

Hans Tanner

# MELUTASOT JA TÄRINÄ LAIVOILLA

Opinnäytetyö

Merenkulun koulutus

2017



**Ammattikorkeakoulu**

<b>Tekijä/Tekijät</b> Hans Tanner	<b>Tutkinto</b> Insinööri AMK	<b>Aika</b> Toukokuu 2017
<b>Opinnäytetyön nimi</b> Melutasot ja tärinä laivoilla		40 sivua
<b>Toimeksiantaja</b> Xamk AMK, merenkulun TKI, tutkimuspäällikkö Justiina Halonen		
<b>Ohjaaja</b> Koulutusjohtaja Ari Helle		
<b>Tiivistelmä</b> <p>Opinnäytetyö on selvitys laivojen melutasoihin ja tärinään liittyvistä vaikutuksista, niiden ehkäisemisestä ja mittauksesta sekä niihin liittyvistä säädöksistä. Laivoilla koneistojen ja laitteiden aiheuttama melu ja tärinä vaikuttavat negatiivisesti miehistön terveyteen ja työturvallisuuteen. Merenkulkijoiden suojaksi on laadittu säädöksiä, joilla asetetaan raja-arvot melutasoille ja tärinälle. Näistä säädöksistä ei ole olemassa suomenkielisiä versioita. Melutasojen ja tärinän suuruutta voidaan mitata, ja mittauksilla vahditaan, että raja-arvoja noudatetaan. Työn tarkoituksena on tuoda alalla työskenteleville ja aiheesta kiinnostuneille helposti saatavissa olevaa tietoa melusta ja tärinästä laivoilla.</p> <p>Opinnäytetyö on kirjallisuuskatsaus, jossa on käytetty lähteinä aiheeseen liittyvää kirjallisuutta ja internetmateriaalia. Työn tavoitteena oli tehdä ytimekäs selvitys laivojen melutasoista ja tärinästä, niiden mittaamisesta sekä niihin liittyvistä vaikutuksista ja säädöksistä. Lisäksi tavoitteena oli käsitellä ehkäisykeinoja melutasojen alentamiseksi ja tärinän vähentämiseksi.</p> <p>Työn tuloksena saatiin kompakti tietopaketti aiheesta, joka palvelee merenkulkijoiden lisäksi laivasuunnittelijoita ja varustamoita. Työssä esitellään yleisesti laivojen melutasoihin ja tärinään liittyviä vaikutuksia sekä niiden mittaustapoja. Laivoihin liittyvät säädökset ovat tiivistetty työhön suomenkielellä. Lisäksi työssä esitellään tapoja vähentää melun ja tärinän syntymistä laivan suunnitteluvaiheessa sekä olemassa olevissa laivoissa rakenteellisilla muutoksilla.</p>		
<b>Asiasanat</b> melutasot, tärinä, vaikutukset, säädökset, ehkäiseminen		

<b>Author (authors)</b>	<b>Degree</b>	<b>Time</b>
Hans Tanner	Bachelor of Engineering	May 2017
<b>Thesis Title</b>		40 pages
Noise Levels and Vibration Onboard Ships		
<b>Commissioned by</b>		
Justiina Halonen, Research Manager, Xamk Seafaring RDI		
<b>Supervisor</b>		
Ari Helle, Director of Education		
<b>Abstract</b>		
<p>This thesis is a examination of the effects related to the noise levels and vibration of ships. The study also defines how to prevent and measure them and regulations related to them. Noise and vibration caused by machinery and equipment on board ships affect the health and safety of the crew negatively. There are regulations that provide protection to seafarers and set limit values for noise and vibration levels. These regulations haven't been published in Finnish. The magnitude of noise levels and vibration can be observed with different measurements, and the results can be compared to the limit values. The purpose of the thesis is to provide information about noise and vibration on ships that is easily available to the seafarers and to those interested in the subject.</p> <p>The thesis is a literature review that consists printed and internet material that is related to the subject. The main sources for the thesis are professional literature from which the main knowledge has been collected. Internet sources are technical articles, websites of different authorities and other reliable websites.</p> <p>As a result of the thesis, a compact information package that helps seafarers, ship designers and shipping companies was obtained. This thesis presents generally the effects related to the noise levels and vibration and different ways to measure them. The regulations related to the ships are summarized in this thesis in Finnish. The thesis also introduces different ways to reduce the generation of noise and vibration in the design phase of the ship and in operating ships with structural modifications.</p>		
<b>Keywords</b>		
noise levels, vibration, effects, regulations, preventing		

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	MELU JA TÄRINÄ .....	8
2.1	Melua aiheuttavat tekijät aluksella .....	9
2.2	Tärinää aiheuttavat tekijät aluksella .....	10
2.3	Terveysvaikutukset.....	12
3	SÄÄDÖKSET .....	14
3.1	SOLAS Chapter II-1 / Regulation 3-12.....	14
3.2	IMO Code On Noise Levels On Board Ships .....	15
3.3	Euroopan Unionin laatimat direktiivit.....	17
3.3.1	Meludirektiivi 2003/10/EY .....	17
3.3.2	Tärinädirektiivi 2002/44/EY .....	18
3.4	Valtioneuvoston säädökset.....	19
3.4.1	Valtioneuvoston päätös työympäristöstä aluksessa (417/1981) .....	19
3.4.2	Valtioneuvoston asetukset työntekijöiden suojelemisesta tärinästä (48/2005) sekä melusta (85/2006) aiheutuvilta vaaroilta .....	19
4	MITTAUKSET .....	20
4.1	Melutason mittaukset.....	20
4.2	Tärinän mittaukset .....	22
4.2.1	Aluksen tärinän mittaus .....	22
4.2.2	Tärinäaltistuksen mittaus .....	23
5	EHKÄISEMINEN .....	25
5.1	Suunnitteluvaihe .....	26
5.2	Rakenteellinen ehkäisy.....	29
5.2.1	Äänen herätteen hallinta .....	29
5.2.2	Ilmaa pitkin välittyvän äänen siirtoteiden hallinta .....	32

5.2.3	Runkoa pitkin välittyvän äänen siirtoteiden hallinta .....	33
5.2.4	Äänen vastepaikan hallinta .....	35
5.3	Kuulosuojaimet.....	35
6	YHTEENVETO.....	36
	LÄHTEET .....	37
	KUVALUETTELO .....	39

## TERMIT JA LYHENTEET

IMO	International Maritime Organization, kansainvälinen Merenkulkujärjestö
ISO	International Organization for Standardization, kansainvälinen standardisoimisjärjestö
Koodi	IMO Code on Noise Levels Onboard Ships -säädos
MSC	Maritime Safety Committee, IMO:n meriturvallisuuskomitea
SOLAS	Safety of Life at Sea, kansainvälinen yleissopimus ihmishengen turvallisuudesta merellä

## 1 JOHDANTO

Elämä laivalla on harvoin täysin hiljaista. Koneistojen ja laitteiden aiheuttama melu ja ääriä vaikuttavat merenkulkijoiden terveyteen sekä yleiseen hyvinvointiin. Merenkulkijoiden turvaksi on laadittu säädöksiä, joissa asetetaan raja-arvoja melutasoille ja ääriä sekä tarjotaan keinoja niiden vähentämiseksi. Myös koneistojen ja rakenteiden kestävyys takaamiseksi on erityisesti runkoa pitkin välittyvää värähtelyä rajoitettava.

Tämä opinnäytetyö on informatiivinen tiivis tietopaketti laivojen melutasoista ja ääriästä, keskittyen koneistojen ja laitteiden aiheuttamaan meluun ja ääriä. Työn alussa käsitellään meluun ja ääriä liittyviä yleisiä ominaispiirteitä sekä niiden tarkastelussa käytettäviä suureita. Tämän jälkeen tarkastellaan melua ja ääriä aiheuttavia tekijöitä aluksella sekä niiden terveysvaikutuksia miehistöön. Seuraavaksi työssä käsitellään aiheeseen liittyviä säädöksiä sekä niiden määrittämiä raja-arvoja ja ohjeistuksia, joita voidaan valvoa erilaisilla mittauksilla. Niitä käsitellään seuraavissa kappaleissa. Lopuksi työssä käsitellään keinoja tunnistaa ja ehkäistä melua ja ääriä aiheuttavia tekijöitä aluksen suunnitteluvaiheessa, sekä ehkäisykeinoja rakenteellisilla muutoksilla ja suojautumisella.

Opinnäytetyö on toteutettu XAMK:n merenkulun tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiotoiminnan yksikön toimeksiantona. Työtä lähdettiin tekemään hakemalla tietoa ja perehtymällä lähdemateriaaliin. Tämän jälkeen hankituista tiedoista lähdettiin muokkaamaan tiivistä tietopakettia, jossa olisi vain oleellinen tieto asiaan liittyen. Haastetta työn tekemiseen tarjosi useiden englanninkielisten lähteiden käyttö. Keskeisimpinä lähteinä työssä on käytetty meluun ja ääriä sekä laivan koneistoihin ja rakenteisiin liittyvää ammattikirjallisuutta. Työssä on käytetty myös luotettavia aiheeseen liittyviä internetlähteitä. Lisäksi IMO:n, Euroopan Unionin sekä Valtioneuvoston ohjeita ja sopimuksia on käytetty.

## 2 MELU JA TÄRINÄ

Melu on terveydelle haitallista ja epätoivottavaa ääntä, joka muodostuu aalto liikkeen muotoisesta ilmanpaineen vaihtelusta, jonka ihminen kokee kuuloaistimuksena. Melu syntyy yleensä mekaanisesti värähtelevästä eli tärisevästä pinnasta. Melua voidaan mitata ja se ilmaistaan desibeleinä (dB). Ihmisen kuuloon liittyvien terveysvaikutusten raja-arvona pidetään 80 desibelin äänenpainetasoa, joka käytännössä vastaa tilannetta, jossa normaalia puhetta ei kuule metrin etäisyydeltä. Äänen taajuudella eli korkeudella tarkoitetaan äänivärähdysten lukumäärää sekuntia kohti ja sen yksikkö on hertsi (Hz). Ihmisen kuuloalue on noin 20–20 000 hertsiä, raja-arvona matalille bassoäänille sekä korkeille diskanttiäänille voidaan pitää 500 hertsin taajuutta. Ihmiselle tärkeimpänä taajuusalueena voidaan pitää puheen kuulemisen taajuuksia, jotka ovat 200–4000 hertsin alueella. Tärkeä äänen ominaisuuksia kuvaava suure on myös mekaanisen värähtelyn amplitudi, joka määrittää äänen voimakkuuden. Äänen absorptio tarkoittaa ääniaallon vaimenemista, joka aiheutuu energiahäviöistä ääniaallon edetessä väliaineessa tai heijastuessa rajapinnasta. (Starck & Teräsvirta 2009, 11; Lambacka 2015; Häkkinen 1998, 217; Hentinen, Hynnä, Lahti, Nevala, Vähänikkilä & Järviluoma 2002.)

Äänikentästä aiheutuvan hetkellisen ja staattisen paineen erotuksesta syntyy äänenpaine. Äänenpainetason taajuuspainotettua arvoa sanotaan äänitasoksi. Standardoiduista mittausta varten tehdyistä taajuuspainotus-suodattimista yleisin on melun haitallisuutta mittaava A-suodatin, jonka käyttöön useimmat säädökset ja määräykset perustuvat. A-painotettua äänenpainetasoa käytetään arvioimaan henkilöön kohdistuvan äänen vahingollista vaikutusta. A-suodattimen painotus pyrkii vastaamaan ihmiskorvan herkkyyttä. Mittausten tulokset ilmoitetaan A-äänienpainetasona (dB(A)), joka määrittää A-suodattimen mukaan painotettuna eri taajuuksien äänenpainoiden summan. Toinen yleinen mittauksissa käytetty on C-taajuuspainotus, joka kuvaa hetkellisen äänenpaineen suurinta arvoa. Sen avulla voidaan arvioida impulssimelulle altistumiseen liittyviä haittavaikutuksia. (Hentinen, ym. 2002; Euroopan komissio 1. 2007; Häkkinen 1998, 217.)

