



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
VASA YRKESHÖGSKOLA  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mikko Vuori

# RAUTATIEN MELUESTEEN TUOTTEISTAMINEN

Tekniikka ja liikenne  
2014

## **Alkusanat**

Tämä opinnäytetyö suoritettiin Vaasan ammattikorkeakoulussa keväällä 2014 kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelmassa. Työn tilaajana toimi SOP-Metal ja työ toteutettiin SOP-Metalin Vaasan toimiyksikössä.

Opinnäytetyötä ohjasi SOP-Metalin toimitusjohtaja Sami Kuntola ja opinnäytetyön valvojana toimi Vaasan ammattikorkeakoulusta tekniikan- ja liikenteen yksiköstä yliopettaja Matti Makkonen.

Haluan kiittää työn valvojan ja ohjaajan lisäksi SOP-Metalin kehityspäällikkö Sakari Särkiniemeä sekä kaikkia minua työssäni tukeneita ja opastaneita.

Vaasassa 13.5.2014

Mikko Vuori



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

## ABSTRACT

Author	Mikko Vuori
Title	Production of Railway Noise Barrier
Year	2014
Language	Finnish
Pages	36 + 1 Appendix
Name of Supervisor	Matti Makkonen

---

This thesis was made for SOP-Metal Oy during spring 2014. The purpose of the thesis was to develop a railway noise barrier as a complete product and make required documents, such as strength calculation, drawings, list of parts and assembly models.

Noise and its behavior in surroundings, basics and requirements of noise protection form the theoretical background for the thesis. While doing the research on noise, information in literature was utilized.

As a result of work, the documentation was completed and the construction of prototype finished in SOP-Metal factory. The prototype was built according to the drawings, which were modeled using SolidWorks. The created documents of noise barrier will be used by SOP-Metal in next phases of project.

---

Keywords                      noise, railway, barrier, production

## SISÄLLYS

### TIIVISTELMÄ

### ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	8
2	YRITYSESITTELY: SOP-METAL .....	9
3	MELU.....	10
	3.1 Melun käsitteet.....	10
	3.2 Ääni.....	11
	3.3 Melun häiritsevyys.....	12
	3.3.1 Melun terveysvaikutukset .....	13
	3.4 Ympäristömelu.....	14
	3.5 Melusuojaus .....	16
4	MELUESTEEN SPESIFIKAATIOT JA VAATIMUKSET.....	19
	4.1 Lähtötilanne ja spesifikaatio .....	19
	4.2 Paloturvallisuus.....	21
	4.3 Ääneneristyskyky.....	22
	4.4 Lujuuslaskelmat .....	24
	4.4.1 Tuulen ja junan aiheuttama voima .....	24
	4.4.2 Liitosvarren rakenneputken kestävyuden mitoitus.....	25
5	SUUNNITTELUVAIHE .....	28
6	PROTOTYYPPI.....	29
	6.1 Testaus .....	29
	6.2 Kokoonpanokuvat.....	29
	6.2.1 Piirustukset.....	32
	6.2.2 Osaluettelo.....	32
7	LOPPUTULOKSET JA ARVIOINTI.....	33
	LÄHTEET.....	34
	LIITTEET	

**KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO**

<b>Taulukko 1.</b> Melulle altistumisen ajat	s. 13
<b>Taulukko 2.</b> Meluesteen vaatimusluettelo	s. 21
<b>Kuvio 1.</b> SOP-Metalin logo	s. 9
<b>Kuvio 2.</b> Ihmisen kuulokynnys eri taajuuksilla	s. 11
<b>Kuvio 3.</b> Melun kaistanleveys.	s. 12
<b>Kuvio 4.</b> Meluesteen vaikutus tieliikenteen aiheuttamaan meluun	s. 17
<b>Kuvio 5.</b> Meluesteen $DL_R$ , dB(A) ja luokka.	s. 22
<b>Kuvio 6.</b> Ilmaääneneristävyys $R_i$ (dB) 1/3 – oktaaveittain.	s. 23
<b>Kuvio 7.</b> Kokoonpanokuva kiinteällä varrella, kuvattu etuviistosta.	s. 30
<b>Kuvio 8.</b> Kokoonpanokuva kiinteällä varrella, kuvattu takaviistosta.	s. 31
<b>Kuvio 9.</b> Sädeltävä liitosvarsi	s. 31
<b>Kuvio 10.</b> Kiinnitysratkaisu kiskoihin	s. 32

**LIITELUETTELO****LIITE 1.Materiaalien kustannustaulukko**

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi SOP-Metal, joka kaipasi kehitys- ja dokumentaatioapua heidän meluste-projektiinsa. Ihmisten hyvinvointi on tänä päivänä suuri arvo yhteiskunnallisesti kansallisella kuin kansainväliselläkin tasolla. Tähän liittyy yhtenä tekijänä meluhaittojen vähentäminen melusuojauksella, jota opinnäytetyö käsittelee.

Työn aiheena oli tuotteistaa rautatien meluste. Työn sisältöön kuului valmistaa 3D-mallit ja osapiirustukset melusteelle, luoda materiaalien kustannustaulukko, suorittaa lujuuslaskelmat ja valmistaa prototyyppi. Aluksi lähdettiin tutkimaan lähtökohtia tuotekehitykselle ja dokumentaatiolle. Ensiksi laadittiin melusteelle spesifikaatio ja vaatimusluettelo, jonka jälkeen ryhdyttiin tarkastelemaan mitoitus- ja vaadittuja lujuusarvoja. Näiden pohjalta valittiin materiaalit ja luotiin 3D-mallit, joiden pohjalta rakennettiin prototyyppi. Työn lopputuloksena saatiin piirustukset ja tuotedokumentit, joita yritys voi tulevaisuudessa käyttää hyödyksi viedessään projektiaan eteenpäin.



## 2 YRITYSESITTELY: SOP-METAL

SOP-Metal (**Kuvio 1.**) on vuonna 1993 perustettu konepaja, joka on erikoistunut alihankintaan, ja työllistää noin 50 ihmistä. Yrityksen päätoimipiste sijaitsee Vaasan Airport Parkissa ja sivutoimipisteet ovat Lappajärvellä sekä Viron Harjumaalla. Vuonna 2012 SOP-Metalin liikevaihto oli 12,6 miljoonaa euroa. /5/

SOP-Metal valmistaa komponentteja kotimaisille asiakkaille ja vientiin sähkölaiteteollisuudelle, teräsrakenneteollisuudelle, tukkukaupalle sekä kemianteollisuudelle. Yrityksen palveluihin kuuluvat leikkaus, työstö, hitsaus sekä kokoonpano. Näiden lisäksi SOP-Metal myy asiakkailleen alumiinista, kuparista ja teräksestä valmistettuja raaka-aineita. SOP-Metalin tuotteita ovat muun muassa virtakiskot, sähköiset eristemateriaalit ja jakokaapit. /5/



**Kuvio 1.** SOP-Metalin logo.

### 3 MELU

Teoreettisena viitekehyksenä tässä opinnäytetyössä on melun fysikaalinen teoria ja meluneristämiseen liittyvät tekijät sekä melun vaikutukset ihmisen terveyteen.

