkeestä, joka voi kulkea niin kaasussa, nesteessä, kuin kiinteässä aineessaakin. Eri aineissa liikkeessaan, ääni kulkee kuitenkin eri tavalla. Kaasussa ja nesteessä liikkeessaan ääni välittyy paineaaltona, kun taas kiinteässä aineessa ääniaalto välittyy kimmoaaltona (Suvanto & Laajalehto 2015, 277). Äänen voimakkuutta mitataan desibeleinä dB, joka on logaritminen luku. Ihminen pystyy havaitsemaan ympäristöstään hyvinkin pieniä äänentason muutoksia, jolloin 3–4 dB muutos on jo havaittavissa ja 10 dB muutos on jo suuri (Tiehallinto 2006, 2.)

Melun määritelmän mukaan ääni muuttuu meluksi, kun ihminen kokee sen epämiellyttävänä, tai se häiritsee kuulijan oloa. Se minkä ihminen kokee meluksi voi olla ihmisillä erilainen, joku ihminen voi kokea samaisen äänen hyvinkin häiritsevänä, kun taas toinen ei ääntä noteeraa laisinkaan. Tästä johtuen toisen ihmisen kuulema häiritsemätön ääni, voi olla toiselle ihmiselle hyvinkin häiritsevää melua. Melun kokemiseen vaikuttaa myös äänen kuulemisen ajankohta, sillä ilta- ja yöaikaan äänet voivat häiritä unta (Väylävirasto 2020.)

Melu voi olla kuitenkin myös terveydelle haitallista, jos sille altistuva ihminen pitää sitä erityisen häiritsevänä tai pitkään jatkuvana. Siitä voi aiheutua ihmisille häiriintyneisyyttä, unettomuutta, stressiä, henkisen hyvinvoinnin alentumista, sekä kasvavaa sydän- ja verisuonisairauksien riskiä. Melun terveyshaitat ovat usein alkuun huomaamattomia, ennen kuin haitat alkavat kasaantua (THL 2021.)

Suomessa valtioneuvosto on säätänyt melutasoista asetuksen vuonna 1992, jossa melutasoille eri ympäristöissä on annettu ohjearvot, joita ei saisi ylittää. Asetuksen mukaan asumuksien, taajamien läheisyydessä olevien virkistysalueiden, sekä hoito- ja oppilaitosten läheisyydessä melutaso ulkona ei saisi olla yli 55 dB, eikä (oppilaitokset poisluettuna) yöaikaan yli 45 dB. Lisäksi on säädetty, että loma-asumuksien alueella, eikä virkistysalueilla taajaman ulkopuolella melutaso saisi olla yli 45 dB ja yöaikaan yli 40 dB. Asetuksessa määritellyt raja-arvot ovat keskiarvoja, jotka määritetään erikseen päivä- ja yö ajalle. Tästä johtuen hetkellisesti liikenteestä tulevaa melua voi olla merkittävästi enemmänkin, kuin asetuksessa määritetty enimmäisarvo on. Tärkeintä on, että keskiarvo pysyy raja-arvon alapuolella (Finlex 993/1992.)

Liikennemelu on nykyään jatkuvasti kasvava ongelma yhteiskunnassa ja sen vaikutuksia ihmisiin pyritään vähentämään. On arvioitu, että jopa 85 % ympäristössä esiintyvistä melusta on lähtöisin tie- liikenteestä (THL 2021). Liikennemelun suuruuteen vaikuttavia tekijöitä on useita ja ne kaikki vaikuttavat osaltaan liikenteen melupäästöihin. Melua aiheuttavia tekijöitä liikenteessä ovat kulkunopeudet, liikennemäärät, raskaat ajoneuvot, tiestön mäkisyys, ruuhkat, autojen renkaat, sekä liikenneväylien päällysteet (Tiehallinto 2006, 4.)

Liikennemelua rajoittamaan ja sen haittojen laajuuden tutkimisen mahdollistamiseksi myös Euroopan parlamentti ja -neuvosto on säätänyt Ympäristömeludirektiivin 2002/49/EY vuonna 2002. Direktiivin tarkoituksena on ollut luoda Euroopan unionin jäsenmaihin yhteinen tapa toimia meluhaittojen vähentämiseen, jonka avulla myös unionin jäsenmaiden meluselvitykset ovat paremmin vertailtavissa toisiinsa jäsenmaihin. Direktiivissä on säädetty yhteiset seuranta-arvot, jotka ovat

vuorokausimelutaso L_{den} ja yömelutaso $L_{yö}$. Ympäristömeludirektiivi asettaa jäsenmaille myös tiettyjä menettelyjä, joita tulee toteuttaa 5 vuoden välein. Direktiivi määrää jäsenmaat keräämään, vertailemaan ja välittämään muille direktiivin alaisille maille tietoa ympäristömelusta yli 100 000 asukaahan väestökeskittymistä ja suurimmilta liikenneväyliltä, sekä suurilta lentoasemilta (Liikennevirasto 2017, 10–11.)

3.2 Melututkimus

Liikennevirasto on tehnyt vuonna 2017 meluselvityksen yli 3 miljoonan vuotuisen liikennemäärän omaavilta maanteiltä ja yli 30 000 junan vuosimäärän ylittävillä rautateilla. Nämä tarkastelukohteet on valikoitunut Euroopan unionin Ympäristödirektiivin mukaan. Melua on mitattu direktiivin mukaisesti vuorokausimelun ja yömelun keskiarvon mukaan silloin, kun sää on ollut vuositasolla tavanomaisin. Laskennat on suoritettu Euroopan yhteisellä CNOSSOS-EU-laskentamallilla. Direktiivin mukainen melun mittauspiste eroaa Suomen valtioneuvoston melun ohjearvojen mittaustavasta hieman, koska direktiivin mukaan melu mitataan 4 m korkeudesta maanpinnasta, kun taas Suomen kansallisen ohjeistuksen mukaan melu mitataan 2 m korkeudesta maanpinnasta. Tästä johtuen Liikenneviraston melututkimus ei ole suoraan verrattavissa valtioneuvoston ohjearvoihin (Liikennevirasto 2017, 14–17.)

Melua tarkastellaan ympäristödirektiivin mukaisesti vuorokausimelutason ja yömelutason osalta. Yömelutasoa tarkastellaan painottamattomalla arvolla, koska koko yöaikaa ajatellaan yhtä haittaavana ajankohtana melun kokemisen kannalta. Vuorokausimelutaso L_{den} lasketaan kaavalla

$$L_{den} = 10 \lg \left[\frac{12}{24} 10^{L_d/10} + \frac{3}{24} 10^{(L_e+5)/10} + \frac{9}{24} 10^{(L_n+10)/10} \right], \quad (1)$$

jossa otetaan huomioon päivämelu L_d , iltamelu L_e , sekä yömelu L_n , jotka ovat painotettu melun haittaavuuden mukaan. Kaavassa (1) päivämelulla painotus on 0 dB, iltamelulla +5 dB ja yömelulla +10 dB. Tällä menetelmällä saavutetaan seuranta-arvo, joka ottaa huomioon yöllä ja illalla kuuluvan melun suuremman haittavaikutuksen (Liikennevirasto 2017, 15–16.)

Melututkimuksesta on saatu selville, että päivällä yli 55 dB liikennemelulle maanteiden osalta altistuu Suomessa 281 870 ihmistä ja yöaikaan yli 50 dB liikennemelulle altistuu 142 350 ihmistä. Rautateiden osalta päivisin yli 55 dB melulle altistuu 51 900 ihmistä ja yöaikaan yli 50dB melulle altistuu 33 680 ihmistä. Melulle altistuvien suuri määrä voi johtua osaltaan uusien tieosuuksien rakentamisesta, sekä vanhojen päivittämisestä, jolloin aiemmin suunnitellut ja rakennetut meluntorjuntakeinot eivät enää välttämättä toimi suunnitellulla tavalla (Liikennevirasto 2017, 21–24.)

Tutkimuksen virhemarginaaliksi on arvioitu noin ± 3 dB. Virhemarginaali perustuu siihen, että melututkimuksessa on tiestön kunto oletettu olevan maksimissaan vuoden vanhalla SMA- päällysteellä, eli kivimastiksiasfaltilla päällystetty. Kivimastiksiasfaltti koostuu pääasiassa karkeasta tasarakenteisesta murskatusta kivistä, joka on stabiloitu mastiksilla. Se omaa hyvän kulutuskestävyyden ja onkin siksi yleisesti käytössä päällimmäisenä kerroksena suuren liikennemäärän omaavilla maanteilla (NCC 2021). Tien kunnan lisäksi virhemarginaaliin on vaikuttanut mitatut maantienopeudet, sekä rautateiden kiskojen kunto ja junien kulkunopeudet (Liikennevirasto 2017, 25–26.)

3.3 Meluntorjunta

Tie- ja rautatieliikenteen aiheuttaman liikennemelun kasvamisen takia meluntorjuntaan on herätty laajasti Euroopassa. Uusia liikenneväyliä perustettaessa vastuu tien melupäästöjen rajoittamisesta sallittuihin raja-arvoihin on tien valmistuttajan harteilla, joiden keskuudessa yleisesti järkevimpänä vaihtoehtona liikenteen melun vähentämiseen pidetään melusteiden, tai meluvallien käyttöä, ääntä absorboivien tiepäällysteiden lisäksi (CEDR 2017, 7.)

Meluntorjuntaa voidaan toteuttaa monilla eri menetelmillä ja kaavoitusta tarkastellaan nykypäivänä koko ajan enemmän suunnitella uusia rakennuskohteita. Kaavoituksen avulla voidaan asettaa ei niin pahoin melusta kärsiviä rakennuksia melusuojuksi asuinalueelle. Tällaisia rakennuksia voivat olla esimerkiksi erilaiset kaupallista toimintaa harjoittavat rakennukset, sekä erilaiset auto- ja roskakotokset. Uusia tieosuuksia suunniteltaessa tulisi ensisijaisesti suunnitella itse väylä niin, että se ei tarvitse erillisiä meluntorjuntakeinoja, vaan pyrkiä rakentamaan väylät esimerkiksi korkeudeltaan, tai kulkusuunnaltaan niin, että melupäästöjä ei synny asuinalueelle (Liikennevirasto 2015, 8–9.)

Suomessa on kuitenkin niin laaja maantieverkosto, että liikenteen melua on mahdotonta estää pelkästään väyläsuunnittelulla. Tällöin hyvä meluntorjuntakeino on rakentaa liikenneväylien viereen jonkinlainen melua muualle heijastava, tai sitä vaimentava meluste. Melusteita on hyvinkin erilaisia, koska niiden sijoituskohteesta riippuen ne pyritään tekemään mahdollisimman hyvin ympäristöön sopiviksi. Erilaisia melusteita ovat meluseinät, meluvallit, kivikorimelusteet, läpinäkyvät melusteet ja melukaiteet. Melusteen tarkoituksena on vaimentaa asuinalueille kohdistuvaa melua, sekä ohjata ääntä kulkemaan eri suuntaan (Väylävirasto 2021.)

Meluseinä (Kuva 1) on meluste, joka on yleensä melko ohutrakenteinen, koska sen rakenteesta johtuen sen vaimennuskyky ei merkittävästi kasva paksuntamalla rakennetta. Tästä syystä meluseinä on käytännöllinen vaihtoehto paikoissa, joissa ei ole suurta määrää ylimääräistä tilaa, kuten asuin ympäristöjen lähistöllä kulkevilla tieosuuksilla ja kaupungeissa. Rautatieverkosto on myös suunniteltu niin, että rautatieväylä veisi mahdollisimman vähän tilaa ympäristöstä, jolloin meluseinä on myös rautateiden osalta hyvä keino torjua meluhaittoja. Meluseinän äänen vaimentamiskykyyn voidaan vaikuttaa sen materiaaleilla, korkeudella, pituudella, sekä seinän muodolla (Liikennevirasto 2015, 22–24.)



Kuva 1. Oikoradan meluseinä (Versowood julkaisu aika tuntematon).

Meluvallit (Kuva 2) ovat maa-aineksesta tehtyjä valleja, jotka tehdään usein jo tieväylän rakennusvaiheessa tien viereen. Meluvalli on yleisin meluntorjuntakeino maanteiden varsilla, koska sen valmistuskustannukset ovat alhaiset ja valli on maantien varrella luonnollisempi näky, kuin meluseinä. Valliin kasvaa ajan myötä kasvillisuutta, jolloin se sulautuu ympäröivään ympäristöön. Kasvillisuuden kasvua voidaan edistää myös istuttamalla valliin haluttua kasvillisuutta. Kasvillisuudella on myös käytännön vaikutuksia meluvallissa, koska se lisää meluvallin ääneneristävyttä (Väylävirasto 2021.)



Kuva 2. Meluvalli (Väylävirasto 2021).

Kivikorimelusteet (Kuva 3) koostuvat yleensä metalliverkosta tehdystä metallikehikosta, jonka sisään on asetettu suuri määrä kiviä. Tällainen meluste on hyvin esteettisen näköinen ja on omalla rakenteellaan jo ratkaissut ilkvallan meluestettä kohtaan maalailun osalta. Kivikorimelusteen äänenvaimennuskyky riippuu kuitenkin paljon kivien lajittelutavasta metallikehikkoon, sekä siitä onko kivikorissa käytetty jotain täyteainetta tiivistämään kivien väliköitä (Liikennevirasto 2015, 20.)



Kuva 3. Kivikorimeluita (SSTec 2017).

Läpinäkyviä melusteita (Kuva 4) käytetään sellaisissa paikoissa, joissa meluste peittää näkymää. Sitä voidaan käyttää teidenvarsilla, kun koetaan näkymän olevan hyväksi tien käyttäjille. Asuinalueilla läpinäkyvä melusteella saavutetaan lähes esteetön näkymä ympäröivään luontoon ja näin saavutetaan korkeampi asumistyytyväisyys. Läpinäkyvien melusteiden osalta ilkvallalta ja melusteen rikkoutuminen on kuitenkin suuri ongelma, josta voi pahimmillaan aiheutua jopa enemmän haittaa, kuin mitä hyötyjä meluntorjunnansaralla esteellä saavutetaan. Ilkvallan lisäksi läpinäkyvää melustetta tulee kunnossapitää säännöllisesti, koska läpinäkyvän pinnan likaantuessa melusteen

ulkonäkö huonontuu merkittävästi. Pahoin likaantunut läpinäkyvä melueste voidaan rinnastaa jopa yhtä haittaavaksi, kuin ilkivaltaa kokenut melueste (Liikennevirasto 2015, 26–27.)



Kuva 4. Läpinäkyvä melueste (Väylävirasto julkaisuaika tuntematon).

Melukaiteet (Kuva 5) ovat heti tien penkereellä olevia rakennelmia, jotka toimivat saman aikaisesti meluesteenä, sekä turvakaiteena. Melukaiteet ovat vankkarakenteisia, koska niiden tulee kestää myös mahdollisia ajoneuvojen törmäyksiä. Melukaide sijoitetaan liikenneväylän varrelle niin, että se on maksimissaan 3 m päässä lähimmällä etäisyydellä olevasta ajokaistasta. Tästä johtuen melukaiteita käytetään tilanteissa, kun meluntorjunta on välttämätöntä tehdä heti väylän vieressä tilanpuutteen tai muiden rajoittavien tekijöiden takia (Väylävirasto 2021.)



Kuva 5. Melukaide Kuopiossa Jänneviran sillan edustalla (Korhonen, Jonne 2021).

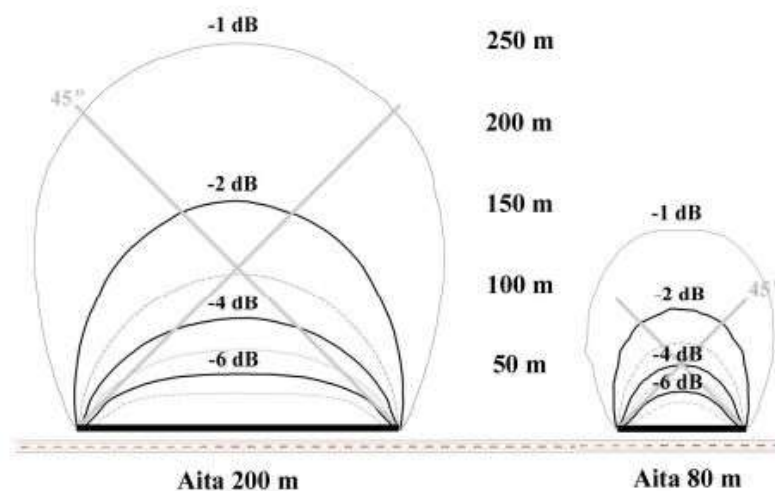
Melusteiden käytön mahdollisuutta tulisi tarkastella kaikissa paikoissa, joissa mittauksien perusteella on todennettu, että asuinalueella liikennemelu on asetuksissa asetettujen arvojen yläpuolella. Melusteiden avulla voidaan saavuttaa merkittäviä hyötyjä meluntorjunnassa asuinalueilta, säilyttäen samalla maanteiden nopeusrajoitukset sujuvina. Paikoissa, joissa meluntorjunta on välttämätöntä, mutta melueste ei ole jostain syystä vaihtoehto meluntorjuntaan, joudutaan puuttumaan itse liikenneväylän aiheuttamiin melupäästöihin. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi ohjaamalla raskasliikenne kulkemaan eri kautta, käyttämällä paremmin ääntä absorboivaa tienpäällystettä, tai laskemalla liikenneväylällä nopeusrajoituksia. Liikenneväylien nopeusrajoituksia ei kuitenkaan tule laskea tarpeettoman paljon, koska se vaikuttaa negatiivisesti liikenteen sujuvuuteen (Väylävirasto 2021.)