Tärinä syntyy kappaleen heilahdellessa ulkoisten tai sisäisten voimien seurauksena. Käsitärinä aiheutuu työkappaleen tai -koneen pinnan värähdellessä



nopeasti välittäen liikkeen käyttäjän käteen. Koko kehon värinä aiheutuu koneiden tai ajoneuvon värinän välittyessä istuimen tai jalkojen kautta kehoon. (Euroopan komissio 2. 2007.)

Oleellisia värinään liittyviä suureita ovat sen voimakkuus ja taajuus. Värinän voimakkuudella voidaan tarkoittaa sen siirtymää metreinä (m), nopeutta metreinä sekunnissa (m/s) tai kiihtyvyyttä metreinä sekunnissa sekuntia kohden ( $m/s^2$ ). Yleensä värinää kuvataan sen kiihtyvyyden mukaan, koska useimmat värinämittarit antavat kiihtyvyyteen liittyvän mittaustuloksen. Taajuus tarkoittaa värisevän kappaleen edestakaisen liikkeen määrää. Sen yksikkönä käytetään hertsiä, joka kertoo syklien määrän sekuntia kohden. Merkittävänä pidetyt taajuusalueet ovat käsitärinässä 8–1000 Hz sekä kokokehontärinässä 0,5–80 Hz. (Euroopan komissio 2. 2007.)

## 2.1 Melua aiheuttavat tekijät aluksella

Monet työtehtävät aluksella vaativat yhteistyön lisäksi hyvää kommunikointia miehistön kesken. Meluista ympäristö yhdessä miehistön välisten äidinkielellisten erojen kanssa aiheuttavat uhan työturvallisuudelle. Pääasiallisesti melua aluksella aiheuttavat koneistot, propulsiojärjestelmät, pumput ja tuulettimet. Toissijaisia melun lähteitä ovat järjestelmissä liikkuvat nesteet, sähkömuuntajat sekä laivan liikkeet. (Watson, Farley & Williams 2014; Rawson & Tupper 2001, 359.)

Melu välittyy pääosin lähdeä ympäröivää ilmaa pitkin tai runkoa pitkin, johon lähde on kiinnitetty. Toimenpiteet melun rajoittamiseksi ovat hankalia, sillä ilmassa liikkuva ääni voi myös aiheuttaa herätteitä runkorakenteessa, johon se törmää aiheuttaen rakenteen melusäteilyn ympäröivään ilmaan. Esimerkiksi propulsorin toiminnassa suuri osa melusta välittyy veteen, joka aiheutuu painenvaihtelun vaikuttaessa laivan runkoon. Tämä aiheuttaa runkorakenteessa värähtelyä, joka välittää melua laivaan sekä takaisin veteen. Muut välitysmoreitit kulkevat potkuriakselin ja sen tukilaitteiden kautta. (Rawson & Tupper 2001, 359.)

Erittäin tehokkaita ilmaa ja runkoa pitkin välittyvän melun aiheuttajia ovat keskinopeat dieselmoottorit. Ne aiheuttavat melua hyvin laajalla taajuusalueella

noin 8000 hertsiin saakka. Moottorin virityksaste vaikuttaa aiheutuneen melutason voimakkuuteen ja moottoreiden väliset yksilölliset erot hankaloittavat ennusteiden ja laskelmien määrittämistä. Moottorista aiheutuvaa runkoa pitkin välittyvää melua syntyy varsinkin sylinterin palamistapahtumasta, kaasujen virtauksista sekä mekanismien iskumaisista kontakteista. Kuormituksen ja pyörimisnopeuden nostaminen lisää herätteitä. (Räisänen 2000, 13-3; Häkkinen 1997, 231.)

Hidaskäyntisen dieselmoottorin aiheuttama melutaso painottuu keskinopean moottorin tavoin matalille taajuuksille. Korkeilla taajuuksilla moottorista aiheutuva ilmaa pitkin välittyvä melu johtuu usein ahtimen vihellyksestä. Se ei kuitenkaan yleensä kantaudu haitallisena tiloihin, jotka sijaitsevat kauempana moottorista. Hidaskäyntisen moottorin aiheuttama ilmaa pitkin välittyvä melu on vaimeampaa kuin vastaavan tehoisen keskinopean moottorin ja se on myös konehuoneessa työskenteleville miellyttävämpi hiljaisuutensa vuoksi. (Räisänen 2000, 13-3.)

Hammasvaihteet aiheuttavat ilmaa ja runkoa pitkin välittyvää melua. Yksittäisen melupiikin takia niistä aiheutuva melu voi olla häiritsevää jo matalilla melutasoilla. Hammasvaihteista aiheutuvan melun taajuusalueet ovat hammastaa-juudet, niiden monikerrat ja hammasrattaiden akseleiden pyörimistaajuuksiin yhdistyneet taajuudet. (Räisänen 2000, 13-3.)

Potkurin kavitoinnin aiheuttamat painepulssit rungon pinnalla synnyttävät värähtelyä ja melu etenee runkoa pitkin välittyvänä äänenä pitkin laivaa. Potkurin aiheuttamaa melua voidaan vähentää käyttämällä potkureissa highly-skew-lappoja, joilla on suoranainen vaikutus melun vähentymiseen sekä sivuvaikutus värähtelyn pienenemiseen. (Räisänen 2000, 13-4.)

## 2.2 Tärinää aiheuttavat tekijät aluksella

Mekaanisen värähtelyn eli tärinän herätevoimat aiheutuvat laivalla muun muassa aallokosta, potkurista, pää- ja apumoottoreista sekä talvella jään murtamisesta. Erilaisten tärinäherätteiden tärkein ominaisuus jaottelun kannalta on niiden esiintymistaajuus, jolla voidaan määrittellä, missä laivan osissa tärinää syntyy ja kuinka sitä voidaan ehkäistä. Toinen tärkeä ominaisuus on tärinän

kesto: se voi olla transienttia eli lyhytkestoista tai stationääristä eli jatkuvaa värähtelyä. (Räisänen 2000, 14-1.)

Aallokossa kulkeva laiva on altis vaihteleville paineille runkonsa ympärillä. Runko on joustava ja siksi osa aaltojen aiheuttamasta energiasta välittyy runkoon aiheuttaen värähtelyä siinä sekä paikoittain muissa kohteissa. Nämä värähtelyt jaetaan tyypillisesti kimmoiseen värähtelyyn, joka on kohtalaisen jatkuvaa ja vakaata värähtelyä sekä vipuvoimaiseen värähtelyyn, joka on lyhytkestoista värähtelyä. Yleisesti pystysuorat värähtelyt ovat tärkeimpiä huomioida, sillä aaltojen aiheuttamien voimien pystysuorat komponentit ovat vallitsevia. Kuitenkin myös vaakasuoralla ja vääntävällä värähtelyllä voi olla suuri vaikutus erityisesti aluksilla, joilla on suuria avoimia alueita, kuten konttialukset tai lentotukialukset. (Rawson & Tupper 2001, 351.)

Laivan dieselmoottorin perustuksiin sekä siihen kytkettyihin laitteisiin aiheuttaman kuorman värähtelöominaisuuksia pystytään yleensä arvioimaan valmistajan antamien arvojen perusteella. Ongelma syntyy, jos värähtelyn kuorman taajuus on lähellä rungon tai kytkettyjen laitteiden luontaista taajuutta, silloin pienestäkin häiriöstä aiheutuu resonoivaa vastetta. Moottorin aiheuttamat häiriöt voidaan jakaa ulkoisista voimista ja momenteista tai propulsiojärjestelmän voimansiirron aiheuttamasta vääntävästä värähtelystä johtuviksi. Moottorin sisäiset voimat ja momentit yleensä imeytyvät moottorin käyntiin. Edestakaisin liikkuvat koneistot tuottavat voimakkaita voimia matalilla taajuuksilla. Pyörivät koneistot, kuten turbiinit ja sähkömoottorit tuottavat yleensä voimia, jotka ovat voimakkuudeltaan matalia ja taajuudeltaan korkeita. Propulsiojärjestelmästä aiheutuvat värähtelöherätteet voivat aiheutua linjaamattoman akselin ja epätasapainoisen potkurin aiheuttamien voimien ollessa samalla taajuusalueella akselin pyörimisnopeuden kanssa. (Harrington 1992, 113; Rawson & Tupper 2001, 350-351.)

Moottorin ulkoiset voimat ja momentit kasvavat mäntien ja käyntikoneiston liikkeestä, joka aiheuttaisi kiinnittämättömälle moottorille kääntymistä poikkiakselin, pituusakselin ja pystyakselin suhteen. Moottorin ollessa asennettuna laivaan, nämä häiriöt voivat kasvattaa runkorakenteen antamaa vastetta. (Harrington 1992, 113.)

Poikkiakselin suhteen vaikuttavia voimia kompensoivat niin sanotut guide force -voimat voivat olla suuria ristikkapalemootoreissa. Tämä johtuu moottorien pitkäikäisyydestä. Näiden voimien seurauksena tukemattoman moottorin yläpään poikittaissuuntainen heiluminen voisi olla niin suurta, että koneperustaan aiheutuisi repeämiä. Tämän vuoksi moottorin yläpää on kiinnitetty aluksen runkoon tukeviin rakenteisiin. Koneperustan lujuuden ja massan ollessa riittävän suuria, voidaan momenttien aiheuttamat ongelmat välttää. Ongelmallisissa hidaskäyntisissä 4-, 5- ja 6-sylinterisissä moottoreissa ongelmien syntyä voidaan välttää tasapainotuslaitteilla, jotka ovat epäkeskomassoja kiinnitettynä moottorin molempiin päihin. Näiden pyörivien massojen yhteisvaikutuksen seurauksena ulkoiset momentit kumoutuvat. (Häkkinen 1998, 216.)

Vääntävää värähtelyä syntyy jaksoittaisen vääntömomentin esiintyessä päällekkäin moottorin kuormalleen lähettämän vakaan vääntömomentin kanssa. Jaksoittaisen vääntömomentin lähteenä on moottorin erilliset työtahdit, jotka kehittävät vääntöpulsseja aina jokaisen työtahdin kohdalla kampiakselin kierroksen aikana. Tämä ilmiö on yleensä vallitseva vääntävän värähtelyn lähde laivoilla, jotka ovat varustettu hidaskäyntisellä dieselmoottorilla ja suoralla kytkennällä potkuriakseliin. (Harrington 1992, 113.)

Laivalla esiintyvää värähtelyä voidaan arvioida värähtelyanalyysien avulla, jotka tyypillisesti koostuvat herätteen arvioinnista, rakenteen värähtelyominaisuuksien arvioinnista sekä vaimennuksen huomioinnista. Herätteen arvioimisessa määritetään amplitudi, jaksollisuus, taajuus ja vaikutuspaikka. Rakenteen ominaisuuksista määritetään ominaistajuuDET ja -muodot sekä niihin vaikuttavat rakenteen massa ja jäykkyys. Vaimennus vaikuttaa oleellisesti värähtelyyn pienentämällä värähtely-amplitudeja erityisesti resonanssitajuuksien lähellä. (Räisänen 2000, 14-1.)