Melu on ääntä, joka koetaan häiritseväksi ja epämiellyttäväksi tai on haitaksi terveydelle. Voimakas melu voi aiheuttaa ihmiselle kipua korvissa ja mahdollisia kuulon alenemia. Melua aiheuttavat esimerkiksi liikenne, rakennustyöt, ulkoilmakonsertit, teollisuus sekä työ- ja kodinkoneet. Liikenteen osuus ympäristömeluna kasvaa jatkuvasti ja siksi onkin tärkeää estää melun leviäminen ihmisen elin- ja asuinympäristöön rakentamalla melusteitä, jotka pysäyttävät melun etenemisen ja vaimentavat ääntä. /1/

#### 3.1 Melun käsitteet

**A-äänitaso** (LA tai LpA) on A-suodinta käyttäen mitattu taajuuspainotteinen äänenpainetaso. Käytetään myös usein merkintää dB(A).

**Impulssimelu** on nopeita ja äkillisiä iskuääniä sisältävää melua kuten takomisesta tai ampumisesta aiheutuvia painehuippuja.

**Taajuus** on äänen jaksojen lukumäärä sekunnissa. Taajuuden yksikkö on hertsi ( $1 \text{ Hz} = 1/\text{s}$ ).

**Äänenpaine**, jonka yksikkö on Pascal (Pa) on suure, jolla mitataan äänenvoimakkuutta. Ilmanpaineen (noin 100 000 Pa) yhden Pascalin muutos vastaa 94 desibelin melua.

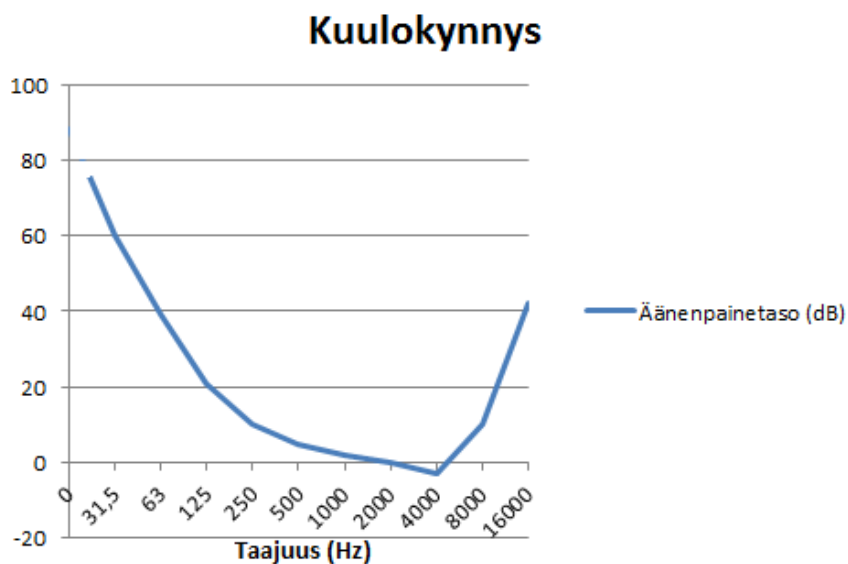
**Äänenpainetaso** (Lp) on logaritminen äänenpaineen yksikkö, joka mitataan melumittarilla. Äänenpainetaso yksikkö on desibeli (dB).

**Ääni** on aaltoliikettä joka etenee nesteessä, kaasussa, kiinteässä tai plasmamaisessa olomuodossa olevassa väliaineessa. Ääni ei kuitenkaan etene avaruudessa eli tyhjiössä.

**Ääniteho** (LW) (dB) on äänienergia, jonka äänilähde lähettää sekunnissa. Ääniteho on riippumaton ympäristöstä ja kuvaa melupäästön suuruutta. /3/

### 3.2 Ääni

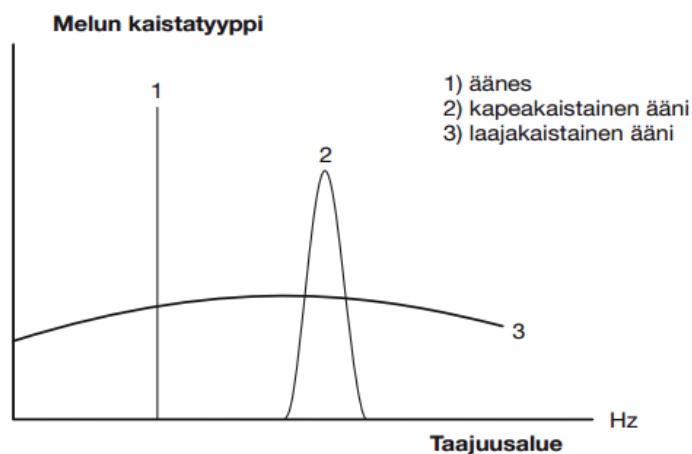
Ääni on aaltoliikettä, joka aistitaan kuuloelinten avulla. Äänen aistimiseen vaikuttaa äänenpainetason lisäksi taajuus eli spektri. Ihminen kuulee keskimäärin taajuusalueelta 20 – 20 000 Hz ja kuulo on herkimmillään taajuusalueella 2000 – 5000 Hz. Jotta ääni voidaan kuulla esimerkiksi taajuudella 31,5 Hz täytyy äänenpainetason olla vähintään 60 dB (**Kuvio 2**). /4/



**Kuvio 2.** Ihmisen kuulokynnys eri taajuuksilla. Tiihinen & Hänninen. 1997.

Äänet voidaan jakaa taajuusalueen suhteen ääneksi, kapeakaistaiseksi tai laajakaistaiseksi (**Kuvio 3.**). Äännes on vain yhdellä taajuudella oleva spektriviiva, joka

on harvinainen melussa. Laajakaistaista ääntä on esimerkiksi kohina, jonka äänenpainetaso on vakio jokaisella taajuudella. Kapeakaistaisessa äänessä ääni on vain rajatulla taajuusalueella. /2/, /4/



**Kuvio 3.** Melun kaistanleveys. Heinonen-Guzejev, M., Jauhiainen T. & Vuorinen H. 2007.

### 3.3 Melun häiritsevyys

Äänet jotka koetaan meluksi vaihtelevat ihmisestä riippuen, joten on osittain subjektiivista mitkä äänet ovat melua ja mitkä eivät ole. Melun häiritsevyyttä mitataan ainoastaan psykoakustisesti yksilö- tai ryhmätasolla, jolloin koehenkilöiden tehtävänä on ilmoittaa kuullun äänen häiritsevyytensä sovitulla asteikolla. Kenttä-tutkimuksena tehdyissä tutkimuksissa melun häiritsevyyteen on syytä huomioida vastaajan etäisyys melulähteestä, kuulotaso, suoritettu toiminto melun aikana (esimerkiksi keskustelu, television katselu, lepo)./2/

Ihmisten meluherkkyyksiä on tutkittu eri maissa ja keskimääräisesti meluherkkiä ihmisiä väestöstä on 25–40%. Suomessa meluherkkiä on arvioitu olevan 38%, joista naisia oli 52%. Meluherkkyys kertoo ihmisen suhtautumisesta meluun. Me-

luherkät kokevat melun uhkaavana ja sopeutuvat siihen hitaammin kuin henkilöt jotka eivät koe olevan herkkiä melulle. Melun impulssimainen luonne koetaan usein häiritsevämmäksi kuin taustääänen tapainen jatkuva melu samalla taajuudella ja voimakkuudella. /2/

### 3.3.1 Melun terveysvaikutukset

Melulle altistuminen vaikuttaa ihmisen terveyteen jo vähäisissäkin määrissä. Melu lisää muun muassa stressiä, joka vaikuttaa suoraan jokapäiväiseen hyvinvointiin. Stressi aiheuttaa puolestaan keskittymis-, muisti- ja unihäiriöitä, jotka aiheuttavat pitkään jatkuessaan fysiologisia häiriöitä kuten sydän- ja verisuonitauteja. Pitkäaikainen stressi voi aiheuttaa myös elämänlaadun heikentymistä, joka voi ilmetä käytöksen ja mielenlaadun muutoksina eli mielenterveysongelmana.

