

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulun koulutusohjelma / Merenkulkualan insinöörin sv.

Veli-Joel Paananen

M/S SILJA EUROPAN PAKOKAASUMELUN ÄÄNITEHOTASOT

Opinnäytetyö 2012

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulun koulutusohjelma

PAANANEN, VELI-JOEL	M/s Silja Europan pakokaasumelun äänitehotasot
Opinnäytetyö	28 sivua + 2 liitesivua
Työn ohjaaja	Risto Korhonen, Lehtori
Toimeksiantaja	Tallink Silja Oy
Huhtikuu 2012	
Avainsanat	melu, äänet, mittaus, pakokaasumelu, ympäristömelu, äänitehotaso

Opinnäytetyön aiheena on tutkia matkustaja-autolautta m/s Silja Europan koneistojen tuottamaa pakokaasumelua ja arvioida sen vaikutusta Tukholman Värtahamnin alueella. Stockholms Hamnar AB ja Tukholman kaupunki suorittivat omia mittauksiaan Värtahamnissa vuonna 2008 Silja Europan ollessa satamassa ja kahden apukoneen ollessa käynnissä. Näiden mittauksen perusteella suoritettujen tietokonemallinnuksien yhteydessä havaittiin liian suuria melutasoja ympäristössä. Korjaavien toimenpiteiden kohdistaminen oikeaan paikkaan edellytti tarkempaa arviointia melun laadusta ja pääasiallisesta äänilähteestä. Arvioivien mittauksien perusteella voitiin todeta, että suurin melun lähde on Silja Europan pakokaasumelu, jonka tutkimiseen työssä keskitytään.

Opinnäytetyössä selvitetään Nordtest Acou 080 -menetelmän avulla apukoneiden äänitehotaso. Menetelmässä mitataan kohteen ympäriltä tietyistä pisteistä äänipainetasoja, joiden perusteella voidaan laskea äänilähteen tuottama äänitehotaso. Tämän avulla voidaan arvioida äänilähteen tuottaman melun vaikutusta ympäristöön, ilman että ympäristössä vallitsevat olosuhteet tai rakenteet vääristävät mittaustulosta.

Äänipainetasojen avulla laskettiin äänitehotaso apukoneille. Tulokseksi saatu 103 dB on aikaisempiin tutkimuksiin verrattuna alhainen ja 45 dB:n ylittävä vaikutusalue vain 300 metriä säteeltään. Meluhaitan vähentämiseen on useita mahdollisuuksia, mutta kustannustehokkain lienee pakokaasumelun suuntaaminen merelle pakoputkiston asentoa muuttamalla.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Marine Technology

PAANANEN, VELI-JOEL

Exhaust Gas Noise Emission Levels of m/s Silja Europa

Bachelor's Thesis

28 pages + 2 additional pages

Supervisor

Risto Korhonen, Lecturer

Commissioned by

Tallink Silja Oy

April 2012

Keywords

noise, exhaust gas, sound, measurement, environmental noise, noise emission level

The aim of this thesis was to examine noise emission produced by the engines of m/s Silja Europa and evaluate of noises in the area of Värtahamn, Stockholm. Stockholms Hamnar AB and City of Stockholm carried out noise measurements in Värtahamn in 2008 when Silja Europa was at port with two auxiliary engines running. Based on these measurements, computer modeling of noise radiation indicated high noise levels in the area. To execute effective correction actions, it is vital to examine the quality and the main source of noise. When evaluating noise with pre-measurements, it was noticed that the main source was the exhaust gas noise of m/s Silja Europa.

In this study, the noise of auxiliary engines exhaust gas emission was determined with Nordtest ACOU 080 method. Sound pressure levels were measured at various points surrounding the source of noise, and noise emission level was calculated based on sound pressure levels. Consequently, it was possible to evaluate effects in surrounding areas without inaccuracy that is caused by structures or prevailing circumstances.

