



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

MELUNTORJUNTA TERÄSPUTKIPALKIN VALMISTUKSESSA

case:Stalatube oy

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Kone- ja tuotantotekniikan
koulutusohjelma
Tuotantopainotteinen mekatroniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2015
Mikko Säilä

Lahden ammattikorkeakoulu

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

SÄILÄ, MIKKO:

Meluntorjunta teräsputkipalkin
valmistuksessa

Tuotantopainotteisen mekatroniikan opinnäytetyö, 41 sivua.

Kevät 2015

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli päivittää Stalatable Oy:n meluntorjuntaohjelmaa, sekä löytää uusia ratkaisuja tuotantomelun vähentämiseksi. Yrityksen tuotantoprosessissa käytetään erilaisia koneita ja valmistuslinjoja, jotka aiheuttavat tausta- ja tuotantomelua. Koska melutaso tuotannossa ylittää ylemmän valtioneuvoston asettaman raja-arvon, valtioneuvoston asetus 85/2006 velvoittaa työnantajan laatimaan ja toimeenpanemaan meluntorjuntaohjelman.

Meluntorjuntaohjelmassa otetaan kantaa siihen, kuinka yritys aikoo kehittää meluntorjuntaa käytännön tasolla. Tavoitteena oli alittaa 85dB:n raja. Meluntorjuntaohjelman tavoitteena on ennenkaikkea parantaa työturvallisuutta sekä lisätä työmukavuutta.

Tavoitteena oli perehtyä ja päivittää meluntorjuntaohjelmaa, sekä luoda ja toteuttaa meluntorjuntaratkaisu jollekin valitulle kohteelle. Tässä työssä kohteeksi valikoitui resonanssinpoistajan suunnittelu, joka vähentää teräsputkipalkin hiontavärinän aiheuttamaa tuotantomelua. Eri melunlähteet ja aiheuttajat kartoitettiin melumittauksilla, ja kuhunkin meluongelmaan etsittiin ratkaisuehdotus melun vähentämiseksi.

Teoriaosuudessa tutkittiin ääntä fysikaalisena ilmiönä sekä sen ominaisuuksia. Tutkimuskohteena olivat myös akustiikka ja akustiikan erilaiset sovellukset teolliseen ympäristöön. Hyvänä esimerkkinä tästä ovat erilaiset meluseinät ja esteet. Myös kappaleen värinän aiheuttamaa ilmaääntä ja sen vaimentamista jouduttiin pohtimaan, kun suunnittelin ratkaisua putken hiontavärinän poistamiseen.

Varsinaista työtä tehdessäni linjoille tehtiin melumittaukset, ja kartoitettiin eri melunlähteet. Lisäksi tutkittiin erilaisia meluntorjuntakeinoja ja etsittiin ratkaisuja eri melunlähteiden meluntorjuntaan.

Asiasanat: meluntorjunta, meluntorjuntaohjelma, tuotantomelu, melumittaus

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in mechanical and production engineering
SÄILÄ, MIKKO: Title

Noise abatement in steel pipe production

Bachelor's Thesis in production-oriented mechatronics, 41 pages.

Spring 2015

ABSTRACT

The aim of this Bachelor's thesis was developing and surveying different methods to combat against noise in steel pipe production. The study was commissioned by a Finnish company named StalaTube. The company is located in Lahti Finland. Stalatube uses different production machines and lines which cause background and production noise.

The council of state has provided the provision of the noise levels up to 85 dB. Because of exceeding the levels, the employer should prepare and implement a noise abatement program. The program takes stand on how the company intends to develop their noise abatement in practise. The aim was to reach a below 85dB limit. The noise abatement program aims primarily to improve safety at work and make work more comfortably.

At first, the features of sound and noise were explored, for example how it occurs, and how it can be eliminated or decreased. Different solutions to reduce noise at steel pipe production were investigated. Different noise sources and causes were mapped by measuring noise, and a solution was looked for each of the noise problems.

The aim was to get acquainted and to update the noise abatement program, as well as to create and implement a noise abatement solution for each of the selected items. In this work, the objective was to design a resonance remover. The remover reduces the steel tube beam jitter and reduces production noise.

Key words: production noise, noise abatement program, noise measuring

SISÄLLYS

1.	JOHDANTO	5
2.	STALATUBE OY	7
3.	MITÄ ON ÄÄNI?	8
3.1.	Melu	8
3.2.	Ääni	8
3.3.	Pitkittäiset ja poikittaiset aallot	9
3.4.	Äänen taajuus ja spektri	9
3.5.	Äänen nopeus	10
3.6.	Äänen voimakkuus	11
3.7.	A-painotusluokka	12
4.	AKUSTIIKKA	13
4.1.	Äänen heijastuminen	13
4.2.	Jälkikaiunta	14
4.3.	Seisovat aallot	14
4.4.	Äänen vaimennus	14
4.5.	Äänen etenemisen rajoittaminen akustoinnilla	15
5.	MELUNTORJUNTAOHJELMA	16
5.1.	Yleistä	16
5.2.	Säädökset	16
5.2.1.	Työmelun raja- ja toiminta-arvot	16
5.2.2.	Alemman toiminta-arvon ylittyminen	17
5.2.3.	Ylemmän toiminta-arvon ylittyminen	17
5.2.4.	Raja-arvon ylittyminen	18
5.3.	Työpaikan meluntorjuntaohjelman laatiminen	18
5.4.	Melun aiheuttamat vaarat ja haitat	19
5.5.	Meluntorjunnan pääsääntö	20
5.6.	Melualtistuksen mittaaminen	21
5.7.	Milloin meluntorjuntaohjelma tehdään?	21
5.8.	Mikä meluntorjuntaohjelma on?	22
5.9.	Melun lähteeseen vaikuttavia asioita	22
6.	ERI MELUNTORJUNTAKEINOT	24
6.1.	Interferenssiin perustuva vasta-vaihe vaimennus	24

	4
6.2. Meluesteet	25
6.3. Melun etenemisen estäminen	29
7. TYÖN TOTEUTUS	31
7.1. Mittaustulokset ja tunnistetut melunlähteet eri linjoilla	31
7.2. Melunlähteiden arviointi	37
8. EHDOTUKSIANI MELUNTORJUNTAAN	39
8.1. Resonanssinpoistaja	39
8.2. Puhallus-suuttimet	42
8.3. Meluverhojen käyttö	42
8.4. Meluseinäkkeet	43
8.5. Suu-aukot	43
8.6. Pakkauspää	44
8.7. Yleinen akustiikka, tilan layout ja menetelmät	45
9. YHTEENVETO	46

1. JOHDANTO

Melu on monien tutkimusten mukaan yksi laajimmista ja häiritsevimmistä ympäristöongelmista. Kun työpaikalla on runsaasti melua, vaikuttaa se väistämättömästi työntekijään. Melu on vaarallista kuulolle, mutta sillä on monia muitakin, ehkä jopa yllättäviäkin haittoja ihmiselle. Melun haitat vaikuttavat työntekijän tehokkuuteen sitä laskevalla tavalla. Melu aiheuttaa myös huomattavan tapaturmariskin kun kommunikointi, ja vaaratilanteiden havainnointi vaikeutuu meluisassa ympäristössä. Tässä opinnäytetyössä koitettiin hakea ratkaisuja erilaisiin meluongelmiin. Tarkoitukseni oli selvittää teräsputkipalkin valmistuksessa olevia melunlähteitä ja melutasoja, sekä etsiä ratkaisuja meluntorjuntaan.

Opinnäytetyö tehtiin Lahdessa sijaitsevalle ruostumattomia teräsputkipalkkeja valmistavalle Stalatable Oy:lle. Yrityksen tuotantoprosesseissa käytetään erilaisia koneita ja laitteita, jotka aiheuttavat tausta- ja tuotantomelua. Valtioneuvoston asetus 85/2006 velvoittaa työnantajan laatimaan ja toimeenpanemaan meluntorjuntaohjelman ylempien toiminta-arvojen ylittyessä. Stalatable Oy on asettanut tavoitteeksi alittaa 85 dB:n raja. Tässä työssä perehdyttiin eri meluntorjuntatekniikoihin ja meluntorjunnan periaatteisiin. Työssä tutkittiin ja selvitettiin eri meluntorjuntatekniikoiden soveltuvuus Stalatable Oy:lle.

Tarkoitukseni oli selvittää eri melunlähteet ja melutasot mittaamalla kaikki tuotantolinjat niiden eri melunlähteiden osalta. Työ alkoi melumittauksilla, jotka tein kahtena päivänä Stalatablella.

Melunlähteiden tunnistuksen jälkeen tehtiin arvio suurimmista melunaiheuttajasta. Tässä tapauksessa se oli resonanssi, joka syntyy teräspalkkiin tuotantoprosessin harjausvaiheessa, jossa putken pintaa hiotaan. Teräsputkipalkin pitkänomaisen muodon vuoksi putki resonoi suurelta alueelta levittäen näin resonanssista syntyvän melun hyvin laajalle alueelle. Ratkaisuna tähän ongelmaan suunnittelin resonanssinpoistajan, joka toimii niin, että kumipäällysteiset rullat painautuvat palkin pintaa vasten jousivoiman avulla absorboiden resonanssivärinän itseensä. Myös muita melunlähteitä saatiin vaimennettua. Resonanssin aiheuttaman melun lisäksi melua aiheuttivat muunmuassa puhallussuuttimet, joita käytetään

tuotannossa kuivaamaan putken pintaa sekä puhdistamaan putken sisälle putken sahausvaiheessa syntyvä metallipuru. Puhallus-suuttimien melua saatiin parhaiten vähentämään yksinkertaisesti pienentämällä puhallus-suuttimelle tulevaa ilmanpainetta. Tästä oli myös se hyöty, että näin kallisarvoista paineilman kulutusta saatiin pienemmäksi.

2. STALATUBE OY

Stalatube on tunnettu maailmanlaajuisestikin yrityksen valmistamista laadukkaista ruostumattomista teräsrakenneputkistaan ja niiden jatkojalosteista. Stalatuben neliö- ja suorakaideputkien valikoima on maailman laajin. Yritys on toiminut alalla yli 40 vuotta, ja yritys on kehittänyt kansainvälisen jakeluverkoston, joka kattaa kaikki eri maanosat ja 45 maata. Yrityksen pääkonttori sijaitsee Lahdessa, Taivalkadulla. Myyntikonttorit sijaitsevat Yhdysvalloissa, Hollannissa ja Intiassa. Henkilökuntaa yrityksessä on 130. Yrityksen myynti vuositasona on noin 100 miljoonaa euroa. Liikevaihto koostuu 90 % ulkomaankaupasta. (Stalatube 2014.)