Korkean melutason rajat ja altistusajat (**Taulukko 1.**) ylittäessä riski saada kuulovaurio kasvaa merkittäväksi.

**Taulukko 1.** Melulle altistumisen ajat, joiden ylittäminen nostaa kuulovaurion riskin merkittäväksi. /1/

Melun voimakkuus (dB)	Altistusaika vuorokaudessa
85	8 h
88	4 h
91	2 h
94	1 h
100	15 min
103	7 min
109	1,5 min
115	0 min

Korkeita meluvoimakkuuksia esiintyy esimerkiksi työkoneita käytettäessä, lentokenttien ja rautateiden läheisyyksissä, rock-konserteissa sekä räjähdyksissä. Koska hyvin korkeat desibelivoimakkuudet aiheuttavat jo lyhyissä määrin kasvanutta riskiä kuulovaurioihin on erittäin tärkeää saada minimoitua altistuminen voimakkaalle melulle estämällä melun leviäminen ympäristössä tai melun saavuttaminen korvaa ja kuuloelimiä.

Melu aiheuttaa ihmisen korvalle äänentaajuuteen ja voimakkuuteen liittyviä kuulovaurioita. Tällöin korva ei kuule enää tietyiltä taajuuksilta tai voimakkuudelta tullutta ääntä. Muita oireita kuulovaurioille on äänen paikannuksen vaikeus, tinnitus, puheen erotuskyvyn heikentyminen, taustahälylle herkkyys, ääniyliherkkyys ja äänikuvan vääristyminen. /2/

### **3.4 Ympäristömelu**

Ympäristömelu on melua, joka on ihmisen elinympäristössä. Ympäristömelun lähteet voidaan jakaa karkeasti viiteen eri ryhmään.

1. Liikennemelu, joka sisältää kaiken liikenteestä aiheutuneen melun, esimerkiksi tie-, lento-, ja raideliikennemelu.
2. Teollisuusmelu, joka käsittää teollisuudesta, rakentamisesta voimalaitoksista tai louhimoista tulleen melun
3. Asuinympäristön melu, johon kuuluvat esimerkiksi kodinkoneet, naapurimelu, hissit ja itse tuotettu melu.
4. Vapaa-ajan toimintojen melu, johon kuuluu muun muassa ampumaratojen äänet, ulkoilmatapahtumat ja moottoriurheilu.
5. Luonnon äänet, joita on tuulesta, koskesta, elämistä tai ukkosesta lähtevä melu.

Jokainen ryhmä aiheuttaa erilaista melua. Esimerkiksi tieliikenteen melu on pieni-taajuisia, kun taas raideliikennemelun taajuusjakautuma on laajakaistainen. Lii-

kennemelussa melulähde liikkuu, teollisuusmelussa melulähde pysyy kokoajan paikoillaan. /4/ Myös melujen muissa ominaisuuksissa kuin akustisessa mittauksessa on eroja, näitä ovat hallittavuus, säännöllisyys, leviäminen ja merkityssisältö. /2/

Ympäristömelu, toisin sanoen ääni, etenee ympäristössä noudattaen yleisiä fyysisen lakeja. Aaltoliikeopissa ääni taipuu esteiden jälkeen ja taittuu väliaineen muuttuessa. Ääni hajoaa pienien kappaleiden vaikutuksesta sekä reflektoi rajapinnoista. Koska ympäristömelu voi levitä jopa satojen metrien päähän, ovat nämä tekijät hyvin merkittäviä äänen liikkeen kulkemiseen. Ympäristössä äänen vaimenemiseen vaikuttaa etäisyys, maan pinta, esteet, säätila, kasvillisuus ja ilman absorptio. /4/

Äänenvaimeneminen etäisyyden mukaan riippuu äänilähteen tyylistä. Pistemäinen äänilähde, esimerkiksi aseiden laukaus tai yksittäinen auto, vaimenee vertailuetaäisyydeltä aina 6 dB per etäisyyden kaksinkertaistuminen aiheuttaen ympärilleen pallomaisen äänikentän. Viivamainen äänilähde, joka tarkoittaa keskiäänen suhteen tapahtuvaa vaimenemista (vilkas autotie), vaimenee 3 dB per etäisyyden kaksinkertaistuminen. Viivalähteen äänikenttä on muodoltaan sylinterimäinen. /4/

Raideliikennemelumallin avulla määritetään raideliikenteen melun keskiääni- ja enimmäistasot. Tämä malli on jaettu viiteen vaiheeseen, jotka yksinkertaistettuna ovat:

1. lähtöarvo
2. junan tyyppi ja nopeus
3. maa- ja estekorjaukset
4. muut korjaukset
5. ulkoseinän ääneneristys. /4/

### 3.5 Melusuojaus

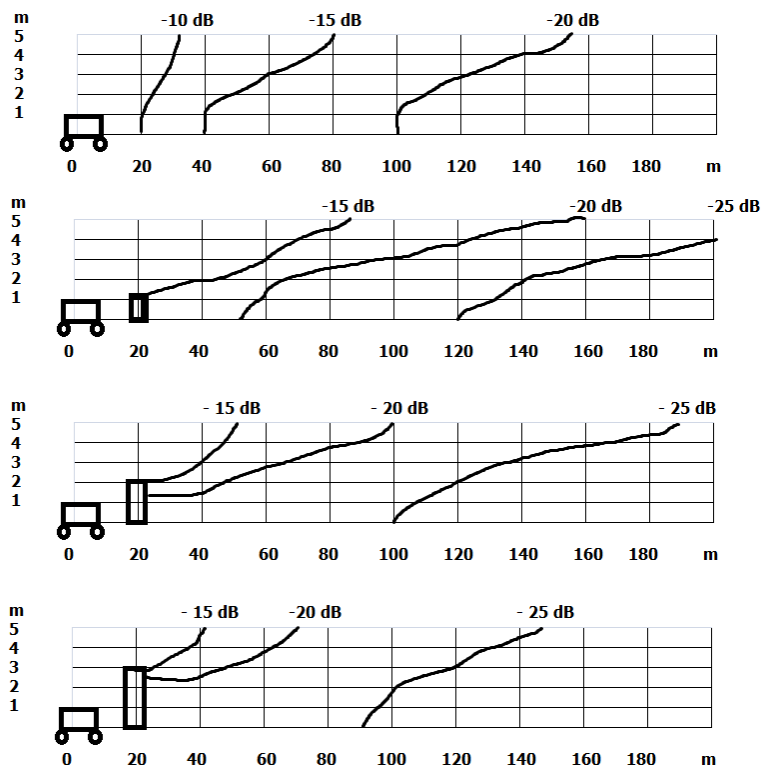
Meluntorjuntaan liittyen on laadittu meluntorjuntalaki, joka velvoittaa viranomaisia sekä melunaiheuttajia. Melun aiheuttajan on kyseisen lain mukaan velvollinen huolehtimaan meluntorjunnasta mahdollisimman laajasti kohtuudella vaadittavasti sekä oltava tarpeeksi selvillä aiheuttamastaan melusta. Ympäristöministeriö on meluntorjunnan ylin viranomainen. Tämän lisäksi on alueellisia ympäristökeskuksia joiden tehtävänä on valvoa ja ohjata meluntorjuntaa omilla alueillaan. Meluntorjuntaan liittyviä lakeja ovat: terveydensuojelulaki, ympäristölupamenettelylaki, rakennuslaki, ympäristövahinkolaki, tielait, ilmailulaki, maastoliikennelaki, vesiliikennelaki, naapuruussuhdelaki ja laki ympäristövaikutusten arvioinnista. /4/