The noise emission level of auxiliary engines was calculated based on sound pressure levels. Compared to other studies, 103 dB noise emission level of exhaust gas is low and the radius of the area where sound pressure levels exceeds 45 dB is only 300 meters. The most cost-efficient action to reduce sound pressure levels at port side would be to direct noise to the sea side by changing the direction where funnels point.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
2	M/S SILJA EUROPA	7
2.1	Yleisesti	7
2.2	Propulsiokoneisto	8
2.3	Sähköntuotanto	8
3	STOCKHOLMS HAMNAR AB	9
4	ÄÄNI	10
4.1	Äänen havainnointi	10
4.1.1	Tasot	10
4.1.2	Taajuus	12
4.2	Taajuuspainotus	13
4.3	Äänen vaimeneminen	13
5	MELU	13
5.1	Melua äänestä	13
5.2	Melun haitat	14
5.3	Koneistojen pakokaasumelu	14
6	MELUMITTAUKSET	15
6.1	Standardi	15
6.2	Mittausolosuhteet	17
6.3	Mittausmenetelmä	17
6.3.1	Mittaukset 1.1.2012	19
6.3.2	Mittaukset 3.1.2012	20

7 PÄÄTELMÄT	21
7.1 Mittaustulokset	21
7.2 Vaikutusten arviointi	23
7.3 Korjaavia toimenpiteitä	25

LIITTEET

Liite 1. Mittauspöytäkirja (1.1.2012)

Liite 2. Mittauspöytäkirja (3.1.2012)

1 JOHDANTO

M/s Silja Europa on Turusta Tukholmaan 23 tunnin päivärasteilyjä tekevä matkustaja-autolautta. Olen työskennellyt opintojeni ohella aluksella 2. konemestarina vuodesta 2009 alkaen. Silja Europan konepäällikön Tom Wickströmin ehdotuksesta otin opinnäytetyöni aiheeksi aluksen pakokaasumelun selvittämisen.

Aihe on ajankohtainen alukselle sekä yleisesti merenkulkualalle, sillä viime vuosikymmeninä meluhaittojen ehkäisyyn on kiinnitetty entistä enemmän huomiota. Matkustaja-alukset ajavat yleensä satamiin, jotka sijaitsevat hyvin lähellä kaupunkia, jolloin koneistojen tuottaman melun vaikutuspiirissä on melulta suojeltuja alueita. Euroopan Yhteisön jäsenvaltiot ovat direktiivin 2002/49/EY nojalla velvoitettuja suorittamaan melukartoituksia ja kehittämään toimintasuunnitelman ympäristömeluhaittojen ehkäisemiseksi tietyillä alueilla. Vilkkaiden ajoväylien, rautateiden, teollisuuden ja lentoliikenteen melut ovat tutkituimpia osa-alueita meluhaittojen ehkäisyssä, ja niitä seurataan tarkasti. Satamat on yleensä kaavoitettu teollisuusalueeksi ja melun keskiarvoa seurataan mittaamalla eri vuorokaudenaikoina arvoja, jotka riippuvat sataman toiminnoista, kuten paikalla olevien alusten määrästä ja esimerkiksi lastauksen aiheuttamista melupäästöistä. Sataman laajentuessa ja uusien satamien suunnitteluvaiheessa otetaan huomioon melusaaste ja sen vaikutus lähiympäristöön.

Mikäli satama sijaitsee aivan kaupungin tuntumassa, on sille asetettava tiukemmat melusaastevaatimukset, jotta välittömässä läheisyydessä olevien alueiden meluarvot eivät ylittyisi. Suuret rahtisatamat eivät enää ole keskellä kaupunkia, mutta matkustaja-alusten laituripaikat terminaaleineen kuitenkin pyritään sijoittamaan lähelle kaupungin infrastruktuuria, sillä on alueen turismille edullista tuoda matkustajat keskustaan. Meluhaittoja koskeva direktiivi tai muun lainsäädäntö ei puutu yksittäisen tekijän melupäästön rajoittamiseen, vaan melulähteen vaikutuspiirissä olevien alueiden A-painotetun melutason hallitsemiseen. Siksi satamissa oleskeleville aluksille ei voida antaa suoraa raja-arvoa, mitä sen kokonaisuäänitehotaso ei saa ylittää. Tuotetun melun yläraja havaitaan melulähteen läheisillä alueilla tehdyillä melutasomittauksilla. Näillä alueilla vallitsevan melutason raja-arvo riippuu alueen käyttötarkoituksesta ja kellonajasta. Esimerkkinä voidaan mainita, että sataman vieressä olevan joutomaan melutaso saa olla yöllä vaikka kuinka paljon, mutta toisella puolella sijaitsevan