Tuotanto tapahtuu Lahdessa. Lahden Taivalkadulla valmistetaan teräspalkkeja, ja putkien jatkojalostus tapahtuu yrityksen toisessa toimipisteessä Lahden Lotilassa. Jatkojalostuksessa putkista voidaan taivuttaa erilaisia asiakkaan vaatimia muotoja, sekä putkilaserilla on mahdollista leikata putkeen monimutkaisiakin aukkoja. Lotilassa valmistetaan myös I ja H-palkkeja plasmahitsauksen avulla, sekä järeitä, kymmeniä millimetrejä seinämäpaksuudeltaan olevia putkipalkkeja säämätyistä C-kiskoista niin ikään plasmahitsauksen avulla. Tehtaalla voidaan valmistaa muutamien millimetrien pituisista kappaleista aina 18 metriä pitkiin tuotteisiin. (Stalatube 2014.)

Reino Rajamäki perusti Stala-Yhtiöt vuonna 1972 valmistamaan pesupöytiä keittiöihin. Suurkeittiöihin valmistetut suuret altaat vaativat ruostumattomasta teräksestä valmistetun tukirakenteen, mikä johti putkituotannon käynnistymiseen vuonna 1974. Vuonna 2000 Stala-Yhtiöt jaettiin erillisiksi Stala Oy:ksi joka valmistaa pesupöytiä sekä Stalatube Oy:ksi, joka valmistaa rakenneputkia. Johdon sukupolvenvaihdos toteutettiin vuonna 2004. (Stalatube 2014.)

3. MITÄ ON ÄÄNI?

3.1. Melu

Melulla tarkoitetaan kovaa ja häiritsevää ääntä. Melu on yleensä aina haitallista ja häiritsevää ihmiselle, niin fyysisesti, kuin psyykkisestikin. Teollisessa ympäristössä syntyy hyvin usein melua aiheutuen koneiden eri työvaiheista. Melua pyritään yleensä rajoittamaan mahdollisimman paljon, jos siitä on haittaa ihmisille. Meluntorjuntaohjelmalla pyritään vaimentamaan melua ja sitä kautta lisäämään työntekijän turvallisuutta, hyvinvointia ja viihtyvyyttä. Melun voimakkuutta kuvataan desibeliasteikolla, teollisuusympäristössä käytetään dB(A) painotusta, joka kuvaa melun keskimääräistä tasoa. Teollisessa ympäristössä esiintyy tasaista melua, sekä iskumaista melua. Tasaiseksi meluksi määritellään melu, jonka vaihtelu on alle 6 dB. Iskumeluksi määritellään melu, jossa on alle yhden sekunnin kestäviä meluhuippuja, jotka ovat 15 dB taustamelua voimakkaampia. Kuulovaurion riski iskumaisessa melussa on tasaista melua huomattavasti suurempi. Melu aiheuttaa yhden suurimmista työperäisistä haitoista, ja aiheuttaa vuosittain lähes tuhat ammattitautia. (Työterveyslaitos 2014.)

3.2. Ääni

Ääni on mekaanista aaltoliikettä, joka tarvitsee edetäkseen väliaineen. Väliaine voi olla kaasu, kiinteä aine, neste tai plasma. Ääni ei voi edetä tyhjiössä. Nesteissä ja kaasussa ääni etenee vain pitkittäisenä aaltoliikkeenä, ja kiinteässä aineessa myös poikittaisia aaltoja voidaan havaita. Akustiikka tutkii ääntä tieteellisestä näkökulmasta. Ääni voidaan havainnoida mittaamalla, tuntoaistimuksella tai kuuloaistimuksena. Ihminen voi havaita ääntä 20-20 000Hz:n väliltä. Alle 20 Herzin taajuista ääntä kutsutaan infraääneksi ja yli 20 000 Herzin taajuista ääntä ultraääneksi. Matalat infra-äänät ihminen voi kuitenkin tunkea värähtelynä, mikäli ääni on riittävän voimakas. (Äänitekniikan perusteet 2014.)

Ääniaallto käyttäytyvät samoin kuten esimerkiksi merenkin aallot. On suurempia aaltoja, jotka ovat voimakkaampia kuin pienet aallot. Aallot etenevät vapaasti eteenpäin, kunnes ne törmäävät rantahietikkoon, tai kuljettuaan tarpeeksi pitkän

matkan vaimenevat itsestään. Näin tapahtuu myös ääniaalloille. Veden pinnalla etenevä aalto eroaa ääniaalloista kahdellakin eri tavalla. Vedessä aalto etenee vain tasossa, mutta ääniaalto etenee koko avaruudessa. Vedessä etenevä aalto on poikittaista, ja ilmassa etenevä ääniaalto on pitkittäistä. Ääni on aineessa etenevää pitkittäistä aaltoliikettä. Tavallisimmin tämä aine on ilmaa. Esimerkiksi rummun lyönti saa aikaan ilmanpaineen vaihtelun, joka etenee ilmassa aaltomaisena liikkeenä. Kun nämä aallot saavuttavat korvan tärykalvon, kalvo värähtelee ääniaaltojen tahdissa, ja tämän aivot mieltävät kuultavaksi ääneksi. (Äänitekniikan perusteet 2014.)

3.3. Pitkittäiset ja poikittaiset aallot

Ääniaallot voivat olla sekä pitkittäisiä, että poikittaisia. Poikittaisessa aallossa hiukkasten värähtely tapahtuu kohtisuoraan aallon etenemis-suuntaa vastaan. Pitkittäisessä aallossa hiukkasten värähtely taas tapahtuu aallon etenemissuunnassa. Ilmassa ääni etenee vain pitkittäisenä aaltoliikkeenä. Tämä tarkoittaa sitä, että joissain kohdissa ilmamolekyylit ovat lähempänä toisiaan ja joissain taas harvempana. Mitä lähempänä ilmamolekyylit ovat toisiaan, niin sitä suurempi on ilman tiheys ja paine. Ääni on tämän perusteella siis ilmanpaineen vaihteluja ajassa. Kahden aineen rajapinnassa ääni etenee usein myös poikittaisena aaltoliikkeenä. (Jyväskylän yliopisto 2014.)

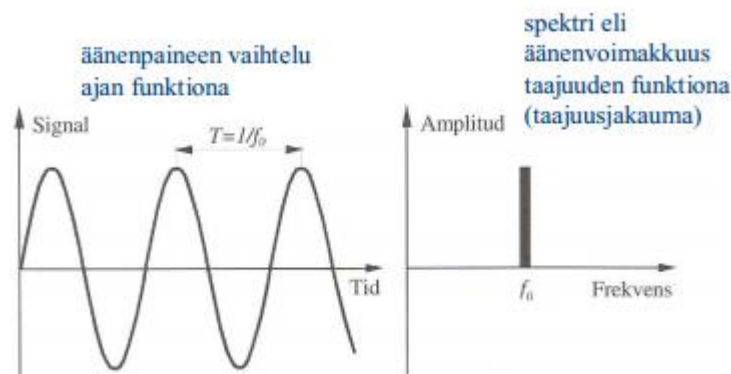
Äänirintama muodostuu samassa vaiheessa olevista ääniaalloista. Jos äänilähde on pistemäinen, ja etäisyys äänilähteestä on pieni, niin äänirintaman muoto on pallomainen. Tällöin aallosta käytetään nimitystä palloaalto. Jos pistemäisiä äänilähteitä on useita, tai ollaan suurella etäisyydellä äänilähteestä, äänirintama muodostaa tasoallon. (Jyväskylän yliopisto 2014.)

3.4. Äänen taajuus ja spektri

Äänen taajuuden yksikkönä käytetään hertsiä (Hz). taajuus ilmoittaa ääniaaltojen värähtelynopeuden sekuntia kohden. Mitä nopeampaa värähtely on, sitä korkeampi on äänen taajuus. Esimerkiksi ääniaalto, joka värähtelee 1000 kertaa sekunnin aikana, omaa tuhannen hertsin taajuuden. Ihmisen korva on herkimmillään taajuusalueella 500-4000 hertsiä. (Wikipedia 2014.)

Erilaiset äänilähteet synnyttävät erilaisia ääniaaltoja. Matalat äänet saavat aikaan harvatahtisen aallon, jossa aaltojen harjan välinen etäisyys voi olla useita metrejä. Matalat taajuudet etenevät pitkälle, ja niinpä esimerkiksi maantien jyrinä kulkeutuu hyvin kauas. Vastaavasti korkeat äänet saavat aikaan tiheitä ääniaaltoja, jotka vaimenevat nopeasti edetessään loitommalle äänilähteestä. (Ääniteknikan perusteet 2014.)

Siniaalto on puhtain aaltomuoto. Esimerkiksi vihellys on siniaallosta koostuva ääni. Oheisessa kuvassa (Kuvio 1.) on kuvattu siniaallon äänenpaineen vaihtelu ajan funktiona sekä aallon spektri.



Kuvio 1. Siniaallon äänenpaineenvaihtelu ajan funktiona, sekä sen spektri.(Centria 2014.)

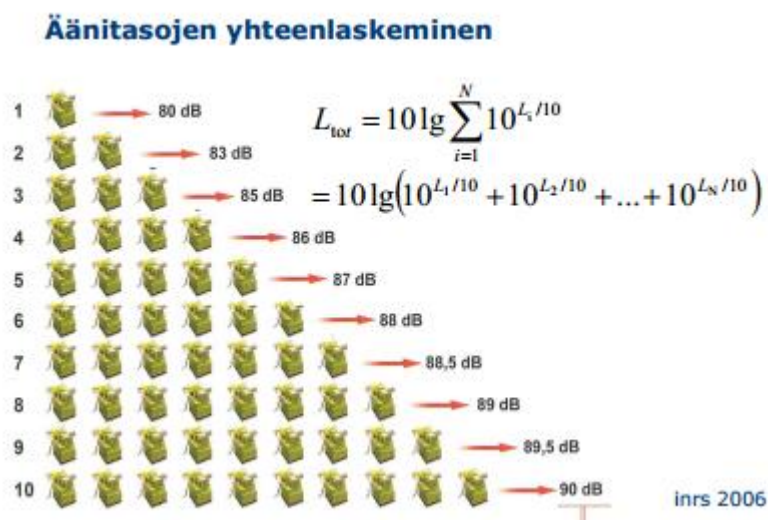
3.5. Äänen nopeus

Äänen etenemisnopeuteen vaikuttaa hyvin moni eri seikka, kuten väliaineen koostumus, olomuoto, rakenne ja lämpötila. Äänen etenemisnopeus ilmassa on 344 metriä sekunnissa, kun ilman lämpötila on $+21^{\circ}\text{C}$, ja ilmanpaine on sama joka vallitsee merenpinnan tasolla. Kun mitataan äänen etenemisnopeutta $+21^{\circ}\text{C}$ asteisessa vedessä, niin äänennopeus on huomattavasti suurempi, 1483 metriä sekunnissa. Kiinteissä aineissa äänennopeus on vielä huomattavasti tätä suurempi, jopa 10 000 metriä sekunnissa. .(Centria 2014.)