Valtioneuvostojen ohjearvojen 993/1992 mukaan melutasot asumis-, virkistys- ja hoitolaitosalueiden ulkotiloissa eivät saisi olla päiväsaikaan klo 7-22 yli 55 desibeliä (dB). Yöaikaan (klo 22-7) raja-arvona on 45-50 dB, joista alemmaa lukemaa käytetään uusilla asuntoalueilla. Asuinalueiden sisätiloissa melun voimakkuus saisi olla maksimissaan päivällä 35 dB ja yöllä 30 dB. /4/

Maanpinta vaikuttaa meluun kulkemiseen, pehmeä maapinta kuten lumi tai ruoho vaimentaa melua ja kova pinta, esimerkiksi asfaltti tai vesi edesauttaa melun kulkemista. Esimerkiksi tieliikenteestä lähtevä melu on vaimentunut jo 60 dB lukemaan pehmeässä maastossa kun kovaa pintaa kulkeva melu on vielä 65 dB samalla etäisyydellä melulähteestä kuin pehmeän maaperän arvo. /4/

Esteen vaikutus meluun riippuu esteen korkeudesta ja on tehokkaimmillaan sijoitettuna lähelle kuulijaa tai melulähdettä. Autotiestä ja rautatiestä aiheutuvan melun lähde on matalalla, esimerkiksi autoista melu syntyy moottorista ja renkaiden liikkeessä tiellä, junissa melu syntyy kiskon ja pyörän osumasta. Este vaimentaa ääntä ja aiheuttaa melun taittumisen, jolloin maanpinnalla olevan melutaso on matalampi kuin ilmassa kulkeva ääni kuten oheisesta kuviosta (**Kuvio 4.**) voidaan nähdä. /4/





**Kuvio 4.** Meluesteen vaikutus tieliikenteen aiheuttamaan meluun. Tiihinen & Hänninen. 1997.

Lähtökohtana meluntorjunnassa on, ettei ihmiselle saa koitua melusta terveydellistä haittaa. Tällaisena haittana voidaan myös pitää viihtyvyyteen tai työn suorituskykyyn liittyvää haittaa. Melua voidaan torjua joko sijoittamalla toimintoja, melupäästöjä vähentämällä tai rajoittamalla melulähteen toimintaa. Näiden lisäksi on myös pyrittävä estämään melun leviämistä ja suojattava melulle altistuva kohde, jos edelliset toiminnot eivät ole vähentäneet melua riittävästi. /4/

Melupäästöjen vähentäminen on tehokas toimenpide ja sitä voidaan tehdä toiminta-aikoja säätelemällä tai rakenteellisin keinoin. Rakenteellisia keinoja ovat melulähteen vaimentaminen (kotelointi), huolto ja kunnossapito, käyttöajankohdat, mahdollisimman meluton toimintaperiaate ja värinän säteilyn estäminen äänialloiksi. Liikennepäästöistä aiheutuvan melun estämiseksi kaavoitus on tärkeimpiä

toimenpiteitä, jolloin pyritään sijoittamaan asunnot ja palvelut mahdollisimman kauas ja suojaiseen paikkaan melulähteistä. Tällöin kaavoituksissa pitää priorisoida eri alueiden tarpeet liikenneyhteyksien tavoitettavuuden ja melusuojatarpeen osalta. Esimerkiksi teollisuusalueen pitää olla lähellä kulkuyhteyksiä, ja melusuojaukseksi riittää vähäinen määrä, sen sijaan asuntoalueiden ei tarvitse olla lähellä meluisia pääkulkuväyliä ja melusuojauksen tarve on suurta, joten ne sijoitetaan kauemmas meluisista tieliikenneympäristöistä./4/

Meluntorjunnan kustannukset voidaan joko arvioida laskemalla melun torjunnan kustannukset tai terveys- ja viihtyvyyshaittojen välilliset kustannukset. Uuden tien rakentamisesta tai jo olemassa olevan tien parantamisesta syntyvät meluhaitat katsotaan tiehen kuuluvaksi, jolloin valtio vastaa melun estämisen kustannuksista. Jos valtion rakennuttamat esteet rakennetaan tarvetta korkeatasoisemmaksi kunnan vaatimuksesta, tällöin on kunta maksuvelvollinen lisäkustannuksista. Jos kyseessä on valmis tie ja valmiiksi kaavoitettu maa-alue niin kunta ja valtio jakavat kustannukset sopimallaan tavalla. /4/

## **4 MELUESTEEN SPESIFIKAATIOT JA VAATIMUKSET**

Meluesteen kehitystä lähdettiin jatkamaan tilanteesta, johon SOP-Metal ja saksalainen yhteistyöyritys olivat päässeet ennen opinnäytetyön aloittamista. Valmiina olivat jo muutamat spesifikaatiot ja vaatimukset eri maiden rautateihin soveltuviin kiinnityksiin sekä piirustukset mallikappaleeseen sekä mallikappale. Tarkoituksena on tehdä meluidan kiinnitys mahdolliseksi mahdollisimman moneen maahan, mutta toiminnan rakentaminen aloitettiin suunnittelusta ensiksi Saksaan ja Iso-Britanniaan, jotka ovat valmiin tuotteen ensimmäiset kohdemaat myyntiä ajatellen. Mahdollisesti myöhemmin tuotetta tultaisiin myös käyttämään Suomessa VR:n raiteilla.

Tuotteen suunnittelussa ja kehityksessä piti ottaa huomioon Saksan kansallisen rautatieyhtiön Deutsche Bahnin vaatimukset ja standardit: aidan etäisyys radan keskipisteestä, absorptiolevyn paloturvallisuus, helppo asennettavuus, meluidan kallistusominaisuus sekä ääneneristyskyky. Tuotteelle on tarkoitus laatia myös myöhemmässä vaiheessa käyttö- ja asennusohjeet.

### **4.1 Lähtötilanne ja spesifikaatio**

Tuotteen pääkonseptina on tarjota samalla ratkaisulla rautateille melusuojausta, sekä este, joka estäisi asiattomien pääsyn rata-alueille. Monet suojaesteet ovat helposti ylitettävissä ja ne ovat verkkomallisia, joten ne eivät eristä lainkaan ääntä. Tällöin on tarvittu vielä erikseen melusuojausta varten erillinen este. Meluestettä käytettäisiin muun muassa rautateiden työmailla, jolloin se estäisi myös työstä syntyviä ääniä. Esteen hyvänä puolena olisi, että sen voisi halutessaan jättää suoraan työn loputtua melusuojaksi sekä suoja-aidaksi, eikä tarvitsisi siirtää pois.

Tuotteesta on tarkoitus kehittää kaksi eri mallia, ensimmäinen malli on varreltaan liikkuva, jolloin meluesteen voi sijoittaa haluamalleen etäisyydelle raiteesta. Toisessa versiossa varsi on kiinteä, jolloin melueste on automaattisesti aina samalla

etäisyydellä. Tätä voitaisiin käyttää silloin kun meluestettä ei liikuteta mihinkään työmaan mukana, eikä radan ja esteen välistä tilaa tarvitse lisätä ratatyön vuoksi suuremmaksi.