sairaalan piha-alueella melutaso ei saa päivälläkään ylittää asetettua raja-arvoa. Etenkin vanhemmissa aluksissa on vaikea arvioida aluksen tuottaman meluemission vaikutusta sataman lähiympäristöön ilman oikein suoritettuja melumittauksia.

Tutkimuksessa pyritään selvittämään m/s Silja Europan pakomelun äänitehotasoa ja arvioimaan sen vaikutusta Tukholman Värtahamnin ympäristöön. Stockholms Hamnar AB ja Tukholman kaupunki teettivät WSP Akustikilla melusomittaukset Värtahamnin ympäristössä vuonna 2008. Mittauksilla selvitettiin melutasoa m/s Silja Europan satamassa olon aikana kahden apukoneen ollessa käynnissä. Mittausten perusteella tehdyt tietokonemallinnukset osoittivat A-painotetun melutason olevan eräillä piha-alueilla liian suuri. Mitatut melutasot kuvaavat kuitenkin alueen yhteistä melua eivätkä pelkästään Silja Europan koneistojen tuottamaa. Jotta korjaavat toimenpiteet voidaan kohdistaa oikeaan paikkaan kustannustehokkaasti ja tarpeen mukaisesti, tulivat tarkentavat mittaukset Silja Europalla kyseeseen.

2 M/S SILJA EUROPA

2.1 Yleisesti

M/s Silja Europa on rakennettu Saksassa Meyer Werftin Papenburgin telakalla vuonna 1993. Alun perin alusta rakennettiin Rederi AB Slitelle nimellä m/s Europa. Ruotsin kruunun yllättävä devalvaatio saattoi yhtiön ongelmiin ja aluksen osti lopulta Silja Line, joka nimesi sen m/s Silja Europaksi. Silja Europa oli 90-luvulla maailman suurin matkustaja-autolautta, kunnes m/s Pride of Rotterdam valmistui.

Silja Europa on suuri alus; 59 914 bruttorekisteritonnia, 202 m pitkä ja 32 m leveä. Matkustajia alukselle mahtuu 3013, miehistöä on enimmillään 300 ja autokansikapasiteettikin on n. 900 metriä. Matkustajien palvelemiseksi on aluksella useita myymälöitä, ravintoloita, pubeja, kasino, kauneushoitola, allasosasto ja konferenssitilat. Näin monen palvelun tarjoaminen vaatii myös verrattain suuret henkilökunnan käytössä olevat tilat, jotta palvelu olisi sujuvaa ja tehokasta. Yhtä lailla ison aluksen palveluiden tuottaminen vaatii paljon energiaa.

Silja Europa on nykyään Tallinkin omistuksessa ja se liikennöi Turun ja Tukholman välillä tarjoten matkustajille 23 tunnin risteilyn Långnäsin ja Maarianhaminan kautta.

Aluksella kulkee myös yksittäismatkaajia sekä rahtia Suomen, Ahvenanmaan ja Ruotsin välillä. Toisinaan alus poikkeaa normaalista aikataulustaan charter- ja erikoisristeilyjä varten, esimerkiksi jouluristeily Riikaan vuonna 2011.