3.6. Äänen voimakkuus

Äänen voimakkuutta kuvataan äänenpainetason ja äänenpaineen avulla. Äänenpainetason yksikkönä käytetään desibeliä (dB). Normaalikuuloinen ihminen voi kuulla hiljaisimmillaan 0-20 dB:n voimakkuuksisen äänen. Esimerkiksi kuiskaus kuulostaa metrin päästä noin 30 dB:n suuruiselta, ja normaali puhe noin 60 dB:n suuruiselta. Ihmiskorva kokee äänen voimakkuuden kaksinkertaistuvan, kun voimakkuus lisääntyy 10 dB. Melurajana pidetään yleisesti 80 dB:n suuruisesta ääntä. Desibeli on äänenvoimakkuuden suhteellinen mittayksikkö. Hiljaisin normaalilla (keskimääräisellä) kuuloaistilla havaittava ääni on desibeleinä 0 dB (äänipainearvona $2 \cdot 10^{-5}$ Pascalia ja intensiteettiä arvona ilmaistuna 10^{-12} W/m², jos taajuus on 1 000 Hz). Hyväkuuloinen kuulee jopa tätä heikompia ääniä (- 5dB). Kun äänen intensiteetti (pinta-alan läpi virtaava energia) kaksinkertaistuu, niin desibelit lisääntyvät 3:lla. Äänipaineen kaksinkertaistuessa intensiteetti nelinkertaistuu, jolloin lisäys on jo 6 dB. Satakertainen äänentehon vahvistus vastaa äänipainetason kymmenkertaistumista, mutta desibeleissä mitattuna lisäys on vain 20 dB. Desibeliasteikko on siis logaritminen. Aistittu äänen voimakkuus riippuu äänenpainetasosta ja äänen korkeudesta. (Sibelius-Akatemia 2014.)

Oheinen kuva (Kuvio 2.) havainnollistaa, miten äänitasot kasvavat desibelien lisääntyessä.



Kuvio 2. Äänen melumäärän kasvu desibelien lisääntyessä. (Centria 2014.)

Ihmisen korva voi kuulla hyvin hiljaisia ja hyvin voimakkaita ääniä, minkä vuoksi äänenvoimakkuutta ilmaistaan logaritmisella desibeliasteikolla. Oheisessa taulukossa (Taulukko 1.) on tyypillisiä desibeliarvoja eri tilanteissa.

Taulukko 1. Esimerkkejä eri tilanteiden desibeliarvoista.(Aaltomuoto 2014.)

140 dB SPL	Kiväärinlaukaus metrin päästä
120—130 dB SPL	Kipukynnys
120 dB SPL	Kuulovaurioraja hetkellisessä altistuksessa
100 dB SPL	Voimakas klassinen musiikki
90—100 dB SPL	Rock-esitysten yleinen meluraja miksauspöydän kohdalla
85 dB SPL	Kuulovaurioraja jatkuvassa altistuksessa
80 dB SPL	Lentokoneen sisätilat, vilkas maantie 10 metrin päästä
70—80 dB SPL	Elokuvateatterien keskimääräinen äänenvoimakkuus
70 dB SPL	Ympäristökeskuksen asettama meluraja ulkoilmakonserteille; keskimääräinen melutaso ei saa ylittää 70 dB lähimpien asuinrakennusten edessä
40—60 dB SPL	Normaali puhe metrin päästä, hiljainen koululuokka
25 dB SPL	Hiljainen kuiskaus
10 dB SPL	Rauhallinen hengitys
0 dB SPL	Ihmisen kuulokynnys

3.7. A-painotusluokka

Kun mitataan melua, käytetään usein A-painotusluokkaa, sillä se vastaa hyvin paljon ihmisen kuuloa. A-painotusluokan taajuusvaste on hyvin samanlainen kuin ihmisen korvankin. Ihmisen korva on herkimmillään 500-4000Hz:n alueella, ja kyseinen painotusluokka korostaa hieman tätä aluetta. Myöhemmin tämän työn mittauspöytäkirjoissa ilmoitetut mittaustulokset ovat mitattu juuri käyttäen kyseistä painotusluokkaa. Siksi yksikkönä dB(A). (Kuulonhuolto liitto ry. 2008.)

4. AKUSTIIKKA

4.1. Äänen heijastuminen

Tavallisessa huoneessa suurin osa kuuntelupaikalle saapuvasta äänestä on erilaisia heijastuksia. Lattiasta, seinistä ja katosta heijastuneet äänet kulkevat pidemmän matkan, kuin suora ääni saapuen kuuntelupaikalle myöhemmin. Ääni heijastuu pinnoista samalla tavalla kuin valo peilistä. Varhaisiksi eli aikaisiksi eli ensimmäisiksi heijastuksiksi kutsutaan ääniä, jotka saapuvat vain yhden pinnan kautta heijastuneena kuuntelupaikalle. Niiden ja suoran äänen matkaero on verrattaen pieni. Nämä varhaiset heijastukset saapuvat kuuntelupaikalle vain hieman suoraa ääntä myöhemmin, muutaman sekunnin viiveellä, joten korva ei kykene määrittelemään niitä kaiuiksi. (Hifiopas 2014.)

Akustoinnilla, eli akustiikan parantamisella pyritään useimmiten vähentämään äänen heijastuksia ja kaiuntaa, sekä vaimentamaan bassoresonansseja. Akustointi tulee tehdä niin, että kaiunta on mahdollisimman tasaista eri taajuuksilla. (Hifiopas 2014.)

Jos heijastuneen ja suoran ääniaallon viive on sama kun aallonpituus, niin aallot vahvistavat vielä toisiaan, jolloin ääniaalto voimistuu. Heijastunut aalto voi myös summautua suoraan aaltoon siten, että heijastunut aalto on vastakkaisessa vaiheessa summautuessa suoraan ääniaaltoon, jolloin aallot kumoavat toisiaan, ja joissakin tapauksissa aallot voivat kumota toisensa täysin, jolloin tuloksena on hiljaisuus. Esimerkiksi joissakin meluntorjuntaratkaisuisissa käytetään vasta-vaihe tekniikkaa. (Hifiopas 2014.)

Ääniaallon osuessa täydellisen tasaiseen pintaan se heijastuu pinnasta samassa kulmassa suhteessa sen tulokulmaan sekä virheettömänä. Kaikki epäsäännöllisyys, kuten epätasaisuus pinnoissa, vaikuttaa äänen heijastukseen. Käytännössä kaikki pinnat ovat jonkin verran absorboivia ja ääntä hajottavia. Yleensä heijastavat pinnat ovat massiivisia ja sileitä pintoja. (Gyptone 2014.)

Pintamateriaaleja, jotka hajottavat ääntä kutsutaan diffuusoreiksi. Niitä käytetään välttämään suoraa heijastuksia. Diskanttialueella tasaisetkin pinnat ovat

jonkinverran hajottavia. Pintojen hajottavuusaste riippuu esteiden koosta verrattuna äänen aallonpituuteen. Kun halutaan hajottaa bassoaletta, pinnassa on oltava suuria epätasaisuuksia, jotta päästään hyvään tulokseen. Bassovaimentavat levyrakenteet ovat myös jonkinverran bassohajottavia. (Gyptone 2014.)

4.2. Jälkikaiunta

Jälkikaiunnaksi kutsutaan sitä, kun kuuntelupaikalle heijastuu eri rajapinnoista ääniaaltoja useista eri suunnista ja eri aikoina. Jälkikaiunta vaimenee ääniaaltojen kulkiessa ja heijastuessa rajapinnasta toiseen. Jälkikaiunta-aika tarkoittaa aikaa, jonka kuluessa ääni vaimenee 60 desibeliä alkuperäisestä tasosta. Matalilla taajuuksilla jälkikaiunta-aika on suurempi ja monikertainen verrattuna keski- ja korkeisiin taajuuksiin. (Hifiopas 2014.)

4.3. Seisovat aallot

Seisovat aallot, eli resonanssit syntyvät äänen heijastuessa kahden vastakkaisen seinän välillä. Seisovien aaltojen taajuudet riippuvat huoneen mitoista. Seisovia aaltoja esiintyy niillä taajuuksilla, joiden aallonpituus on tietyssä suhteessa huoneen mittoihin. Näitä suhteita ovat, jos huoneen jokin mitta on kyseisen ääniaallonpituuden puolikkaan tai sen monikerran suuruinen. (Hifiopas 2014.)

4.4. Äänen vaimennus

Vaimentavissa pintamateriaaleissa osa ääniaallon sisältämästä energiasta imeytyy niihin. Materiaalin absorptio-ominaisuudet riippuvat usein myös hyvin paljon äänen taajuusalueesta. Esimerkiksi ohuet, alle 100 mm paksuudeltaan olevat huokoiset pinnat vaimentavat ääntä hyvin keski- ja diskanttialueella, mutta heikosti bassoalueella. Kaikki materiaalit omaavat niille ominaisen, tietyn vaimennuskertoimen. Absorptiokerroin kertoo, miten paljon äänen energiasta imeytyy materiaaliin. Tarkemmin sanottuna se on pintaan kohdistuneen ja siitä palaavan energian suhdeluku. Absorptiokerroin voi olla korkeintaan 1, jolloin materiaaliin ei imeydy lainkaan äänen energiaa, vaan pinta heijastaa kaiken äänienergian takaisin. Tyypillisesti rakenteissa, kuten seinissä käytetään rei'itettyjä Gyptone-kipsilevyjä, jotka vaimentavat tehokkaasti keski- ja

bassotaajuuksia. Vaimennusominaisuudet määräytyvät reiän koon, taustavaimennuksen, ja rei'itysalan perusteella. Myös sileillä levyillä saadaan vaimennettua tehokkaasti bassoaluetta niille ominaisen resonanssitaajuuden mukaisesti. (Gyptone 2014.)

4.5. Äänen etenemisen rajoittaminen akustoinnilla

Kaiun vähentämiseksi käytetään yleisesti seinä- ja kattopinnoilla huokoisia aineita, tai levy- ja muita resonaattoreita. Yleisin käytössä oleva materiaali on mineraalivilla, joka liimataan tai asennetaan tarkoitukseen valmistettujen asennuskiskojen varaan. Teollisuudessa pyritään vähentämään äänen heijastumista mahdollisimman paljon. Kun absorbtiopinta-ala kasvaa kaksinkertaiseksi, yleismelu hallissa alenee noin 3dB. Jos tila sisältää paljon erittäin kovia pintoja ja seiniä, voidaan absorbtioala moninkertaistaa. (Työterveyslaitos 2015.)

5. MELUNTORJUNTAOHJELMA

5.1. Yleistä

Meluntorjuntaohjelma on muodoltaan vapaa asiakirja. Siinä on kuitenkin selvitettävä asiat, jotka johtavat syihin, mikä johtaa raja-arvojen ylittymiseen, ja asetettava tavoitteet siten, että meluallistusta vähennetään teknisin tai työnjäsentelyyn liittyvin toimin niin paljon kuin mahdollista ottaen huomioon tekninen kehitys ja erityisesti melun lähteeseen kohdistuvien torjuntatoimenpiteiden saatavuus. Erityisesti huomiota tulee kiinnitettyä ennaltaehkäiseviin toimenpiteisiin. Työnantaja voi tehdä meluntorjuntaohjelman itse tai teettää sen konsultilla. Meluntorjuntaohjelma on luonteva osa työsuojelun toimintaohjelmaa. (Työsuojeluhallinto 2014.)