Meluste suunnitellaan siten, että niitä on mahdollista sarjoittaa vierekkäin useita. Tämä ratkaisu hoidetaan levikkeellä, joka kiinnitetään ruuveilla koteloihin. Kiinnitys rataan sijoitetaan ratapölkkyjen väliin. Ratapölkkyjen väli vaihtelee 0,60 – 0,67 metrin välillä. Kiinnitykseen käytettävän osan (U-palkki) leveys tulee olemaan 0,08 m jolloin asennuksen liikkumavaraksi jää ratapölkkyjen välille 0,52 - 0,59 metriä.

Tuotetta kehittäessä ja suunnittelua jatkaessa laadittiin vaatimusluettelo, josta voidaan nopeasti lukea mitä vaatimuksia tuotteelle on eri osa-alueilla. Vaatimusluetteloa laadittaessa on käytetty hyväksi yrityksen eri toimintoja, jotta saadaan mahdollisimman kattava kuva siitä mitä kaikkia vaatimuksia tuotteelle on hyvä olla olemassa. Lopulta saatiin laadittua 14 kohdan vaatimusluettelo (**Taulukko 2.**), joista 1 vaatimus on toive, joka pystytään toteuttamaan, 7 vaatimuksista ovat vähimmäisvaatimuksia, jotka voidaan ylittää ja 6 ovat kiinteitä vaatimuksia. Vaatimuslistassa käytetään seuraavia lyhenteitä:

- Ge = Geometrinen vaatimus, esimerkiksi mitat
- Vo = Voima, esimerkiksi paino, kuorma, kestävyys
- Tu = Turvallisuuteen vaikuttava tekijä
- Ai = Valmistukseen käytettävä aines
- As = Asennukseen liittyvä vaatimus
- Er = Ergonomiaan liittyvä muotoilu
- En = Energia ja olosuureet, tässä tapauksessa ääneneristyskyky
- Va = Valmistukseen käytettävä menetelmä tuotannossa.

**Taulukko 2.** Rautatien meluaidan vaatimusluettelo

Kohde: Rautatien meluste				
Muutos pvm	Pää tunnus, numero	KV, VV, T	VAATIMUS	Toiveen tärkeys
28.4.	Ge1	VV	Aidan leveys 1195 mm	
28.4.	Ge2	VV	Aitalevyn korkeus 995 mm	
28.4.	Ge3	T	Aidan kallistusominaisuus	1
28.4.	Ge4	VV	Liitosvarren pituus oltava vähintään 1,16m ja enintään 1,8m	
28.4.	Vo1	VV	Rakennelma kestää junan imu- ja työntöpaineen sekä tuulenpaineen	
28.4.	Tu1	VV	Paloturvallisuus, kipinät	
28.4.	Ai1	KV	Aidan ja liitosvarren teräsosien materiaalit kuumasinkittää	
28.4.	Ai2	KV	Absorptiolevy	
28.4.	As1	VV	Asiakas voi suorittaa loppukokoonpanon	
28.4.	Er1	VV	Liitosvarren ja kiskoonkiinnityksen tasainen ja matala muoto	
28.4.	En1	KV	Ääneneristävyysluokka: B3	
28.4.	Va1	KV	Liitosvarren osat hitsataan yhteen	
28.4.	Va2	KV	Aitalevyn materiaalit ja T-palkki kiinnitetään yhteen ampumalla pultti	
28.4.	Va3	KV	Liitosvarren kiinnitys aitalevyn maadoitusrunkoon M16 pultilla	

#### 4.2 Paloturvallisuus

Paloturvallisuus on meluaidan rakenteelle merkityksellinen vaatimus, sillä tuotetta käytettäisiin muun muassa rakennustyömailla rautateillä, jolloin työtehtävien ai-

kana voi työkaluista lentää kipinöitä esteeseen. Meluaidan absorptiomateriaali on saanut paloturvallisuudeltaan DIN (Deutsches Institut für Normung eli saksalainen standardisointi-instituutti) 4102 standardin mukaan luokituksen B2. Tämä tarkoittaa, että materiaalilla on normaali syttyvyys, kuten esimerkiksi puulla jonka paksuus on yli 2mm.

### 4.3 Ääneneristyskyky

Meluesteen aitalevyn ilmääneneristyskykyä (**Kuviot 5 ja 6.**) on tutkittu VTT:llä 26.2.2013 standardin EN 1793-2 mukaisesti.

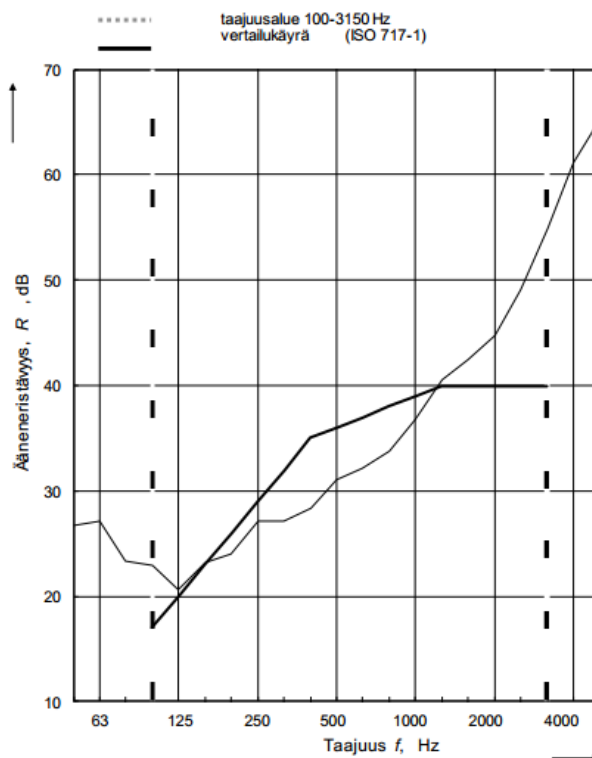
Raidemelueste	$DL_R$ dB(A)	Luokka
Aitalevy - KP	32	B3

**Kuvio 5.** Meluesteen  $DL_R$ , dB(A) ja luokka. VTT:n testausseoste nro VTT-S02338-13.

Parhaan B3-luokituksen saa kun eristävyys on  $\geq 25$  dB, kyseisessä testissä tämä vähimmäisvaatimus ylittyi 7 dB.

Testikappaleen pinta-ala S: 1,5 m<sup>2</sup>  
 Koehuoneiden lämpötila: 21 °C  
 Koehuoneiden ilmankosteus: 42 %  
 Lähettävän huoneen tilavuus: 102 m<sup>3</sup>  
 Vastaanottohuoneen tilavuus: 131 m<sup>3</sup>

taajuus <i>f</i> Hz	<i>R</i> terssi- kaistat dB
50	26,7
63	27,1
80	23,3
100	22,9
125	20,6
160	23,2
200	24,0
250	27,1
315	27,1
400	28,3
500	31,1
630	32,2
800	33,7
1000	36,8
1250	40,6
1600	42,4
2000	44,8
2500	49,1
3150	54,9
4000	61,1
5000	65,3



**Kuvio 6.** Ilmaääneneristävyys  $R_i$  (dB) 1/3 – oktaaveittain. VTT:n testauseloste nro VTT-S02338-13.

Testissä käytetyt materiaalit olivat

- muovikotelo 6mm
- kumilevy 8mm
- absorptiolevy
- suojaverkko PP 30 x 3

Meluesteen materiaaleja on tuotekehityksen aikana muokattu siten, että muovikotelo on nykyään tehty pellistä ja kumilevyn paksuus on vain 3mm. Nämä eivät kuitenkaan vaikuta ratkaisevasti eristävyYTEEN, sillä melu pysähtyy enimmäkseen absorptiolevyyn. Kumilevyn ohentaminen pienentää aidan omamassaa, joka puo-

lestaan vähentää aidan kiinnitysoisiin kohdistuvaa rasitusta. Kumilevyä kuitenkin tarvitaan, ettei ääni karkaa absorptiolevystä suoraan peltiin ja ala kaikumaan, vaan pysähtyy vielä vaimentuen kumiin.