2.2 Propulsiokoneisto

Riittävän propulsioon tuottamiseksi on aluksella neljä keskinopeaa MAN B&W 6L 58/64 -pääkonetta, pareittain alennusvaihteiden kautta kahdelle potkurilinjalle, joissa on KaMeWan säätösiipipotkurit. Vaihteistoissa on tehon ulosotto akseligenaattoreille. Pääkoneiden yhteisteho on 31,8 MW ja aluksen suurin matkanopeus noin 21 solmua. Kaikki pääkoneet on myös varustettu pakokaasukattilalla ja SCR-katalysaattorilla. Polttoaineena käytetään vähärikkistä 380 cSt raskasöljyä.

2.3 Sähköntuotanto

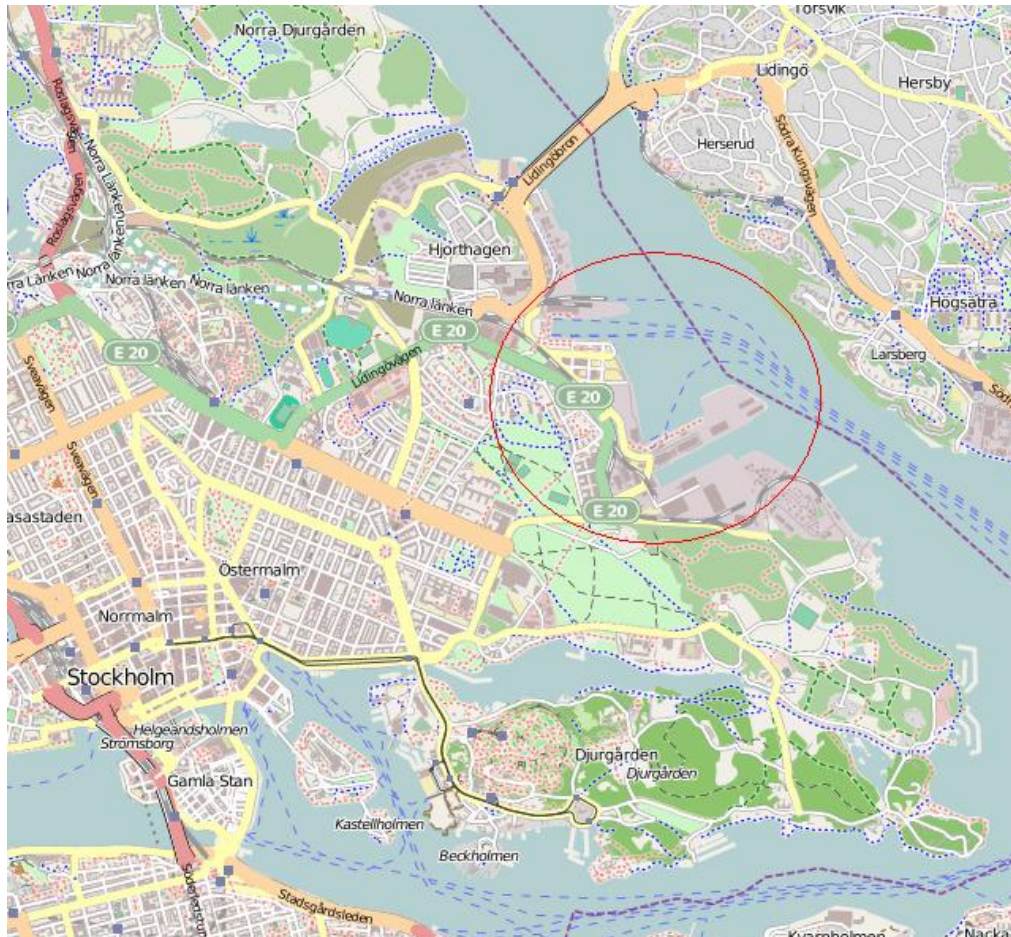
Aluksen sähköntuotanto tapahtuu apukoneilla käytettävillä generaattoreilla tai edellä mainituilla akseligenaattoreilla. Liikennealueesta johtuen akseligenaattoreita käytetään pääasiassa vain ohjailupotkureiden virransyöttöön. Tällöin ne kytkeytyvät ohjailupotkureille erillisinä aluksen yleisestä sähköverkosta, jotta sähkön laatu säilyisi. Tarvittaessa akseligenaattoreilla voidaan kuitenkin syöttää sähköä aluksen yleiseen verkkoon.