4 TIETOA

4.1 Meluste

Melusteen tarkoitus on vaimentaa melua, mutta sillä on muitakin vaikutuksia ympäristöön, jotka tulee ottaa suunnitteluvaiheessa huomioon. Akustisten ominaisuuksien lisäksi tulee ottaa huomioon melusteen ulkonäkö, rakenteen kestävyys, luonnon vaikutukset, ilkivalta, sekä ylläpitoon liittyviä seikkoja. Tärkeimpänä ominaisuutena on kuitenkin sen akustiset ominaisuudet, jotka määrittävät melusteen äänen vaimennus- ja heijastuskyvyn. Tähän vaikuttavia asioita ovat muun muassa melusteen materiaalit, muoto, mitat, sekä sijoituskohte (CEDR 2017, 7.)

Melusteen pituus määritetään alueen mukaan, jossa halutaan ääntä vaimentaa. Sen sijoituksessa tulee ottaa huomioon äänen käyttäytyminen melusteen takana, koska heti meluseinän takana olevalla alueella vaimennus on suurimmillaan, ja mitä kauemmaksi seinämästä mennään, vaimennus vähenee. Kuvassa (Kuva 6) on havainnollistettu miten ääni kaartaa melusteen takaa eri etäisyyksillä (Liikennevirasto 2015, 28–29.)



Kuva 6. Äänen käyttäytyminen heti meluseinän takana (Liikennevirasto 2015, 29).

Äänen voimakkuuteen vaikuttaa myös maasto ja sen pinnan kovuus, eikä tällaista menetelmää voida käyttää äänen vaimentumisen määrittämisessä, jos vaimenemista halutaan yli 5 dB (Liikennevirasto 2015, 28–29). Tästä johtuen melusteen leveyden vaikutus äänen vaimentumiseen tulee selvittää asennuskohteessa tarkkaan, huomioiden ympäristö, jossa meluntorjuntaa toteutetaan.

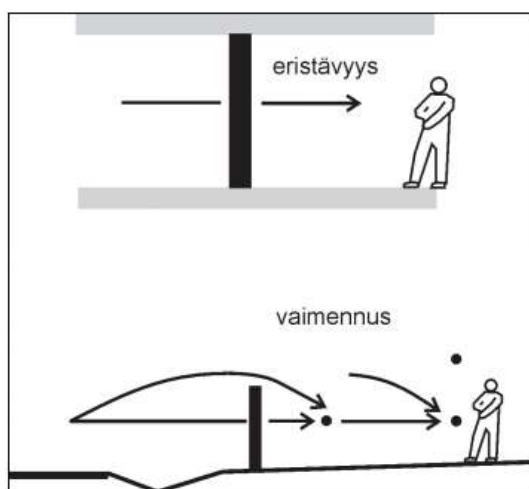
Äänenvoimakkuus on suurimmillaan heti äänilähteen vieressä ja kulkiessaan pidemmän matkan äänen voimakkuus heikkenee. Tätä voidaan hyödyntää melusteiden toiminnassa suunnittelemalla meluste heijastamaan ääniä niin, että se joutuu kulkemaan pidemmän matkan ennen kohtaamistaan äänelle altistujan. Taulukossa (Taulukko 1) on selvennetty, kuinka paljon ääni vaimenee äänen kulkeman matkan kasvaessa (Tiehallinto 2006, 4.)

Taulukko 1. Äänen vaimentuminen etäisyyden kasvaessa (Mukaillen Tiehallinto 2006, 4).

| Etäisyys äänen lähteestä | Kova ympäristö | Pehmeä ympäristö |
|--------------------------|----------------|------------------|
| 20 m | 3 dB | 4 dB |
| 50 m | 7 dB | 12 dB |
| 100 m | 10 dB | 18 dB |
| 200 m | 13 dB | 23 dB |
| 500 m | 17 dB | 29 dB |

Melusteiden päämalleja on kaksi: melua heijastava ja melua vaimentava. Melua heijastava meluste on tavanomaisin melustemalli, sen edullisten valmistuskustannusten johdosta. Melua heijastavan melusteen ongelmana on kuitenkin äänen kulkusuunnan muutos, joka täytyy ottaa huomioon meluseinän asennuskohteesta riippuen. Ääni heijastuu meluseinästä moneen suuntaan, jolloin osa siitä heijastuu takaisin äänen lähteen suuntaan ja osa siitä jatkaa matkaansa melusteen yli. Tästä syystä täytyy ottaa huomioon ympäröivien talojen korkeus. Kun melusteen takana on korkeita taloja, täytyy melusteestäkin tehdä tavallista korkeampi (Liikennevirasto 2015, 30.)

Heijastavien melusteiden päätehtävä on kääntää ääniaalto kulkemaan pääasiassa takaisin äänen lähteen suuntaan. Tällöin heijastavan melusteen yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on sen eristävyys, eli kuinka paljon se estää äänen kulkeutumista lävitseen (Kuva 7).



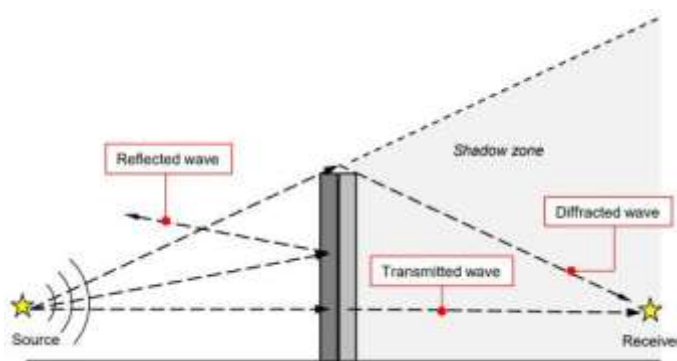
Kuva 7. Eristävyyden ja vaimennuksen ero (Liikennevirasto 2015, 56).

Melustetta myytäessä sen valmistajat kertovat usein eristävyyden ääneneristävyysluokan mukaisesti, joka on luokittelu standardissa SFS-EN 1793-2:1997 (Taulukko 2.). Ääneneristävyys DL_r kertoo siis melusteen kyvystä heijastaa ääniaalto pois itsestään.

Taulukko 2. Äänen eristävyyden luokittelu (Mukaillen SFS-EN 1793-2 1997, 15).

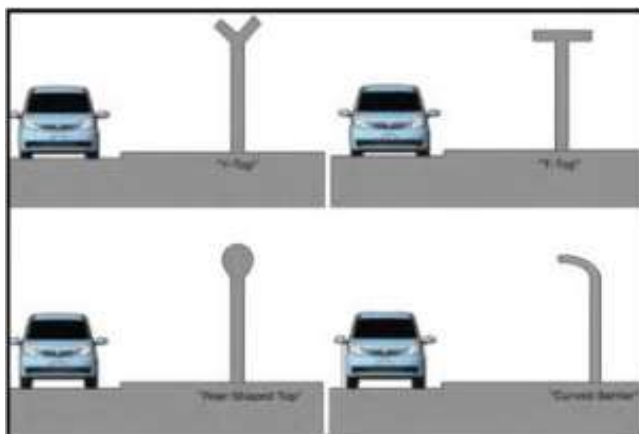
| Luokka | DL_R |
|--------|--------------|
| B1 | ≥ 5 dB |
| B2 | ≥ 15 dB |
| B3 | ≥ 25 dB |

Melusteeseen osunut ääni käyttäytyy osuessaan hyvin hankalasti. Osuessaan melusteeseen ääniaalto diffraktoituu, eli ääniaalto tavallaan hajoaa ja leviää joka suuntaan osumakohdastaan, jolloin melusteen yläosassa osa äänestä kääntyy kulkemaan melusteen päältä alaviistoon kohti melulta suojattavaa kohdetta (Kuva 8). Äänen diffraktoitumista kutsutaan äänen taittumiseksi, joka täytyy ottaa huomioon melusteen suunnittelussa. Melusteessä ei saa olla esteen läpi meneviä rakoja, tai reikiä, koska nämä aiheuttavat osaltaan lisää äänen diffraktoitumista. Yksi tapa estää äänen taittumisesta johtuva melun pääsy melulta suojattavaan kohteeseen on melusteen korottaminen, jolloin taittunut ääni ohjautuu kauemmaksi suojattavasta kohteesta (CEDR 2017, 7–9.)



Kuva 8. Äänen käyttäytyminen osuessaan melusteeseen (CEDR 2017, 20).

Toisena vaihtoehtona äänen diffraktoitumisen hallintaan on tehdä melusteen yläreunan muodosta sellainen, että ääni ei pääse taittumaan niin voimakkaasti melusteen takapuolelle (Kuva 9). Tällainen menetelmä toteutetaan yleensä melusteen lisäosilla, jotka ovat erillisiä rakenteita, mitkä kiinnitetään melusteeseen. Diffraktiota vähentävä lisäosa on tehokas tapa rajoittaa äänen taittumista, mutta se on rakenteeltaan yleensä kalliimpi toteuttaa, kuin samaisen vaikutuksen antava melusteen korotus (Liikennevirasto 2015, 60.)



Kuva 9. Äänen diffraktion estävä melusteen päällysrakenne (CEDR 2017, 24).

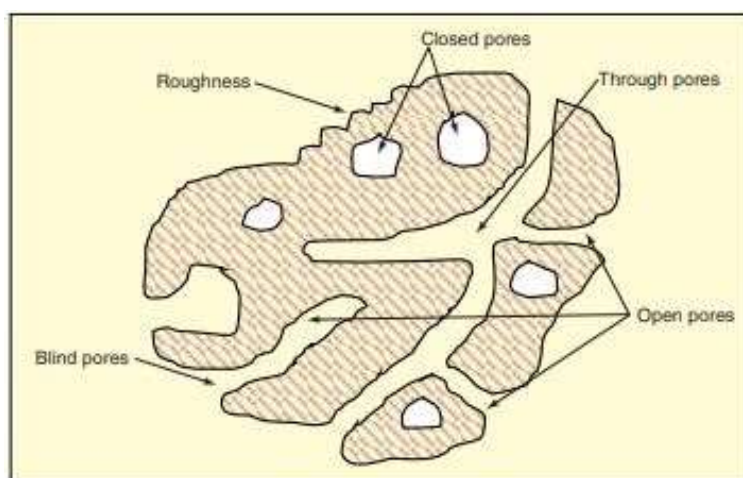
Heijastavaa melustettä ei voida käyttää, jos meluntorjuntaa tarvitaan molemmin puolin liikenneväylää, vaan silloin täytyy käyttää jollain tapaa ääntä vaimentavaa melustettä. Äänenvaimennus melusteessä perustuu materiaalien absorbointikykyyn. Absorbointikyky määrittää kuinka paljon äänen voimakkuus laskee äänen kohdattua melusteen, siihen kun ääni heijastuu tai läpäisee melusteen. Yleisin tapa tuottaa absorboiva meluste on tehdä melusteestä onttorakenteinen, melun

tulosuuntaan meluesteen pintaan tehdään reikiä, josta melu pääsee esteen sisällä olevaan äänieristemateriaaliin, joka on yleensä lasi- tai vuorivillaa (Kuva 10) (Liikennevirasto 2015, 60.)



Kuva 10. Meluseinän rakenne (Tiehallinto 2006, 7).

Lähtökohtaisesti kaikki materiaalit absorboivat ääntä, toiset hyvin vähän ja toiset huomattavan paljon. Kuitenkin hyvin ääntä absorboivat materiaalit ovat yleensä huokoisia, eli niiden materiaalissa on koloja ja onkaloita, joista ääniaallot pääsevät materiaalin sisään (Kuva 11). Hyvän absorbointikyvyn omaava huokoinen materiaali voi olla rakeista, kuiduista tai soluista koostuva, jolloin materiaalin partikkeleiden väliin pääsee ääni ja ilma. Esimerkiksi melusteissä usein äänieristemateriaalina käytetty kivivilla, on kivistä sulatettua ja kuidutettua materiaalia, jossa kuidut on sidottu toisiinsa sideaineen avulla (Paroc 2021). Vaimentuminen materiaalissa tapahtuu, kun ääniaalto osuu materiaalin pintaan ja ääniaallossa olevat ilmamolekyylit menevät materiaalissa oleviin huokosiin ja pakottavat materiaalin väriseämään kulkiessaan, jolloin ääniaalto menettää energiaansa ja vaimenee. Energian väheneminen perustuu siihen, että kulkiessaan huokoisessa materiaalissa osa ilmamolekyyleistä muuttuu lämmöksi (Arenas, Jorge P & Crocker, Malcolm J 2010, 12–13.)



Kuva 11. Huokoisen materiaalin rakenne (Arenas, Jorge P & Crocker, Malcolm J 2010, 12).

Meluesteen absorptiosta on tehty standardissa SFS-EN 1793-1:1997 luokittelu, jonka mukaan myytävät meluesteet luokitellaan eri luokkiin niiden absorptioluvun dB_{DLa} mukaisesti (Taulukko 3) (SFS-EN 1793-1 1997, 15.)

Taulukko 3. Absorptioluokat (Mukaillen SFS-EN 1793-1 1997, 15).

| Luokka | dB_{DLa} |
|--------|--------------|
| A0 | Testaamaton |
| A1 | 1-3 dB |
| A2 | 4-7 dB |
| A3 | 8-11 dB |
| A4 | ≥ 12 dB |

Melusteiden pinta- ja runkorakenteen materiaaleina käytetään useita eri materiaaleja. Runkorakenteet ovat usein puuta, tai metallia, johtuen materiaalien hyvistä rakenteellisista ominaisuuksista. Pintarakenteen osalta materiaalien kirjo on suurempi. Euroopassa yleisimmin käytettävät materiaalit meluseinän pintamateriaalina ovat yleisyys järjestyksessä puu, läpinäkyvät materiaalit (lasi, akryylit, pleksi ja polymetyylimetakrylaatti), betoni, sekä metalli. Muovi ja komposiittimateriaalit tulevat näiden materiaalien jälkeen, hieman harvinaisempina valmistusmateriaaleina (CEDR 2017, 45–50.)

Meluesteen pintamateriaali riippuu usein meluesteen valmistajan omista preferensseistä, sekä asiakkaan toivomuksista. Pintamateriaalin tulee kuitenkin olla ympäristösäännösten mukaista, sekä täyttää siltä vaaditut materiaalivaatimukset, kuten riittävä kestoikä, ilmastosta ja kulutuksesta riippumatta. Lisäksi nykyään materiaalivalinnoissa otetaan huomioon yhä enemmän ympäristö, jolloin puu ja erilaiset kierrätysmateriaalit nostavat suosiotaan ja esimerkiksi komposiitin käyttöä melusteiden valmistuksessa on tutkittu. Etuna komposiitilla valmistusmateriaalina puuhun nähden on sen korroosion ja lämpövaihteluiden vastustuskyky, joka saavutetaan puulla vasta lämpö- tai pintakäsittelyllä (Muoviteollisuus Ry i.a.)

Komposiitti on materiaali, jossa on yhdistetty kaksi eri materiaalia, joilla on erilaiset kemialliset ja fyysiset ominaisuudet. Yhdistettäviä materiaaleja kutsutaan lujitteeksi ja matriisiksi, joista lujitteena voi toimia esimerkiksi muovi ja matriisina lasi-, hiili-, tai vaikka puukuitu. Tästä johtuen komposiittia voidaan valmistaa myös kierrätysmateriaaleista, jolloin materiaalin ympäristöystävällisyys paranee huomattavasti. Komposiitin edut valmistusmateriaalina ovat sen vedenkestävyys, lujuus, kestoikä ja keveys (Muoviteollisuus Ry i.a.)