#### 4.4 Lujuuslaskelmat

Lujuuslaskelmia lähdettiin suorittamaan Eurokoodi-normien mukaisesti. Tuulikuorman laskuun on käytetty Eurokoodi 1: EN 1991-1-4 standardia, junan paineeseen Eurokoodi 1: EN 1991-2 standardia ja teräsrakenteen kestävyyslaskelma tehty Eurokoodi 3: EN 1993-1-1 mukaan, lopullinen kaava johdettuna Eurokoodi 0: EN1990 avulla. Lujuuslaskuissa laskettiin junan ohiajamisen aiheuttaman imu- ja työntöpaineiden voimat sekä tuulenpaineen (puuskanopeuspaine) voima. Näitä arvoja verrataan meluesteen rakennelman kriittisimpien osien taivutusmomentti-kestävyyteen, jolloin voidaan päätellä kestääkö rakennelma edellä mainitut voimat. Lujuuslaskut suoritettiin käyttäen MathCad 15- ohjelmaa.

##### 4.4.1 Tuulen ja junan aiheuttama voima

Seuraavalla kaavalla saadaan laskettua tuulen ja junan aiheuttama momentti meluesteeseen.

$$M_{Ed} = \gamma_{Qj} * G_{kj} * L + \gamma_{Q1} * Q_{k1} * h/2 + \gamma_{Q2} * \chi_{Q2} * Q_{k2} * h/2 \quad /7/ \quad (1)$$

Ensiksi lasketaan 35x35x2 rakenneputken mitoitus, jossa käytettävät merkinnät ja arvot ovat

$$\gamma_{Qj} = 1,15 \text{ (omapainon osavarmuuskerroin)}$$

$$G_{kj} = 29,5 \text{ kg} * g \text{ (omapaino)}$$

$$L = 0,71 \text{ m (varren pituus)}$$



$\gamma_{Q1} = 1,5$  (junan paineen osavarmuuskerroin)

$$Q_{k1} = q_{1k} * A \text{ (junan aiheuttama paine)}/7/ \quad (2)$$

$\gamma_{Q2} = 1,5$  (tuulen osavarmuuskerroin)

$\chi_{Q2} = 0,6$  (tuulen vähennyskerroin)

$$Q_{k2} = q_p * A_1 * 3,4 + q_p * A_2 * 2,1 \text{ (tuulen aiheuttama paine)}/6/ \quad (3)$$

$h = 1\text{m}$  (aitalevyn korkeus).

Näistä kaavoista puuttuvat arvot saatiin seuraavasti,

$$A = 1\text{m} * 1,2\text{m} = 1,2\text{m}^2 \text{ (aitalevyn pinta-ala)}$$

$$A_1 = 1\text{m} * 0,3\text{m} = 0,3\text{m}^2 \text{ (aitalevyn pinta-ala, korkeimman painekertoimen alue)}$$

$$A_2 = 1\text{m} * 0,9\text{m} = 0,9\text{m}^2 \text{ (aitalevyn pinta-ala, 2. korkeimman painekertoimen alue)}$$

$$q_{1k} = 0,63 \text{ kN/m}^2 \text{ (junan painevoima per neliömetri)}$$

$$q_p = 0,42 \text{ kN/m}^2 \text{ (tuulen nopeuspaine per neliömetri)}$$

jolloin laskusta saadaan momentiksi

$$M_{Ed} = 1353 \text{ Nm.}$$

#### 4.4.2 Liitosvarren rakenneputken kestävyysmitoitus

Meluesteen varren kestävyysmitoitus lasketaan oheisella kaavalla

$$M_{N,RD} = M_{pl,y,Rd} * (1-n) / (1-0,5a_w) \quad /8/ \quad (4)$$

jossa käytettävät merkinnät ja arvot ovat:

$$M_{pl,y,Rd} = W_{pl} * f_y \text{ (poikkileikkausarvo y-akselin ympäri)}$$

$$W_{pl} = 3,10 \text{ cm}^3 \text{ (plastinen taivutusvastus)}$$

$$f_y = 355 \text{ MPa (myötölujuus)}$$

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd}$$

$$N_{Ed} = Q_{k1} + Q_{k2}$$

$$N_{pl,Rd} = A * f_y$$

$$a_w = (A - 2 * b * t) / A$$

$$A = 2,54 \text{ mm}^2 * 10^2 \text{ (liitosvarren rakenneputken poikkipinta-ala)}$$

$$b = 35 \text{ mm (liitosvarren rakenneputken leveys)}$$

$$t = 2 \text{ mm (liitosvarren rakenneputken paksuus).}$$

Meluesteen liitosvarren kestävyudeksi saadaan täten,

$$M_{N,Rd} = 1388 \text{ Nm.}$$

Ehtona poikkileikkausluokan mitoituksena on

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd}, \text{ joka täyttyy } (1353 \text{ Nm} \leq 1388 \text{ Nm}).$$

Seuraavaksi lasketaan samalla kaavalla 40x40x2 rakenneputken kestävyys. Tässä käytetään samoja kaavoja, mutta arvot jotka muuttuvat ovat:

$$L = 1,61 \text{ m (varren pituus)}$$

$$A = 2,94 \text{ mm}^2 * 10^2 \text{ (liitosvarren rakenneputken poikkipinta-ala)}$$

$$W_{pl} = 4,13 \text{ cm}^3 \text{ (plastinen taivutusvastus)}$$

$$b = 40 \text{ mm (liitosvarren rakenneputken leveys)}$$

40x40x2 rakenneputkeen kohdistuva momentti on

$$M_{Ed}=1653 \text{ Nm}$$

ja rakenteen kestävyys

$$M_{N,Rd}= 1863 \text{ Nm}$$

myös tällä palkilla täyttyy ehto

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd}, (1653 \text{ Nm} \leq 1863 \text{ Nm}).$$

## 5 SUUNNITTELUVAIHE

Meluesteen pääasiallinen suunnitteluvaihe sisälsi ratkaisun etsimistä aitaosan kiinnittämiseen raiteeseen. Suunnittelussa piti ottaa huomioon loppuasiakkaan vaatimukset ja siihen liittyvät spesifikaatiot ja lujuuslaskelmat. Suunnittelussa päädyttiin muutamiin eri ratkaisuihin, joita ovat säädeltävä ja kiinteä liitosvarsi, joka määrittää aitalevyn etäisyyden raiteesta. Tämän aikana valittiin myös materiaalien ainesosien laatu tuotteelle sekä niiden pintakäsittelymenetelmät. Pintakäsittelymenetelmäksi valittiin kuumasinkkaus sen hyvien käyttöolosuhteiden ja pinnoituksen suojausominaisuuksien vuoksi.

Tuotetta suunnitellessa on kiinnitetty huomiota mahdollisimman yksinkertaisesti kokoonpantavaan ja valmistettavaan malliin sekä kustannustehokkaaseen ja ergonomisesti matalaan ratkaisuun liitosrakenteissa. Samalla haettiin myös ratkaisu esteiden sarjoittamiseksi yhteen, jotta ääni ei pääse karkaamaan esteiden välistä. Tähän saatiin ratkaisuksi levike, joka kiinnitetään kiinni kahteen vierekkäiseen aitalevyyen ruuveilla.