Normaalista sähköntuotannosta vastaa kolme Wärtsilän Vasa 8R 32 -apukonetta vakiokierroksilla kytkettynä AvK:n generaattoreihin. Yhteistehona noin 9 MW on varsin riittävä aluksen energian kulutuksen tyydyttämiseen, ja tavallisesti vain kaksi generaattoria on käytössä kerrallaan. Aluksen sähköpäätaulu on jaettu katkaisijalla puoliksi ja kumpikin generaattori syöttää omaa puoltaan taulusta, riippumatta toisesta. Yksi generaattori on valmiudessa, ja mikäli kuorma kasvaa liian suureksi tai toinen käyvistä generaattoreista vikaantuu, käynnistyy varalla oleva välittömästi kyseiselle puolelle sähkötaulu. Myös apukoneita käytetään vähärikkisellä raskaalla polttoöljyllä. Apukoneisiin ei ole kytketty pakokaasujen lämmöntalteenottoa tai katalysaattoreita.

3 STOCKHOLMS HAMNAR AB

Stockholms Hamnar AB tuottaa palvelut kaikissa Tukholman suurimmissa satamissa. Satamien läpi kulki vuonna 2010 yli 12,2 miljoonaa matkustajaa ja 6,7 miljoonaa metristä tonnia rahtia. Matkustajamäärissä vuonna 2010 Stockholms Hamnar oli Itämeren satamayhtiöstä suurin. Yhtiö pyrkii myös tehokkaasti kehittämään toimintaansa ympäristön kuormituksen ehkäisemiseksi. (Stockholms Hamnar AB, 2010.) Yksi osa tätä kokonaisuutta on tavoitteet melusaasteen ehkäisemiseksi.

Värtahamn (kuva 1) on Tukholman keskustan vieressä sijaitseva 107 000 neliömetrin kokoinen satama-alue, jonka kautta kulkee matkustajia ja rahtia. Alueella on kolme roro-laituripaikkaa. Matkustajalainoista Tallinkin alukset ajavat Värtahamniin.



Kuva 1. Värtahamn (OpenStreetMap).

4 ÄÄNI

4.1 Äänen havainnointi

Ääni on väliaineessa aaltoliikkeenä etenevää hiukkasten värähtelyä. Tämä voidaan havaita ilmassa ilman jaksoittaisena tihenemisenä ja harvenemisenä eli paineen vaihteluna suhteessa staattiseen ilmanpaineeseen. Äänipaineen aiheuttama ilmanpaineen vaihtelu on miljoonasosia verrattuna staattiseen ilmanpaineeseen. Aaltoliikkeinen paineen vaihtelu sisältää myös energiaa, joten äänellä on intensiteetti, vektorisuure, joka kertoo pinta-alan läpi kulkevan äänitehon määrän ja suunnan. (Lahti 1997, 6.)

Kuuloaistimus syntyy, kun ilmanpaineen aaltoliike kulkee korvakäytävää pitkin tärykalvolle, joka alkaa värähdellä paineen vaihtumisen taajuudella. Kuuloluut välittävät tärykalvon värähtelyn sisäkorvan kuuloelimeen, simpukkaan, joka muuttaa värähtelyn hermoärsykkeeksi. Aivot tulkitsevat keskushermoston kautta kulkevat ärsykkeet kuulemaksemme ääneksi. (Starck & Teräsvirta 2009, 28.)

Äänen havainnoinnin käsittelyssä yleisimpiä ulottuvuuksia ovat taso, taajuus ja aika. Aikaa käytetään esimerkiksi arvioitaessa meluannosta, joka tarkoittaa korvaan kulkeutuvan äänipaineen suhdetta äänelle altistumiseen. Muihin suureisiin perehdytään tarkemmin seuraavissa luvuissa.