### 2.3 Terveysvaikutukset

Aluksella syntyvillä äänillä voi olla vaihtelevia vaikutuksia riippuen äänitasosta, taajuudesta ja amplitudista. Odottamattomat ajoittaiset korkeat äänet ovat tunnetusti häiritsevempiä kuin jatkuvat matalat äänet. Melun terveyteen liittyvät vaikutukset voidaan jakaa kuulovaikutuksiin ja kuulon ulkopuolisiin vaikutuksiin. Ainoa melusta aiheutuva selkeästi osoitettavissa oleva terveysvaikutus

on kuulovaurio. Voimakas melu aiheuttaa sisäkorvan vaurioitumista, joka heikentää kuuloa pysyvästi. Erityisesti äkilliset voimakkaat iskuäänet eli niin sanottu impulssimelu on haitallista kuulolle. (Starck & Teräsvirta 2009; Grech, Horberry & Koester 2008, 91.)

Melu voi vahingoittaa elimistöä psyykkisesti ja fyysisesti aiheuttamalla stressiin yhteydessä olevia oireita kuten unihäiriöitä, lihasjännitystä ja pulssin kiihtymistä. Myös henkinen kuormitus, ärtymys sekä suorituskyvyn heikkeneminen ovat melun aiheuttamia terveyshaittoja. (Starck & Teräsvirta 2009.)

Liiallinen tärinä aiheuttaa ihmiselle tapaturmariskiä sekä terveyshaittoja. Säännöllinen altistuminen käsitärinälle voi pitkällä aikavälillä aiheuttaa käsitärinöireyhtymään liittyviä vammoja, johon sisältyvät käsien verenkiertohäiriöt sekä käsien ja käsivarsien hermostollisten toimintojen ja liikkuvuuden heikentyminen. Verenkiertoon liittyvät häiriöt ilmenevät usein valkosormisuutena, joka johtuu sormien verenkierron tilapäisestä estymisestä. Valkosormisuuden ilmeessä työntekijä saattaa menettää sormiensa tuntoaistin sekä käsittelytaidon, jonka seurauksena työsuoritus heikentyy sekä tapaturmariski kasvaa. Hermostolliset häiriöt voivat esiintyä käsien ja sormien pistelynä sekä tunnottomuutena. Lisäksi normaali tuntoaisti, käsien näppäryys sekä lämpötilan havainnoimiskyky voivat heikentyä. Pitkäaikaisesti käsitärinälle altistuvilla työntekijöillä on havaittu myös lihasten heikkoutta, käsien ja käsivarsien kipuja sekä yläraajojen jänteiden ja jännetuppien tulehduksia. (Euroopan komissio 2. 2007.)

Koko kehon tärinä aiheuttaa kehoon liikkeitä ja voimia, joiden oireita voivat olla epämukavuuden tunne, suorituskyvyn heikkeneminen ja selkävaivasta kärsivälle vaivan pahentuminen. Lisäksi kehon matalataajuinen tärinä voi aiheuttaa pahoinvointia. Pitkäaikaiseen koko kehon tärinän altistumiseen liittyvät tutkimukset ovat osoittaneet, että korkea terveysriski sijoittuu lannerangan, kaulan ja hartioiden alueelle. Jotkut tutkimukset ovat antaneet myös näyttöä ruoansulatusjärjestelmään, naisten lisääntymiselimiin ja ääreisverenkiertoon liittyvistä vaikutuksista. Tutkimustuloksien perusteella voidaan todeta koko kehon tärinän aiheuttavan alaselkäkipuja, välilevytyriä ja selkärangan varhaista rappeutumista, joihin vaikuttavat myös monet muut asiat kuten työasento sekä yksilölliset erot lihaskunnossa. (Euroopan komissio 2. 2007.)

### 3 SÄÄDÖKSET

#### 3.1 SOLAS Chapter II-1 / Regulation 3-12

SOLAS -säädos suojautumisesta melua vastaan koskee seuraavia laivoja, joiden bruttovetoisuus on 1600 tonnia tai sitä enemmän:

- Rakennus-sopimus on tehty 1.7.2014 tai sen jälkeen.
- Rakennus-sopimuksen puuttuessa laivan köli on laskettu eli kölin rungon perusrakenteet ovat valmistuneet tai ne ovat vastaavassa rakennusvaiheessa 1.1.2015 tai sen jälkeen.
- Laivan toimitus on 1.7.2018 tai sen jälkeen.

Tilanteessa, jossa lippuvaltio eli sen maan hallitus, jonka lipun alla laiva tulee seilaamaan, pitää yksityiskohtien noudattamista tarpeettomana tai epäoleellisena, voidaan edellä mainittuja ehtoja olla noudattamatta. (IMO 2014, 52.)

Säädos koskee myös laivoja, jotka ovat toimitettu ennen 1.7.2018 sekä:

- Rakennus-sopimus on tehty ennen 1.7.2014 ja laivan köli on laskettu tai on vastaavassa rakennusvaiheessa 1.1.2009 tai sen jälkeen, mutta ennen 1.1.2015.
- Rakennus-sopimuksen puuttuessa laivan köli on laskettu tai on vastaavassa rakennusvaiheessa 1.1.2009 tai sen jälkeen, mutta ennen 1.1.2015.

Laivat tulee olla rakennettu MSC:n resoluutiolla MSC.337(91) hyväksymän Code on Noise Levels On Board Ships -säädöksen mukaisesti tavalla, jolla saadaan vähennettyä laivan sisäistä melua ja suojattua ihmisiä melulta. Koodissa esitettyjä mittauksia on suoritettava, jotta koneosaston melutasot saadaan lippuvaltion määräämille tasoille. (IMO 2014, 52-53.)

Jos melua ei saada riittävästi vähennettyä lähteestään, pitää meluinen kohde eristää tai erottaa. Tilan vaatiessa miehitystä, tulee tilassa olla melulta suojainen paikka. Henkilölle, joka on veloitettu työskentelemään meluisissa tiloissa, täytyy olla kuulosuojaimet käytettävissä. (IMO 2014, 52.)

### 3.2 IMO Code On Noise Levels On Board Ships

Code On Noise Levels On Board Ships on Kansainvälisen Merenkulkujärjestö IMO:n laatima säädös, joka on tarkoitettu tarjoamaan kansainväliset standardit kuulon suojaamiseen laivoilla SOLAS chapter II-1/ regulation 3-12 -säädöksen nojalla. Päätöslauselmalla MSC.337(91) se on hyväksytty pakolliseksi säännöksi kansainväliselle liikenteelle. Standardeja on kehitetty huomioiden tyypillisimpiä matkustaja- ja rahtialuksia. Vaikka koodi on laillisesti pakollinen työkalu SOLAS-säädöksen alla, jotkut sopimusehdot koodista ovat vain suosituksia tai informatiivisia. (IMO 2012.)

Vaatimukset ja suositukset ovat tehty melutasojen ja altistumisen mittaamista varten. Tarkoituksena on suojella merenkulkijaa kuulon heikentymisen riskiltä olosuhteissa, joissa melun vähentäminen turvalliselle tasolle ei ole mahdollista. Lisäksi ajatellen puhekommunikoinnin tarvetta sekä hälytysäänien kuuluvuutta, ne ovat tehty ylärajojen asettamiseksi hyväksyttävälle melutasoille kaikkiin tiloihin, joihin merenkulkijat pääsevät. Koodissa huomioidaan ainoastaan aluksen koneistojen ja propulsiolaitteiston aiheuttama melu. Tuulen, aaltojen tai jään aiheuttamaa melua ei huomioida. Taulukossa 1. on koodissa asetetut raja-arvot melulle eri osastoilla laivan bruttovetoisuuden mukaan. (IMO 2012.)

Taulukko 1. Eri osastoille määritellyt melun raja-arvot ilmaistuna A-painotettuina desibeleinä (dB(A)). (IMO 2012.)

Designation of rooms and spaces	Ship size	
	1,600 up to 10,000 GT	≥10,000 GT
<b>4.2.1 Work spaces (see 5.1)</b>		
Machinery spaces	110	110
Machinery control rooms	75	75
Workshops other than those forming part of machinery spaces	85	85
Non-specified work spaces (other work areas)	85	85
<b>4.2.2 Navigation spaces</b>		
Navigating bridge and chartrooms	65	65
Look-out posts, incl. navigating bridge wings and windows	70	70
Radio rooms (with radio equipment operating but not producing audio signals)	60	60
Radar rooms	65	65
<b>4.2.3 Accommodation spaces</b>		
Cabin and hospitals	60	55
Messrooms	65	60
Recreation rooms	65	60
Open recreation areas (external recreation areas)	75	75
Offices	65	60
<b>4.2.4 Service spaces</b>		
Galleys, without food processing equipment operating	75	75
Serveries and pantries	75	75
<b>4.2.5 Normally unoccupied spaces</b>		
Spaces referred to in section 3.14	90	90

Koodissa asetetaan vaatimukset luotettavalle mittauslaitteistolle sekä mittausajankohdan ja -paikan määrittämiselle. Lisäksi se asettaa vaatimukset koskien suurinta äänenpainetasoa huoneissa ja tiloissa, miehistön meluallistusta, asuintilojen välistä akustista eristystä sekä kuulosuojainten ja varotuskylttien käyttöä. Koodin loppuun on liitetty pohja äänitutkimusraportille, ohjeistus turvallisuusjohtamisjärjestelmän meluun liittyville ongelmille sekä yksinkertaistettu menettelytapa melulle altistumisen määrittämiseksi. (Watson, Farley & Williams 2014.)

Teknologian ja turvallisuusjohtamisen kehityksen myötä myös sääntelyt ja suositukset kehittyvät, jonka vuoksi lippuvaltioita kehoitetaan jakamaan laivayhtiöiltä sekä laitteiden suunnittelijoilta saamaansa kokemusta ja informaatiota eteenpäin parantaakseen koodia. (IMO 2012.)



Koodi koskee SOLAS Chapter II-I / Regulation 3-12 -sääöksessä määrättyjä aluksia pois lukien seuraavat alustyytit:

- kantosiipialukset
- nopeat lautat
- kalastusalukset
- putkenlaskuproomit
- nosturiproomit
- porauslautat
- huvijahdit
- sota-alukset
- ruoppausproomit

### 3.3 Euroopan Unionin laatimat direktiivit

#### 3.3.1 Meludirektiivi 2003/10/EY

Euroopan Unioni laatimassaan direktiivissä 2003/10/EY määrittelee työntekijöiden terveyteen ja turvallisuuteen liittyvät vähimmäisvaatimukset koskien melulle altistumisen aiheuttamia riskejä. Vaatimuksia sovelletaan toimintaan, jossa työntekijä altistuu tai saattaa altistua työtehtävissään melulle. Suomessa valtioneuvoston asetus 85/2006 asettaa vastaavat ohjeet melulle altistumiselle. (Lambacka 2015; Meludirektiivi 2003/10/EY.)

Meludirektiivissä määritellään työssä aiheutuvalle melulle toiminta- ja raja-arvot, jotka on säädetty työnantajien valvontavelvollisuuden selkeyttämiseksi. Altistumisen raja-arvo määritetään kahdeksan tunnin melualtistumisen tason keskiarvosta. Alemmalla toiminta-arvolla, joka on 80 dB(A), tarkoitetaan altistusarvoa, josta aiheutuva terveystarve on vähäistä suurempi, mutta sitä korkeammat arvot vaativat jo estäviä toimenpiteitä kuulovaurion välttämiseksi. Ylempi toiminta-arvo on 85 dB(A) ja sen aiheuttama riski on hyväksyttävissä, mutta toimenpiteet arvon alentamiseksi on aloitettava työnantajan ja työntekijän puolesta. Suurimmaksi altistusarvoksi on määritetty altistumisen raja-arvo 87 dB ja impulssimelussa 140 dB, joka ei saa ylittyä. Ylittymisen tapahtuessa

on välittömästi aloitettava toimenpiteet altistumisen ja terveysriskien vähentämiseksi. Meluallistuksen tarkoituksenmukaista arviointia varten käytetään objektiivista mittausmenetelmää viittaamalla yleisesti tunnustettuun ISO standardiin 1999:1990, jossa määritellään meluallistus kaiken työmelun osalta. Standardissa määritellään myös työnantajan velvoitteet riskien määrittämisessä ja arvioinnissa. (Lambacka 2015; Meludirektiivi 2003/10/EY.)