Puu-muovikomposiittia käytetään Yhdysvalloissa runsaasti eri käyttötarkoituksissa, joista yksi on melusteet. Suomessa materiaalin käyttö on kuitenkin vielä melko harvinaista ja sen käyttöä vaikeuttaa vielä suhteellisen vähäinen tieto materiaalin ominaisuuksista. Materiaalista on tehty vasta vähän aikaa sitten standardeja sen ominaisuuksien testaukseen. Materiaalin etuna on sen muunneltavuus erilaisilla lisäaineilla, sekä puukuidun ja muovin määrän muutoksilla. Esimerkiksi lisäämällä muovin osuutta materiaalin koostumuksessa saavutetaan materiaalilla parempi lujuus ja pidempi kestoikä, verrattuna materiaaliin, jossa on suurempi osuus puukuitua. Lisäaineilla materiaali saadaan sävytetty halutun väriksi, saadaan materiaalille parempi UV:n kesto, sekä vaikutettua sen lujuusominaisuuksiin (Liikennevirasto 2015, 80–81.)

Materiaalivalinnoilla ja pintakäsittelyllä voidaan vaikuttaa myös meluesteen ulkonäköön ja ilkivallan torjuntaan. Meluste tulee olla suunniteltu niin, että se sopii ympäristöön ja mahdollisuuksien rajoissa estää siihen kohdistuvaa ilkivaltaa. Ilkivallan torjuntaa voidaan toteuttaa usealla eri tavalla, kuten meluesteen pinnan muodoilla, kuvioinnilla ja kasvillisuudella. Kasvillisuuden käyttö melusteessa lisää myös meluesteen äänen vaimennuskykyä, mutta tätä ei oteta suunnitteluvaiheessa läsnäolijien huomioon, vaan meluesteen itse pitää tuottaa riittävä äänenvaimennuskyky (CEDR 2017, 63–64.)

Erilaisia pintakäsittelymenetelmiä käytetään usein melusteiden ulkonäön parantamisessa, joka auttaa osaltaan myös ilkivallan torjunnassa. Meluesteen sopiessa ympäristöönsä sen ilkivaltainen töhryminen ei ole niin todennäköistä. Lisäksi pintakäsittelyllä mahdollistetaan myös huokoisten materiaalien puhdistaminen töhryistä. Huokoiseen materiaaliin maalatessa, maali tunkeutuu materiaalin huokosiin, jolloin sen helppo ja nopea puhdistaminen on mahdotonta. Helpolla ja nopealla puhdistuksella estetään myös osaltaan ilkivaltaa, koska puhdas meluste ei vedä niin paljon töhryjä puoleensa (Liikennevirasto 2015, 41–43.)

Kuvassa (Kuva 12) on esimerkki hyvin toteutetusta ilkivallantorjunnasta. Meluste on kuvioitu, joka osaltaan lisää meluesteen sopivuutta ympäristöönsä ja estää ilkivaltaa, sekä pintakäsittely helposti puhdistettavaksi (Uudenmaan Pintasuojaus Ky 2014.)



Kuva 12. Pihlajanlaakson meluste Kuopiossa (Korhonen, Jonne 2021).

4.2 Patentit

Patenttijärjestelmän tarkoituksena on levittää tietoisuutta erilaisista keksinnöistä ja antaa keksijälle juridista suojaa keksinnön kopiointia ja luvattomaa käyttöä vastaan. Patentilla suojataan aina niin sanotusti aineetonta sisältöä, kuten valmistusmenetelmää, suunniteltua tuotetta tai toimintoa. Patenttoimilla keksijä saa keksintöönsä yksinoikeuden siihen valtioon, missä se on myönnetty. Patenttiviranomainen julkistaa patentin tietyn määräajan kuluttua sen hakemispäivästä. Julkistuksen määräaika ei ole aina sama, mutta yleensä se on noin puolitoista vuotta (Patentti- ja rekisterihallitus 2019a.)

Suomessa patenttiviranomaisena toimii Patentti- ja rekisterihallitus, jonka kautta voi hakea patenttia suomeen ja tarvittaessa myös suomen ulkopuolelle (Patentti- ja rekisterihallitus 2019a). Suomesta voi hakea myös Eurooppapatenttia Euroopan patenttivilastolta, jolloin suojattavalle asialle voi saada suojan 38 eri valtioon. Eurooppapatentti ei kuitenkaan ole yksittäinen patentti, vaan järjestelmän

avulla haetaan halutuista valtioista erillisiä patentteja keksinnön suojaksi (Patentti- ja rekisterihallitus 2019b.)

Patenttien voimassaolosta täytyy keksijän Suomessa maksaa Patentti- ja rekisterihallitukselle vuosittain. Eurooppapatenttien osalta keksijän täytyy maksaa voimassaolosta jokaiselle valtiolle, joihin keksintöön on haettu patenttia ja joissa se on saatettu voimaan (Patentti- ja rekisterihallitus 2019b). Maksettuaan ylläpitomaksut patentti pysyy voimassa maksimissaan 20 vuotta patenttihakemuksen tekopäivästä, jonka jälkeen se raukeaa ja on taas muiden hyödynnettävissä (Patentti- ja rekisterihallitus 2019a.)

Patenttirekistereissä on listattu lukuisia voimassa olevia, sekä rauenneita patentteja. Patenteille on tehty patenttiluokitusjärjestelmä, joka kertoo mihin tekniikan alaan se kuuluu. Tämän patenttiluokituksen avulla julkaisujen hakeminen rekistereistä on helpompaa, koska ne rajaavat hakutuloksia tehokkaasti merkityksellisiin patentteihin. Laajasti käytössä olevia patenttiluokituksia on IPC (kansainvälinen patenttiluokitus), sekä CPC (Cooperative Patent Classification). IPC luokituksessa tekniikan alat on rajattu 70 000 ryhmään, kun taas CPC luokituksessa ne on rajattu 250 000 ryhmään. Tästä johtuen CPC on patenttien etsijän näkökulmasta yleensä hyödyllisempi, koska kyseisessä luokituksessa on rajaus tehty tarkemmin (Patentti- ja rekisterihallitus 2020.)

4.3 Standardit

Tuotteiden suunnittelussa ja valmistuksessa voi olla hyvinkin monia vaiheita ja useita asioita tulee ottaa huomioon, niin turvallisuuden, toimintojen, kuin huollettavuudenkin osalta. Standardilla voidaan määrittää yhteisesti hyvät toimintatavat eri tilanteisiin tuotteiden, järjestelmien ja palveluiden suunnitteluun ja toimintaan. Standardissa voi olla määritetty esimerkiksi vaatimuksia, suosituksia ja tuotteen ominaisuuksia. Standardisoinnin tarkoituksena on saada yhtenäistettyä toimintatapoja, varmistaa tuotteiden, järjestelmien ja palveluiden turvallisuus, sekä sujuvoittaa kaikkien elämää (SFS 2020.)

Standardien ansiosta monet asiat ovat helpommin toteutettavissa, koska eri valmistajien tuotteet ovat valmistettu samojen standardien mukaisesti. Esimerkiksi keittiökalusteiden mitat ovat usein standardi mittaisia, jolloin ostettaessa uuden pesukoneen tai uunin, voi olla melko varma tuotteen mahtumisesta aiempaan tilavaraukseen. Lisäksi standardeilla on usein määritetty yritysten toimintatapoja, kuten turvallisuus- ja laatuvaatimuksia (SFS 2020.)

Standardien käyttö on täysin vapaaehtoista, mutta niissä oleva tieto on usein niin hyödyllistä yritykselle, että standardi halutaan ottaa käyttöön omassa toiminnassaan. Joissakin tapauksissa standardeissa olevat vaatimukset ovat niin merkityksellisiä, että jopa viranomaiset toivovat niiden käyttöä (SFS 2020.)

Standardit tunnistaa niiden tunnuksesta, josta selviää millä laajuudella dokumentti on vahvistettu, sen yksilöllinen numero, sekä vahvistamisvuosi. Alla olevassa kuvassa (Kuva 13) on esimerkki standarditunnuksesta. Kuvassa "SFS" tarkoittaa, että standardi on vahvistettu Suomessa ja "EN" tarkoittaa, että standardi on vahvistettu eurooppalaiseksi. Suomessa EN standardit ovat aina myös SFS vahvistettuja, koska Suomi on eurooppalaisen standardisointijärjestön jäsen. "ISO" tarkoittaa, että

standardi on kansainvälinen, eli se on vahvistettu maailmanlaajuisesti. Standardin vahvistuksen laajuuden jälkeen tunnuksessa on yksilöllinen standardi numero, sekä vuosi milloin sen on SFS vahvistanut (SFS 2020.)



Kuva 13. Standarditunnuksen sisältö (SFS 2020).

5 TARKASTELU

Opinnäytetyössä oli tarkoituksena hankkia aiemmin määriteltyjä tietoja meluseinän tuotekehityksen käyttöön. Tarkasteltavien tietojen osalta tavoitteena oli saada opinnäytetyön asettajalle pohjaa meluesteen suunnitteluun ja tietoa tuotteen mahdollisuuksista.

5.1 Patenttitarkastelu

Patenttitarkastelu toteutettiin patenttiviranomaisten rekistereitä hyödyntäen. Työssä käytettiin kolmea patenttirekisteriä, jotka olivat

- PatInfo (Rekisteri Suomalaisista patenteista)
- FI-EP (Rekisteri Eurooppapatenteista, jotka on saatettu voimaan Suomessa)
- Espacenet (Maailmanlaajuinen patenttirekisteri).

Patenttihaussa käytettyjä hakusanoja olivat otsikon osalta Noise Barrier, sekä IPC luokituksena E01F8/00 ”järjestelmät tieliikenteen, tai rautatieliikenteen aiheuttaman ilman kautta välittyvän melun absorboimiseksi tai heijastamiseksi” (WIPO 2006). CPC luokituksena E01F8/0005 ”käytetään seinätyyppisessä järjestelmässä” (Espacenet 2019).

Patenttirekistereistä saaduista tiedoista koostettiin Excel taulukko, josta patenteja ja niiden tietoja on helppo opinnäytetyön asettajan tarkastella. Taulukkoon kerättiin patentit, jotka ovat jollain asteella relevantteja työn asettajan toimintaan ja heidän mahdollisesti suunnittelemaan meluseinään.

Tarkastelussa löytyi paljon meluseiniin kohdistuvia patenteja, niistä kuitenkin suuri osa käsitteli tuotteita tai toimintoja, jotka eivät liity millään asteella tämän opinnäytetyön vaatimuksiin. Patenttien hakua rajattiin lisäämällä useampi rajoittava tekijä hakuvaihtoehtoihin, kuten IPC- ja CPC-luokka.

Excel taulukkoon kerättiin patenteja, jotka käsittelivät meluseinän rakennetta, valmistusmenetelmää, tai kiinnitysmenetelmiä. Taulukkoon kerättyjä tietoja olivat patentin hakunumero, hakupäivä, hakija, IPC ja CPC luokat, nimitys, sekä patenttihakemuksesta koostettu lyhyt kuvaus siitä, mitä patentilla on suojattu. Näillä tiedoilla patenteja on helppo tarkastella tulevaisuudessa, kun meluseinän rakennetta tai komponentteja on mahdollisesti patentoimassa.

5.2 Standardikatsaus

Standardikatsauksessa oli tarkoituksena selvittää meluesteiden suunnitteluun ja valmistukseen tehdyt standardit. Lisäksi meluesteen testausmenetelmistä on oma kappaleensa kohdassa 5.4.

5.2.1 Meluesteen laatuvaatimukset

Meluesteiden osalta keskeisin standardi on **SFS-EN 14388:2015** ”Teiden melusteet. Laatuvaatimukset”. Kyseinen standardi korvaa aiemmin kumotun, vuonna 2005 tehdyn vastaavan standardin. Kyseinen julkaisu toimii meluesteen suunnittelun ja testauksen perustana, jossa on koottuna teiden varsille valmistettavien meluesteiden tekniset perusominaisuudet, sekä kerrotaan niiden eri osa-alueiden mitoitukseen ja testaukseen liittyvät vaatimukset (SFS-EN14388 2015, 4–8.)

Standardissa on käsitelty vaarallisia aineita ja linjattu, että niiden käytössä tulee noudattaa eurooppalaisia ohjeistuksia. Lisäksi standardi vaatii meluesteen valmistajaa kiinnittämään erityistä huomiota tehtaan sisäiseen laadunvalvontaan ja tuotetta valmistavien henkilöiden asianmukaiseen koulutukseen (SFS-EN14388 2015, 17–19.)

Standardissa on myös yksityiskohtainen listaus vaadittavista testeistä, sekä niiden lukumääristä. Testauksia standardin SFS-EN 14388:2015 mukaan tulee tehdä äänen absorboinnin, ilmaäänien eristävyyden, kuormien kestävyden, omapainon, pensaspalon kestävyden, murtumisomaisuuksien, valon heijastavuuden, vaarallisten aineiden vapautuvuuden, pitkäaikaiskestävyyden, kiveniskujen, törmäysturvallisuuden, sekä ympäristönsuojelun osalta (SFS-EN 14388 2015, 15.)

Materiaalien osalta meluesteen tulee täyttää **Infra-RYL2006** julkaisun mukaiset materiaalitekniset vaatimukset.

5.2.2 Eurokoodit

Meluesteen rakenteen suunnittelussa tulee noudattaa Eurokoodin mukaisia suunnitteluperiaatteita. Eurokoodit on tehty yhdistämään useiden eri valtioiden rakennesuunnittelumenetelmät, jotta suunnitellut tuotteet olisivat vaatimustenmukaisia ja myytävissä kyseisten valtioiden välillä.

SFS-EN 1990+A1+AC "Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet". Standardissa on käsitelty rakenteiden suunnittelun osalta niiden varmuuteen, suunniteltuun tehtäväänsä sopivuuteen, sekä säilyvyyttä koskevia periaatteita ja vaatimuksia. Näitä suunnitteluperiaatteita voidaan soveltaa hyvin myös melusteiden rakenteiden suunnittelussa (SFS-EN 1990+A1+AC 2002, 22–23.)

SFS-EN 1991-1-4 "Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Yleiset Kuormat. Osa 1–4: Tuulikuormat". Meluste voi kokea sijoituspaikastaan riippuen hyvinkin suuria tuulikuormia, koska tuuli pääsee vaikuttamaan hyvin suureen pinta-alaan melusteessä. Eurokoodi 1 avulla voidaan mitoittaa rakenteiden tuuliominaisuuksien kesto. Standardia voidaan käyttää myös meluesteen rakenteiden mitoittamiseen, mutta standardi ei ota kantaa ajoneuvojen aiheuttamaan tuulikuormaan, vaan se ottaa kantaa ainoastaan luonnon tuulen aiheuttamiin rasituksiin (SFS-EN 1991-1-4:2005, 9.)

5.2.3 Meluesteen akustiset ominaisuudet, SFS-EN 1793 ja SFS-16272

Äänen absorptiota käsitellään standardissa SFS-EN 1793 "Teiden melusteet. Akustisten ominaisuuksien määrittäminen". Standardissa on kuusi osaa, joista osa on meluesteen perusrakenteelle, osa lisäosille, sekä ominaisuuksille. Näistä osista tämän opinnäytetyön kannalta oleellimmat osat ovat 1, 2 ja 5 (SFS-EN 1793-1 2017, 4.)

Rautateiden melusteet eroavat laskentamenetelmiltään hieman teiden melusteistä, joten rautateiden melusteiden osalta vastaavat ohjeet löytyvät standardisarjasta SFS-EN 16272. Standardisarja käsittelee samoja mitattavia akustisia ominaisuuksia, kuin teiden melusteiden standardisarja SFS-EN 1793, joten niidenkin osalta oleellimmat osat 1, 2 ja 5.

SFS-EN 1793-1:2017 "Teiden melusteet. Akustisten ominaisuuksien määrittäminen. Osa 1: Tuotekohtainen äänen absorptio diffuusissa äänikentässä". Rautateiden osalta vastaava standardi on **SFS-EN 16272-1**. Standardissa on käsitelty mittausmenetelmää meluesteen äänen

vaimennustason, eli absorptiokertoimen määrittämiseen. Standardin mukaan mittaus tulee toteuttaa standardin EN ISO 354 mukaisissa laboratorio olosuhteissa, jossa meluesteen tulee olla siinä muodossa, kuin se on valmiina tuotteena asennuskohteessaan. Tämä standardi jättää ulkopuolelleen sellaiset melusteet, joita ei voida testata standardin SFS-EN ISO 354 mukaisissa olosuhteissa, meluste on tehty huonon resonanssikyvyn omaavasta materiaalista, sekä jos melusteessa ei ole tasainen pinta (SFS-EN 1793-1:2017, 4–7.)