4.1.1 Tasot

Käsitteellä *taso* tarkoitetaan äänen voimakkuutta. Tasosuureet perustuvat 10-kantaiseen logaritmiin ja yksikkönä on desibeli (dB). Tasoja on useita eri tarkoituksiin. Meluarvioinnin ja tutkimuksen kannalta olennaisimmat ovat äänipainetaso ja äänitehotaso, jotka ovat vahvasti esillä tässäkin työssä.

Äänipainetaso L_p ilmaisee ihmisen kuuloaistimuksen suuruuden suhteessa äänipaineeseen. Siihen vaikuttaa äänilähteen säteilemä ääniteho, etäisyys kuulijaan ja ympäristö. Äänipainetaso pienenee etäisyyden kasvaessa, kun äänienergia muuttuu lämmöksi väliaineen kitkan vaikutuksesta. Ympäristö voi vaimentaa tai voimistaa äänipainetasoa mittauspisteessä. Ääniaallon osuessa ympäristössä olevaan pintaan, voi pinta heijastaa äänen tai resonoida ominaistaajuudellaan, jolloin pinnasta muodostuu

uusi äänilähde. Pinta voi myös toimia esteenä ääniaallon etenemiselle sekä vaimentaa heijastuvaa ääntä absorptoimalla ääniaallon energiaa. Äänipainetasoa mitattaessa tulee mittapisteet valita tietoisena tulokseen vaikuttavista pinnoista. (Lahti 1997, 14.)

Äänipainetaso määritetään kaavalla:

$$L_p = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \lg \frac{p}{p_0}$$

missä p on tarkasteltava äänipaine ja p_0 ihmisen kuulokynnykselle standardisoitu logaritmin vaatima vertailuarvo. Normaalikuuloisen kuulokynnys 1 kHz:n taajuusalueella on noin 20 μPa , joten $p_0 = 20\mu\text{Pa}$. (Peltonen 2007, 138.)

Ääni-intensiteettitaso L_I kertoo äänienergian virtauksesta ja se on verrattavissa äänipainetasoon.

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0}$$

Tässäkin yhtälössä I on mitattu intensiteetin itseisarvo ja vertailuarvo I_0 saadaan kuulokynnyksen 20 μPa tarvitsemasta kuljetetusta äänitehosta, joka on $10^{-12} \text{ W} / \text{m}^2$. Lasketaan sitten äänipainetasoa tai ääni-intensiteettitasoa, on tuloksena yhtä suuret arvot desibeleinä. (Lahti 1997, 15.)

Äänitehotaso L_w kuvaa äänilähteen tuottamaa akustista tehoa. Voidaan sanoa, että äänitehotaso on kohteen säteilemä ääniteho ”etäisyydellä nolla metriä”, johon ei vaikuta ympäristö tai muut tekijät, kyse on äänilähteen ominaisuudesta. (Lahti 1997, 14.)

$$L_w = 10 \lg \frac{P}{P_0}$$

missä P on mitattu ääniteho watteina ja P_0 vertailuteho 10^{-12} W . Ääniteho määritetään ääni-intensiteetin pintaintegraalina:

$$P = \oint_S I dS$$

Koska mittaukset kuitenkin tehdään tasoyhtälöin äänipainetasojen mittauksiin perustuen, eikä äänitehoa yleisesti mitata, voidaan voidaan äänitehotaso laskea äänipainetasojen ja mittapisteiden kattaman alueen pinta-alan avulla (Lahti 1997, 16).

$$L_w = (L_{pi}) + 10 \lg \frac{S}{S_0}$$

missä L_{pi} on mitattujen äänipainetasojen keskiarvo, S on mittapisteiden kattama standardin mukainen pinta-ala ja S_0 on vertailuarvo 1 m^2 .