### 3.3.2 Tärinädirektiivi 2002/44/EY

Euroopan Unionin laatimassa tärinädirektiivissä 2002/44/EY asetetaan vähimmäisvaatimukset työntekijöiden terveyttä ja turvallisuutta koskien työtehtävissä, joissa altistutaan tärinän aiheuttamille riskeille. Ensimmäiseksi direktiivissä laaditaan toimenpiteet, joilla suojellaan työntekijöiden terveyteen ja turvallisuuteen liittyville riskeille altistumista. Toimenpiteillä varmistetaan työntekijöiden terveys ja turvallisuus sekä pyritään luomaan perusta vähimmäissuojalle kaikkien yhteisöjen työntekijöille, jotta vältettäisiin mahdollinen vääristynyt kilpailu. (Tärinädirektiivi 2002/44/EY.)

Vaatimuksissa jäsenvaltioita kehoitetaan pitämään niitä voimassa tai asettamaan tiukempia vaatimuksia sekä ennen kaikkea asettamaan päivittäisiä alempia toiminta- ja raja-arvoja tärinälle altistumiselle. Tehokkainta tärinäallistuksen vähentämistä on toteuttaa ehkäisytoimenpiteitä jo työtilojen suunnitteluvaiheessa sekä valita työkalut ja -menetelmät sen mukaan, että riskejä saadaan vähennettyä jo niiden syntyvaiheessa. Tärkeänä keinona pidetään myös työnantajan toteuttamat teknisen kehityksen ja tieteellisen tietämyksen edellyttämät mukautukset koskien tärinäallistusta, joilla parannetaan työntekijöiden suojelua terveyteen ja turvallisuuteen liittyvissä asioissa. (Tärinädirektiivi 2002/44/EY.)

Meri- ja lentoliikenteessä on syytä säätää mahdollisuuksia poikkeuksiin, sillä näillä aloilla ei aina ole mahdollista noudattaa kokokehotärinälle laadittuja allistuksen raja-arvoja. Poikkeustapaukset kuitenkin vaativat asianmukaista perustelua. (Tärinädirektiivi 2002/44/EY.)

Direktiivissä asetetaan kokokehotärinälle standardoidulle kahdeksan tunnin vertailuajalle allistuksen raja-arvoksi  $1,15 \text{ m/s}^2$  sekä toiminta-arvoksi  $0,5 \text{ m/s}^2$ .

Käsitärinän osalta raja-arvo on 5 m/s<sup>2</sup> ja toiminta-arvo on 2,5 m/s<sup>2</sup>. Kokokehon- sekä käsitärinän altistumista mitataan direktiivissä esiteltyjen säädösten perusteella. Suomessa vastaavat altistuksen toimintaraja-arvot ovat määritetty myös valtioneuvoston päätöksessä 48/2005. (Tärinädirektiivi 2002/44/EY.)

### 3.4 Valtioneuvoston säädökset

#### 3.4.1 Valtioneuvoston päätös työympäristöstä aluksessa (417/1981)

Valtioneuvoston päätöksen 417/1981 artikkelit 19–23 koskevat melua ja tärinää. Niissä määrätään, että alukset tulee mahdollisuuksien mukaan rakentaa siten, ettei melutaso ylitä 85 dB (A) arvoa, eikä työntekijälle vaarallista tärinää esiintyisi työtiloissa joissa jatkuvasti työskennellään. Aluksilla, joilla ajetaan vain lyhyen aikaa vuorokaudessa sekä jatkuvasti jäissä kulkevilla aluksilla sallitaan 10 dB korkeampia melutasoja. Melutason ylittäessä 85 dB (A) aluksen sisätiloissa, täytyy tilan sisäänkäynnillä olla varoitus melusta sekä vaatimus kuulosuojainten käytöstä. Yli 400 tonnin aluksissa melutason ylittäessä 85 dB (A), tulee konehuoneen yhteyteen olla sijoitettuna valvontahuone tai muu äänieristetty tila. Alle 65 tonnisen aluksen keittiön ja ohjaamon melutaso ei saa ylittää 85 dB (A). Melunmittauksista on toimitettava työsuojeluhallitukselle selvitys. Tilanteessa, jossa melunmittaukset osoittavat annettujen raja-arvojen ylittyvän selkeästi, täytyy melutason alentamiseksi ryhtyä toimenpiteisiin. (Lakikoelma 2005, 30-31.)

#### 3.4.2 Valtioneuvoston asetukset työntekijöiden suojelemisesta tärinästä (48/2005) sekä melusta (85/2006) aiheutuville vaaroilta

Valtioneuvoston asetukset ovat työturvallisuuslain (738/2002) nojalla säädetty, tarkoituksena on suojella työntekijöitä työssä aiheutuville vaaroilta ja haitoilta, jotka voivat aiheutua tärinälle (48/2005) ja melulle (85/2006) altistumisesta. Asetuksissa on määrätty tärinä- ja melualtistukselle toiminta- ja raja-arvot, sekä työnantajaa koskevat velvoitteet, jotka näiden arvojen ylittämisestä seuraavat. Lisäksi asetuksessa annetaan ohjeet arviointien ja mittausten suorittamiseen, riskin arviointiin sekä tärinän- ja meluntorjuntaohjelman laatimiseen. (Finlex 2005; Finlex 2006.)

## 4 MITTAUKSET

### 4.1 Melutason mittaukset

Melutason mittauksissa äänenpainetasen lukemat otetaan käyttämällä päivit-  
täistä meluallistusta kuvaavaa A-taajuuspainotettua suodatinta sekä kovien  
impulssiäänien huippuarvoa kuvaavaa C-taajuuspainotettua suodatinta. (Eu-  
roopan komissio 1. 2007.)

Merikoeajossa suoritetuissa melutason mittauksissa IMO:n Koodin mukaan  
laiva tulisi olla lastattuna tai ottanut painolastia. Lisäksi laivan kurssi tulisi olla  
mahdollisimman suora ja nopeuden tulisi olla normaali operointinopeus. Kaik-  
kien koneistojen, navigaatiojärjestelmien, radioiden ja tutkien tulee olla nor-  
maalissa operointitilassa läpi koko mittausjakson. (IMO 2012.)

Satamassa suoritettuihin mittauksiin liittyen, laivan lastinkäsittelylaitteista ai-  
heutuvan melun ylittäessä sille asetetut ylärajat työalueella tai asumistiloissa,  
ovat melutason mittaukset aiheellisia. Mittausten aikana koneistojen tulee olla  
normaalissa satamaoperointi tilassa. (IMO 2012.)

Melutasoa voidaan mitata äänitasomittarilla, joka antaa suoran lukeman melu-  
tasosta. Äänitasomittarin käytön aikana käyttäjä valvoo mittausta, ja siksi se  
on yleensä tarkempi kuin meluannosmittari. Mittaus suoritetaan jokaisessa  
meluisassa tilassa, jossa henkilökunta työskentelee, siten että mittari on ase-  
tettu henkilön pään kohdalle osoittaen äänenlähdettä kohti. Yksinkertaisilla ää-  
nitasomittareilla voidaan mitata kartoittavasti työtilojen keskimääräistä äänita-  
soa, monipuolisemmilla mittareilla saadaan laaja-alainen kuva melun ominai-  
suuksista ja erityispiirteistä. (Euroopan komissio 1. 2007; MIP.)



Kuva 1. Wöhler SP 22 äänitasomittari (Aimtec.)

Meluannosmittari on henkilökohtaisen meluallistuksen mittaamiseen tarkoitettu äänitasomittari, jota käyttäjän on tarkoitus kantaa mukana esimerkiksi työvuoron ajan. Laitteesta lähtevä kaapeli, jonka päässä on mikrofoni, kiinnitetään lähelle käyttäjän korvaa. Meluallistusta mitataan tavallisesti 6–8 tuntia. (Euroopan Komissio 1. 2007; MIP.)

Mittauksilla saadaan selvitettyä prosentuaalinen meluannos verrattuna ylempään toiminta-arvoon, korkein huippuäänepainetaso ja sen esiintymisajankohta sekä keskimääräinen äänitaso, jolle käyttäjä on altistunut työvuoron aikana. Näiden tuloksien perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä meluntorjuntaohjelman tarpeellisuudesta ja kuulosuojainten käytöstä työtiloissa. (MIP.)



Kuva 2. Larson & Davis Spark -meluannosmittari (MIP.)

## 4.2 Tärinän mittaukset

### 4.2.1 Aluksen tärinän mittaus

Tärinään liittyvien ongelmien ilmaantuessa on suoritettava tärinämittauksia. Lisäksi mittauksia voidaan suorittaa kunnonvalvonnan ja huollon yhteydessä. Pyörivässä koneistossa mittaustulokset otetaan pääasiassa laakeripesiltä mahdollisimman läheltä akselia. Lukemia voidaan ottaa myös koteloilta, tulta ja muista olennaisista pisteistä. Tärinän voimakkuuteen ja taajuuteen liittyvät mittaustulokset tallennetaan manuaalisesti tavallisissa mittaustulokkeissa, mutta jotkut laitteet sisältävät myös mittaustiedonkerääjän, josta mittaustulokset voidaan syöttää tietokoneeseen analyysiä varten. Myös erilaisia näyttöpäätteitä sekä laitteita sisäänrakennetulla analyysitoiminnolla on saatavissa. (McGeorge 1991, 153.)



Kuva 3. Wärtsilän tärinäanalysointilaitteet propulsiojärjestelmille sekä muille pyöriville laitteille. (Wärtsilä.)

Aluksen tärinää voidaan mitata myös seuraavilla kokonaisuuksilla, jotka on jaoteltu suoritustavan ja päämäärän perusteella: tärinäkoe laiturissa ja merikoeajomittaukset. Tärinäkokeella pyritään todentamaan laivalle lasketut tärinäominaisuudet sekä määrittämään tarvittavat suureet, jotta todellisten käyttötilanteiden värähtelyä olisi mahdollista ennustaa. Kokeessa tärinän sijoite-

taan lähelle aluksen pääasiallisia herätelähteitä ja hiljalleen muutetaan täristimen taajuutta, jotta löydetään rakenteen resonointitaajuudet. Lisäksi määrätään jokaiseen ominaistaajuuteen liittyvä värähtelymuoto, yleistetty massa ja vaimennus. Merikoeajomittauksissa voidaan määrittää aluksen värähtelytaso todellisissa käyttöolosuhteissa sekä verrata mitattuja ja sallittuja arvoja. Tulosten pohjalta saadaan kartoitettua mahdolliset ongelma-alueet sekä kehitettyä hallintakeinot värähtelyn pienentämiseksi näillä alueilla. (Räisänen 2000, 14-18.)

#### 4.2.2 Tärinäaltistuksen mittaus

Työntekijän tärinälle altistumisen taso on mitattava ja arvioitava sen aiheuttaman terveys- ja työturvallisuusriskin suuruus. Tärinäaltistuksen mittauksissa suunnittelu ja toteutus täytyy tehdä asianmukaisesti ja mittaajan täytyy olla työterveyshuollon ammattilainen tai muu henkilö, joka on kykenevä suorittamaan tärinämittauksia ja -arvioita. (Työsuojeluhallinto 2007.)