5.2. Säädökset

Nykypäivänä työntekijän altistumista melulle seurataan tarkasti, ja työntekijän on huolehdittava siitä, että näitä raja-arvoja ja ohjeita noudatetaan.

Työturvallisuuslain (738/2002) 39§ sisältää säännökset työntekijöiden altistumista eri fysikaalisille tekijöille, joista yksi tekijä on melu. Työntekijän altistuminen melulle on rajoitettava niin vähäiseksi, ettei siitä aiheudu haittaa tai vaaraa työntekijälle. Tärkein säädös, joka koskee melua, on valtioneuvoston asetus (85/2006) työntekijöiden suojelemiseksi melulta ja sen vaaroilta. (Työsuojeluhallinto 2014.)

Valtioneuvoston asetuksessa koneiden turvallisuudesta (400/2008) koneiden ja laitteiden valmistajia velvoittavat terveys- ja turvallisuusvaatimukset on määrätty siten että koneet ja laitteet ovat suunniteltava niin, että melun ja värinän aiheuttamat vaarat on vähennetty alhaisimmalle mahdolliselle tasolle. (Työsuojeluhallinto 2014.)

5.2.1. Työmelun raja- ja toiminta-arvot

Valtioneuvoston asetus 85/2006 sisältää meludirektiivin (2003/10/EY). Se määrää työnantajalle selvilläolovelvoitteen, jonka mukaan työnantajan on selvitettävä

työntekijöidensä mahdollinen melulle altistuminen sekä tunnistettava melua aiheuttavat eri tekijät. Valtioneuvoston asetuksen 85/2006 mukaan melun raja-arvot 8 tunnin altistuksena, sekä impulssimelun huippuarvoina ovat nähtävissä alhaalla sijaitsevasta taulukosta. (Taulukko 2.) (Työterveyslaitos 2015.)

Taulukko 2. Melun raja-arvot. (Työterveyslaitos 2015.)

	LAeq8h	LCpeak,max	Huom.
Alempi toiminta-arvo	80 dB(A)	135 dB(C)	(kuulosuojainten päältä)
Ylempi toiminta-arvo	85 dB(A)	137 dB(C)	(kuulosuojainten päältä)
Raja-arvo	87 dB(A)	140 dB(C)	(kuulosuojaimen sisällä)

Kun altistuksen raja-arvoa määritetään, pitää ottaa huomioon myös kuulosuojainten vaikutus, eli käytännössä arvioidaan melutasoa kuulosuojaimen sisällä, korvakäytävässä olevaa melutasoa. Toiminta-arvot taas määritellään kuulosuojaimen ulkopuolella olevassa melutasossa.

5.2.2. Alemman toiminta-arvon ylittyminen

Asetuksen mukaan kuulovaurion riski alkaa, kun A-painotettu melutaso ylittää 80 desibeliä. Jos työntekijän päivittäinen melualtistus ylittää alemmat toiminta-arvot, on työntekijällä oikeus saada työnantajalta henkilökohtaiset kuulonsuojaimet käyttöönsä. Arvojen ylittyessä työntekijällä on myös oikeus mahdollisuuteen käydä ennaltaehkäisevässä audiometrisessä kuulotestissä, jos melutilanteen mittaukset ja arviointi osoittavat terveydellistä riskiä. (Työterveyslaitos 2015.)

5.2.3. Ylemmän toiminta-arvon ylittyminen

Kun ylemmät toiminta-arvot ylittyvät mittausten perusteella, työntekijällä on velvollisuus käyttää kuulonsuojaimia. Työntekijällä on myös oikeus säännölliseen kuulontarkastukseen. Myös ylempien toiminta-arvojen ylittyessä työnantajan tulee laatia ja toteuttaa meluntorjuntaohjelma, jolla pyritään pääsemään alle 85 dB(A) tason. (Työterveyslaitos 2015.)

5.2.4. Raja-arvon ylittyminen

Jos työntekijä altistuu yli raja-arvotasoiselle melulle, työnantajan on ryhdyttävä viipymättä toimenpiteisiin, jotta altistus vähenee alle raja-arvon. Raja-arvon ylityksen syyt on selvitettävä, sekä tehtävä tarpeelliset muutokset jotta ylitys ei enää toistu. (Työterveyslaitos 2015.)

5.3. Työpaikan meluntorjuntaohjelman laatiminen

Kun työnantaja tekee meluntorjuntaohjelmaa, hänen on otettava huomioon, että melua voidaan vähentää miettimällä seuraavia asioita:

- Valitaan työmenetelmät, ja työvälineet, jotka aiheuttavat mahdollisimman vähän melua.
- Suunnitellaan työpaikat ja työpisteet mahdollisimman vähämeluisiksi.
- Työ suunnitellaan siten, että melualtistuminen vähenee tai keskeytyy aikajoin.
- Työvälineet ja järjestelmät pidetään kunnossa.
- Melualtistuksen voimakkuutta ja kestoja rajoitetaan.
- Työntekijät opastetaan työvälineiden oikeaoppiseen ja turvalliseen käyttöön, jotta melualtistus jää mahdollisimman vähäiseksi.
- Käytetään melusuojia, kapselointia, tai ääntä absorboivia keinoja.

(Työsuojeluhallinto 2014)

Meluntorjuntaohjelman toteuttamisen järjestyksen ja tavoitteajat työnantaja määrittää riskin arvioinnilla. Riskin arvioinnissa työnantajan on otettava huomioon seuraavat asiat:

1. melualtistuksen kesto, taso ja tyyppi

2. melualtistuksen toiminta- ja raja-arvot
3. melun vaikutuksetniiden työntekijöiden turvallisuuteen ja terveyteen, joiden työterveyshuolto on todennut olevan erityisen alttiita melulle
4. mahdollisuuksien mukaan työntekijöiden turvallisuuteen ja terveyteen liittyvät vaikutukset, jotka syntyvät melun ja työhön liittyvien sisäkorvalle myrkyllisten aineiden tai melun ja tärinän yhteisvaikutuksesta
5. melun ja varomerkkien tai melun ja muiden tekijöiden yhteisvaikutuksesta syntyvät välilliset vaikutukset
6. teknisten laitteiden valmistajien antamat tiedot melupäästöistä
7. mahdollisuus käyttää työvälineitä, joista aiheutuu vähemmän melualtistusta
8. melulle altistuminen oloissa, joissa työntekijä oleskelee työn vuoksi työnantajan määräyksestä varsinaisen työajan ulkopuolella
9. muut riskinarvioinnin kannalta merkitykselliset tiedot, kuten työntekijän terveydentilan seurannan yhteydessä tai alan julkaisuista saadut tiedot
10. mahdollisuus käyttää asianmukaisia kuulonsuojaimia

(Työsuojeluhallinto 2014)

5.4. Melun aiheuttamat vaarat ja haitat

Melu heikentää kuuloa väliaikaisesti tai pysyvästi. Se peittää ja vääristää ääniviestit, mikä vaikeuttaa keskustelua ja tiedonsaantia ympäristöstä. Melu on näin ollen ollut osasyynä useissa kuolemaankin johtaneissa työtapaturmissa. Melu vaikuttaa haitallisesti myös keskushermostoon ja sitä kautta esimerkiksi sydämeen ja verisuoniin. Melusta saattaa täten seurata myös psyykkisiä häiriöitä. Työpaikkamelu tuo vuosittain myös suuria kustannuksia, mikä johtuu epätarkkuuksista, virheistä ja työntekijöiden poissaoloista. (Työsuojeluhallinto 2014.)

Melu ei ole vain teollisuuden ja rakennustyömaiden vitsaus, vaan siitä kärsivät myös esimerkiksi opettajat, bussikuskit ja monet muut ammattilaiset. Suomessa arviolta 300 000 työntekijää katsotaan altistuvan melulle, ja ammattitaudiksi luokitellaan vuosittain noin 1000 uutta kuulovammaa. Tyypillisesti pitkäaikaiselle melulle altistumisen vaikutus on kuulon alenema. (Työsuojeluhallinto 2014.)

Melu on monien kansainvälisten tutkimusten mukaan yksi laajimmista ja eniten häiritsevistä ongelmista työpaikoilla. Melulle altistuminen psyykkisten toimintojen häiriintymisen lisäksi alentaa keskittymiskykyä sekä vaikuttaa ihmisten käyttäytymiseen negatiivisesti. Melua vaimentamalla voidaan parantaa työpaikan ympäristön oloja niin, että se lisää merkittävästi viihtyvyyttä, ja sitä kautta parantaa merkittävästi työtehoa. (Työsuojeluhallinto 2014.)

5.5. Meluntorjunnan pääsääntö

Työnantajan on toimittava niin, että melun aiheuttamat vaarat ja haitat jäävät mahdollisimman pieniksi. Tähän tarkoitukseen pyritään hyödyntämään tekniikan kehityksen tuomat mahdollisuudet ja käyttää niitä torjumaan melua. Työpaikan melu on arvioitava, ja jos tarpeen, mitattava. Mittausten perusteella tehdään arvioita meluntorjunnan lähteistä ja tarpeellisuudesta. Mittausten tuloksia verrataan sallittuihin raja-arvoihin. Jos jossakin työpisteessä raja-arvo ylittyy, on työnantajan selvitettävä melun aiheuttaja ja sen syyt, ja se on velvollinen oimeenpanemaan meluntorjuntaohjelman melualtistuksen vähentämiseksi. (Työsuojeluhallinto 2014.)

Meluntorjuntakeinojen tärkeysjärjestys on:

1. melun syntymisen estäminen
2. melun etenemisen estäminen
3. melun vaimentaminen akustoinnilla
4. henkilökohtaiset kuulonsuojaimet

5. melussa oloajan rajoittaminen

Yllä olevassa luettelossa ensimmäisinä mainitut keinot ovat yleensä tehokkaimpia, ja saavutettava hyöty on kustannuksiin suhteutettuna suurempi verrattuna esimerkiksi akustoinnilla saatavaan hyötyyn. Meluntorjunnassa kuulonsuojaimet ovat välttämätön ja välitön, mutta ei silti riittävä meluntorjuntakeino. Työntekijöille annettavat henkilökohtaiset kuulonsuojaimet eivät poista työnantajan velvollisuutta meluntorjuntaan. (Työterveyslaitos 2015.)