Tässä tutkimuksessa käsitellään näitä tasoja ilmaisemaan äänen voimakkuutta eri tarkoituksissa. Ne liittyvät vahvasti toisiinsa, mutta niitä ei tule kuitenkaan sotkea keskenään. Äänitehotaso kertoo, kuinka suuri on äänilähteen säteilemä ääniteho, ja äänipainetaso taas sen, mitä kuulemme tai ”vastaanotamme” jossain pisteessä, etäisyydellä x . Tasojen samankaltaisuus johtuu oletuksista ja standardeista, joilla on yhdistetty tiettyjä piirteitä, jotta voimme käsitellä kaikkia akustiikan perussuureita tasoyhtälöin. Koska mittaamme ja käsittelemme mittaustuloksia desibelein, on luontevaa laskea akustiikan muitakin yhtälöitä näin.

4.1.2 Taajuus

Ääniaallon taajuus mitataan värähdyksinä sekunnissa eli hertseinä [Hz]. Ihminen kuulee taajuusalueella 16 – 20000 Hz. Taajuuden aiheuttama tärykalvon värähtelynopeus ja simpukan tuottamat hermoärsykkeet tulkitaan aivoissa matalina ja korkeina ääminä. Kuuloaistimuksen voimakkuus riippuu sekä taajuudesta että äänipaineesta, ja kuulemme parhaiten hieman yli 1 kHz:n taajuusalueella (Peltonen 2009, 141.) Tämä johtuu korvan rakenteesta. Korvalehti ja korvakäytävä muokkaavat äänen taajuussisältöä. Aikuisen korvakäytävä toimii muotonsa vuoksi neljännesaaltoresonaattorina vahvistaen 3-5 kHz:n taajuudella saapuvia ääniä noin 12–15 dB. Sisäkorvan kuuloelimet eivät kuitenkaan pysty tuottamaan hermoärsykeitä kaikista taajuuksista, joten kuulemaksamme taajuusalueeksi jää mainittu 16 – 20000 Hz. (Starck & Teräsvirta 2009, 28).

4.2 Taajuuspainotus

Melunmittauksessa tulee ottaa huomioon ihmisen kuulon eroavaisuus äänipaineen ja taajuuden vaihtelussa. Koska ihminen kuulee eri taajuuksien äänipainetasot eri herkkyyksillä, on vakiintunut käytäntö muuttaa laajakaistaisen lineaarisen mittauksen tulokset painotetuksi ihmisen kuuloalueelle. Linearisessa mittauksessa jokaisen taajuuden äänipainetaso esitetään sellaisena, kuin se on mitattu, mutta taajuuspainotussuotimen jälkeen tulos kuvaa tarkemmin ihmisen kuulemaa ääntä. Painotussuotimet perustuvat korvan standardisoiduille herkkyyssäyriille eri voimakkuuksilla. Suotimia on eri painotusalueille, mutta vakiintuneimpaan käyttöön on jäänyt A-painotus, joka kuvaa tarkimmin melun häiritsevyyttä ja kuulovaurion syntymistä. (Lahti 1997, 25.)

4.3 Äänen vaimeneminen

Ääniaalto leviää edetessään ilmassa ja luovuttaa kuljettamaansa energiaa lämpönä väliaineen kitkan vaikutuksesta. Suora ääni vaimenee vapaassa heijastuskentässä 6 dB matkan kaksinkertaistuessa.

Tarkkailupisteessä tehdyille melutasomittaukselle ei vaimenemisella ole merkitystä, mutta äänilähteen äänitehotason määrittämisen jälkeen voidaan vaimenemisen perusteella päätellä äänilähteen aiheuttama vaikutus tarkkailupisteeseen melutasoon. Tällä menetelmällä ei huomioida ympäristön melua vaimentavia tai voimistavia tekijöitä.

5 MELU

5.1 Melua äänestä

Melun määrittäminen on vaikeaa, sillä kaikki ääni ei ole melua. Kaikkein konkreettisimpana meluhaittana voidaan pitää ääntä, joka aiheuttaa kuulovaurion. Ihmisen kuuloelimien sietokyky tunnetaan ja tiedetään, mikä aiheuttaa kuulovaurion, joten lainsäädännöllä ja ohjeistuksella ihmisen kuuloa voidaan suojata haitalliselta melulta. Meluisilla työpaikoilla kuulonsuojaus on jo miltei itsestään selvää. Myös ihmisten asennoitumisen vapaa-ajan meluun, kuten ampumisen ja musiikin

aiheuttamaan, voidaan olettaa parantuneen viime vuosikymmeninä ja kuulovaurioilta osataan suojautua.