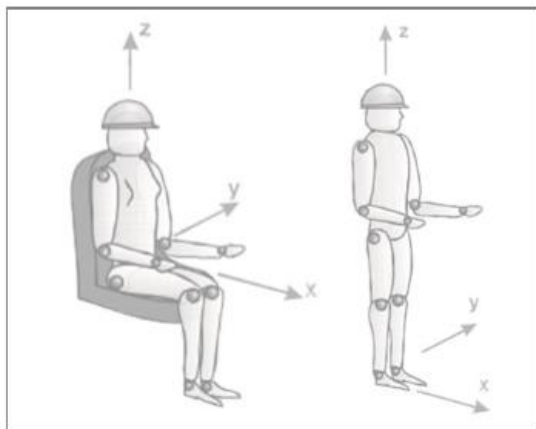
Käsitärinämittauksista saadut tulokset pitäisi vastata työkalun tai prosessin työntekijälle aiheuttamaa keskimääräistä tärinäaltistusta työpäivän aikana. Käyttöolosuhteet ja mittausjaksot ovat tärkeää valita sen mukaan, esimerkiksi kaksin käsin pideltävästä työkalusta on tehtävä mittaukset molemmista käsistä ja tärinäaltistuksen määrittämiseen on käytettävä suurinta mittaustulosta. (Euroopan komissio 2. 2007.)

Käsitärinämittauksia voidaan tehdä kolmiakselisella kiihtyvyyssanturilla, joka kiinnitetään kiinnitysadapterin avulla käytettävään työkaluun. Mittauksia voidaan tehdä myös hanskoilla, joihin kiihtyvyyssanturi on integroitu ja mukana on mittausten rekisteröintilaite. (MIP.)



Kuva 4. HealthVib HAV -käsitärinämittari (MIP.)

Kehontärinämittauksissa käytetään myös kolmiakselista kiihtyvyyssanturia, joka on niin sanotun istuintyynyn sisällä. Riippuen tärinän välittymisreitistä, käyttäjä istuu tai seisoo tyynyn päällä. Kehontärinässä merkittävänä taajuusalueena pidetään 0,5–80 Hz ja koska vaurioriski ei ole sama kaikilla taajuuksilla, vaurion todennäköisyyden arvioimiseen eri taajuuksilla käytetään kahta erilaista taajuuspainotusta. Toinen taajuuspainotus on  $W_d$ -painotus, jota käytetään kahdella sivuakselilla X ja Y. Toinen taas on  $W_k$ -painotus, jota käytetään kohtisuoralla z-akselilla. Kuvassa 5. havainnollistetaan painotettujen akselien suunnat ihmiskehoon nähden. (MIP; Euroopan komissio 2. 2007.)



Kuva 5. Tärinän mittausakselit. (Euroopan komissio 2. 2007.)

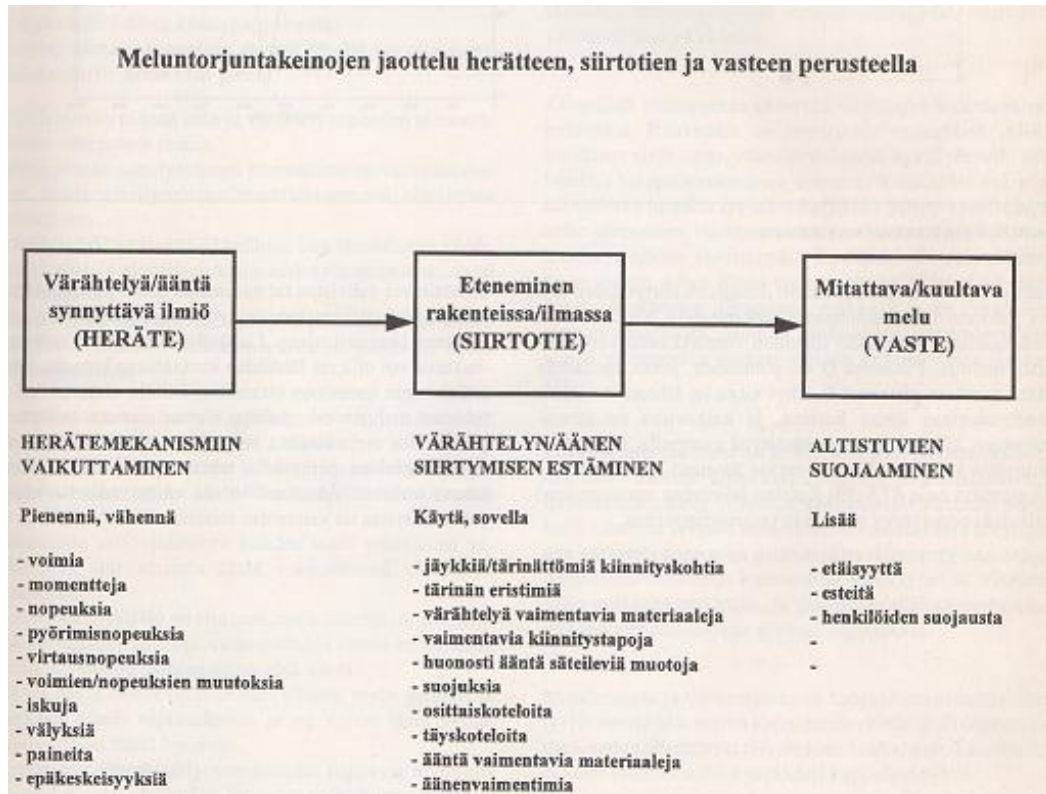




Kuva 6. HealthVib WBW300 – kokokehon värähtelymittauslaite. (MIP.)

## 5 EHKÄISEMINEN

Melun syntyminen koostuu kolmesta elementistä, jotka ovat heräte, siirtotie ja vaste. Heräte on voimavaikutus, joka toimii melun alkusyynä, ja vaste on mitattava suure, jossa määritellään yleensä melun tai värähtelyn voimakkuus tietyssä pisteessä. Kuvassa 5. on lyhyesti esitelty tapoja torjua melua näiden kolmen elementin kautta. (Tanttari & Saarinen 1995, 11.)



Kuva 7. Meluntorjuntakeinojen jaottelu. (Tanttari & Saarinen 1995, 15.)

## 5.1 Suunnitteluvaihe

Melun esiintymisen kannalta katsottuna, laivan yleisjärjestelyssä sijoitettavat tilat ovat hyvin eriarvoisia. Tämän vuoksi tehokas melunhallintakeino on sijoittaa meluttomaksi haluttu tila mahdollisimman kauas melun herätteistä, esimerkiksi pituussuunnassa yhdellä kaarivälillä saavutetaan melutasossa noin 0,5 desibelin vaimennus. Lisäksi on hyvä sijoittaa tilojen välille toisarvoisia tiloja, jotka toimivat puskurialueina melua vastaan. Hyviä puskurituloja ovat esimerkiksi varastot, messit, pesutilat, saunat ja keittiöt. Paksujen laipoiden tai laidoituksen viereen ei kannata sijoittaa meluttomaksi haluttuja tiloja, sillä kantavat laipiot ja laidoitus siirtävät hyvin runkoa pitkin välittyvää ääntä. (Räisänen 2000, 13-7.)

Melutasojen hallinta laivan suunnitteluvaiheessa on monivaiheinen työ, joka aloitetaan määrittelemällä tarpeelliset melutasovaatimukset tukemaan laivan käyttötarkoitusta. Tähän sisältyy rajojen asettaminen ilmaa, nestettä, tai runkoa pitkin kulkeutuvalla äänellä. Tyydyttävät melutasojen ohjeavot henkilökunnan näkökulmasta on saatu ihmistutkimuksista liittyen puheviestintään,

kuulon suojaamiseen ja henkilökohtaiseen mukavuuteen. Nämä määritelmät määräävät raja-arvot ilmaitse kulkeutuvalla melulle riippuen osaston tyypistä sekä oletetusta altistumisajasta. Potentiaalisten meluherätteiden tunnistaminen erityisesti isoissa aluksissa voi olla melko laajaa, mutta hyvänä lähtökohdana on koneistojen komponenttien listaaminen. Suurin osa näistä kohteista aiheuttaa vakiomelua, mutta tilapäisten meluherätteiden, kuten takaiskuventtiilien lautasten aiheuttaman räminän, tunnistaminen voi olla vaikeaa. (Harrington 1992, 467.)

Melunherätteiden tunnistamisen jälkeen on luonnehdittava niiden aiheuttamille melutasoille tuntomerkit. Vakionopeuksiset koneistot tavallisesti kehittävät ääntä eri taajuuksilla, joka voi johtua moottorin kierrosluvusta, pumpun männän taajuudesta, vaihteiston hammastuksen taajuudesta tai näiden taajuuksien harmoniasta. Valmistajilla voi olla joillekin komponenteille ilmaa tai runkoa pitkin johtuvan äänen mittaustuloksia. Erityiskomponenteille, joita ei ole valittu vielä alustavassa suunnittelussa, täytyy kehittää samankaltaisten koneistojen äänimittaustulosten perusteella arvio aiheutuvasta äänestä. Meluherätteiden aiheuttamien melutasojen arvioiden määrittämisen jälkeen, voidaan herätteet asettaa suuruusjärjestykseen. Tämä voi olla hyödyllistä melua vähentäviä komponentteja valittaessa, jotta saavutettaisiin suurin kokonaishyöty sekä tehokkain tapa melutason vähentämiseen. (Harrington 1992, 467.)

Hallitsevien meluherätteiden melutasojen arvioimisen jälkeen on tunnistettava melun mahdolliset siirtotiet jokaisen heräte- ja vastepaikan välillä. Pumpun mekaaninen värähtely voi kulkeutua pumpun jalustan tai putkilinjan kautta ympäröiviin rakenteisiin. Tällainen ääni luokitellaan runkoa pitkin välittyväksi ääneksi. Rakenteiden värähtelevät pinnat tuottavat myös ilmaa pitkin välittyvää ääntä. Usein huomiomatta jää putkiston sisällä kulkevan nesteen välityksellä välittyvä ääni, joka on pumpun aiheuttamien painepulssien muodossa ja voi aiheuttaa merkittävää rakenteellista värähtelyä alavirtaan kulkevissa putkistoissa ja komponenteissa. Kaikki herätteen aiheuttamat äänet eivät välity vastaanottajalle asti, ääni voi kulkeutua eri suuntaan, sen eteneminen voi olla estynyt, se voi heijastua takaisinpäin tai se voi vaimentua muuntuessaan lämpöenergiaksi. Näitä ilmiöitä on tärkeä ennakoida jokaisen siirtotien kohdalla, jotta saadaan mahdollisimman tarkka arvio äänen vastaanottajien melutasoista.

Edellä mainittujen vaiheiden jälkeen, seuraavaksi on laskettava melutaso jokaisessa äänen vastepaikassa. Ilmaa pitkin välittyvän äänen vastepaikkojen akustiset ominaisuudet voivat olla myös tarpeen laskea. (Harrington 1992, 468.)

Ilmaa - ja runkoa pitkin välittyvän äänen vastepaikkojen määritettyjä melutasoja on verrattava laivan tehtävän tukemiseksi määritettyihin melutasovaatimuksiin. Mikäli lasketut melutasot ovat vaatimuksia alempia, meluntorjunta-analyysit eivät ole tarpeellisia. Tämä on kuitenkin harvinaista, yleensä ennakoidaan, että määritetyt melutasovaatimukset ylitetään ainakin jollain kapealla taajuusalueella. Siinä tapauksessa ylimääräiset meluntorjunta-analyysit ovat välttämättömiä. (Harrington 1992, 468.)