SFS-EN 1793-2:2018 "Teiden melusteet. Akustisten ominaisuuksien määrittäminen. Osa 2: Tuotekohtainen ilmaäänien eristävyys diffuusissa äänikentässä". Rautateiden osalta vastaava standardi on **SFS-EN 16272-2**. Standardissa on määritetty mittausmenetelmä meluesteen ilmaäänien eristävyysmittaukseen. Mittauksien tulokset eivät ota kantaa ilmaäänien käyttäytymiseen kaikumattomissa olosuhteissa. Mittaukset tulee suorittaa standardin SFS-EN ISO 10140-2, sekä SFS-EN ISO 10140-4 mukaisissa laboratorio olosuhteissa (SFS-EN 17932:2018, 4–7.)

SFS-EN 1793-3 "Teiden melusteet. Akustisten ominaisuuksien määrittäminen. Osa 3: Standardisoitu liikennemelun spektri". Rautateiden osalta vastaavat asiat on luetteloidu standardeissa **SFS-EN 16272-3-1** (diffuusissa ympäristössä) ja **SFS-EN 16272-3-2** (kaikumattomissa olosuhteissa). Standardissa on määritetty liikennemelun spektri, jonka avulla voidaan laskea melusteiden akustista suorituskykyä taajuuksilla 100 Hz - 5 kHz (SFS-EN 1793-3 1997, 4–5.)

SFS-EN 1793-4 "Teiden melusteet. Akustisten ominaisuuksien määrittäminen. Osa 4: Ominaisuudet. Äänen taittuminen". Rautateiden osalta vastaava standardi on **SFS-EN 16272-4**. Standardi käsittelee melusteiden lisäosia, kuten meluesteen päälle asennettavaa lisäosaa, jonka tarkoituksena on vaikuttaa äänen diffraktioon meluesteen yläosassa. Standardi käsittelee kyseisen lisäosan testausmenetelmiä ja mittauksia (SFS-EN 1793-4, 5–6.)

SFS-EN 1793-5 "Teiden melusteet. Akustisten ominaisuuksien määrittäminen. Osa 5: Ominaisuudet. Äänen heijastuminen kaikumattomissa olosuhteissa". Rautateiden osalta vastaava standardi on **SFS-EN 16272-5**. Standardissa on määritetty testausmenetelmä, jonka avulla jo asennettun meluesteen kelpoisuus voidaan varmistaa. Menetelmän avulla saadaan myös todennettua meluesteen todellinen melun vaimennusteho. Mittauksien pidempiaikaisella toteutuksella voidaan myös varmistaa meluesteen toimivuus koko elinkaarensa aikana. Testitulokset eivät ole verrannollisia SFS-EN 1793-1 standardin mukaisien mittauksien kanssa, koska kyseisessä menetelmässä mitattava ääni on diffuusissa äänikentässä, kun taas SFS-EN 1793-5 mukaisessa mittauksessa mitattava ääni on suunnattua äänikenttää (SFS-EN 1793-5, 6–8.)

SFS-EN 1793-6:2018 + A1:2021 "Teiden melusteet. Akustisten ominaisuuksien määrittäminen. Osa 6: Ominaisuudet. Suunnatun ilmaäänien vaimentuminen kenttäolosuhteissa". Rautateiden osalta vastaava standardi on **SFS-EN 16272-6**. Standardissa on määritetty mittausmenetelmä melusteelle, joka on jo asennettu asennuspaikkaansa. Tämä mittausmenetelmä on samankaltainen, kuin standardin SFS-EN 1793-5 menetelmä. Mittausmenetelmä mahdollistaa myös epätasaisella pinnalla olevien melusteiden tarkastelun (SFS-EN 1793-6:2018+A1:2021, 4–7.)

5.2.4 Meluesteen ei-akustiset ominaisuudet, SFS-EN 1794 ja SFS-EN 16727

Standardi SFS-EN 1794 on kolme osainen julkaisu, jossa käsitellään meluesteen mekaanisia ominaisuuksia. Standardeissa käsitellään aiheita kuten meluesteen vaadittu lumikuorman kesto, tuulikuorman kesto, oman massansa kesto, sekä meluesteen vakauteen liittyviä vaatimuksia. Meluesteen toiminnan tehokkuus, eikä sen kestoikä saisi merkittävästi laskea meluesteen ulkoisista vaikutuksista (SFS-EN 1794-1:2018+AC:2019, 4.)

SFS-EN 1794-1:2018 + AC:2019 "Teiden meluesteet. Ei-akustiset ominaisuudet. Osa 1: Mekaaninen ja vakaudellinen suorituskyky". Standardissa käsitellään meluesteen mekaaniset ominaisuudet ja vaatimukset. Julkaisun käsittelee tuulikuorman, meluesteen oman massan keston, iskun keston (sinkoavat kivet ja jää), törmäys turvallisuuden ja lumikuormien laskentamenetelmät. Lisäksi standardissa on määritetty, että rakenteelliset ja materiaalitekniset mitoitukset tulee tehdä soveltuvan Eurokoodin mukaan, kuten Eurokoodi SFS-EN 1990 mukaisesti (SFS-EN 1794-1:2018+AC:2019, 5–12.)

SFS-EN 1794-2:2020 "Teiden meluesteet. Ei-akustiset ominaisuudet. Osa 2: Turvallisuus ja ympäristövaatimukset". Standardin toisessa osassa käsitellään melusteiden yleistä turvallisuutta, sekä sen ympäristövaatimuksia. Käsiteltyjä asioita standardissa ovat kimpoavat roskat, ympäristönsuojelu, pakeneminen hätätilanteessa, auringon heijastuminen, sekä läpinäkyvyys. Kyseisistä käsitellyistä seikoista löytyy vaatimukset, sekä testausmenetelmät vaatimuksien todentamiseksi (SFS-EN 1794-2:2020, 4–5.)

SFS-EN 1794-3:2016 "Teiden meluesteet. Ei-akustiset ominaisuudet. Osa 3. Paloturvallisuus. Meluesteen palamiskäyttäytyminen ja paloluokitus". Tässä standardissa käsitellään paloturvallisuutta ja meluesteen paloaikaa. Valmistajan tulee tuntea meluesteen palokäyttäytyminen, koska palosta voi aiheutua ympäristö ja henkilövahinkoja. Meluesteen sijoituspaikan ollessa erittäin tulenherkkä, tai jos meluesteen syttyminen aiheuttaa vakavaa tuhoa, tulee tarkastelu paloturvallisuuden osalta tehdä tämän standardin sijasta standardin **SFS-EN 13501-1** "Rakennustuotteiden ja rakennusosien paloluokitus. Osa 1: Palokäyttäytymiskokeiden tuloksiin perustuva luokitus" mukaisesti (SFS-EN 1794-3:2016, 4–5.)

Rautatieliikenteen melupäästöjä rajoitettaessa käytetään eri standardisarjaa, kuin teiden varsilla oleville melusteille. Tämä johtuu siitä, että rautatieliikenne aiheuttaa erilaisia rasituksia melusteelle, kuin maanteillä kulkevat ajoneuvot. Rautatieliikenteessä melusteisiin kohdistuu suurempia painealtoja, kuin teiden varsilla oleviin melusteisiin, koska melusteet ovat lähtökohtaisesti hyvin lähellä ohi kulkevaa suurinopeuksista junaa.

Rautateiden melusteiden osalta ei-akustiset ominaisuudet ovat määriteltynä standardisarjassa SFS-EN-16727, joka on neljä osainen. Standardeissa on pääasiassa käsitelty samantapaisia asioita, kuin teiden melusteiden osalta, mutta niissä on kiinnitetty erityistä huomiota nimenomaan junien aiheuttamiin kuormiin ja rasituksiin.

SFS-EN 16727-1:2018 "Kiskoliikenne. Rata. Ilmaääntä eristävä melusuojaus. Muut kuin akustiset ominaisuudet. Osa 1: Mekaaninen suorituskyky staattisessa kuormituksessa. Laskenta- ja

testimenetelmät”. Standardissa on käsitelty meluesteen oman massan, ilmanpaineen, sekä iskujen aiheuttamiin laatuvaatimuksiin. Standardissa on määritelty, että rakenteelliset materiaalistekniset mitoitukset tulee tehdä Eurokoodin mukaisesti, niin kuin teidenkin melusteiden osalta tulee menettellä. Sovellettava standardi on SFS-EN 1990 (SFS-EN 16727-1:2018, 4.)

SFS-EN 16727-2-1:2018 ”Kiskoliikenne. Rata. Ilmaaäntä eristävä melusuojaus. Muut kuin akustiset ominaisuudet. Osa 2–1: Mekaaninen suorituskyky junien aiheuttamassa dynaamisessa kuormituksessa. Väsymisenkesto”. Junat aiheuttavat melusteelle suuren rasituksen ohi mennessään, koska ilmanpaine lyö melusteeseen hyvin äkillisesti, suurella voimalla, sekä toistuvasti. Melusteesta ei saa missään tilanteessa irrota osia tämän paineaallon vaikutuksesta, koska osa voi lentää raiteille ja aiheuttaa vaaraa junalle ja sen matkustajille. Tässä standardissa onkin käsitelty juuri kyseistä aihetta ja määritetty kuinka meluste tulee mitoittaa kestäväksi nämä paineaallot (SFS-EN 16727-2-1:2018, 4–5.)

SFS-EN 16727-2-2:2016 ”Kiskoliikenne. Rata. Ilmaaäntä eristävä melusuojaus. Muut kuin akustiset ominaisuudet. Osa 2–2: Mekaaninen suorituskyky junien aiheuttamassa dynaamisessa kuormituksessa. Laskentamenetelmä”. Standardissa on esitetty laskentamalli, jota hyödyntäen voidaan laskea standardin SFS-EN 16727-2-1:2018 mukainen väsymisenkesto. Julkaisun perusteella saadaan laskettua junan ohi kulkiessa aiheuttama paineaalto ja ympäristön tuottamat dynaamiset voimat melusteelle (SFS-EN 16727-2-2:2016, 4–6.)

SFS-EN 16727-3:2017 ”Kiskoliikenne. Rata. Ilmaaäntä eristävä melusuojaus. Muut kuin akustiset ominaisuudet. Osa 3: Yleiset turvallisuutta ja ympäristöä koskevat vaatimukset”. Standardissa käsitellään meluesteen materiaalien vaatimukset ympäristön kannalta, sekä määritellään paloturvallisuusominaisuudet palojen leviämisen estämiseksi. Lisäksi standardi käsittää valon heijastavuuden, meluesteen iskunkestävyyden, sekä yleiseen turvallisuuteen, kuten pakoväyliin liittyviä seikkoja. Julkaisu kattaa turvallisuus seikkoja sellaisissa olosuhteissa, kuin rautatieliikenteen oletetaan aiheuttavan. Jos turvallisuusolosuhteet eroavat normaalista rautatieturvallisuudesta, kuten jos rautateiden vieressä menevä maantieliikenne aiheuttaa vaaraa autojen törmäyksille melusteeseen, tulee suunnittelijan itse suhteuttaa kohonnut riski tähän standardiin (SFS-EN 16727-3:2017, 4–7.)

5.2.5 Melusteiden käyttöikä SFS-EN 14389 ja SFS-EN 16951

Teiden melusteiden käyttöikää käsitellään standardissa SFS-EN 14389 ”Teiden melusteet. Pitkäaikaiskestävyyden arviointi”. Standardi on kaksiosainen ja niissä käsitellään käyttöikään liittyviä asioita akustisesta ja ei-akustisesta näkökulmasta.

SFS-EN 14389-1 ”Teiden melusteet. Pitkäaikaiskestävyyden arviointi. Osa 1: Akustiset ominaisuudet”. Standardissa määritetään millä menetelmillä ja ohjeilla meluesteen akustisten ominaisuuksien kestävyys tulee varmistaa. Akustiset ominaisuudet eivät saisi muuttua merkittävästi koko meluesteen käyttöajan aikana (SFS-EN 14389-1, 4–6.)

SFS-EN 14389-2 ”Teiden melusteet. Pitkäaikaiskestävyyden arviointi. Osa 2: Muut kuin akustiset ominaisuudet”. Meluesteen tulisi kestää koko elinkaarensa mittatarkkana, eikä se saisi kokea muodonmuutoksia, eikä rikkoutumisia. Standardi käsittelee meluesteen kestävyysvaatimuksia sen

rakenteiden osalta ja määrittää minkä ohjeiden mukaan kestävyys tulee todentaa (SFS-EN 14389-2, 4–6.)

Rautateiden melusteet kokevat hieman erilaisia ja erisuuruisia rasituksia, kuin teiden melusteet. Tästä syystä rautateiden melusteiden kestoikään liittyvät laskentamenetelmät on selvennetty omassa standardisarjassaan SFS-EN 16951, jossa on käsitelty akustiset ja ei-akustiset ominaisuudet omissa osissaan.

SFS-EN 16951-1:2018 ”Kiskoliikenne. Rata. Meluvallit ja muut ilmasyntyisen äänen leviämiseen vaikuttavat rakenteet. Pitkäaikaisen suorituskyvyn arviointimenettelyt. Osa 1: Akustiset ominaisuudet”. Rautatieliikenne aiheuttaa melusteille suuria rasituksia, jotka voivat vaikuttaa esteen kestoikään negatiivisesti. Melusteen akustiset ominaisuudet tulee pysyä vaadituissa raja-arvoissa koko esteen laskennallisen kestoian ajan. Standardissa painotetaan melusteen asianmukaisen asennuksen ja huollon tärkeyttä, koska akustisiin ominaisuuksiin vaikuttavat osat melusteessa voivat jatkuvan kuormituksen vaikutuksesta irrota, tai vahingoittua, jos kunnossapitomenetelmät eivät ole valmistajan ohjeiden mukaisia (SFS-EN 16951-1 2018, 5–6.)

SFS-EN 16951-2:2018 ”Kiskoliikenne. Rata. Meluvallit ja muut ilmasyntyisen äänen leviämiseen vaikuttavat rakenteet. Pitkäaikaisen suorituskyvyn arviointimenettelyt. Osa 2: Ei-akustiset ominaisuudet”. Melusteen rakenteen täytyy kestää siihen kohdistuvia rasituksia ja pysyä testausarvojen mukaisissa raja-arvoissa koko kestoikänsä ajan. Rakenteellinen kestävyys on rautateiden melusteille hyvin tärkeää, koska melusteet ovat lähellä ohikulkevaa junaa ja voivat rikkoutuessaan aiheuttaa vaaraa junalle ja sen matkustajille. Rautateiden melusteiden tulee olla elektrolyyttis- ja kemikaalikorroosion kestäviä, sekä olla koko kestoikänsä ajan mittatarkkoja ja haurastumattomia. (SFS-EN 16951-2 2018, 5–6.)

5.3 Olemassa olevien melustetuotteiden tarkastelu

Meluseiniä on käytössä hyvin laajasti Suomessa ja Euroopassa. Niitä valmistavat yritykset tekevät melusteet pääsääntöisesti oman preferenssinsä mukaisista materiaaleista, kuten teräs, puu, betoni ja muovi. Eri materiaaleilla saavutetaan melusteella erilaisia ominaisuuksia, joiden avulla yritykset kilpailevat markkinoilla.

Olemassa olevien melusteiden tarkastelu tehtiin Euroopan alueen laajuisesti. Tarkastelu painottui verkosta löytyviin tietoihin, joita valmistajat ovat melusteistään tarjonneet. Jokaiselta tarkasteltavalta valmistajalta tarkasteltiin mahdollisuuksien mukaan melusteen rakennetta ja sen toimintakykyä.

5.3.1 Melusteet Suomessa

Sepa Oy valmistaa Keiteleellä puurakenteista ääntä heijastavia, sekä ääntä absorboivia melusteita (Kuva 14). Heillä on eri melustemallinsa teiden varsille ja omansa rautateille. Materiaalina melusteissa käytetään kuusta ja sen ulkonäköä voidaan joustavasti muuttaa asiakkaan toiveiden mukaiseksi. Melusteen sisärakenne on havuvaneria ja sen rakenne koostuu ilmakeinoista, joissa ääni saadaan vaimenemaan. Melusteet ovat VTT:n testaamia ja ne täyttävät melusteen laatuvaatimukset standardin SFS-EN 14388 mukaisesti (Sepa Oy julkaisuaika tuntematon. 2.)



Kuva 14. Sepa Oy meluste (Sepa Oy julkaisuaika tuntematon).