5.6. Melualtistuksen mittaaminen

Jos melualtistuksen mittaamistarvetta arvioidaan, nyrkkisääntönä on se, että melualtistus on mitattava sellaisissa työpisteissä, joissa ainakin hetkittäin on huudettava, jotta sanat kuuluisi selvästi kahden metrin päähän huutajasta, tai sellaisissa työpisteissä, joissa keskustelu on melon vuoksi vaikeaa. Äänenpainetta mitattaessa ei oteta huomioon mitään henkilökohtaisen kuulonsuojaimen tuomaa vaimennusta. Mitattujen tulosten perusteella tehdään arvio eri melunaiheuttajista, ja suunnitelma melunlähteiden vaimentamiseksi, jotta päästään valtioneuvoston päätöksen (140/93) mukaisiin arvoihin. (Työsuojeluhallinto 2014.)

5.7. Milloin meluntorjuntaohjelma tehdään?

Meluntorjuntaohjelma on toteutettava silloin, kun altistusmittausten perusteella todetaan, että

- melualtistus on suurempi kuin yksi päiväannos. yksi päivä-annos vastaa kahdeksan tunnin altistumista 85 desibelin melulle.
- äänenpaineen painottamaton huippuarvo ylittää 140 desibeliä

Meluntorjuntaohjelmaa ei kuitenkaan tarvitse tehdä henkilöille, jotka suorittavat erityistehtäviä, joissa melualtistus vaihtelee suuresti päivittäin, ja melualtistus on enintään viisi päiväannosta viikossa. (Työsuojeluhallinto 2014.)

5.8. Mikä meluntorjuntaohjelma on?

Kaikille niille työpisteille, joissa sallitut melun raja-arvot ylitetään, on suoritettava meluntorjuntaohjelma. Se on ongelmakohtainen suunnitelma eri meluntorjuntakeinoista joita on mahdollista toteuttaa työpaikan meluntorjunnassa.

Aluksi etsitään se melunlähde, joka kussakin tapauksessa johtaa raja-arvon ylittämiseen. Yleensä syynä on jokin työvaihe. Sen jälkeen mietitään, miksi kyseinen työvaihe tehdään ja voidaanko kyseinen työvaihe jättää kokonaan pois, tai millä keinoin kyseisen työvaiheen tuottamaa melua voidaan vähentää. Joskus jo pelkästään näiden seikkojen pohdinta johtaa melun vähentymiseen. Kun melulähde on karkeasti määritetty ja tunnistettu, selvitetään melun syntymekanismi ja melua ilmaan tuottava pinta paikallistetaan. Melun säteilypinnan ja työntekijän väliset äänen siirtotiet määritellään. (Työsuojeluhallinto 2014.)

Äänilähteen ja sen aiheuttajan tunnistamiseen auttaa usein se, että työvaiheen tekniset ominaisuudet sekä koneiden ja laitteiden toiminta tunnetaan. Vaikeimmissa tapauksissa voidaan turvautua asiantuntijan apuun. Tavoitteena on, että työntekijä altistuu melulle mahdollisimman vähän. Vaatimustaso melun vähenemiselle määräytyy tekniikan kehityksen ja käytävissä olevien meluntorjuntakeinojen perusteella. (Työsuojeluhallinto 2014.)

5.9. Melun lähteeseen vaikuttavia asioita

Melun tuottoa voidaan vaimentaa esimerkiksi uuden ja hiljaisemman tekniikan avulla, ja hyödyntämällä akustiikkaan perustuvia ratkaisuja. Joitakin työvaiheista voidaan mahdollisuuksien mukaan tehdä niille varatuissa erillisissä tiloissa, joista melu ei ”pääse” tulemaan ulos. Myös laitteen mahdollisella koteloinnilla voidaan saada paljon aikaiseksi. Joissain tapauksissa koneen tai laitteen rakennetta tai toimintaa voidaan muuttaa niin, että meluntuotto pienenee. Myös erilaisten kolinoiden ja räminöiden ennaltaehkäisy pehmentävillä materiaaleilla voi tulla kyseeseen tilanteissa, joissa kappaleet putoavat jonnekin. Paineilmaa käytettäessä paineilmasuuttimien rakenteella on suuri merkitys äänen tuottoon. Nykyään on

olemassa paineilma puhallus-suuttimia, jotka on suunniteltu niin, että ne tuottavat mahdollisimman vähän melua, mutta ovat silti tehokkaita. Lisäksi ne kuluttavat hyvin vähän kallisarvoista paine-ilmaa, ja näin niillä saadaan säästöä myös sitä kautta. Tietyissä sovelluksissa voidaan käyttää äänen- ja iskunvaimentimia.

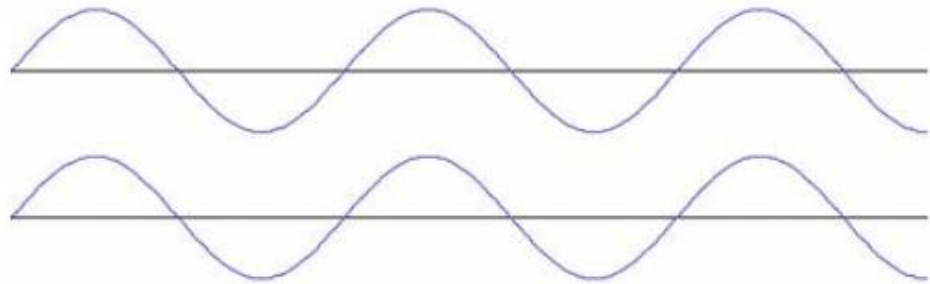
Yksi oleellinen kohta meluntuoton pienentämiseen on huolellinen ja ammattitaitoinen työskentely. Koneen ja laitteen oikeat parametrit vaikuttavat sekä laatuun että meluntuottoonkin. Mahdolliset melusuojukset, ovet ja luukut on pidettävä suljettuina. Myös työvälineiden oikea käsittely on otettava huomioon. Melua voidaan vaimentaa myös vaikuttamalla äänikenttään. (Työterveyslaitos 2014.)

6. ERI MELUNTORJUNTAKEINOT

6.1. Interferenssiin perustuva vasta-vaihe vaimennus

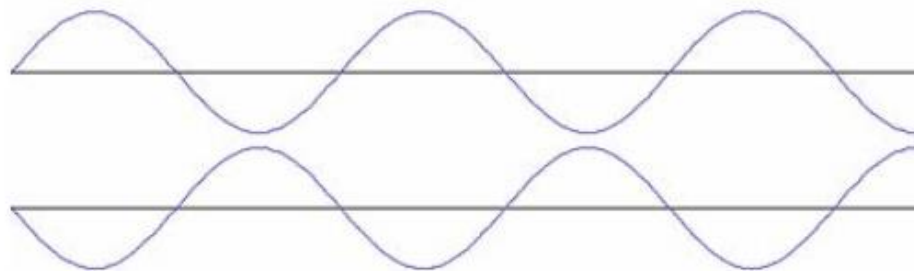
Meluntorjuntakeinot vaihtelevat yksinkertaisista ratkaisuista monimutkaisempiin, aina tilanteen ja resurssien mukaan. Interferenssillä tarkoitetaan kahden aallon yhdistymistä niin, että ne joko vaimentavat tai vahvistavat toisiaan.

Aaltoliikkeelle on tyypillistä sen kyky interferoida, eli yhteisvaikuttaa toisen aallon kanssa. Kun aallot vahvistavat toisiaan, niiden on silloin oltava samassa vaiheessa. Alla olevassa kuvassa (Kuvio 1.) on kuvattu kaksi aaltoa, jotka ovat täysin samassa vaiheessa.



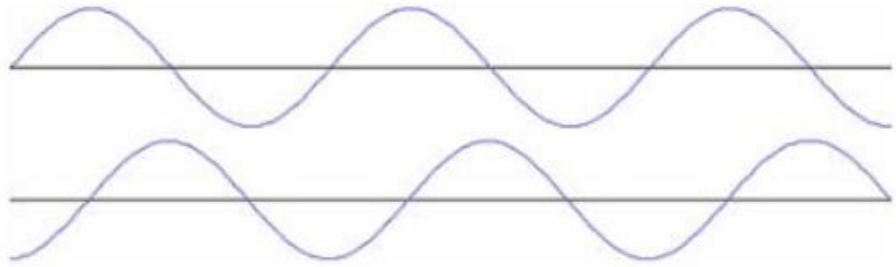
Kuvio 1. Täysin samassa vaiheessa olevat siniaallot vahvistavat toisiaan + 6dB. (Otavan opisto, äänitekniikan perusteet 2014.)

Jos aallot ovat eri vaiheessa, ne vaimentavat toisiaan, ja täysin vastakkaisvaiheessa aallot kumoavat toisensa ja syntyy täysi hiljaisuus. Alla olevassa kuvassa (Kuvio 2.) aallot kumoavat toisensa täydellisesti.



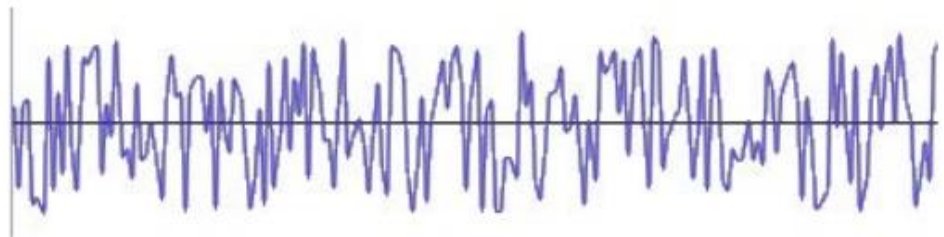
Kuvio 2. Täysin vastavaiheessa olevat aallot kumoavat toisensa, ja syntyy täysi hiljaisuus. (Otavan opisto, äänitekniikan perusteet 2014.)

Jos aalloilla on 90 asteen vaihe-ero (Kuvio 3.), niin aallot vaimentavat toisiaan -3dB.



Kuvio 3. 90 asteen vaihe-erossa olevat siniaallot vaimentavat toisiaan -3dB. (Otavan opisto, äänitekniikan perusteet 2014.)

Todellisuudessa teollisuusympäristössä ovat monimutkaisia monien siniaaltojen summia (Kuvio 4.), jotka tulevat heijastuksina monista eri suunnista. Näin ollen vastavaihetekniikalla ei saada koskaan syntymään täyttä hiljaisuutta näissä ympäristöissä, mutta äänen voimakkuutta voidaan tällä tekniikalla kuitenkin vaimentaa.



Kuvio 4. Monien siniaaltojen summa-aalto. (Otavan opisto, äänitekniikan perusteet 2014.)

6.2. Melusteet

Meluseinäkeillä voidaan rajoittaa melun etenemistä yksittäisistä melulähteistä ja suojata toisia työpisteitä. Seinäkkeen taakse jää alue, jossa melun voimakkuus voi olla jopa 10 dB(A) alhaisempi kuin ilman seinäkettä. Meluseinäke koostuu levystä

joka katkaisee melun suoran kulun. Seinäke on sisäpuolelta verhoiltu akustiikkalevyllä. Seinämän korkeuden tulee olla huomattavasti korkeampi kuin melulähde, mieluummin yli puolet tilan korkeudesta. Läheisten seinien ja yläpuolisen katon verhoilu akustointilevyillä tehostaa seinämän äänenvaimennusta. (Työterveyslaitos 2014.)