Liiallisen melutason ominaisuuksien analysoinnin jälkeen on tunnistettava mahdolliset keinot meluntorjunnalle, jotka sopivat yhteen laivan muiden suunnitteluvaatimuksien kanssa. Melua imeviä ratkaisuja voidaan tehdä monenlaisista materiaaleista, jotkut niistä aiheuttavat riskin laivapalolle ja siksi monet kaupalliset materiaalit ovat sopimattomia. Muita suunnittelun rajoituksia, jotka voivat vaikuttaa materiaalivalikoimaan, ovat painon ja tilavuuden rajoitukset, kustannukset ja kestävyys. (Harrington 1992, 468.)

Seuraavaksi on arvioitava jokaisen soveltuvan meluntorjuntakeinon kykyä torjua melua. Se voi olla yksinkertaista tapauksissa, jossa on käytettävissä testidataa tai soveltuvia esimerkkejä. Meluntorjunta-arvioiden kehittäminen voi kuitenkin olla hankalaa. (Harrington 1992, 468.)

Sopivimman meluntorjuntakeinon valitseminen vaatii usein kompromisseja suunnittelussa. Tässä tapauksessa kompromissianalyysien suorittamiseksi valittavissa olevista akustiikkaan liittyvistä meluntorjuntakeinoista on saatava tietoja. Jokaisesta muutoksesta suunnittelussa on tehtävä arvio, jossa sopeutetaan meluntorjuntakeinon lisääminen rakennusaikatauluun, tällöin on otettava huomioon myös keinon kokonaiskustannus sisällyttäen hankinnan, asennuksen ja huollon. (Harrington 1992, 468.)

Suunnittelun kompromissianalyysiin liittyvien tuloksien mukaan valitaan kaikkein lupaavin meluntorjuntakeino lisäanalyysjä varten. Joskus löydetään

yksittäinen keino, joka on yhteensopiva kaikkien suunnitteluun liittyvien rajoitteiden kanssa, tarjoten tarvittavan melun vähenemisen. Kuitenkin yleensä yksittäisten keinojen todetaan olevan riittämättömiä ja siksi eri keinoja käytetään yhdessä. (Harrington 1992, 468.)

Valittujen meluntorjuntakeinojen tarjoamat uudet melun vaimenemisarvot sekä melun vastepaikan melutasot lasketaan uudelleen. Yksittäisen äänen herätteen tai siirtotien kohdalla tämä voi olla tarpeetonta, sillä kasvaneet vaimenemisarvot ovat suoraan verrannollisia vastepaikan alempiin melutasoihin, mutta useiden herätteiden ja siirtoteiden kautta vaikuttava kokonaismelutaso vastepaikoilla tulee laskea uudelleen. (Harrington 1992, 468.)

Lopuksi uudelleen laskettuja melutasoja vastepaikoissa verrataan vaadittuihin tasoihin. Laskettujen melutasojen ollessa vaadittuja tasoja alempia, valittujen meluntorjuntakeinojen pitäisi ratkaista meluntorjuntaan liittyvät ongelmat. Toisinaan ei löydetä minkäänlaista meluntorjuntakeinojen yhdistelmää, jolla saavutettaisiin riittävä melutason aleneminen, näissä tapauksissa vaaditaan merkittävää uudelleensuunnittelua ja koko meluntorjuntaprosessi on aloitettava alusta. (Harrington 1992, 469.)

## 5.2 Rakenteellinen ehkäisy

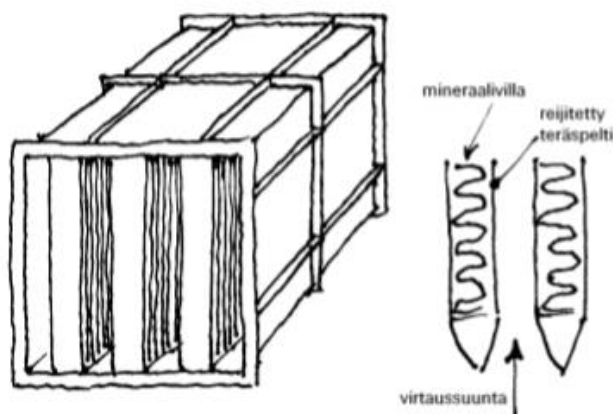
Kaikkein tehokkain keino meluongelman ratkaisemiseksi on vähentää äänen herätteen voimakkuutta, jonka myötä usein muita keinoja ei välttämättä tarvita. Herätteen melutasot voidaan minimoida käyttämällä hiljaisimpia saatavilla olevia komponentteja, nämä voivat kuitenkin olla myös kaikkein kalleimpia eikä välttämättä tarpeeksi hiljaisia. (Harrington 1992, 469.)

### 5.2.1 Äänen herätteen hallinta

Äänenvaimentimia voidaan kiinnittää esimerkiksi mäntämoottorien, kaasuturbiinien, tuulettimien ja kompressoreiden imu- ja pakopuolelle vähentämään niiden aiheuttamaa ilmassa välittyvää melua. Useimmat äänenvaimentimet ovat suunniteltu toimimaan reaktiivisena, dissipatiivisena tai näiden kahden periaatteen yhdistelmänä. (Harrington 1992, 469.)

Reaktiivisen äänenvaimentimen toiminta perustuu heijastamiseen osan akustisesta energiasta takaisin äänenlähdeä kohti. Yksinkertaisin tällaisen äänenvaimentimen rakenne on paisuntakammio sijoitettuna pakolinjaan. Poikkileikkauksellisen alueen muutos aiheuttaa äkillisen muutoksen akustisessa impedanssissa, joka puolestaan estää osaa akustisesta energiasta etenemään pakolinjassa. Tämän tyyppisen äänenvaimentimen akustinen suorituskyky riippuu paisuntakammion pituudesta, paisuntakammion ja pakolinjan poikkileikkauksellisesta suhteesta sekä kulkeutuvan äänen taajuudesta. (Harrington 1992, 469.)

Dissipatiivinen absorptiovaimennin toimii heikentämällä ääntä imukykyisillä materiaaleilla. Mineraalivillaa käytetään usein tällaisena materiaalina, periaatteenä on äänienergian muuttuminen villan sisällä lämmöksi kitkan ansiosta. Vaimentimen rakenne on yleensä toteutettu ns. lamellirakenteella, jossa ääniaalto ja -virtaus liikkuu kapeassa solassa, jonka molemmilla puolilla on absorptiomateriaali. Ne ovat erityisen tehokkaita vaimennettavan melun esiintyessä useilla eri taajuuksilla. Tehdasvalmisteisten äänenvaimentimien akustinen suorituskyky riippuu niiden muodosta, koosta ja niiden yli vaikuttavasta staattisesta paineenpudotuksesta, mutta ne toimivat käytössä laaja-alaisemmin, kuin reaktiiviset äänenvaimentimet. (Harrington 1992, 470; Hentinen, ym. 2002.)

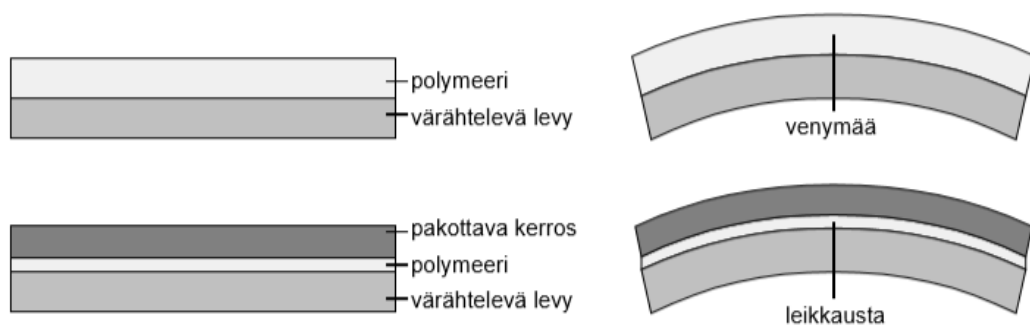


Kuva 8. Lamellirakenteisen äänenvaimentimen toimintaperiaate. (Hentinen, ym. 2002.)

Koneistojen suuret värähtelevät pinnat ja kevyt rakenne voivat tehokkaasti säteillä ilmaa pitkin välittyvää ääntä ympäröiviin tiloihin. Värähtelevä pinta voidaan erottaa ympäröivästä ilmasta, peittämällä pinnat päällysteellä, joka usein

on pehmeää vaahtoa, jossa on jäykkä kalvo. Tällä voidaan vähentää kohteen aiheuttamaa ilmaa pitkin välittyvää ääntä. (Harrington 1992, 470.)

Koneistojen jäykistämättömät pinnat, kuten kotelot ja suojat voivat resonoida ja lisätä runkoa pitkin välittyvää ääntä. Asianmukaiset vaimennuskeinot sovellettuna näille pinnoille voivat vähentää merkittävästi värähtelytasoja. Tällaisia keinoja on kahdentyyppisiä, joista toinen on ns. vapaa kerros -vaimennus, jossa vaimentava materiaali on kiinnitetty suoraan värähtelevälle pinnalle. Ydinaineena vaimennuskerroksessa käytetään yleensä polymeerejä, kuten polyuretaani (PU), polyvinyylidikloridi (PVC) ja polymetakryylimidi (PMI), jotka ovat tyypillisiä viskoelastisia materiaaleja. Pinnan muuttaessa muotoaan värähtelyn seurauksena, vaimennuskerros tiivistyy ja laajenee. Samalla osa värähtelyenergiasta imeytyy vaimennuskerrokseen ja hajoaa lämmöksi. Toinen keino on ns. pakotettu kerros -vaimennus, jossa ohut levy on liimattu vaimennuskerroksen päälle. Pakotettu kerros aiheuttaa leikkausvoimia alempaan vaimennuskerrokseen värähtelevän pinnan muuttaessa muotoaan, jolloin leikkaava liike alemmassa vaimennuskerroksessa hajottaa osan värähtelyenergiasta. Kuvassa 8. on havainnollistettu ”vapaa kerroksen” sekä ”pakotetun kerroksen” menetelmät. (Harrington 1992, 471; Hentinen, ym. 2002.)



Kuva 9. Vapaa kerros (ylempi) sekä pakotettu kerros (alempi), joiden tarkoitus on lisätä värähtelevän levyn vaimennusta. (Hentinen, ym. 2002.)

Useiden melua aiheuttavien koneiden ollessa samassa osastossa, kuten tuuletinhuone tai pumppuhuone, yksittäisen koneiston sijaan koko osastoa voidaan pitää yhtenä äänen herätteenä. Tämä perustuu siihen, että melutaso osastossa syntyy laitteiden aiheuttaman äänienergian säteilyn lisäksi osaston

omien akustisten ominaisuuksien perusteella. Vaihtoehto melutason vähentämiseksi heräteosastossa on muuttaa osaston akustisia ominaisuuksia. Tämä voi olla yksinkertaisempi ja kustannustehokkaampi vaihtoehto yksittäisen koneen käsittelemisen sijaan. (Harrington 1992, 472.)

### 5.2.2 Ilmaa pitkin välittyvän äänen siirtoteiden hallinta

Suurin osa aluksen meluntorjuntaongelmista liittyy ilmaa pitkin välittyvää meluun. Sitä pystytään käsittelemään monin eri keinoin, jotka kaikki sisältävät jonkinlaisen yhdistelmän kolmesta periaatteesta, jotka ovat siirtotien katkaiseminen, - pidentäminen sekä - vaimennuksen lisääminen. (Harrington 1992, 472-473.)