Sepan melusteiden eristävyys on kaikkien melustemallien kohdalla 33–34 dB ja absorptio ääntä vaimentavien melusteiden osalta 9 dB. Esteiden kestoikä rungon ja pintamateriaalien osalta saavuttaa absorboivissa melusteissa 50 vuoden rajan ja heijastavan melusteen osalta 40 vuoden rajan (Sepa Oy julkaisuaika tuntematon. 2–3.)

Versowood valmistaa Vierumäellä puisia meluaitoja (Kuva 15) ja heillä on valikoimissaan heijastavia, sekä absorboivia melustemalleja. Meluaidat ovat valmistettu painekyllästetystä puusta ja sen pintamateriaalit ovat muokattavissa asiakkaan vaatimusten mukaisesti. Meluntorjunnassa aidat hyödyntävät puumateriaalin itsensä tuottamaa äänen vaimentamiskykyä, jolloin melusteen ulkonäkö saavuttaa paremmin ympäristöönsä sopivuuden. Sepan melusteen tapaan, myös Versowoodin melusteet saavuttavat 50 vuoden kestoajan (Versowood 2018, 8–9.)



Kuva 15. Versowood meluste (Versowood 2018)

SSTec valmistaa Kiva-Meluaita (Kuva 16) tuotenimellä kulkevaa kivikorimelusteita. Kivikorimeluste koostuu teräksisestä korista, jonka sisään on asetettu runsaasti kiviä. SSTec meluste valmistetaan koneellisesti suoraan rakennuskohteessa ja siinä voidaan hyödyntää rakennuskohteesta saatavaa kiviainesta. Kiviaines täytetään koriin, jolloin se on esteessä tiiviisti ja irtokivet ovat tukevasti paikallaan. Korin materiaaliveikkeitä ovat kuumasinkitty teräs, ruostumaton teräs, haponkestävä teräs ja maalattu rakenneteräs. Kivikorimeluaidan etuna on sen todella nopea valmistus suoraan

rakennuskohteessa, sekä sen erittäin hyvä kestoikä. Korin laskennallinen kestoikä on jopa yli 100 vuotta (SSTec 2018.)



Kuva 16. SSTec kivikorimeluaita (SSTec 2018).

SSTec meluaita on testattu standardin SFS-EN 1793-6 ja -5 mukaisesti, eli sen äänenvaimennus, sekä äänenabsorptiokyky on mitattu valmiista meluesteestä sen rakennuspaikassa. Tällöin meluesteen toiminta on todennettu ja se on varmasti toimiva toimintaympäristössään. Kiva-meluidan äänenvaimennus on 33 dB ja absorptio 5 dB (SSTec 2018.)

Urakointiasennus M.Rautio Oy valmistaa Kalajoella Meluste Rautio tuotenimellä absorboivia meluesteitä (Kuva 17). Yritys omaa laajan kokemuksen ja on saattanut käyttöön yli 40 meluesteprojektia. Yrityksen valmistamat meluesteet ovat CE- hyväksytyjä ja täyttävät SFS-EN 14388 standardissa määritetyt vaatimukset. Melusteiden suorituskyky on mitattu laboratorio olosuhteissa ja mittauksissa äänen vaimentumiseksi on saatu vanhan standardin SFS-EN 1993-1 mukaisesti luokka B3, joka tarkoittaa yli 24 dB vaimentumista ja absorptiokyvyksi luokka A3, joka tarkoittaa 8–11 dB absorptiota (Urakointiasennus M.Rautio Oy 2015, 2–4.)



Kuva 17. Urakointiasennus M.Rautio Oy:n valmistama meluste Savonlinnan ohitustielle (Urakointiasennus M.Rautio Oy 2015, 3).

Meluesteen rakenne koostuu putkipalkeista, joiden väliin asennetaan meluestekasetit ruuviliitoksin. Rakenne mahdollistaa yksittäisten melukasettien irrottamisen meluesteestä mahdollisten korjaus, tai muutostöiden helpottamiseksi. Julkisivulle tulee yleensä puurimoitus, tai metalliverkko, jolloin

meluste on ulkonäöllisesti miellyttävä ja siihen kohdistuva ilkivalta on vähäisempää. Metalliverkkoa saa joko säänkestävästä Cor-Ten teräksestä, tai pintakäsitellystä rakenneteräksestä valmistettuna. Cor-Ten teräs on vähäisesti seostettua terästä, joka muodostaa vanhetessaan pintaansa materiaalia suojaavan punaruskean patinan (Ruukki julkaisuaika tuntematon). Kaikki materiaalit Meluste Raution melusteissa saavuttavat yli 50 vuoden kestoian (Urakointiasennus M.Rautio Oy 2015, 2–4.)

Parma valmistaa betonielementtisiä meluseiniä (Kuva 18) Nummelassa. Yritys on kehittänyt oman pilarittoman meluseinä ratkaisun, jonka yritys voi toimittaa itse suunnittelemallaan kokonaisuudella asiakkaalle. Lisäksi Parma tuottaa muidenkin meluste-, tai meluseinäratkaisuihin kohdekohtaisia sokkeleita ja perustuselementtejä. Yrityksen meluseinä on betonia, johon on voitu tehdä valmistusvaiheessa pysyviä kuviointeja (Parma julkaisuaika tuntematon.)



Kuva 18. Betoninen meluseinäelementti (Parma julkaisuaika tuntematon).

5.3.2 Melusteet Euroopassa

Schütte on markkinajohtaja meluntorjuntajärjestelmien osalta Saksassa. Schütte valmistaa Speedbarrier tuotenimellä melusteita (Kuva 19), jotka ovat pääosin alumiini-, tai lasielementeistä valmistettuja. Schütte:n valmistamat melusteet soveltuvat maanteiden varsille, sekä yksityiskäyttöön omien kiinteistöjen meluntorjuntaan, tai vaikka tuotantolaitoksen meluntorjuntaan. Melusteet ovat Deutsche Bahn AG (Saksan valtiollinen liikennekonserni), sekä TÜV:n (Saksan liike-elämän johtama, yksityinen testausta, tarkastusta ja sertifiointia tuottava palveluyritys) sertifiomia ja Saksan liikenneympäristöön soveltuviksi todettuja. Speedbarrier melusteet omaavat yleisen melusteiden kestoiksi ajatellun 50 vuoden kestoian ja valmistaja lupaa vaimennukseksi vähintään 28 dB, äänen absorptioksi vähintään 21 dB (Schütte 2013, 3–7.)



Kuva 19. Schütte:n valmistama Speedbarrier meluesteen rakenne (Schütte 2020).

Schütte:n meluesteet koostuvat elementeistä, joissa materiaaleina on useimmiten alumiini. Valikoimissa on erilaisia melusteita, joita saa sekä toiselta puolelta absorboivina, että molemmin puolin absorboivina. Meluste koostuu äänieristemateriaalista, jonka molemmin puolin tulee kantatut alumiinilevyt, jotka ovat vaimennuspuolelta rei'itetyt. Kantatuilla verhouspinnoilla saadaan melusteestä esteettisempi, sekä se estää meluesteen mahdollisesti kohtaaman ilkvallan todennäköisyyttä (Schütte 2013, 3–7.)

Echo Barrier valmistaa Iso-Britanniassa patentoimiaan väliaikaisia melusteita (Kuva 20) maanrakennus ja rakennusalan käyttöön. Melusteet ovat kierrätysmateriaaleista valmistettuja ja suunniteltu tuottamaan mahdollisimman suuren äänenvaimennuksen kohteessaan. Meluste on väliaikainen, joten sen suunnittelussa on ollut pääpaino sen tehokkuudessa ja ympäristöystävällisyydessä. Echo Barrier on saanut tehtyä melusteensa hyvin ääntä vaimentavaksi ja laboratorio testeissä äänen vaimentumiseksi on mitattu jopa 40 dB (Echo Barrier 2020, 4–6.)

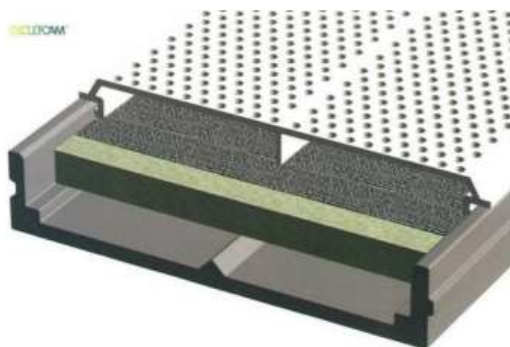


Kuva 20. Echo Barrier väliaikainen meluste (Echo Barrier 2020)

Väliaikaisessa melusteessa on melun tulosuuntaan päin päällimmäisenä pintana rei'itetty paneeli, jonka kautta ääniaallot pääsevät meluesteen sisään. Äänieristemateriaalia suojaa vedenpitävä

välikerros, joka päästää ääniaallot lävitseen äänieristemateriaaliin, joka on biohajoavasta materiaalista tehtyä komposiittia. Uloimpana pintana niin sanotusti julkisivupuolella on PVC muovista tehty levy, joka estää ääniaaltojen pääsyä esteen läpi. Echo Barrier on palkittu melusteensa ympäristöystävällisyydestä, joka täyttää standardin ISO 14001 mukaiset ympäristövaatimukset (Echo Barrier 2020, 6–8.)

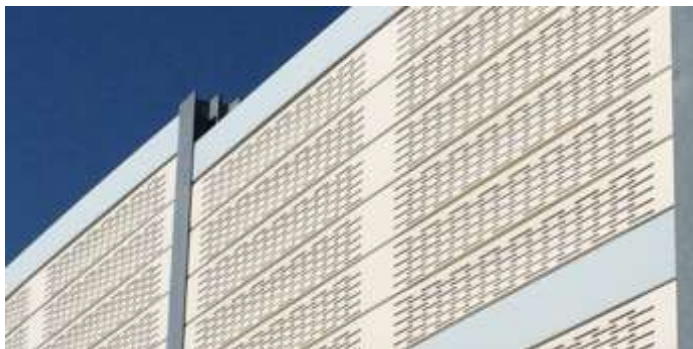
Geo Costal Engineering LTD valmistaa Irlannissa kierrätysmateriaaleista melusteita CycleFoam Noise Barrier tuotenimellä (Kuva 21). Melusteet ovat EN 1993 standardin mukaisesti testattuja ja mittauksien mukaan niiden vaimennuskyky on 31 dB ja absorptio on 8–12 dB. Melusteen rakenne koostuu teräspaaluista, joiden väliin asetetaan tarvittava määrä äänenvaimennuspaneeleja (Geo Costal Engineering LTD 2021. 1.)



Kuva 21. Geo Costal Engineering LTD:n valmistama CycleFoam melusteen rakenne (Geo Costal Engineering LTD 2021. 1.).

Melusteen materiaalina on pääosin rakennusjätteestä lajiteltu PVC-muovi, joka on yleensä putkien, letkujen, tai pressujen muodossa. PVC-muovin kierrätys melusteeksi vähentää sen ympäristövaikutusta, koska PVC:n toinen kierrätysmuoto on sen polttaminen. Eristemateriaalina CycleFoam melusteessa on lasi- tai kivivillaa. Geo Costal Engineering tarjoaa myös melusteidensä pinnoitusta DecoRoc pinnoitteella, joka on graffitin estopinnoite. Pinnoite mahdollistaa myös melusteen värityksen halutun väriksi (Geo Costal Engineering LTD 2021. 2.)

Panacor-Noise Barriers valmistaa Espanjan Kantabriassa melusteita elementtiratkaisulla (Kuva 22). Melusteen rakenne koostuu ääntä absorboivista elementistä, jotka voivat olla valmistettuja esimerkiksi pellistä, alumiinista tai PVC muovista. Elementin sisällä on ääneneristemateriaalina mineraalivillaa. Runkorakenne on teräksestä valmistettu ja meluste elementit asetetaan pystyyn asennettujen I-pilareiden uumaa vasten, laippojen väliin (Panacor-Noise Barriers 2012a.)



Kuva 22. PVC muovista valmistettu melueste (Panacor-Noise Barriers 2012a).

Panacor-Noise Barriers meluesteratkaisut ovat kaikki CE hyväksytyjä ja ne ovat suunniteltu, sekä testattu standardien EN 1793 ja EN 1794 mukaisesti. Äänen absorptiotaso on todettu testien mukaan olevan 30 dB ylöspäin. Etuna Panacor-Noise Barriers melusteilla on niiden helppo asennus. Elementit ovat hyvin kevyitä ja ne voidaan asentaa käsin henkilönostimesta operoiden. Lisäksi elementtimalliseen melusteeseen voi asentaa välille yrityksen itse valmistamia läpinäkyviä elementtejä, jolloin meluesteen läpi pääsee valoa ja ohikulkijat näkevät ympäröivää luontoa (Panacor-Noise Barriers 2012b.)

Deltabloc on itävaltalainen yritys, joka valmistaa melukaiteita törmäyskaiteiden tuotannon yhteydessä. Yrityksen melukaide koostuu betonielementistä, jonka päälle on asennettu erillinen meluseinä (Kuva 23), jolloin betoninen perusta täyttää melukaiteelta vaaditun törmäysturvallisuuden vaatimukset, ja melua torjuu betonielementin lisäksi meluseinä. Yrityksen päätuotteena on kuitenkin pelkkä törmäyskaide, joten hyvin tarkkoja äänen vaimennuksen, tai absorptiokyvyn arvoja ei ole ilmoitettu (Deltabloc 2020.)



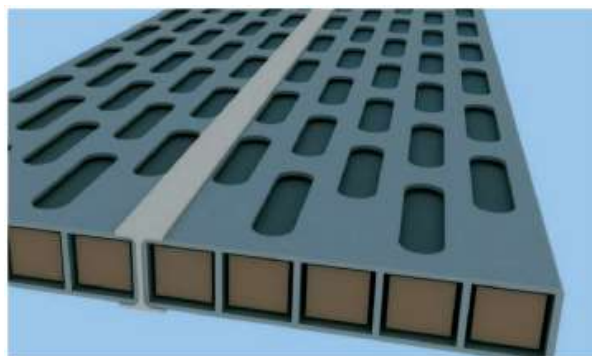
Kuva 23. Deltabloc valmistama törmäyskaide (Deltabloc 2020).

Tilon CG Ltd on Iso-Britannialainen yritys, joka valmistaa komposiitista ääntä heijastavia ja ääntä absorboivia melusteita (Kuva 24). Tilonin melusteet täyttävät standardin EN 14388 mukaiset vaatimukset ja niiden akustiset ominaisuudet ovat testattu standardin EN 1793 mukaisesti. Meluesteen ei-akustiset ominaisuudet ovat suunniteltu standardin EN 1794 mukaisesti (Tilon CG Ltd 2020.)



Kuva 24. Komposiitista valmistettu meluste (Tilon CG Ltd 2020).

Tilonin komposiitti on valmistettu lasikuidusta ja kierrätetystä muovista, joka koostuu pääasiassa jätteisiin heitetyistä muovipulloista ja korkeista. Komposiitista tehdään elementtejä, jotka asennetaan teräsrakennerungon väliin. Teräsrunko on mahdollista saada pulverimaalattuna, sekä ruostumattomasta teräksestä valmistettuna. Absorboivassa melusteessa äänenvaimennusmateriaalina on meluste-elementin sisälle asetettu mineraalivilla. Meluste-elementit (Kuva 25) lukitaan toisiinsa elementtien väliin asennettavien I-profiilien avulla (Tilon CG Ltd 2020.)



Kuva 25. Tilonin absorboivan meluste-elementin rakenne (Tilon CG Ltd 2020).

5.4 Melusteen testausmenetelmät

Melusteita voidaan valmistaa ääntä heijastavina, sekä ääntä absorboivina esteinä. Molemmille esteityypeille täytyy tehdä äänen eristävyysmittaus, josta saadun eristävyysluvun DL_R vähimmäisarvona pidetään yleisesti 25 desibeliä laboratoriomittauksissa. Tähän arvoon tulisi pyrkiä melustetta suunniteltaessa, mutta jos vaimennuksen tarve kohteessa on huomattavasti vähemmän, voidaan tätä vähimmäisarvoa hieman madaltaa. Esimerkiksi 10 dB eristävyttä tarvittaessa voidaan rajana pitää 20 desibeliä. Mikäli eristävyysmittaus tehdään ulkona melusteen lopullisessa sijoituskohteessa, eristävyydeltä vaaditaan eristävyyslukua $DL_{SI,E}$ 28 dB melusteen keskellä ja pilarin kohdalla 25 dB. Tämä johtuu siitä, että kenttäolosuhteissa tehdyissä mittauksissa saadaan yleensä suurempia eristävyysarvoja, kuin laboratoriomittauksissa (Liikennevirasto 2015, 58–59.)