Suunniteltaessa liitosvartta oli alkuperäiseen ideaan verrattuna tarkoituksena saada rakenteesta tarpeeksi kestävä, ettei vartta tai aitalevyä tarvitse tukea maahan. Myös junan ja tuulen aiheuttamat kuormat ovat olleet ratkaisevina tekijöinä lopullista ratkaisua hakiessa. Meluesteeseen lisättiin myös kallistusominaisuus mahdollisia leveä kuljetuksia varten.

Suunnitteluvaihe oli jo melko pitkällä kun liityin itse mukaan projektiin opinnäytetyötä suorittamaan, joten tehtäväni oli enimmäkseen luoda 3D-mallit ja piirustukset kehitetyistä ratkaisuista, varmistaa niiden toimivuus lujuuslaskelmilla ja hoitaa tekninen dokumentaatio yhtenäiseksi paketiksi.

## **6 PROTOTYYPPI**

Tuotteen prototyyppi on valmistettu kuvien mukaiseksi SOP-Metalin tuotantotiloissa. Suunnitteluun ja mallinnukseen käytettiin SolidWorks 2014 – 3D ohjelmaa. Meluesteen materiaalina toimii enimmäkseen rautaosissa S355-teräs. Meluesteen teräsosat kuumasinkitään.

### **6.1 Testaus**

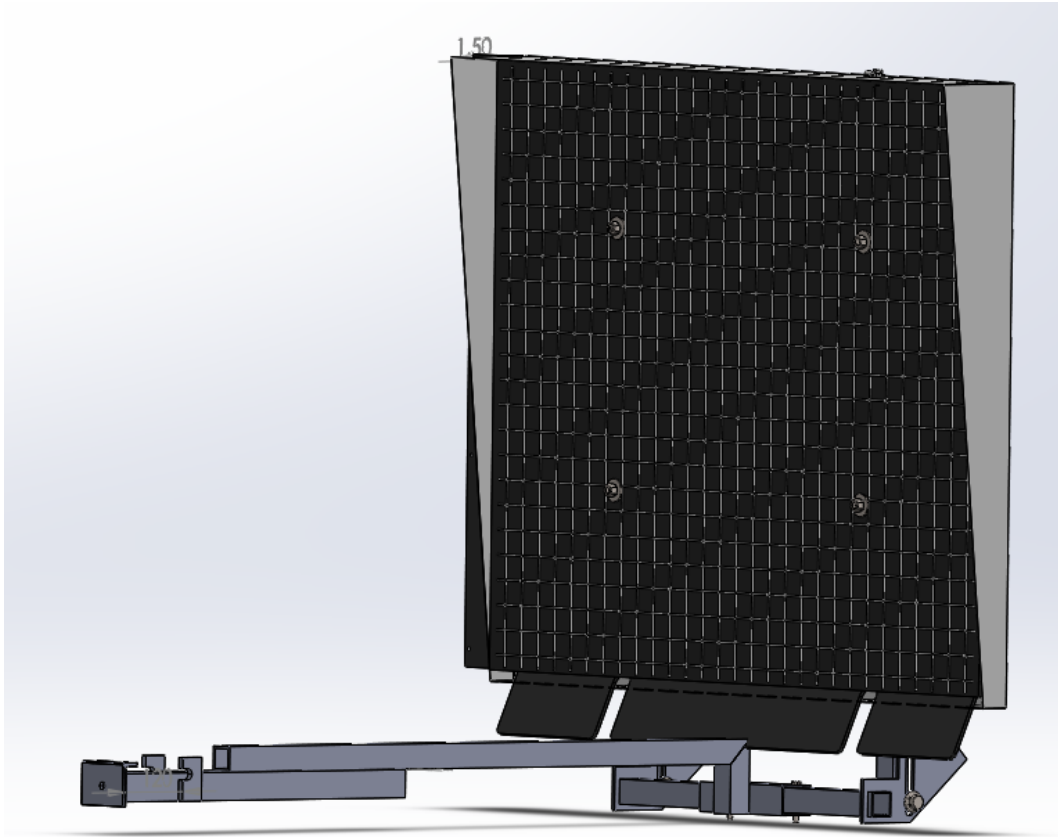
Prototyypin kokoonpano ja asennus on testattu tuotantotiloissa asentamalla ja koaamalla meluste suunnitelluista komponenteista sekä kiinnittämällä este luonnollisessa mittakaavassa olevaan raiteeseen. Aitalevyä asennettaessa varteen, asetetaan aitalevyn maadoitusrungot kiinnikkeiden reikien kohdille. Näihin asetetaan pultit, aluslaatat ja mutterit, jonka jälkeen kiristetään mutterit.

Kiinnitettäessä meluesteen vartta raiteeseen, kiinnityskorvien lovet asetetaan raiteen alaosaan, jonka jälkeen U-palkin päähän laitetaan kiinnityslevy ja pultti, joka kiristetään kiinni. Melusteiden sarjoitusta varten suunniteltua levikkeen kiinnityssystemiä on myös testattu onnistuneesti. Meluesteen kallistusominaisuus on testattu toimivaksi, avaamalla kiinnikkeissä olevat ruuvit voidaan aittaa kallistaa taaksepäin ja tämän jälkeen kiristää ruuvit takaisin paikoilleen.