Siirtotien katkaiseminen on tehokas meluntorjuntakeino ja se saavutetaan sijoittamalla este, kuten väliseinä herätteen ja vastepaikan välille. Osittaisia esteitä voidaan käyttää, jos melua aiheuttavaan kohteeseen vaaditaan toistuvaa pääsyä. Ääni voi kuitenkin kulkeutua heijastus-siirtoteitä, kuten kohteen yläpuolella tai lähellä olevia laipioita pitkin. Tämä vähentää meluntorjuntakeinon tehokkuutta. (Harrington 1992, 473.)

Kotelot ovat jäykkiä rakenteita, jotka on asennettu yleensä tiiviisti melunlähteen ympärille. Ne voidaan jakaa akustisen toimintaperiaatteen mukaan pieniin ja suuriin koteloihin, jotka määräytyvät koneen ja kuoren välimatkan mukaan. Pieni kotelo toimii säteilyeristeenä sekä joustavana lisäkuorena koneen pinnalla. Suuri kotelo puolestaan toimii samankaltaisesti, kuin ääntä eristävä huone. Vaatimus molemmille kotelotyypeille on pitää ne erillään rungosta sekä mahdollisuuksien mukaan tehdä niistä ilmatiiviitä. Tapauksessa, jossa koteloon on tehtävä aukko esimerkiksi tuloilmaa varten, täytyy kohde varustaa omalla äänenvaimentimella. Kotelomateriaaleina käytetään yleensä 1-2 millimetrin paksuista teräslevyä tai 5-10 millimetrin paksuista muovimateriaalia, lisäksi kotelon sisäpinnoissa käytetään vähintään 30-50 millimetrin paksuisia absorptiomateriaaleja. Koteloinnilla saavutettava vaimennus on yleensä käytännössä noin 20 dB. (Hentinen, ym. 2002; Tanttari & Saarinen 1995, 71.)

Herätteen ja vasteen välisen siirtotien pidentämisellä saavutetaan akustisen intensiteetin vähenemistä ja samalla myös äänenpainetaso vastepaikassa pie-



nenee. Kaksinkertaistamalla siirtotien pituus, saavutetaan 6 desibelin melutason pieneneminen vastepaikassa. Siirtoteiden pidentäminen on mahdollista laivan suunnitteluvaiheen alussa ennen muiden järjestelyiden päättämistä. (Harrington 1992, 474.)

Ilmaa pitkin välittyvää melua voidaan vähentää myös asentamalla lisävaimennusta siirtoteiden varrelle. Äänenpainetaso tietyssä osastossa voi aiheutua suoraan säteilevästä äänestä tai takaisin heijastuvasta kaikuisasta äänestä. Kaikuisan äänen siirtoteiden ja osaston rajapintojen välillä voi olla monia vuorovaikutuksia. Lisäämällä vaimennusta rajapinnoille, saadaan vähennettyä kaikuisan äänen intensiteettiä ja kokonaisäänepainetasoa. Tällaiset vaimentavat absorbtiomateriaalit ovat huokoisia aineita, kuten mineraali-, lasivilla tai vaahtomuovi. (Harrington 1992, 475; Hentinen, ym. 2002.)

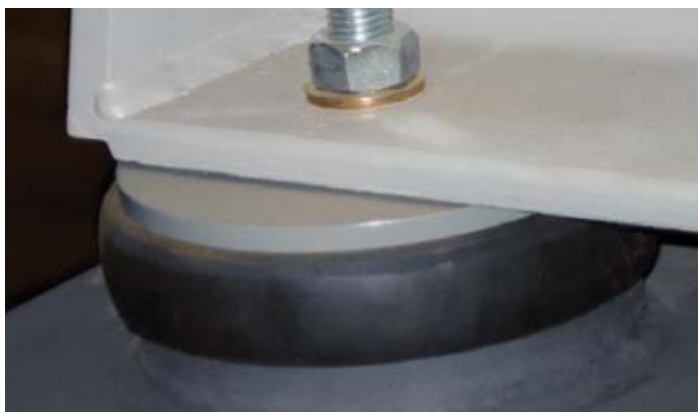
Ilmanvaihtokanavissa ilmaa pitkin liikkuva ääni voi välittyä jokaiseen kanaviin kuuluvaan osastoon. Ääni voi aiheutua tuulettimista, korkeanopeuksista ilmavirrasta tai se voi välittyä muista meluisista osastoista. Tätä ääntä voidaan tehokkaasti vaimentaa lisäämällä ilmanvaihtokanavaan vaimennusta, joka yleensä toteutetaan vuoraamalla kanavan sisäseinä lasivillatäytteellä, joka kiinnitetään rei'itetyllä metallilevyverhouksella. Vaimennus ilmaistaan desibeleinä jalkaa kohden ja siihen vaikuttaa vuorauksen paksuus sekä kanavan koko. (Harrington 1992, 475.)

### 5.2.3 Runkoa pitkin välittyvän äänen siirtoteiden hallinta

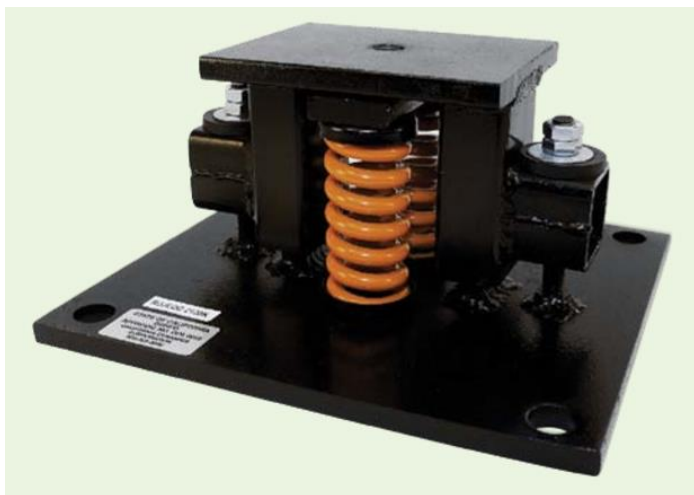
Runkoa pitkin välittyvää ääneen voidaan vaikuttaa samoilla kolmella periaatteella, kuin ilmaa pitkin välittyvään ääneen. Kaikkein tehokkain tapa vähentää runkoa pitkin välittyvää ääntä on katkaista herätelähteen ja tukirakenteen välinen siirtotie. Tämä voidaan tehdä eristämällä värähtelevä kohde tukirakenteesta. Esimerkiksi generaattorisettien valmistajat käyttävät elastomeerisiä tärinäeristimiä erottamaan moottorit ja generaattorit tukirakenteistaan. Tärinäeristimien tehtävänä on katkaista energian siirtotie pyörivän koneiston ja sen ympäristön välillä. Niiden on myös tarkoitus suojella herkkiä laitteita värähtelyltä. (Harrington 1992, 475; Bloxson 2013.)

Elastomeerisillä tärinäeristimillä ei yleensä pystytä erottamaan niin suuria massoja, kuin jousikuormitteisilla tärinäeristimillä, mutta ne ovat ihanteellisia

pienemmille massoille. Niiden värähtelyvaimennus on tehokkainta korkeilla taajuuksilla sekä ennalta arvaamattomien kasvavien voimien esiintyessä. Joissakin tapauksissa kohde on erotettava jousikuormitteisilla tärinäeristimillä, jotka tyypillisesti välittävät ainoastaan 5-10% kohteen aiheuttamasta värähtelyenergiasta tukirakenteisiin. (Bloxsom 2013.)



Kuva 10. Elastomeerinen tärinäeristin generaattorin jalustan ja tukirakenteen välillä. (Bloxsom 2013.)



Kuva 11. Jousikuormitteinen tärinäeristin. (Bloxsom 2013.)

Runkoa pitkin välittyvän äänen vähentämistä lisäämällä siirtotien pituutta herätteen ja vasteen välillä pidetään tehokkaana keinona aikaisessa suunnitteluvaiheessa, mutta myöhemmin se on harvoin mahdollista toteuttaa. Siirtotien vaimennuksen lisääminen on myös tehokas keino tapauksissa, joissa ääni leviää rakennetta pitkin taivutusaaltojen muodossa. (Harrington 1992, 476.)

#### 5.2.4 Äänen vastepaikan hallinta

Äänen tavoittaessa vastepaikan, sen hallinta tulee rajoittuneemmaksi, mutta sille on olemassa sovellettavia keinoja. Tavallisin keino on kuulosuojainten käyttäminen. Korvatulppien ja -kuppien yhdistelmää käytettäessä voidaan saavuttaa yli 30 dB:n melun väheneminen 250 Hz:n ja 8000 Hz:n välisellä taajuusalueella. Lisähyötynä korkeiden melutasojen alueilla kuulosuojaimet auttavat parantamaan puheen ymmärtävyyttä. Lyhytaikaiselle korkeille melutasoille altistumiselle kuulosuojaimet ovat kannattava ratkaisu. (Harrington 1992, 477.)

Runkoa pitkin välittyvää ääntä voidaan vähentää vastepaikassa myös muuttamalla paikan rakennetta. Vastekohteen ollessa kiinteällä asennuksella rakenteessa, muuttamalla rakenteen dynaamisia tekijöitä voidaan vaikuttaa värähtelyyn. Näihin tekijöihin pystytään vaikuttamaan lisäämällä rakenteen jäykkyyttä, joka tehdään yleensä lisäämällä tarisevien elementtien massaa tai asentamalla vaimentimet pienentämään resonoivan värähtelyn voimakkuutta. (Harrington 1992, 477.)

#### 5.3 Kuulosuojaimet

Kuulosuojaimia tulee käyttää, mikäli työtilan melutasoa ei saada alennettua ylemmän toiminta-arvon eli 85 dB(A) alapuolelle. Alemman toiminta-arvon eli 80 dB(A) ylittyessä kuulosuojaimia tulee olla käytettävissä. Kuulosuojaimien suojaustehoon vaikuttaa eniten niiden käyttöaste. Niihin on varustauduttava ennen meluiseen tilaan menemistä ja niihin tulee olla varustautuneena koko ajan, jonka tilassa viettää. Kuulosuojaimien sisäpuolella ei saa olla A-taajuuspainotettua melua 75–80 dB(A) enempää, kahdeksan tunnin työpäivän aikana. Jos melua ei saada riittävästi vaimennettua kuulosuojaimilla, tulee meluisassa tilassa oloa lyhentää. Meludirektiivissä 2003/10/EY määrätään, että 87 dB:n melutasoa tai 140 dB:n impulssimelupiikkiä ei saa ylittää ilman asianmukaisiin kuulosuojaimiin suojautumista. (Lambacka 2015.)

Käytettävissä on erilaisia kuulosuojaimia ja on tärkeää valita ne käyttötarkoituksen mukaan. Yleisesti käytetään korvanlehden päälle asetettavia kupusuojaimia, korvakäytävän sisään asetettavia tulppia sekä näiden suojainten yhdis-

telmiä. Lisäksi käytetään tasaisesti eri taajuuksilla vaimentavia aktiivikuulosuojaimia, jotka päästävät puheäänien hyvin läpi ja siksi sopivatkin hyvin työhön, jossa on tarpeen kommunikoida muiden työntekijöiden kesken. Varoitusäänten kuuluvuus suojainten läpi on myös tärkeää työturvallisuuden ylläpitämiseksi. (Lambacka 2015.)