Melustetta ei kuitenkaan saa kutsua, eikä markkinoida ääntä absorboivana, ellei sitä ole testeillä todistettu. Äänen absorptio melusteesta määritetään mittaamalla sen äänen absorptiokyky, eli

mitataan paljonko melusteestä kimmonnut ääni, on vaimentunut osuttuaan melusteeseen. Tällaista mittausta varten on tehty standardisarja, joissa melustetta testataan laboratorio olosuhteissa, tai vaihtoehtoisesti kenttäolosuhteissa. Kenttäolosuhteissa tehdyn mittauksen etuna on, että mittauksilla voidaan todistaa melusteen toiminta sen lopullisessa ympäristössä.

5.4.1 Melusteen akustisten ominaisuuksien testausmenetelmä laboratoriossa

Melusteen akustisten ominaisuuksien määrittäminen on määritetty standardisarjassa SFS-EN 1793. Standardisarjassa osat 1 ja 2 ovat melusteen testausta varten laboratorio olosuhteissa diffusissa äänikentässä. Melusteille, jotka eivät ole rakenteensa vuoksi mahdollisia rakentaa standardin mukaiseen laboratorio ympäristöön on kehitetty omat mittausmenetelmänsä kenttäolosuhteisiin, jotka ovat selvitetty standardin osissa 5 ja 6.

Melusteen absorptiokerroin mitataan standardin SFS-EN 1793-1 mukaisesta testikappaleesta laboratorioympäristössä standardin EN ISO 354 mukaisesti. Standardissa EN ISO 354 on määritetty mittaushuone, jollaisissa testaukset tulee toteuttaa (Kuva 26). Mittaushuoneen tulee olla tilavuudeltaan vähintään 150 m³, mutta uusille rakennettaville mittaushuoneille suositellaan vähintään 200 m³ tilavuutta. Mittaushuoneen tilavuus ei saa kuitenkaan ylittää 500 m³ rajaa, koska silloin mittaustulokset eivät ole enää luotettavia. Mittaustulosten vertausta varten kaiunta-arvo tyhjästä huoneesta mitataan ennen melusteen sinne asettamista (SFS-EN ISO 354 2003, 3.)

Mittaushuoneessa olevan testattavan melusteen tulee olla juuri sellaisessa kokoonpanossa, kuin se tulee olemaan käyttökohteessaan ja siinä täytyy olla kaikki siinä käytettävät osat kiinnitettyinä. Rakenteessa mahdollisesti olevat runkotolpat tulee myös olla testattavassa melusteessä sijoitettuna niin, että toiselle puolelle runkotolppaa tulee vähintään 2 m yhtenäistä melustetta. Mitattava este sijoitetaan keskelle huonetta, jossa se tulee olla asetettuna makuulle. Melulle altistettavalta puolelta tuotetaan mitattavaa ääntä ja mittausvälineistö sijoitetaan melusteen yläpuolelle standardin mukaisiin paikkoihin, suoraan kiinnitettynä joko lattiaan, seinään tai kattoon. Mittauspisteitä tulee olla vähintään 3 ja äänenlähteitä vähintään 2 (SFS-EN ISO 354 2003, 6). Melusteen ja mittaushuoneen väliset raot tilkitään, jotta ääntä ei pääse karkaamaan mitattavan esteen ympäriltä (SFS-EN 1793-1 2017, 6–14.)

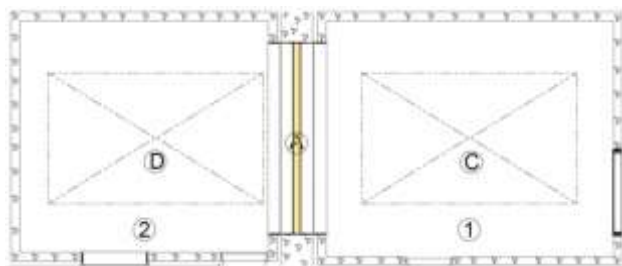


Kuva 26. Standardin EN ISO 354 mukainen kaiuntahuone (CTTM julkaisuaika tuntematon).

Mittaukset tehdään standardin SFS-EN 1793-3 mukaisilla liikennemelun spektrin taajuusarvoilla, eli välillä 100 Hz – 5 kHz. Mittaustuloksena saadaan huoneesta mitattu kaiunta-aika sekunneissa, eli aika, jonka kuluessa tuotettu äänenpainotaso laskee 60 dB (SFS-EN ISO 354 2003, 1). Saatujen tuloksien perusteella saadaan laskettua standardin SFS-EN 1793-1 mukaisella laskentamallilla meluesteen absorptiokerroin, jossa otetaan huomioon meluesteen viemä lattiapinta-ala, sekä mittaushuoneen kokonaispinta-ala (SFS-EN 1793-1 2017, 14.)

Meluesteen ilmaääneneristävyys mitataan standardin SFS-EN 1793-2 mukaisesti laboratorio olosuhteissa, jotka ovat standardisarjan SFS-EN ISO 10140 mukaiset. Standardisarjassa SFS-EN ISO 10140 on viisi osaa, joista tärkeimmät ovat osat 1, 2, 4 ja 5. Osassa 1 on määritetty testattavaan meluesteen vaatimuksia, toisessa osassa on käsitelty tulosten käsittelyyn tarvittavia kaavoja, neljännessä osassa on määritetty testaustapa ja vaatimukset, sekä viidennessä osassa on määritetty vaatimukset testausympäristölle ja välineistölle. Testattavan meluesteen tulee olla samanlainen, kuin meluesteen absorptiokertoimen määrittämisessä, eli samanlainen kuin valmis lopputuote (SFS-EN 1793-2, 6.)

Mittaushuone ilmaääneneristävyden mittauksessa (Kuva 27) jaetaan kahtia asettamalla testattava melueste noin keskelle huonetta. Melueste asetetaan huoneen seiniin, kattoon ja lattiaan tiiviisti, jotta sen ympäriltä ei pääse ääntä toiselle puolelle. Jaetun mittaushuoneen tulee olla tilavuudeltaan meluesteen molemmilta puolilta vähintään 50 m³, mutta niillä ei saa olla sama tilavuus, vaan niiden tulee erota toisistaan vähintään 10 %. Mitattavan meluesteen tulee olla pinta-alaltaan noin 10 m² (SFS-EN ISO 10140-5 2010, 2–3.)



Kuva 27. Standardin SFS-EN ISO 10140 mukainen testaushuone (Turku AMK 2021, 7).

Meluesteen jakamiin huoneisiin asetetaan molempiin mikrofoneja, sekä toiseen huoneeseen kaiutin, josta mitattava ääni tuotetaan. Kummassakaan huoneessa ei saa olla mittauksen aikaan läsnä ihmisiä. Kaiuttimella tuotetaan standardin SFS-EN 1793-3 mukaisen liikennemelun spektrin mukaisilla taajuuksilla ääntä, jonka äänenvoimakkuus mitataan molemmissa mittaushuoneissa. Saduista mitausarvoista saadaan laskettua äänen eristävyydelle yksittäinen luku standardin SFS-EN 1793-2 mukaisesti (SFS-EN ISO 10140-2 2010, 3–4.)

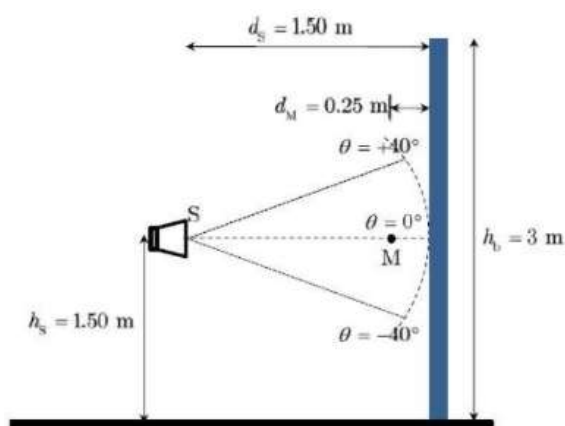
5.4.2 Meluesteen akustisten ominaisuuksien testausmenetelmä kenttäolosuhteissa

Mikäli meluesteen rakenne, tai sen valmistustapa on sellainen, että sitä ei voi helposti rakentaa laboratorio-olosuhteisiin, voidaan se testata myös kenttäolosuhteissa. Kenttämittaukset tehdään standardin SFS-EN 1793 osien 5 ja 6 mukaisilla menetelmillä. Osa 5 käsittelee meluesteen heijastavuuden mittausmenetelmää ja osa 6 ääneneristävyuden mittausmenetelmää. Kenttämittauksissa melueste

testataan sen lopullisessa käyttöympäristössään ja testien perusteella voidaan todentaa meluesteen absorptiokyky ja ääneneristävyys. Tällaisella testillä on etunsa, sillä laboratoriossa tehty mittaus ei aina kerro meluesteen toimivuudesta sen lopullisessa käyttöympäristössä. Tämä johtuu siitä, että laboratoriotesteissä ääni on diffuusia äänikenttää, eli se on kaikuissa olosuhteissa ja ääniaallot osuvat meluesteen pintaan lukuisista eri suunnista, kun taas kenttämittauksissa ääni on yleensä aina kohdistettua suoraa ääntä. Kenttämittauksien suosio on kasvussa myös siitä syystä, että säännöllisillä mittauksilla voidaan myös todentaa meluesteen toimivuus sen koko kestoikänsä ajan. (Liikennevirasto 2015, 59–61.)

Äänen absorptio määritetään standardin SFS-EN 1793-5 avulla, vaikka standardi on nimensä mukaan heijastavuuden mittaukseen. Tämä johtuu siitä, että standardin mukaisella menetelmällä mitatun heijastavuusindeksin avulla voidaan laskea myös absorptiota kuvaava arvo. Kenttämittauksilla määritettyä absorptiota ei voi suoraan verrata laboratoriossa tehtyyn mittaukseen, koska kenttämittauksessa mitattuun arvoon pääsee vaikuttamaan myös esteen läpi kulkenut ääni, joka laboratoriomittauksissa on hyvin vähäistä, johtuen siellä käytetystä diffuusista äänikentästä (Liikennevirasto 2017, 10.)

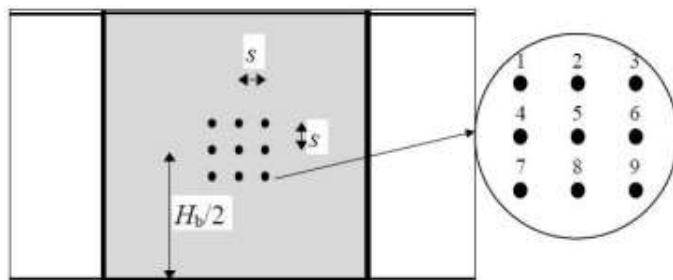
Heijastavuuden mittauksessa käytetään Adrienne-menetelmää, joka määrittää äänenlähteen ja mittauslaitteiden sijainnin melusteeseen nähden. Adrienne-menetelmän mukaan heijastavuutta mitattaessa äänenlähde asetetaan melun tulosuunnan puolelle korkeudelle, joka on puolet meluesteen kokonaiskorkeudesta. Mittauslaitteisto asetetaan äänenlähteen ja meluesteen väliin (Kuva 28), samalle korkeudelle äänenlähteen kanssa. Tällä menetelmällä mittauslaitteisto kohtaa äänenlähteestä tulleen impulssin, melusteesta takaisin heijastuneen impulssin, sekä maasta heijastuneen impulssin. Nämä impulssit saadaan kuitenkin eroteltua signaalin supistustekniikalla, sekä mittauksien aikaikkunoinnilla (Koussa, Faouzi & Defrance, Jérôme & Jean, Philippe & Blanc-Benon, Philippe 2013, 3.)



Kuva 28. Adrienne-menetelmä heijastavuuden mittauksessa (Koussa, Faouzi & Defrance, Jérôme & Jean, Philippe & Blanc-Benon, Philippe 2013, 4).

Mittaus suoritetaan yhdeksässä pisteessä, jotka ovat 0,25 m etäisyydellä meluesteen pinnasta (Kuva 29). Mittauspisteet ovat neliömuodossa, jossa jokaisella vaakarivillä on 3 mittauspistettä, ja jokaisen pisteen etäisyys toisistaan on 0,4 m. Tällaisella menetelmällä saadaan mitattua suoran ääniaallon heijastavuus luotettavammin, koska meluesteen pinnassa tapahtuu äänen diffraktoitumista, jolloin ääniaalto ei palaa kohtisuorasti takaisin äänenlähteen suuntaan. Mittaustuloksena saaduista

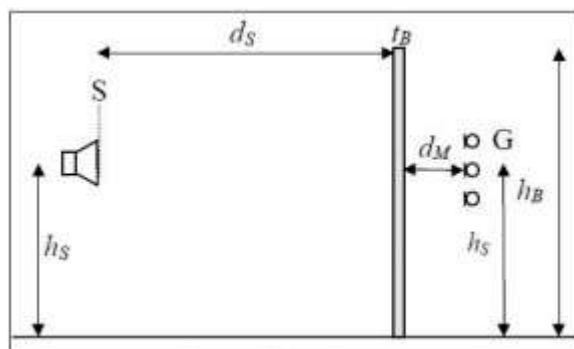
äänepainetasoista saadaan laskettua logaritminen keskiarvo, jonka avulla absorptiota määritetään standardin SFS-EN 1793-5 mukaisella menetelmällä (Liikennevirasto 2017, 10.)



Kuva 29. Adrienne-menetelmän mukaiset mittauspisteet (VTT 2014, 6).

Ääneneristävyys määritetään standardin SFS-EN 1793-6 mukaisesti. Standardin mukaista mittausmenetelmää voidaan hyödyntää tasapintaisille, sekä epätasaisille meluesteille. Ääneneristävyden mittaus toteutetaan pääasiassa samoilla periaatteilla, kuin äänen heijastavuudenkin mittaus standardissa SFS-EN 1793-5. Menetelmä poikkeaa kuitenkin mittauslaitteiston sijoituksen ja saatujen mitaustulosten osalta heijastavuuden mittauksesta (SFS-EN 1793-6, 4.)

Mittausmenetelmässä käytetään apuna Adrienne-menetelmää samantapaisesti, kuin heijastavuuden mittauksessa. Ääneneristävyden mittauksessa kuitenkin Adrienne-menetelmän mukaisesti äänenlähde ja mittauslaitteisto on eri puolilla mitattavaa meluestettä. Äänenlähde asetetaan melun tulo-suunnan puolelle ja mikrofoni samalla korkeudelle esteen toiselle puolelle (Kuva 30). Äänenlähteen ja mikrofonin sijoituskorkeus tulisi olla meluesteen puolessavälissä, mutta mikäli tätä ei ole mahdollista toteuttaa esimerkiksi maaston vuoksi, sijoitetaan kaiutin ja mikrofoni 2 m korkeuteen (VTT 2014, 3–5.)



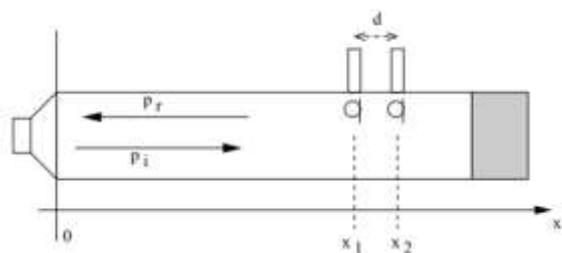
Kuva 30. Adrienne-menetelmän mukainen eristävyden mittausmenetelmä (VTT 2014, 5).

Menetelmän mukaisesti samainen mittaus tehdään myös sellaisessa kohdassa meluesteen ympäristössä, jossa meluestettä ei ole kaiuttimen ja mikrofonin välissä, näin saadaan vertailuarvo, jota käytetään apuna eristävyden määrittämisessä. Mittaus tehdään standardin SFS-EN 1793-3 mukaisilla liikennemelun spektrin arvoilla. Mittaustuloksena saadaan arvoja impulssivasteista, joista lasketaan standardin SFS-EN 1793-6 mukaisesti meluesteen eristävyysluku (VTT 2014, 6; SFS-EN 1793-6, 25.)