Meluntorjuntaan soveltuvia seiniä ja esteitä on markkinoilla runsaasti. Meluseinät voivat olla kiinteästi kohteeseen asennettavia, tai siirrettäviä, jolloin seinäke voi olla asennettu rullien päälle, jolloin sitä voi siirrellä. Melua voidaan torjua myös meluverhoilla, jolloin verhokiskoon asennettulla verholla saadaan suojattua ympäristöä melunaiheuttajan jäädessä verhon taakse. Verhon voi tarvittaessa rullata tai taittaa auki. Akustiikkaseinät valmistetaan yleensä komposiittimateriaaleista, jolloin saavutetaan niiden kevyt paino, hyvät akustiset ominaisuudet sekä hyvä kulutuksen ja hankauksen kesto. Lisäksi ne kestävät hyvin ympäristön vaihtuvia ominaisuuksia, kuten ilmankosteutta, ja lisäksi ne hylkivät likaa, ja ne on tarvittaessa helppo pyyhkiä puhtaaksi. Meluestemateriaalit voidaan myös käsitellä niin, että ne ovat paloturvallisia. (Painepiste 2014.)

Kuvissa 1-6 on esitelty Järven Plast & Smide AB:n markkinoimia meluesteitä ja seiniä teollisuuskäyttöön.



Kuva 1. Taitettava akustiikkaseinä: Soft-10 (Painepiste 2014.)



Kuva 2. Kiinteä akustiikkaseinä: Outdoor-50 (Painepiste 2014.)



Kuva 3. Kiinteä akustiikkaseinä: Nutun-40 (Painepiste 2014.)



Kuva 4. Konesuoja: T-50 (Painepiste 2014.)



Kuva 5. Pyörillä varustettuja siirrettäviä väliseiniä (Painepiste 2014.)



Kuva 6. Taitettava akustiikkaseinä: T-50 (Painepiste 2014.)

6.3. Melun etenemisen estäminen

Koneiden synnyttämän melun etenemistä ympäristöön voidaan rajoittaa koteloinnilla, erilaisilla seinillä tai eristämällä työntekijät erillisiin äänieristettyihin valvomoihin. Kotelon äänieristävyyteen vaikuttavat monet eri tekijät, kuten kotelon seinämämateriaali, sen paino sekä rakenne, äänilähteen muoto ja sijainti kotelossa. (Työterveyslaitos 2014.)

Koteloinnilla saadaan eristettyä ääntä tehokkaasti. Matalilla taajuuksilla seinän äänieristykseen vaikuttavat hyvin paljon seinän resonanssit. Melun taajuuden kasvaessa seinän eristävyys alkaa kasvamaan massan vaikutuksesta. Korkeammilla taajuuksilla seinän taivutusaallon nopeuden ja ääniaallon nopeuden ollessa samoja seinän ääneneristävyys alkaa heikentyä. Kaksinkertainen seinä lisää kotelon eristävyyttä enemmän kuin seinän massan kasvu edellyttäisi. Poikkeuksena on matalilla taajuuksilla esiintyvä seinien välinen resonanssi. Vaimennusta pienentää myös seinien yhteen kytkeminen rakenteellisesti. Kotelon ääneneristävyyteen vaikuttaa hyvin paljon kotelon aukkojen suuruus. Jos aukkojen pinta-ala on 10 % koko kotelon seinien pinta-alasta, kotelon melunvaimennus on 10 dB, vaikka seinien vaimennus olisi 30 dB. Yhden

prosentin aukkopinta-alalla voidaan saavuttaa 20 dB:n vaimennus. Hyvin pienten aukkojen esiintyminen esimerkiksi tiivisteiden puuttuminen, näkyy ensin vähäisempänä korkeiden taajuuksien vaimenemisena kuin mitä teoreettinen seinän eristävyys edellyttäisi täysin tiiviinä. (Työterveyslaitos 2014.)

Monilla teollisuuden aloilla prosessin seuranta ja ohjaus tapahtuu valvomoista. Valvomoiden maksimaaliseksi taustamelutasoksi suositellaan 55 dB(A). Niiden taustameluun vaikuttaa ulkopuolisen melun voimakkuus ja taajuus, sekä valvomon seinien, ikkunoiden, ovien ja eristyksien laatu ja tiiveys. Mitattujen tulosten perusteella noin puolessa teollisuuden valvomoista on saavutettu taustamelun tavoitetaso. Vaikka tavoitetasoa ei saavutettaisikaan, valvomot auttavat silti pienentämään meluallistusta tehokkaasti. (Työterveyslaitos 2014.)

7. TYÖN TOTEUTUS

7.1. Mittaustulokset ja tunnistetut melunlähteet eri linjoilla

Työn toteutus Stalatubella alkoi siitä, että melumittaukset tehtiin kaikille tuotantolinjoille. Mittaukset tehtiin desibelimittarilla siten, että mittaustulos otettiin 45 asteen kulmassa melulähteeseen nähden noin metrin päästä melulähteestä. Mittauksessa käytettiin A-painotusluokkaa, jota käytetään teollisuudessa määrittelemään sallitut melutasot. Linjoista mitattiin kaikki kriittisimmät tuotantovaiheen osat. Kun melumittaukset oli tehty, tehtiin arviot ja kartoitus siitä, mitkä olivat melun suurimmat aiheuttajat ja kohdat tuotannossa. Melumittausten tulokset on esitetty taulukoissa 3-10.

Taulukko 3. Linjat 1. ja 3.

	MITTAUSPISTE	LINJA 1.	LINJA 3.
1	AUKIKELAIN	78 dBA	76 dBA
2	HITSAUS	94 dBA	82 dBA
3	HIONTA	102 dBA	86 dBA
4	KALIBROINTI	92 dBA	84 dBA
5	MUOTOILU	90 dBA	82 dBA
6	HARJAUS	93 dBA	90 dBA
7	JÄÄHDYTYS	94 dBA	86 dBA
8	SAHAUS (sahauksen aikana tulos sulkeissa)	89 dBA (90dBA)	88 dBA (91 dBA)

9	PAKKAUS (sulkeissa putken pudotessa laanille)	76 dBA (84 dBA)	88 dBA (100 dBA)
---	---	--------------------	---------------------

Taulukko 4. Linjat 7. ja 8. ovat teknisesti identtisiä ja sijaitsevat vierekkäin, ja myös melutasot mittauspisteissä ovat identtiset.

	MITTAUSPISTE	LINJAT 7. JA 8.	
1	AUKIKELAIN	76 dBA	
2	RAINAOHJAIN	80 dBA	
3	MUOTOILU	84 dBA	
4	HIONTA	88 dBA	
5	KALIBROINTI	85 dBA	
6	MUOTOILU	83 dBA	
7	HARJAUS	89 dBA	
8	SAHAUS (sahauksen aikana tulos sulkeissa)	83 dBA (85 dBA)	

Taulukko 5. Linja 6. ja lattalinja.

	MITTAUSPISTE	LINJA 6.	
1	AUKIKELAIN	76 dBA	
2	RAINAOHJAIN	82 dBA	
3	MUOTOILU	85 dBA	
4	HIONTA	87 dBA	
5	KALIBROINTI	89 dBA	
6	MUOTOILU	83 dBA	
7	HARJAUS	89 dBA	
8	SAHAUS (sahauksen aikana tulos sulkeissa)	85 dBA (84 dBA)	
9	PAKKAUS (sulkeissa putken pudotessa laanille)	80 dBA (82 dBA)	

Taulukko 6. Linjat 9. ja 10.

	MITTAUSPISTE	LINJA 9.	LINJA 10.
1	AUKIKELAIN	78 dBA	77 dBA
2	RAINAOHJAIN	79 dBA	79 dBA
3	MUOTOILU	80 dBA	79 dBA
4	HIONTA	89 dBA	88 dBA

5	KALIBROINTI	88 dBA	85 dBA
6	MUOTOILU	85 dBA	84 dBA
7	HARJAUS	91 dBA	91 dBA
8	SAHAUS (sahauksen aikana tulos sulkeissa)	87 dBA (90 dBA)	88 dBA (87 dBA)
9	PAKKAUS (sulkeissa putken pudotessa laanille)	80 dBA (83 dBA)	82 dBA (95 dBA)

Taulukko 7. Linjat 4. ja 11. Linjat ovat vastakkain ja identtiset.

	MITTAUSPISTE	LINJA 4.	LINJA 11.
1	AUKIKELAIN	76 dBA	76 dBA
2	RAINAOHJAIN	77 dBA	77 dBA
3	MUOTOILU	81 dBA	79 dBA
4	KALIBROINTI	90 dBA	90 dBA
5	MUOTOILU	88 dBA	85 dBA
6	HARJAUS	90 dBA	89 dBA
7	SAHAUS (sahauksen aikana tulos sulkeissa)	83 dBA (90 dBA)	80 dBA (85 dBA)
8	PAKKAUS (putken pudotessa laaniin)	78 dBA (91dBA)	77 dBA (101 dBA)

Taulukko 8. Linja 5.

	MITTAUSPISTE	LINJA 5.	
1	AUKIKELAIN	77 dBA	
2	RAINAOHJAUS	79 dBA	
3	MUOTOILU	84 dBA	
4	HIONTA	90 dBA	
5	KALIBROINTI	88 dBA	
6	MUOTOILU	87 dBA	
7	HARJAUS	92 dBA	
8	SAHAUS (sahauksen aikana tulos sulkeissa)	84 dBA (90 dBA)	
9	PAKKAUS (sulkeissa putken pudotessa laanille)	79 dBA (87 dBA)	

Taulukko 9. Hf-hitsauslinja

	MITTAUSPISTE	LINJA (Hf-Hitsauslinja)
1	HASPELI	83 dBA
2	RAINALEIKKURI	85 dBA
3	RAINAKU	86 dBA
4	ALKUPÄÄN MUOTOILU	86 dBA

5	HITSAUS	87 dBA
6	LOPPUPÄÄN MUOTOILU	88 dBA
7	ILMAVEITSI	91 dBA
8	LEIMAUS	93 dBA
9	PUTKEN KUIVAIN	95 dBA
10	PRÄSSI	97 dBA
11	TAKAOHJAUSPULPETTI	94 dBA (puhalluksella 102 dBA)
12	LAANI	102 dBA
13	PAKKAUS	93 dBA

Taulukko 10. Leikkaamo

	MITTAUSPISTE	MELUTASO (dBA)
1	EMOKELAN AUKAISU	100 dBA (aukikelausvaiheessa 103 dBA)
2	AUKIKELAIN	92 dBA
3	EMOKELAN LOPPUESSA	101 dBA
4	STROMM LEIKKURI	95 dBA
5	KELAN ALKUPÄÄN LEIKKAUS	97 dBA
6	RAINOJEN EROTTELU	97 dBA

7	ROMUSILPPURI	97 dBA
8	MONTUN LÄHEISYYDESSÄ	98 dBA
9	OHJAUSPULPETTI	95 dBA
10	HUOPAJARRUN LÄHEISYYDESSÄ	95 dBA
11	HÄNTÄLEIKKURI	83 dBA
12	HÄNTIEN LOPPUESSA	101 dBA
13	ROMUJEN PUDOTESSA	103 dBA
14	TAKAISIN KELAIN	93 dBA (vinkuessa 116 dBA, 1. pulpetilla asti 99 dBA)
15	PAKKAUS	88 dBA
16	LEIKKURITERIEN SIIRTELY	88 dBA
17	ROMUJEN LAANIIN PUDOTESSA ULKONA	106 dBA

7.2. Melunlähteiden arviointi

Mittausten perusteella suurin melunaiheuttaja oli putken harjaus, eli työvaihe, jossa putken pintaa hiotaan. Hionta synnyttää putkeen värinää, joka aiheuttaa melua. Putken pitkän olemuksen johdosta tämä värinän aiheuttama melu myös kulkeutuu melko suurelle alalle.