## 6 YHTEENVETO

Aluksen operoinnin turvaamiseksi melun ja tärinän voimakkuutta on rajoitettava. Miehistön altistuminen melulle ja tärinälle on pyrittävä minimoimaan, jotta haitallisilta terveysvaikutuksilta vältytään. Tämä voidaan saavuttaa noudattamalla laadittuja säädöksiä sekä soveltamalla ohjeita ja toimintamalleja aluksilla. Lisäksi tärinästä johtuvia runkoa pitkin välittyviä värähtelyjä on vähennettävä suojellakseen koneistojen ja laitteiden toimintaa sekä rakenteiden kestävyyttä.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli esitellä yleisesti melua ja tärinää aiheuttavia tekijöitä aluksella sekä niiden aiheuttamia haittavaikutuksia miehistöä kohtaan, aiheeseen liittyviä säädöksiä sekä mittaustapoja ja -välineitä. Tarkoitus oli myös esitellä tapoja ehkäistä melua ja tärinää laivan suunnitteluvaiheessa sekä olemassa olevissa laivoissa rakenteellisilla muutoksilla. Lisäksi erityisesti merenkulkuun liittyvien IMO:n Code on Noise Levels Onboard Ships - sekä SOLAS Chapter II-1 / Regulation 3-12 -säädöksen tiivistäminen suomeksi oli yksi tavoitteista, koska niistä ei löytynyt ennestään suomenkielistä informaatiota. Aihetta käsitellään työssä yleisluontoisesti tiiviin tietopakettin aikaansaamiseksi.

Työtä tarkastellessa voidaan todeta, että tavoitteiksi asetetut asiat saatiin käsiteltyä. Prosessi oli haastava, sillä meluun ja tärinään liittyviä lähteitä löytyi suhteellisen vähän. Erityisesti laivoihin liittyviä lähteitä oli todella hankala löytää. Aihetta käsitellessä henkilökohtainen tietämykseni erityisesti koneistoista aiheutuvien melu- ja tärinämekanismien syntymisestä ja välittymisestä kasvoi. Lisäksi ammatillinen englannin kielen taito kehittyi työtä tehdessä, sillä englanninkielisissä lähdemateriaaleissa oli runsaasti minulle vierasperäisiä sanoja ja niiden kääntäminen tarjosi todellisen haasteen. Aiheeseen paneutuminen antoi uuden näkökulman omassa työssäni melulle altistumiselle sekä kuulonsuojaamisen tärkeydelle.

## LÄHTEET

Bloxsom, W. 2013. Controlling Generator Set Vibration to Minimize Dynamic Loading on Building Structures. Internetjulkaisu. Saatavissa: [http://www.mtuonsiteenergy.com/fileadmin/fm-dam/mtu\\_on-site\\_energy/6\\_press/technical-articles/en/3074941\\_OE\\_TechnicalArticle\\_ControllingGeneratorVibration\\_2013.pdf](http://www.mtuonsiteenergy.com/fileadmin/fm-dam/mtu_on-site_energy/6_press/technical-articles/en/3074941_OE_TechnicalArticle_ControllingGeneratorVibration_2013.pdf). [viitattu 20.5.2017].

EU. Meludirektiivi 2003/10/EY. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:042:0038:0044:FI:PDF> [viitattu 24.2.2017].

Euroopan komissio 1. 2007. Ohjeellisia toimintamalleja meludirektiivin 2003/10/EY soveltamista varten. Saatavissa: <http://ec.europa.eu/social/BlobServlet?docId=4388&langId=fi> [viitattu 20.3.2017].

Euroopan komissio 2. 2007. Ohjeellinen opas: Hyvät toimintatavat direktiivin 2002/44/EY (altistuminen tärinälle työssä) täytäntöön panemiseksi. Saatavissa: <http://ec.europa.eu/social/BlobServlet?docId=3614&langId=fi> [viitattu 25.4.2017].

EU tärinädirektiivi 2002/44/EY. Saatavissa: [http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:546a09c0-3ad1-4c07-bcd5-9c3dae6b1668.0006.02/DOC\\_1&format=PDF](http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:546a09c0-3ad1-4c07-bcd5-9c3dae6b1668.0006.02/DOC_1&format=PDF) [viitattu 24.2.2017].

Finlex. 2006. Valtioneuvoston asetus työntekijöiden suojelemisesta melusta aiheutuvilta vaaroilta 85/2006. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060085> [viitattu 25.2.2017].

Finlex. 2005. Valtioneuvoston asetus työntekijöiden suojelemisesta tärinästä aiheutuvilta vaaroilta 48/2005. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2005/20050048> [viitattu 25.2.2017].

Grech, M, Horberry, T & Koester, T. 2008. HUMAN FACTORS in the MARITIME DOMAIN. Boca Raton: CRC Press.

Harrington, R.L. 1992. Marine Engineering. New Jersey: The Society of Naval Architects and Marine Engineers.

Hentinen, M, Hynnä, P, Lahti, T, Nevala, K, Vähänikkilä, A & Järviluoma, M. 2002. Värähtelyn ja melun vaimennuskeinot kulkuvälineissä ja liikkuvissa työ-koneissa. Internetjulkaisu. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2160.pdf> [viitattu 10.3.2017].

Häkkinen, P. 1998. Laivan koneistot. Otaniemi: Teknillinen korkeakoulu.

Häkkinen, P. 1997. Laivan kuljetuskoneisto. Otaniemi: Teknillinen korkeakoulu.

IMO. 2014. SOLAS Consolidated Edition. Lontoo.

- IMO. 2012. Code on Noise Levels Onboard Ships. Saatavissa: [https://www.trafi.fi/file-bank/a/1465990369/c278914fd8cef3e854b4e120451a6587/21824-MSC\\_337\(91\).pdf](https://www.trafi.fi/file-bank/a/1465990369/c278914fd8cef3e854b4e120451a6587/21824-MSC_337(91).pdf) [viitattu 10.2.2017].
- Lambacka, K. 2015. Melua ja melskettä. Internetjulkaisu. Saatavissa: <http://www.tyofysioterapeutit.fi/wordpress/wp-content/uploads/2015/09/ARTIKKELI-Melua-ja-melskett%C3%A4.pdf> [viitattu 4.4.2017].
- McGeorge, H. 1991. General Engineering Knowledge – Third Edition. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- MIP s.a. Käsi- ja kehotärinä. Saatavissa: <http://www.mip.fi/cms/fi/sovellukset/vaeraehtely/kaesi-ja-kehotaerinae> [viitattu 22.3.2017].
- Rawson, K & Tupper, E. 2001. Basic Ship Theory - Fifth Edition - Volume 1. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Räisänen, P. 2000. Laivatekniikka. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Starck, J. & Teräsvirta, L. 2009. Melu. Helsinki: Työterveyslaitos.
- Tanttari, J. & Saarinen, K. 1995. Työkoneiden melun vähentäminen -perusteet. Helsinki: Metalliteollisuuden kustannus Oy.
- Työsuojeluhallinto. 2007. Tärinä ja sen torjunta työssä. Tampere. Saatavissa: [http://www.mip.fi/cms/images/stories/docs/varahtely/saadokset/tso\\_43\\_kasitarina\\_kehotarina\\_ohjeet.pdf](http://www.mip.fi/cms/images/stories/docs/varahtely/saadokset/tso_43_kasitarina_kehotarina_ohjeet.pdf) [viitattu 23.3.2017].
- Työturvallisuus aluksella, alusten lastaus ja purku. Lakikokoelma 2005. Helsinki: Edita.
- Watson, Farley & Williams. 2014. Maritime Briefing. Internetjulkaisu. Saatavissa: <http://www.wfw.com/wp-content/uploads/2014/09/WFW-Maritime-Code-OnNoiseLevelsOnBoardShips.pdf> [viitattu 10.2.2017].

## KUVALUETTELO

Kuva 1. Wöhler SP 22 äänitasomittari. Aimtec. Saatavissa: <http://www.aimtec.fi/?q=tuotteet/%C3%A4%C3%A4nitasomittarit/sp-22-%C3%A4%C3%A4nitasomittari-30-130-db>.

Kuva 2. Larson & Davis Spark -meluannosmittari. MIP. Saatavissa: <http://www.mip.fi/cms/fi/mittalaitteet/melu-ja-aeaeni/meluannosmittarit>.

Kuva 3. Wärtsilän tärinäanalysointilaitte propulsiojärjestelmille ja muille pyöri-ville laitteille. Wärtsilä. Saatavissa: <http://www.wartsila.com/services/areas-of-expertise/services-catalogue/wartsila-genius-services/offline-vibration-analysis-service-for-propulsion-and-other-rotating-equipment>.

Kuva 4. HealthVib HAV -käsitärinämittari. MIP. Saatavissa: <http://www.mip.fi/cms/fi/sovellukset/vaeraehtely/kaesi-ja-kehotaerinae>.

Kuva 5. Tärinän mittausakselit. Euroopan komissio. 2007. Ohjeellinen opas: Hyvät toimintatavat direktiivin 2002/44/EY (altistuminen tärinälle työssä) täytäntöön panemiseksi. Saatavissa: <http://ec.europa.eu/social/BlobServlet?docId=3614&langId=fi>.

Kuva 6. HealthVib WBW300 – kokokehon värähtelymittauslaite. MIP. Saatavissa: <http://www.mip.fi/cms/fi/mittalaitteet/vaeraehtely/kaesi-ja-kehotaerinaemittarit/healthvib-wbv300500-kokokehon-vaeraehtelyn-annosmittari-vibindicator>.

Kuva 7. Meluntorjuntakeinojen jaottelu. Tanttari, J & Saarinen, K. 1995.

Kuva 8. Lamellirakenteisen äänenvaimentimen toimintaperiaate. Hentinen, M, Hynnä, P, Lahti, T, Nevala, K, Vähänikkilä, A & Järviluoma, M. 2002. Värähtelyn ja melun vaimennuskeinot kulkuvälineissä ja liikkuvissa työkoneissa. Internetjulkaisu. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2160.pdf>.

Kuva 9. Vapaa kerros (ylempi) sekä pakotettu kerros (alempi), joiden tarkoitus on lisätä värähtelevän levyn vaimennusta. Hentinen, M, Hynnä, P, Lahti, T, Nevala, K, Vähänikkilä, A & Järviluoma, M. 2002. Värähtelyn ja melun vaimennuskeinot kulkuvälineissä ja liikkuvissa työkoneissa. Internetjulkaisu. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2160.pdf>.

Kuva 10. Elastomeerinen tärinäeristin generaattorin jalustan ja tukirakenteen välillä. Bloxsom, W. 2013. Controlling Generator Set Vibration to Minimize Dynamic Loading on Building Structures. Internetjulkaisu. Saatavissa: [http://www.mtuonsiteenergy.com/fileadmin/fm-dam/mtu\\_on-site\\_energy/6\\_press/technical-articles/en/3074941\\_OE\\_TechnicalArticle\\_ControllingGeneratorVibration\\_2013.pdf](http://www.mtuonsiteenergy.com/fileadmin/fm-dam/mtu_on-site_energy/6_press/technical-articles/en/3074941_OE_TechnicalArticle_ControllingGeneratorVibration_2013.pdf).

Kuva 11. Jousikuormitteinen tärinäeristin. Bloxsom, W. 2013. Controlling Generator Set Vibration to Minimize Dynamic Loading on Building Structures. Internetjulkaisu. Saatavissa: <http://www.mtuonsiteenergy.com/fileadmin/fm->

dam/mtu\_onsite\_energy/6\_press/technical-articles/en/3074941\_OE\_TechnicalArticle\_ControllingGeneratorVibration\_2013.pdf.

Taulukko 1. Eri osastoille määritellyt melun raja-arvot ilmaistuna A-painotettuina desibeleinä (dB(A)). IMO. 2012. Code on Noise Levels Onboard Ships. Saatavissa: [https://www.trafi.fi/file-bank/a/1465990369/c278914fd8cef3e854b4e120451a6587/21824-MSC\\_337\(91\).pdf](https://www.trafi.fi/file-bank/a/1465990369/c278914fd8cef3e854b4e120451a6587/21824-MSC_337(91).pdf).