5.4.3 Materiaalin akustisten ominaisuuksien testausmenetelmä

Standardin SFS-EN 1793 mukaiset absorptiomittaukset täytyy tehdä kokonaisesta meluesteestä. Tällöin meluestevalmistajan tulisi valmistaa kokonainen prototyyppi meluesteestä testatakseen sen absorptio-ominaisuuksia. Tämä ei kuitenkaan ole järkevä tapa toimia, jos valmistusmateriaalin akustiset ominaisuudet eivät ole tiedossa, vaan suuntaa meluesteen toiminnasta kannattaa pyrkiä hakemaan jo aiemmassa vaiheessa tuotekehitystä. Standardin SFS-EN ISO 10534 "Akustiikka. Äänen absorptiosuhteen ja impedanssin määrittäminen impedanssiputkilla" osat 1 ja 2 mukaiset mittaussuunnitelmat mahdollistavat absorptiokertoimen määrittämisen materiaalista jo hyvin pienistä testipa-loista impedanssiputkimenetelmällä (Junttila, Laura 2012, 43.)

Impedanssiputkessa (Kuva 31) on toisessa päässä kaiutin, jonka sijainti on muutettavissa ja toisessa päässä testikappale, jonka absorptiota halutaan mitata. Testattava kappale tulee asettaa impedanssiputkeen tiiviisti ja se tulee lukita paikalleen. Putken tulee olla hyvin tukeva, sileäpintainen, sekä riittävän tiheää materiaalia, jotta mittaustulos on oikea. Lisäksi putken tulee olla tasalaatuinen, eikä sen seinämävahvuus saa muuttua putken eri kohdissa. Putkesta otettaessa poikkileikkaus, se ei saa muuttua yli 0,2 % koko matkaltaan (SFS-EN ISO 10534-1 2001, 3.)



Kuva 31. Standardin SFS-EN ISO 10534-2 mukainen impedanssiputki (Tikander, Miikka 2003, 21).

Kaiuttimesta tuotetaan impedanssiputkeen eri taajuuksilla olevat ääniaallot. Standardin SFS-EN ISO 10534-1 mukaisessa testissä mittaustuloksena saadaan seisovan ääniaallon minimi äänenpaine, sekä maksimi äänenpaine. Minimi- ja maksimi äänenpaine saadaan putkesta selville liikuttamalla impedanssiputken sisällä mikrofonia ja etsimällä äänenpaineen raja-arvot. Mitattujen raja-arvojen avulla saadaan laskettua materiaalin absorptiokerroin standardin mukaisella laskentamenetelmällä (SFS-EN ISO 10534-1 2001, 2.)

Standardin SFS-EN ISO 10534-2 mukainen testausmenetelmä on yksinkertaisempi tapa mitata materiaalin absorptiokerroin, koska siinä impedanssiputkessa mikrofoneilla on kiinteät paikat, jolloin impedanssiputken sisällä ei tarvitse liikuttaa mikrofonia mittaustulosten saamiseksi. Testaus toteutetaan samalla menetelmällä kuin standardin osassa 1, mutta osassa 2 testaustulokset otetaan kiinteiden mikrofonien sijaintien kohdalta, jonka jälkeen materiaalin absorptiokerroin saadaan ratkaistua siirtöfunktio menetelmän avulla (Junttila, Laura 2012, 46.)

6 MELUESTEEN IDEOINTI


Meluesteen suunnittelu on suhteellisen tarkasti linjattua ja Liikennevirasto on tuottanut meluesteen suunnittelusta hyvät ohjeet. Lisäksi Euroopan tasolla ohjeet on laadittu myös eurooppalaisten teiden johtajien konferenssissa. Näissä ohjeissa on myös linjattu millä standardeilla meluete tulisi suunnitella ja testata, sekä minkälaisia vaatimuksia melueteiltä vaaditaan. Opinnäytetyöhön haetun tietoperustan pohjalta muodostui myös kuva opinnäytetyön asettajan tuotantoon mahdollisesti soveltuvasta melueteestä.

Opinnäytetyönasettaja valmistaa omaa ekologista komposiittiaan kierrätysmuoveista ja käyttää komposiitteihin myös erilaisia kierrätettyjä kuituja, kuten puuta. Raaka-aineet tulevat jalostuslaitoksille jäteasemien esilajiteltuina ja toimittamina. Teknologia on kehitetty hyödyntämään sekalaisia muoveja, jolloin valtamuoveja, kuten PE- ja PP-kierrätysmuoveja ei tarvitse erotella toisistaan, vaan voidaan hyödyntää prosessissa sellaisenaan. Teknologian etuna on sen mahdollistama kevyempi esilajittelu verrattuna muihin menetelmiin. Kierrätysraaka-aineet murskataan ja prosessoidaan edelleen komposiittituotteiksi. Lopputuotteen ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa raaka-ainepitoisuuksilla ja erilaisilla lisä- ja täyteaineilla, kuten väriaineilla.

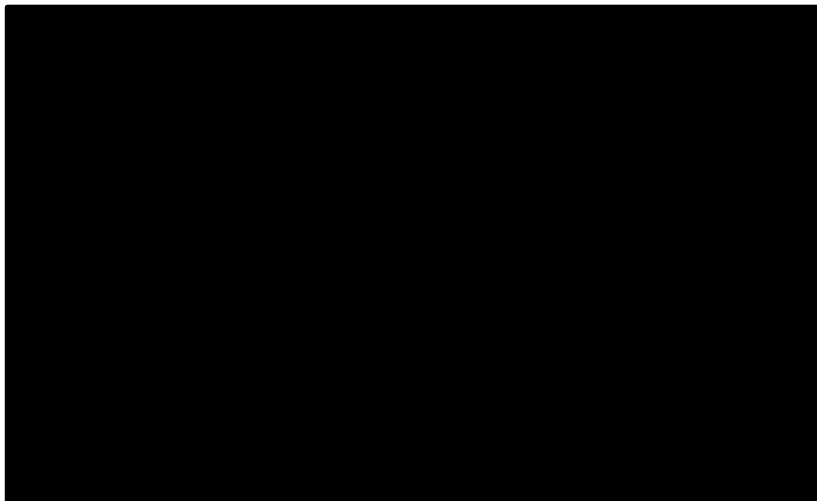
Komposiitti on meluesteen valmistukseen hyvä materiaali, koska se kestää hyvin vettä ja on lujaa, jolloin melueteeltä vaadittu lumi- ja tuulikuorman kesto on helpompaa toteuttaa. Komposiittia on kuitenkin melko hankalaa käyttää meluesteen runkorakenteessa, johtuen sen laadun pienistä muutoksista eri materiaalierien välillä. Tästä johtuen voisi olla järkevää tehdä meluesteen runkorakenne esimerkiksi RHS putkipalkeista, jolloin melueteelle saataisiin helposti siltä vaadittu kestoikä, sekä tarvittava rakenteellinen lujuus. Toisena vaihtoehtona runkorakenteeseen on puu, jolloin meluesteen kestoikä joudutaan parantamaan pintakäsittelyillä. Toisaalta ajateltuna työn asettajan omaa toimintaa kiertotalousyrityksenä, voisi puu olla hyvä materiaali runkorakenteeseen, koska sen voisi mahdollisesti kierrättää uudelleen yrityksen omassa prosessissa.

Meluesteen korkeus ei ole aina sama, vaan eri käyttökohteissa esteestä voi joutua tekemään korkeamman, tai matalamman, kuin toisaalla. Tämä tuottaa kuitenkin ongelman työn asettajan tuotannossa, koska komposiittituotteita valmistetaan muottien avulla, jolloin meluesteen korkeuden muuttuessa, joutuisi aina hankkimaan uuden muotin. Tästä johtuen melueteestä kannattaisi tehdä modulaarinen ja elementtityyppinen ratkaisu, jossa meluete-elementit olisivat suhteellisen matalia ja elementtejä kokoamalla päällekkäin saataisiin muunneltavuutta meluesteen korkeuden osalta.

Absorboivan meluesteen sisälle täytyy asettaa äänieristemateriaalia, jotta melueteellä saavutetaan riittävä äänen absorptio. Tästä johtuen elementin tulisi olla onttorakenteinen, joka on muottivalmistusmenetelmällä haastavaa toteuttaa. Onttorakenne on kuitenkin mahdollista toteuttaa tekemällä kaks erillistä puoliskoa, jotka liitetään valmistuksen jälkeen toisiinsa. Tästäkin syystä johtuen kannattaa meluete elementin korkeus asettaa sellaiseksi, että samalla muotilla saataisiin tuotettua useampi elementin puolikas, jolloin tuotantonopeus kasvaisi huomattavasti.

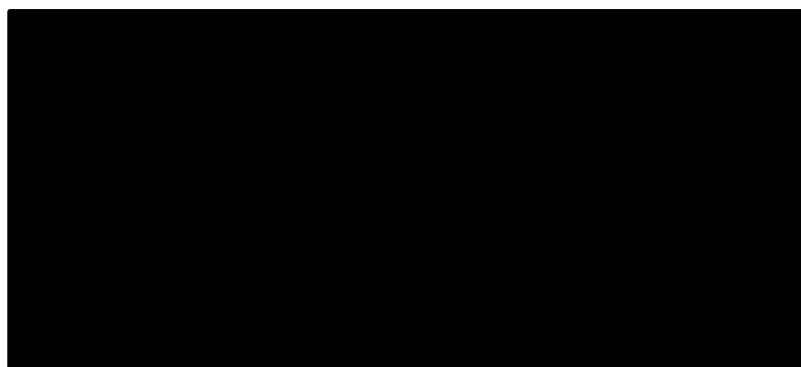
Mallinnettu meluete (Kuva 32) on pyritty tekemään työn asettajan valmistusmenetelmälle sopivaksi. Melueteessä runko koostuu  RHS putkipalkeista, jonka pystypilarien

väliin mallinnettu meluste-elementti asetetaan. Ajatuksena on, että elementit olisivat omalla painollaan päällekkäin, ja pystypilarin yläpäästä varmistetaan kiinnitinlevyllä elementtien tiiviys toisiinsa nähden. Melusteen perustuksista riippuen vaakapalkki lukitaan perustuksiin joko vaakapalkin pohjaan hitsattavien tappien avulla suoraan valuun, tai ruuvikiinnityksin perustuksiin valettaviin erillisiin kiinnityskohtiin.



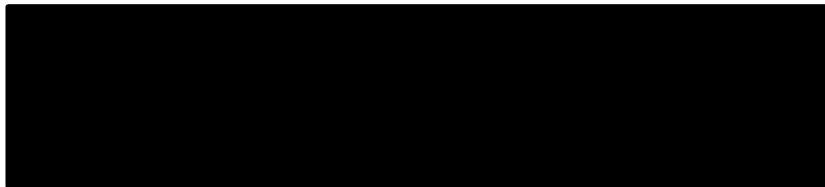
Kuva 32. (Kuva poistettu) Meluste-elementeistä ja teräsrungosta koostuva meluste.

Elementti (Kuva 33) on [redacted] korkea, jolloin melusteen korkeutta voidaan säätää elementtien lukumäärällä, aina [redacted] välein. Elementti koostuu kahdesta puolikkaasta, joista toiseen tehdään rei'itykset, josta ääni pääsee elementin sisään asennettavaan kivivillaeristeeseen. Rei'itykset on malliin suunniteltu tehtäväksi itse muotilla, koska melusteen pinnasta tulee olla reikiä niin suuri pinta-ala, että jälkepäin reikiä poraamalla elementin valmistuskustannus olisi todella korkea.



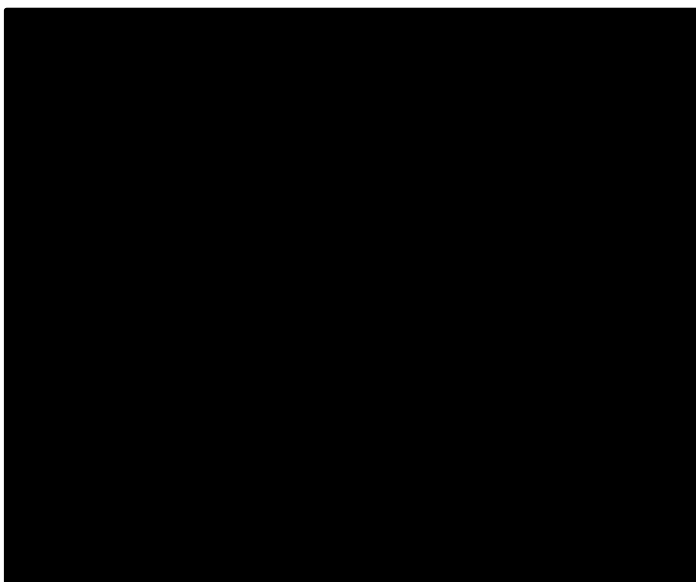
Kuva 33. (Kuva poistettu) Kahdesta puolikkaasta koostuva meluste-elementti.

Elementin puolikkaiden väliin jää [redacted] syvyinen tila kivivillalle (Kuva 34), jolla saavutetaan kohtuullisen suuri äänenvaimennus. Esimerkiksi Sloveniassa melusteen äänieristemateriaaleja valmistava KnaufInsulation lupaa kivimineraalivillaltaan 12 dB vaimennuskykyä 50 mm paksuisella eristeellä (KnaufInsulation 2021). Elementin äänen absorptio riippuu kuitenkin eristeen lisäksi myös rei'ityksen ja kiinteän pinnan suhteesta, joka tulee todentaa testeillä oikeaksi.



Kuva 34. (Kuva poistettu) Meluste-elementti on pohjasta avoin, jolloin kivivillan asennus eristämateriaaliksi elementin sisälle on helppoa.

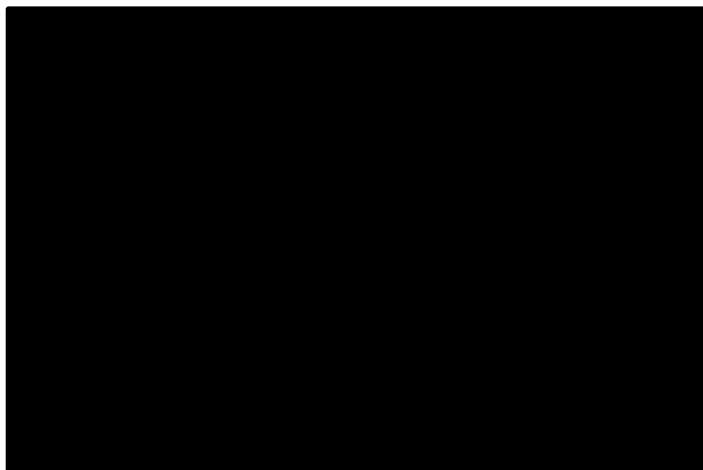
Elementin päädyssä on [redacted] syvä upotus, jotta melusteen runkotolpat jäävät piiloon elementin rakenteisiin. Elementin ylä- ja alareuna on tehty keskittäviksi, joten elementti asetuu tukevasti toiseen elementtiin, jolloin se myös tiivistyy paremmin (Kuva 35). Keskittävä rakenne on mallinnettu niin, että elementtien paino lepää aina elementin sisärakenteiden päällä, jotta rei'itetty ulkopintaan ei kohdistuisi liikaa rasitusta. Lisäksi elementin alareunassa on melusteen runkorakenteessa oleville tukipaloille väistö.



Kuva 35. (Kuva poistettu) Elementit lukitaan paikoilleen yhdellä kiinnityksellä pystypilarin yläpäästä. Meluste-elementti on rakenteeltaan toisiin elementteihin keskittyvä.

Meluste-elementit lepäävät toisiensa päällä, ilman elementtikohtaisia lisäkiinnityksiä. Elementtien tiivyyttä parantaakseen runkotolpan yläpäässä on kierteet, joihin voidaan kiinnittää kiinnitinlevy. Kiinnitinlevy painaa elementtejä toisiinsa kiinni, jotta ne ovat tukevasti paikallaan.

Meluste on asuinalueelle osoittavalta puolelta siisti ja tasapintainen (Kuva 36). Esteen ulkonäköä, sekä ilkvallantorjuntaa ajatellen se kannattaisi kuvioda jotenkin jo tuotantovaiheessa. Komposiittimateriaaleista on Liikenneviraston ohjeessa linjattu, että niitä ei suositella maalattavaksi, vaan sen tulee olla läpivärjättyä jo valmistusvaiheessa.



Kuva 36. (Kuva poistettu) Mallinnettu meluste melun vastakkaiselta puolelta katsottuna.

Elementtien ja runkorakenteen pilariväli tulee asettaa materiaalista riippuen niin, että se täyttää melusteeltä vaadittavat tuulikuormankeston, sekä teiden aurauksesta johtuvan lumikuormankeston. Työn asettajan valmistusmenetelmä, asettaa omat rajoituksensa myös meluste-elementin pituudelle. Mallissa pilarien väliin jäävä elementtitala on [REDACTED].