Ratkaisuna putken harjauksen aiheuttamaan meluun tuli päätelmä siitä, että putkea olisi tuettava jollain ulkoisella voimalla niin, että tuenta vähentäisi putken värinää. Tähän tuli idea, että putkea vasten painautuvat kumipäällysteiset rullat voisivat

olla paras, edullisin ja yksinkertaisin ratkaisu ongelmaan. Resonanssinpoistajalla saadaan pienennettyä myös sahauksenkin aiheuttamaa melua.

Iskumaista tuotantomelua syntyy myös linjojen pakkauspäässä, joka sijaitsee tuotantolinjojen loppupäässä. Siellä putket putoavat sahan radalta pakkauslaaniin, johon valmiit putket kerääntyvät ja jossa ne kasataan nipuiksi. Iskumainen melu aiheutuu putkien pudotessa laaniin.

Melua aiheutui myös puhallussuuttimista joita käytetään mm. putken leimojen kuivaukseen sekä roskien poistoon.

8. EHDOTUKSIANI MELUNTORJUNTAAN

8.1. Resonanssinpoistaja

Putken harjauksen aiheuttaman resonanssin poistoon suunnittelin solidworksilla rullamekanismin. Rullat olisi jäməkät ja painantavoima tulisi jousesta. Kuminen rulla (Kuvio 5.) absorboisi putken värinää itseensä muuttaen mekaanisen energian lämmöksi, ja tuloksena olisi vähämeluisempi tuotantoprosessi.



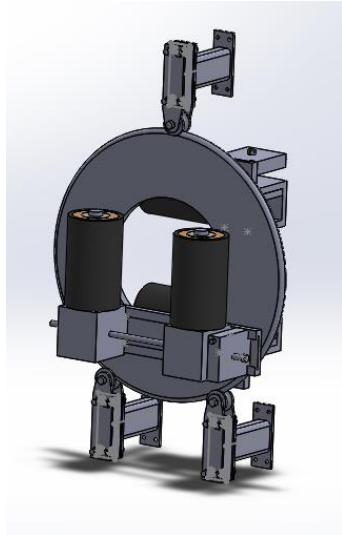
Kuvio 5. Kumipäällysteinen rulla.

Resonanssinpoistajia suunniteltiin kaksi eri mallia, joista toinen on ratkaisuna paljon kompaktimpi, rakenteeltaan hieman yksinkertaisempi ja tehokkaampi. Ensimmäisessä mallissa rullia oli kaksi, ja ne painoivat putkea vain sivulta, kun toisessa mallissa (Kuvio 6.) rullia oli yhteensä neljä, ja rullat painavat siinä putkea kaikilta neljältä sivulta.

Rullat sijoitetaan tuotantolinjaan putken harjauskopin ja sahan väliin (Kuva7.) niin, että putki kulkee rullien välistä rullien puristuessa putken pintaa vasten kaikilta neljältä sivulta. Putken värinä absorboituu rullan kumiin, ja tuotantomelu pienenee, kun melua aiheuttavasta pinnasta poistetaan värinä, josta syntyy melua. Rullien halkaisija on 100 millimetriä, ja rullien päällä on vielä kymmenen millimetrin paksuinen kumipäällyste, eli rullien kokonaishalkaisija on tässä suunnitellussa mallissa 120 millimetriä. Rullat on laakeroitu rullalaakereilla tankoon, joka kiinnittyy kiskoon. Ruuvi-jousimekanismi synnyttää tarvittavan painantavoiman putken ja rullien välille.

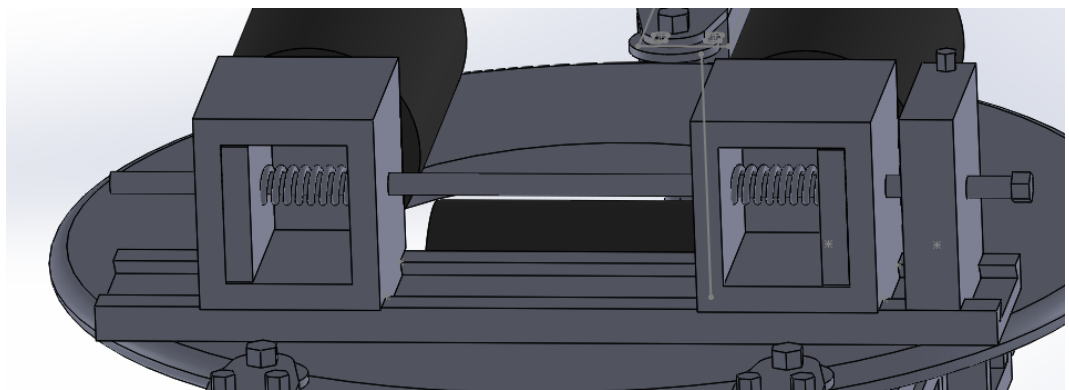


Kuva 7. Resonanssinpoistaja on suunniteltu sijoitettavaksi harjakopin ja sahan väliin.



Kuvio 6. Resonanssinpoistaja.

Putkikoon muuttuessa rullien välistä etäisyyttä voidaan helposti muuttaa ruuvimekanismin (Kuvio 7.) avulla, joka on toteutettu niin, että ruuvin kätsisyys vaihtuu ruuvin puolivälissä, ja ruuvia kääntämällä kumpikin rulla liikkuu lähemmäs tai loitommäs toisistaan, rullien välisen keskipisteen pysyessä samana. Näin ollen rullien jousivoimat pysyvät tasaisena molemmilla puolilla. Lukitusruuvia avaamalla rullien välistä keskipistettä voidaan myös säätää. Jousivoimien optimisäädöt voidaan hakea systeemille ajossa syntyneiden meluhavaintojen perusteella, ja rullien kannattimen ja kiinnityslevyn yhteyteen voidaan merkata eri putkikoille sopivat kohdat.



Kuvio 7. Rullien kannattimet sekä ruuvi-jousi mekanismi.

8.2. Puhallus-suuttimet

Tuotantomelua aiheuttivat myös puhallus-suuttimet, joita käytetään tuotannossa kuivaamaan putken pinnalle kirjoitettavaa leimausmustetta, sekä puhdistamaan putken sisälle sahausvaiheessa muodostunut puru. Testiin otettiin Projecta Oy:n myymiä Exair puhallus-suuttimia (Kuva 8.). Suuttimet olivat Exair Bp 1126 ja Bp 1122. Suuttimet olivat hyviä, mutta todella kalliita. Ratkaisuna tähän oli loppujen lopuksi se, että vanhoille käytössä olleille suuttimille tuotua painetta rajoitettiin vain alemmaksi, jolloin niistä aiheutuva meluntuotto putosi useita desibelejä niin, että suutinten melu oli enää 81 dB, eli kirkkaasti jo alle tavoitteen joka oli 85 dB. Silti niistä saatiin vielä tarvittava puhallus. Näin saatiin säästettyä samalla myös kallisarvoista paine-ilmaakin.



Kuva 8.. Exair puhallus-suuttimia. (Projecta 2014.)

8.3. Meluverhojen käyttö

Yksi ehkä mielestäni kaikkein tehokkain, mutta samalla kaikkein kallein meluntorjuntaehdotukseni on, että koneet suojattaisiin meluverhoilla. Putkipalkkien tuotantolinjat ovat suhteellisen pitkiä fyysisiltä mitoiltaan, ja yrityksellä on käytössä toistakymmentä linjaa. Lisäksi meluverhojen pitäisi sijaita tuotantolinjan molemmilla puolilla. Jos yksi tuotantolinja on noin 20 metriä pitkä, tarvittaisiin meluverhoa siis 40 metriä yhtä tuotantolinjaa kohden, eli kymmentä

konetta kohti tarvittaisiin meluverhoa 400 metriä, mikä olisi todella kallis ratkaisu. Teoriassa ratkaisu mielestäni olisi ylivoimaisesti tehokkain meluntorjunnan kannalta. Linjan operaattori voisi tarvittaessa siirtää verhoja edestään asetuksia tehdessä ja linjan ollessa käynnissä verhot suojaisivat ympäristöä melulta. Kuitenkin linjan operointi ja prosessin seuranta hankaloituisi huomattavasti.

8.4. Meluseinäkkeet

Pakkauspäässä HF-linjalla syntyi melumittauksen perusteella suurta melua puhallus-suuttimista linjan pakkauspäässä olevalle ohjauspulpetille. Puhallus-suutinten painetta on toki jo pienennetty eikä suuttimen melu ole enää niin voimakas. Tällaisiin kohteisiin kuitenkin sopisi mielestäni hyvin pyörien päällä oleva siirrettävä meluseinäke, jossa on läpinäkyvä ikkuna tarkkailua varten. Tyypillisesti meluseinäkkeillä saavutetaan 0-10 desibelin vaimennus, joka riippuu tilan akustisista seikoista. Meluseinäkkeitä on helppo siirrellä tarvittaessa paikasta toiseen, ja niitä olisi hyvä olla muutamia käytettävissä aina tarpeen mukaan. Meluseinäkkeille löytyy varmasti ajankansa paikkansa tuotannon eri pisteissä. Meluseinäkkeet ovat ratkaisuna suhteellisen halpoja ja tehokkaita.