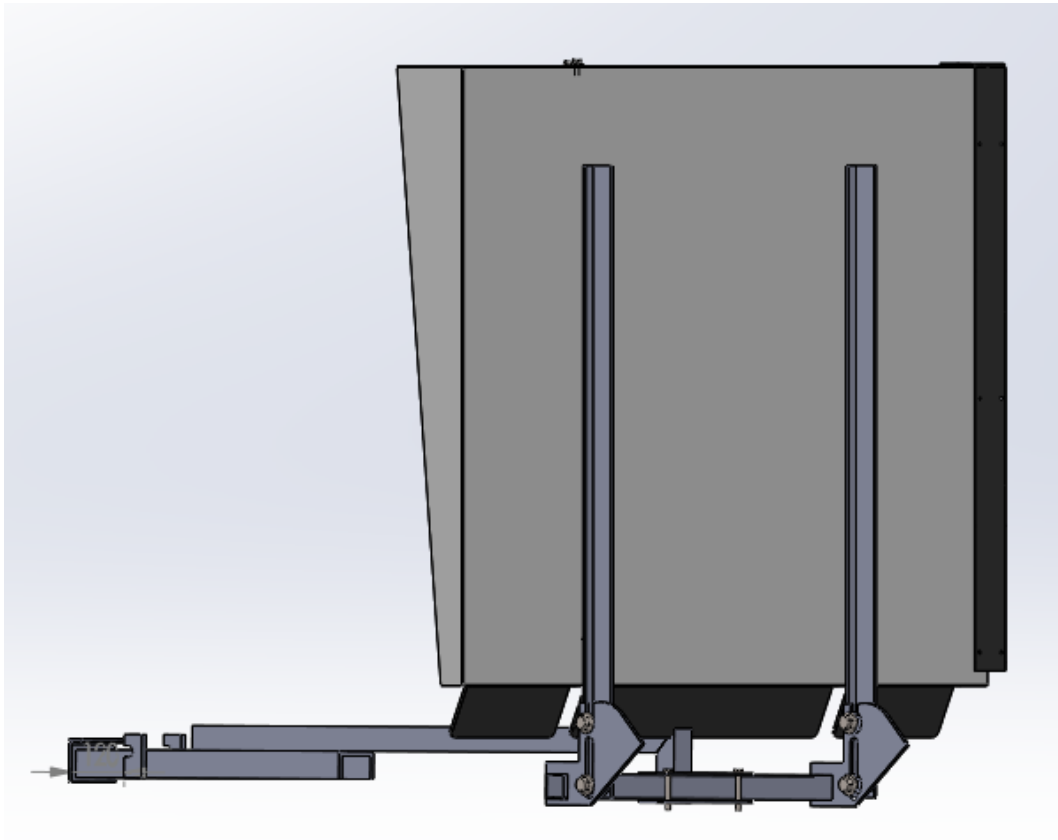
### **6.2 Kokoonpanokuvat**

Meluesteen prototyypin suunnitelluksi malliksi saatiin seuraavanlainen kuva, jossa on kiinteä liitosvarsi. Jokaisesta osasta on olemassa 3D-kuva sekä piirustus, jonka pohjalta osa voidaan valmistaa tai leikata. Pienemmistä osakokonaisuuksista on erilliset kokoonpanokuvat piirustuksineen ja kokonaismitoituksineen. Kiinteän liitosvarren meluste on suunniteltu mitoitukseltaan VR:n ilmoittamalle etäisyydelle raiteen keskikohdasta, joka on 1920mm. Raideleveys Suomessa on

1524mm, joten liitosvarren pituus on n. 1160mm. Kuvioissa 7 ja 8 nähdään tämän mallin kokoonpanokuvat.



**Kuvio 7.** Kokoonpanokuva kiinteällä varrella, kuvattu etuviistosta.



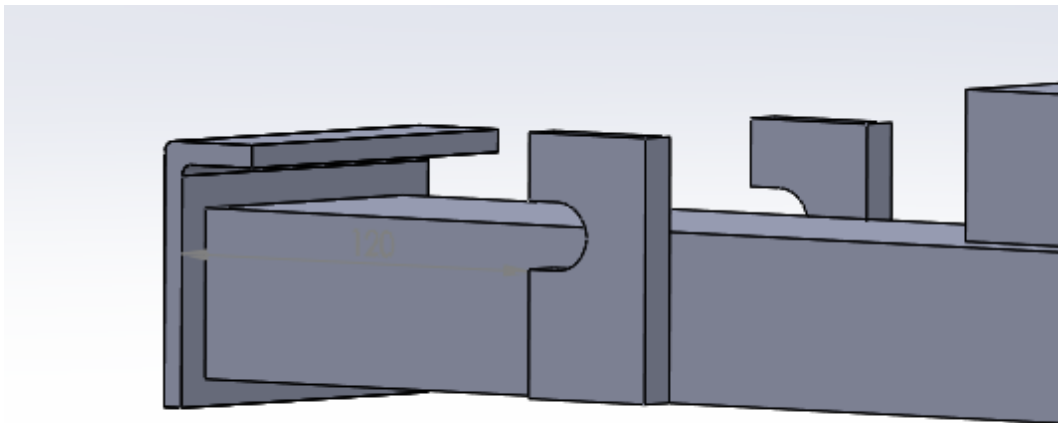
**Kuvio 8.** Kokoonpanokuva kiinteällä varrella, kuvattu takaviistosta.

Tuotekehityksen aikana suunniteltiin myös malli, jonka varsi on liikuteltavissa. Tämä ominaisuus on käytännöllinen jos aitaa käytetään työmaasuojana ja junien nopeudet rataosuudella vaihtelevat. Kuviossa 9 on kuvattu säädeltävän varren toimintamekanismi.



**Kuvio 9.** Säädeltävä liitosvarsi

Meluste kiinnitetään raidekiskoon kiskon sivuille (**Kuvio 10**). Kiinnitystä suunniteltaessa oli yhtenä kriteerinä mahdollisimman nopea kiinnittäminen raiteeseen sekä tukeva rakenne.



**Kuvio 10.** Kiinnitysratkaisu kiskoihin

### 6.2.1 Piirustukset

Meluesteen 3D-malleista, niin osista kuin kokoonpanoista, laadittiin piirustukset SolidWorks- ohjelmalla. Nämä piirustukset on tallennettu ja arkistoitu SOP-Metalin omille servereille.

### 6.2.2 Osaluettelo

Ei julkaista salaisen materiaalin vuoksi.



## 7 LOPPUTULOKSET JA ARVIOINTI

Opinnäytetyön tavoitteena oli valmistaa tuotedokumentit kehitteillä olevasta melusteesta ja suorittaa tuotteelle lujuuslaskelmat. Työn suorittamisen lopputuloksena saatiin tavoitteiden mukaisesti valmiiksi tekninen dokumentaatio kokoonpanokuvien ja piirustuksien osalta sekä suoritettua lujuuslaskelmat. Melusteelle laadittiin myös materiaalikustannusten taulukko, josta voidaan laskea valmistusmateriaalien ostohinta.

Prototyypin koostaminen onnistui ilman ongelmia, prototyyppi sekä kuvat vastaavat toisiaan. Jos ennen lopullista koe-erän valmistuspäätöstä tarvitsee vielä tehdä muutoksia tuotteeseen, ovat kuvat ja osaluettelo helposti saatavissa ja muokattavissa yrityksen omilla palvelimilla, joihin tiedot ovat tallennettu ja jäsennetty omiin kansioihin.

Opinnäytetyön teoreettinen viitekehys koostui melusta ja sen käyttäytymisominaisuuksista ympäristössä sekä melun vaikutuksesta ihmisen terveyteen ja hyvinvointiin. Melusuojausta tutkiessa saatiin arvokasta tietoa, miten erilaiset suojat vaikuttavat melun etenemiseen.

Työn suorittaminen oli mielenkiintoista sekä vaihtelevaa ja pidän työni lopputulosta onnistuneena. Käyttämäni suunnitteluohjelmisto SolidWorks oli aluksi itselle tuntematon, jota en ollut aiemmin käyttänyt. Pienen opettelun jälkeen kyseisen ohjelmiston käyttäminen kuitenkin onnistui lähtökohtiin nähden hyvin.

## LÄHTEET

/1/ Inkinen, P., Manninen, R. & Tuohi, J. 2002. Sivut 304- 307. Momentti 2: Insi-  
nööri fyysikka. 2-3. painos. Helsinki. Otava.

/2/ Heinonen-Guzejev, M., Jauhiainen T. & Vuorinen H. 2007. Ympäristömelun  
vaikutukset. Helsinki. EditPrima. ISBN 978-952-11-2564-5 (PDF-julkaisu)

/3/ Melun käsitteet. 2012. Työterveyslaitos. Viitattu 3.4.2014  
<http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/melu/melukasitteita/sivut/default.aspx>

/4/ Tiihinen, J. & Hänninen, O. 1997. Meluntorjunnan perusteet. Kuopio. Oy Edi-  
ta Ab.

/5/ SOP-Metal yritysesite. Viitattu 10.4.2014, [http://www.esitteemme.fi/sop-  
metal/WebView/](http://www.esitteemme.fi/sop-metal/WebView/)

/6/ SFS-EN1991-1-4: Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-4: Yleiset kuor-  
mat. Tuulikuormat.

/7/ Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. 2011. RIL 201-1-2011: Suunnitte-  
luperusteet ja rakenteiden kuormat.

/8/ SFS-EN1993-1-1: Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset  
säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt.

Liite 1 (kuva) on poistettu salaisen materiaalin vuoksi.