7 POHDINTA

Liikennemelu on kasvava ongelma yhteiskunnassa ja sen haittavaikutuksille altistuu hyvin suuri joukko ihmisiä, vaikka ympäristödirektiivien avulla melun kantautumista asuinalueille onkin yritetty säädellä. Meluntorjunnalle on nyky-yhteiskunnassa paljon tarvetta, johtuen suurista liikennemääristä. Meluestevaihtoehtoja on paljon, mutta varsinkaan Suomessa komposiittia ei juuri melusteissa hyödynnetä. Euroopan tasollakin komposiitin käyttö on melko vähäistä, vaikka Yhdysvalloissa se on hyvin yleinen valmistusmateriaali.

Työn asettaja on omalla valmistusmenetelmällään keksinyt tavan hyödyntää ympäristölle ongelmallista jätemuovia, joka menisi normaalisti polttoon. Tällaisella kierrätysmateriaalilla on hyvä potentiaali menestyä tulevaisuudessa, kun maiden hiilidioksidipäästöjä pyritään jatkuvasti rajoittamaan. Hyvin suurena etuna juuri työn asettajan komposiitilla voidaan pitää sitä, että se on myös uudelleenkierrätettävissä lukuisia kertoja heidän omassa tuotannossaan, jolloin materiaalin ei tarvitse päätyä jäteasemilta voimalaitosten polttouuneihin tulevaisuudessakaan.

Opinnäytetyöstä sai hyvin käsityksen meluesteen suunnittelun vaiheista ja niiden vaatimuksista. Aihealue oli monipuolinen ja mielenkiintoinen, joten tietoperustaakin oli miellyttävä koostaa. Melusteille on hyvät suunnitteluohjeet tehty Suomeen Liikenneviraston, sekä Eurooppaan CEDR:n toimesta. Näistä kuitenkin Liikenneviraston ohje on jo melko vanha, joten on oletettavaa, että uusi ohje olisi tulossa tulevaisuudessa.

Opinnäytetyössä on koostettu pohjaa meluesteen suunnittelusta, patentoiduista tuotteista, käytettävistä standardeista, kilpailevista tuotteista, testausmenetelmistä, sekä tehty konseptisuunnitelmana 3D-malli Työn asettajan valmistusmenetelmälle sopivasta melusteesta. Työ on pyritty tekemään opinnäytetyön asettajan näkökulmasta ja siihen on pyritty kokoamaan heille hyödyllistä tietoa.

Lopputulena opinnäytetyöstä on raportti haetuista tiedoista, Excel taulukko patenttitarkastelusta, sekä 3D-malli melusteesta. Julkisesta versiosta on poistettu opinnäytetyön asettajan pyynnöstä yrityksen toiminnan kannalta kriittisiä tietoja.

LÄHTEET

- Arenas, Jorge P & Crocker, Malcolm J 2010. University Austral of Chile & Auburn University. Recent Trends in Porous Sound-Absorbing Materials.
- Conference of European Directors of Roads 2017. CERD. Technical report 2017-02 State of the art in managing road traffic noise: noise barriers. Verkkojulkaisu. <https://www.cedr.eu/download/Publications/2017/CEDR-TR2017-02-noise-barriers.pdf>. Viitattu 26.04.2021.
- CTTM julkaisuaika tuntematon. Centre De Transfert De Technologie Du Mans. Verkkojulkaisu. <http://www.cttm-lemans.com/en/acoustics-vibrations/prestations/developpement-materiaux.html>. Viitattu 18.06.2021.
- DeltaBloc 2020. The DB NBF series absorbs noise and impacts. Verkkojulkaisu. <https://deltabloc.com/en/noise-barriers/db-nbf-series>. Viitattu 17.06.2021.
- Echo Barrier 2020. Product brochure. Esite. Suffolk, Iso-Britannia.
- Environmental Protection Department. Highways Department. Government of the Hong Kong SAR. Guidelines on Design of Noise Barriers. Verkkojulkaisu. https://www.epd.gov.hk/epd/sites/default/files/epd/english/environmentinhk/noise/guide_ref/files/barrier_leaflet.pdf. Viitattu 27.04.2021.
- Espacenet 2016. European Patent Office. Cooperative Patent Classification. Verkkojulkaisu. https://worldwide.espacenet.com/classification?locale=en_EP#!/CPC=E01F8/0023. Viitattu 17.05.2021.
- Espacenet. Patenttihaku. Verkkojulkaisu. https://fi.espacenet.com/advancedSearch?locale=fi_FI.
- Geo-Costal Engineering Ltd 2021. Cyclefoam Brochure. Esite. Irlanti.
- Junttila Laura 2012. Lujitemuovirakenteinen meluaita. Diplomityö. Materiaalitekniikan koulutusohjelma. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere.
- KnaufInsulation 2021. Products. RSB Board. Verkkojulkaisu. <https://www.oem.knaufinsulation.com/products/rsb-board>. Viitattu 29.06.2021.
- Koussa, Faouzi & Defrance, Jérôme & Jean, Philippe & Blanc-Benon, Philippe 2013. Acoustic Performance of Gabions Noise Barriers: Numerical and Experimental Approaches. Ranska.
- Korhonen, Jonne 2021. Kuopio. Tekijän kokoelmat.
- Laki melutason ohjerajoista 1992. L 993/1992. <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/1992/19920993>. Viitattu 26.04.2021.
- Liikennevirasto 2015. Tien melusteiden suunnittelu. Infra- ja ympäristöosasto. Verkkojulkaisu. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_21_2015_tien_melusteiden_suunnittelu_010715_web.pdf. Viitattu 27.04.2021.
- Liikennevirasto 2017. Liikenneviraston maanteiden ja rautateiden meluselvitys 2017. Sito Oy. Verkkojulkaisu. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lr_2017_maanteiden_meluselvitys_web.pdf. Viitattu 26.04.2021.
- Liikennevirasto 2017. Äänen heijastuminen erilaisista melusteistä. Verkkojulkaisu. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2017-29_aanen_heijastuminen_web.pdf. Viitattu 22.06.2021
- Muoviteollisuus julkaisuaika tuntematon. Muovitieto. Muovi. Komposiitit. Verkkojulkaisu. <https://www.plastics.fi/fin/muovitieto/muovit/komposiitit/>. Viitattu 28.04.2021.

NCC 2021. Tarjontamme. Tietoa asfaltista. Verkkajulkaisu. <https://www.ncc.fi/tarjontamme/asfaltti/tietoa-asfaltista/>. Viitattu 26.04.2021.

Panacor-Noise Barriers 2012a. PVC noise barriers. Verkkajulkaisu. <https://www.panacor2000.com/en/project/pvc-noise-barriers>. Viitattu 10.06.2021.

Panacor-Noise Barriers 2012b. Company. Verkkajulkaisu. <https://www.panacor2000.com/en/content/company>. Viitattu 10.06.2021.

Parma julkaisuaika tuntematon. Meluseinät. Verkkajulkaisu. <https://parma.fi/tuote/meluseinat/>. Viitattu 10.06.2021.

Paroc 2021. Miksi kivivilla. Paroc-kivivilla-luonnollisen kestävä eriste. Verkkajulkaisu. <https://www.paroc.fi/miksi-kivivilla>. Viitattu 27.04.2021.

Patentti- ja rekisterihallitus 2019a. Patentoinnin ABC. Mikä on patentti. Verkkajulkaisu. <https://www.prh.fi/fi/patentit/patentoinninabc/mikaonpatentti.html>. Viitattu 12.05.2021.

Patentti- ja rekisterihallitus 2019b. Patentointi ulkomailla. Eurooppapatentti. Verkkajulkaisu. https://www.prh.fi/fi/patentit/patentointi_ulkomailla/eurooppapatentti.html. Viitattu 12.05.2021.

Patentti- ja rekisterihallitus. FI-EP-Patentit. Suomessa vahvistetut Eurooppapatentit. Hakukone. <https://patent.prh.fi/fiep/default2.asp?Etsi1=Etsi%20/%20Search>.

Patentti- ja rekisterihallitus. PatInfo. Suomalaiset patentit. Hakukone. <https://patent.prh.fi/patinfo/default2.asp?Lng=>.

Ruukki julkaisuaika tuntematon. Building Envelopes. Tuotteet. Cor-Ten. Verkkajulkaisu. <https://www.ruukki.com/fin/building-envelopes/products/facade-claddings/facade-cladding-materials/cor-ten?TabfiltersB2B=1tabfilter>. Viitattu 09.06.2021.

Schütte GmbH 2013. Meluntorjuntatuotteet. Meluntorjunta - Käytännön ratkaisuja. Esite. Ganderke-see, Saksa.

Sepa Group julkaisuaika tuntematon. Vähemmän melua liikenteestä. SEPA-Meluesteet. Esite. Keitele.

SFS-EN ISO 354 2003. Suomen standardoimisliitto SFS. Akustiikka. Ääniabsorption mittaaminen kaiuntahuoneessa. Helsinki

SFS-EN 1793-1 2017. Suomen standardisoimisliitto SFS. Road traffic noise reducing devices. Test method for determining the acoustic performance. Part 1: Intrinsic characteristics of sound absorption under diffuse sound field conditions. Helsinki.

SFS-EN 1793-2 2018. Suomen standardisoimisliitto SFS. Road traffic noise reducing devices. Test method for determining the acoustic performance. Part 2: Intrinsic characteristics of airborne sound insulation under diffuse sound field conditions. Helsinki.

SFS-EN 1793-3 1997. Suomen standardisoimisliitto SFS. Road traffic noise reducing devices. Test method for determining the acoustic performance. Part 3: Normalized traffic noise spectrum. Helsinki.

SFS-EN 1793-4 2015. Suomen standardisoimisliitto SFS. Road traffic noise reducing devices. Test method for determining the acoustic performance. Part 4: Intrinsic characteristics. In situ values of sound diffraction. Helsinki.

SFS-EN 1793-5 2016. Suomen standardisoimisliitto SFS. Road traffic noise reducing devices. Test method for determining the acoustic performance. Part 5: Intrinsic characteristics. In situ values of sound reflection under direct sound field conditions. Helsinki.

SFS-EN 1793-6 2018 + A1 2021. Suomen standardisoimisliitto SFS. Road traffic noise reducing devices. Test method for determining the acoustic performance. Part 6: Intrinsic characteristics. In situ values of airborne sound insulation under direct sound field conditions. Helsinki.

SFS-EN 1794-1 2018 + AC 2019. Suomen standardisoimisliitto SFS. Road traffic noise reducing devices. Non-acoustic performance. Part 1: Mechanical performance and stability requirements. Helsinki.

SFS-EN 1794-2 2020. Suomen standardisoimisliitto SFS. Road traffic noise reducing devices. Non-acoustic performance. Part 2: General safety and environmental requirements. Helsinki.

SFS-EN 1794-3 2016. Suomen standardisoimisliitto SFS. Road traffic noise reducing devices. Non-acoustic performance. Part 3: Reacting to fire. Burning behavior of noise reducing devices and classification. Helsinki.

SFS-EN 1990+A1+AC 2006. Suomen standardisoimisliitto SFS. Eurokoodi. Rakenteiden suunnittelu-perusteet. Helsinki.

SFS-EN 1991-1-4 2005. Suomen standardisoimisliitto SFS. Eurocode 1: Rakenteiden kuormat. Yleiset kuormat. Osa 1–4: Tuulikuormat. Helsinki.

SFS-EN ISO 10140-2 2010. Suomen standardisoimisliitto SFS. Acoustics. Laboratory Measurement of Sound Insulation of Building Elements. Part 2: Measurement of Airborne Sound Insulation. Helsinki.

SFS-EN ISO 10140-5 2010. Suomen standardisoimisliitto SFS. Acoustics. Laboratory Measurement of Sound Insulation of Building Elements. Part 5: Requirements for Test Facilities and Equipment. Helsinki.

SFS-EN ISO 10534-1 2001. Suomen standardisoimisliitto SFS. Akustiikka. Äänen absorptiosuhteen ja impedanssin määrittäminen impedanssiputkilla. Osa 1. Seisovan aallon suhdetta käyttävä menetelmä. Helsinki.

SFS-EN 14388 2015. Suomen standardisoimisliitto SFS. Teiden meluesteet. Laatuvaatimukset. Helsinki.

SFS-EN 14389-1 2015. Suomen standardisoimisliitto SFS. Road traffic noise reducing devices. Procedures for assessing long term performance. Part 1. Acoustical characteristics. Helsinki.

SFS-EN 14389-2 2015. Suomen standardisoimisliitto SFS. Road traffic noise reducing devices. Procedures for assessing long term performance. Part 2: Non-acoustical characteristics. Helsinki.

SFS-EN 16951-1 2018. Suomen standardisoimisliitto SFS. Railway applications. Track. Noise barriers and related devices acting on air propagation. Procedures for assessing long term performance. Part 1: Acoustic characteristics. Helsinki.

SFS-EN 16951-2 2018. Suomen standardisoimisliitto SFS. Railway applications. Track. Noise barriers and related devices acting on air propagation. Procedures for assessing long term performance. Part 2: Non-acoustic characteristics. Helsinki.

SFS-EN 16727-1 2018. Suomen standardisoimisliitto SFS. Railway applications. Track. Noise barriers and related devices acting on airborne sound propagation. Non-acoustic performance. Part 1: Mechanical performance under static loadings. Calculation and test method. Helsinki.

SFS-EN 16727-2-1 2018. Suomen standardisoimisliitto SFS. Railway applications. Track. Noise barriers and related devices acting on airborne sound propagation. Non-acoustic performance. Part 2-1: Mechanical performance under dynamic loadings. Resistance to fatigue. Helsinki.

SFS-EN 16727-2-2 2016. Suomen standardisoimisliitto SFS. Railway applications. Track. Noise barriers and related devices acting on airborne sound propagation. Non-acoustic performance. Part 2-2: Mechanical performance under dynamic loadings caused by passing trains. Calculation method. Helsinki.

SFS-EN 16727-3 2017. Suomen standardisoimisliitto SFS. Railway applications. Track. Noise barriers and related devices acting on airborne sound propagation. Non-acoustic performance. Part 3: General safety and environmental requirements. Helsinki.

SSTec 2018. Meluaita-Melueste. Melueste konsepti, jolla säästää aikaa, rahaa ja ympäristöä. Verkkojulkaisu. <https://www.sstec.fi/meluaita-melueste/>. Viitattu 02.06.2021

Suvanto, Kari & Laajalehto, Kari 2015. Tekniikan Fysiikka 2.Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.

Terveyden ja hyvinvoinninlaitos 2021. THL. Ympäristöterveys. Melu. Verkkojulkaisu. <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/melu>. Viitattu 26.04.2021.

Tiehallinto 2006. Tieliikenteen melu. Perustietoa tieliikenteen melusta ja sen torjunnasta. Verkkojulkaisu. https://julkaisut.vayla.fi/pdf/meluesite_tammikuu_06_a4.pdf. Viitattu 26.04.2021.

Tikander Miikka 2003. Model-based curvefitting for in-situ impedance measurements. Diplomityö. Sähkö- ja tietoliikennetekniikan koulutusohjelma. Helsingin teknillinen korkeakoulu. Helsinki.

Tilon CG Ltd 2020. noise-barriers. Verkkojulkaisu. <https://tiloncg.com/noise-barriers/>. Viitattu 17.06.2021.

Turku AMK 2021. Acoustics Laboratory in Turku, Finland. PDF-tiedosto. <https://akustiikka.turkuamk.fi/uploads/2021/05/8f840f9d-2021-05-20-acoustics-lab-2020-en.pdf>. Viitattu 17.06.2021.

Urakointiasennus M.Rautio Oy 2015. Melueste Rautio, absorboiva patentoitu melunsuojausjärjestelmä. Kalajoki.

Uudenmaan Pintasuojaus Ky 2015. Pihlajalaakson meluvalli Kuopio. Verkkojulkaisu. <https://www.pintasuojaus.com/portfolio-items/pihlajalaakson-meluvalli-kuopio/>. Viitattu 25.04.2021.

Versowood 2018. Infaesite. Asiantuntevaa puunkäyttöä ympäristön ehdoilla. Vierumäki.

VTT 2014. Meluesteiden akustisten ominaisuuksien mittaukset Adrienne-menetelmällä vuonna 2013–2014. Tutkimusraportti. Helsinki.

Väylävirasto. Melusuojaus, tieympäristön hiljainen sankari. Verkkojulkaisu. <https://vayla.fi/ymparisto/melu-tarina/meluesteet>. Viitattu 26.04.2021.

WIPO 2006. World Intellectual Property Organization. Classifications. IPC. Verkkojulkaisu. <https://www.wipo.int/classifications/ipc/en/ITsupport/Version20190101/transfor-mations/ipc/20190101/en/htm/E01F.htm#4042>. Viitattu 17.05.2021.