8.5. Suu-aukot

Kuten jo edellä on mainittu, teräspuutkipalkin valmistusprosessissa huomattava melunaiheuttaja on putken harjaus, jossa putken pinta hiotaan pinnanlaadun saavuttamiseksi. Harjaus tapahtuu suljetussa kopissa, jossa on suu-aukot putken läpimenon vuoksi. Äänellä on ominaisuus, minkä vuoksi ääni pääsee etenemään pienimmistäkin aukoista. Putken ja suu-aukon välissä on hieman ilmarakoa, jotta putki ei osu harjauskopin seinämiin kulkiessaan sen läpi. Ilmarako on pyritty saamaan tiiviiksi pölyltä ja melulta eräänlaisella harjamateriaalilla. Kyseinen materiaali on hyvä sen kannalta, että se ”mukautuu” melkohoivin putken pintaa vasten, mutta haittapuolena on, että harjasten välistä kuitenkin pääsee läpi melua, koska materiaali on suhteellisen ilmavaa. Tähän ongelmaan ratkaisuna voisi toimia eräänlaiset kumilamellit, joiden avulla melun läpipääsy voisi pienentyä tiiviimmän rakenteen vuoksi. Ratkaisuna voisi toimia myös suu-aukkojen jatkaminen muutaman kymmenen sentin pituisella putkimaisella rakenteella,

jonka päässä olisi harjakset tai tiiviimmät kumilamellit. Tällöin äänen ulostulon reitti pienenesi entisestään.

8.6. Pakkauspää

Linjojen pakkauspäässä iskumaista melua aiheutuu putkien kolistessa pakkauspään materiaalin kanssa sekä putkien kolistessa toisiaan vasten. Pehmeämmän materiaalin käyttö pakkauspäässä niissä osissa, jotka ovat kosketuksissa putkien kanssa, voisi hiljentää putkien ja linjaston välistä kolinaa. Kumi olisi materiaalina käyttökelpoinen tässä ongelmassa, mutta kolinaa syntyy myös putkien kolistessa toisiaan vasten, kun putket putoavat laaniin. Laanin ramppiosat ovat päällystetty vinyylimateriaalilla, jota pitkin putki liukuu laaniin. Laaniin kasautuu liuta putkia, jotka niputetaan. Putkien kolinaa toisiaan vasten on mahdotonta poistaa kokonaan, mutta laaniin putoavan putken nopeutta on mahdollista saada pienennettyä. Laanissa oleva vinyyli on hyvin ”liukas” putken pinnan suhteen. Jokin jarruttavampi materiaali hidastaisi putken nopeutta sen pudotessa laaniin. Tässä saattaisi toimia jokin harjamateriaali. Toisaalta liian suuri kitka pintojen välissä taas estää putken liukumisen sahan radalta pakkauslaaniin ja linjan toiminta häiriintyy sekä vaatii operaattorilta lisätyötä, jos putkien sujuvaa siirtymistä joudutaan valvomaan.

Laanin liu’un loppupäässä oleva automatisoitu pehmustettu stoppari olisi tehokas ratkaisu tähän. Putki pysähtyisi liu’un lopussa, ja putken pysähtymisen jälkeen stoppari vetäytyisi alas pudottaen putken. Nyt putken putoamiskorkeus olisi huomattavasti matalempi ja iskumelu pienenesi huomattavasti. Yksi vaihtoehto laanin ja putken väliseen kolinaan voisi teoriassa toimia jokin pehmeämpi materiaali laaniin, mutta se taas vaikeuttaisi putkinippujen kokoamista nipuiksi eikä ratkaisu toimisi käytännössä.

Yhdellä linjalla on käytössä automaattipakkaus, ja linjan pakkauspää onkin huomattavasti hiljaisempi verrattuna muihin linjoihin. Iskumaista tuotantomelua saisi pudotettua huomattavasti, jos kaikilla linjoilla olisi käytössä automaattipakkaus. Siinä putket siirtyvät sahan radalta kuljettimelle eivätkä putoaisi laaniin.

8.7. Yleinen akustiikka, tilan layout ja menetelmät

Meluun vaikuttaa todella voimakkaasti myös tilan akustiset ominaisuudet.

Varsinkin suuret tasaiset pinnat heijastavat tehokkaasti ääniaaltoja, ja näin melu voimistuu. Tällaisia pintoja on hyvä päällystää esimerkiksi akustiikkalevyillä, jotka absorboivat, eli imevät ääniaaltoja itseensä. Mitä enemmän ympäristössä on pehmeitä materiaaleja sekä epätasaisia muotoja, sitä vähemmän melu pääsee kaikumaan.

Meluisia työvaiheita on myös hyvä pyrkiä sijoittelemaan niin, että melu ei pääse kantautumaan muuten hiljaisimpien työvaiheiden alueelle. Tällaisissakin tilanteissa tilan rajaaminen meluseinillä voi olla paras ratkaisu. Myös tiloille rakennetut kiinteät ja äänieristetyt seinät voivat tulla kysymykseen.

Eri koneita tai koneenosia voidaan suojata meluntorjunnallisesti erilaisilla ääntäeristävillä konesuojilla, joita on markkinoilla. Ne ovat yleensä paloturvallisia ja kestävät hyvin kulutusta. Ne on lisäksi valmistettu materiaalista, joka hylkii likaa, ja ne on helppo pitää puhtaina.

Markkinoilla on myös lukuisia määriä erilaisia koteloita ja meluloukkuja teollisuusmelun torjuntaan.

9. YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli kartoittaa Stalatube Oy:n teräsputkipalkin tuotannossa syntyvää melua, etsiä eri melunlähteet ja aiheuttajat sekä löytää ratkaisuja meluntorjuntaan. Yritys oli tyytyväinen opinnäytetyöhön ja meluongelmien ratkaisuehdotuksiin. Työstä on varmasti apua yritykselle tulevaisuudessa meluntorjuntaohjelman päivityksen kanssa.

Teoriaosuudessa tutkin ääntä fysikaalisena ilmiönä sekä sen ominaisuuksia. Tutkimuskohteena oli myös akustiikka ja akustiikan erilaiset sovellukset teolliseen ympäristöön. Hyvänä esimerkkinä tästä olivat erilaiset meluseinät ja esteet. Jouduin pohtimaan myös kappaleen värinän aiheuttamaa ilma-ääntä ja sen vaimentamista, kun suunnittelin ratkaisua putken hiontavärinän poistamiseen.

Huomasin työtä tehdessäni, että meluongelmia on mahdollista pienentää hyvin yksinkertaisillakin ratkaisuilla, kuten paineilmasuuttimien paineiden laskulla ilman niiden tehon merkittävää laskua putken pinnan kuivaamiseen. Myös suunnittelemani resonanssinpoistaja toimii varmasti tehokkaasti tuotantomelun poistamisessa. Yrityksellä ei ollut tällä hetkellä resursseja toteuttaa fyysistä prototyyppiä resonanssinpoistajasta, joten käytännön tulosta ei päästy testaamaan. Stalatube ottaa mahdollisesti ne käyttöön linjoilleensa jossakin vaiheessa. Arvioni on, että tuotantomelu putoaisi huomattavasti myös niiden myötä.

LIITTEET

Stalatable oy 2014. Yritys. [viitattu 11.10.2014] Saatavissa:

<http://www.stalatable.com/fi/Yritys/>

Työterveyslaitos 2014. Melu.[viitattu 12.11.2014] Saatavissa:

<http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/melu/Sivut/default.aspx>

Wikipedia 2014. Ääni. [viitattu 04.04.2014] Saatavissa:

<http://fi.wikipedia.org/wiki/%C3%84%C3%A4ni>

Äänitekniikan perusteet 2014. Mitä ääni on? [viitattu 12.11.2014] Saatavissa:

http://oppimateriaalit.internetix.fi/fi/avoimet/atk/aani/01_perusteet

Jyväskylän yliopisto 2014.Luennot. Äänioppi. [viitattu 10.05.2014] Saatavissa:

<https://staff.jyu.fi/Members/peltsi/opetus/BMEP003/luennot/file/äänioppi>

Centria 2014. Luento. Ääni ja sen ominaisuudet. [viitattu 07.05.2014] Saatavissa:

<http://yliyveska.centria.fi/rdwood/images/2010-09-29%20luento.pdf>

Sibelius-Akatemia 2014. Akustiikan perusteet. Hertsi, sentti ja desibeli. [viitattu

07.05.2014] Saatavissa: <http://www2.siba.fi/akustiikka/?id=13&la=fi>

Aaltomuoto 2014. Äänen ominaisuuksia. Äänen voimakkuus.[viitattu 08.05.2014]

Saatavissa: <http://aaltomuoto.wordpress.com/aani/aanitekniikan-perusteet/2-aaenen-ominaisuuksia/>

Hifiopas 2014.Huoneakustiikka. [viitattu 08.05.2014] Saatavissa:

<http://www.students.tut.fi/~jmikkola/hifiopas/akustiikka.html>

Gyptone 2014. Akustiikka. Akustiikan käsitteitä.[viitattu 09.05.2014] Saatavissa:

<http://www.gyptone.fi/akustiikka/akustiikan+k%C3%A4sitteit%C3%A4/%C3%A4%C3%A4nen+vaimennus>

Työsuojeluhallinto 2014. Melu.[viitattu 09.05.2014] Saatavissa:

<http://www.tyosuojelu.fi/fi/melu>

Työsuojeluhallinto 2014. Työsuojelujulkaisut.[viitattu 09.05.2014] Saatavissa:
http://tyosuojelujulkaisut.wshop.fi/documents/2010/05/TSO_2.pdf

Otavan opisto, äänitekniikan perusteet 2014. Ääni fysikaalisena ilmiönä. Vaihe.
[viitattu 11.05.2014] Saatavissa:
http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/muut/ammattillinen/aanityo/aanitekniikan_perusteet/aanitekniikan_perusteet.pdf?C:D=2061408&m:selres=2061408

Työterveyslaitos 2014. Melun etenemisen estäminen.[viitattu 11.05.2014]
Saatavissa:
http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/melu/meluntorjunta/melun_etenemisen_estaminen/sivut/default.aspx

Työterveyslaitos 2014. Melun etenemisen estäminen [viitattu 11.05.2014]
Saatavissa:
http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/melu/meluntorjunta/melun_etenemisen_estaminen/sivut/default.aspx

Aalto-yliopisto 2014. Meluntorjunta. Luento 01.10.2014.Teollisuusmeluntorjunta.
Valtteri Hongisto.[viitattu 27.12.2014] Saatavissa:
https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/s-89.3471/materiaali/S-89_3471_luennot_10_teollisuusmeluntorjunta.pdf

Painepiste 2014. Äänieristys. Äänieristysesite. [viitattu 27.12.2014] Saatavissa:
http://www.painepiste.fi/images/Aanieristys_esite.pdf

Projecta 2014. Tuotehaku. [viitattu 04.04.2014] Saatavissa:
<https://www.projecta.fi/catalogsearch/result/?cat=0&q=bp+1126>

Työterveyslaitos 2015. Melu. Työmelun raja- ja toiminta-arvot. [viitattu 03.03.2015] Saatavissa:
http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/melu/melun_toiminta_arvot/sivut/default.aspx

Työterveyslaitos 2015. Äänen etenemisen rajoittaminen akustoinnilla. [viitattu 20.03.15] Saatavissa:

http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/melu/meluntorjunta/aanen_etenemisen_estaminen/sivut/default.aspx

Työterveyslaitos 2015. Meluntorjunta. [viitattu 20.03.2015] Saatavissa:
<http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/melu/meluntorjunta/sivut/default.aspx>