Kuuloaistille harmittoman, ihmistä häiritsevän äänen aiheuttamaa vaikutusta ei tule aliarvioida. Tuhansia ihmisiä kokoontuu kuuntelemaan musiikkiesitystä konserttiin ja he nauttivat olostaan, mutta lähistöllä asuva ihminen saattaa kuitenkin kokea kotiinsa kantautuvan musiikin hyvin häiritseväksi. Subjekttiivinen kokemus äänen tarpeellisuudesta vaikuttaa yksilön arviointiin melun laadusta.

Euroopan Yhteisön edellyttämällä ympäristömelun arvioinnilla ja meluntorjuntasuunnitelmalla on pyritty vähentämään ihmisiin kohdistuvaa melua (2002/49/EY). Ympäristömeluhaitta liittyy pääasiassa asutuskeskuksissa asuviin ihmisiin, mutta direktiivin tarkoituksena on myös turvata hiljaisten alueiden säilyminen luonnossa. Eri alueille määrätyt melutasorajat turvaavat aluetta käyttävän henkilön kuulon ja viihtyisyyden. Myös eläinten häiriintyminen melusaasteesta on tunnistettu, ja esimerkiksi lintujen pesimäalueita pyritään suojaamaan liialliselta melulta.

5.2 Melun haitat

Melun aiheuttamaa haittaa on tutkittu paljon ja kuten aikaisemmin mainittu, ihmiselle melun aiheuttamana suurimpana haittana voidaan pitää kuulon vaurioitumista, joka johtuu joko pitkäaikaisesta altistumisesta yli 80 dB:n melulle tai hetkellisestä impulssimaisesta melusta, kuten räjähdyksestä tai laukauksesta melutason hetkellisesti ylittäessä 120 dB. Muita lievempiä, mutta pitkäaikaisia haittoja ovat unen häiriytyminen, puhumisen vaikeutuminen, rentoutumista vaikeuttavat psyykkiset reaktiot, kuten melun aiheuttamat säpsähdykset, ja fyysisiä oireita aiheuttavat reaktiot, kuten korvien soiminen ja päänsärky (Sosiaali- ja terveyshallitus 1992). Näiden oireiden esiintymiseen ei melun tarvitse välttämättä olla kovin kovaa.

5.3 Koneistojen pakokaasumelu

Polttomoottorien pakokaasumelu syntyy sylinterin palotapahtuman yhteydessä paineen vaikutuksesta. Ennen kuin mäntä saavuttaa alakuolokohdan, pakoventtiili avautuu ja työtahdin aiheuttama painepulssi vapautuu pakokanavaan. Jatkuvan käyntikierron seurauksena pakokanavassa ja –putkistossa on staattinen paine, ja sen lisäksi esiintyy

sytytystaajuuden mukainen dynaaminen painepiikki (Braskén & Aura 2009). Pulssien voimakkuus ja taajuus on riippuvainen sylinterien tilavuudesta, lukumäärästä ja kierrosnopeudesta.

Wärtsilä on tutkinut koneidensa aiheuttamaa pakokaasumelua. Melun taajuudet keskittyvät pienille taajuuksille moottorin tyypistä riippuen ja vaimentamattomana moottorin A-painotettu äänitehotaso on 120 – 140 dB (Saine ym. 2007).

Pakokaasumelun äänitehotaso pakoputken päässä riippuu putkiston rakenteesta ja pituudesta. Ääntä voidaan vaimentaa äänenvaimentimilla ja pakoputkistossa olevat muut järjestelmät vaikuttavat pakomelun laatuun. Pakokaasukattilat ja katalysoittorit voivat vaimentaa ääntä huomattavasti.

Monissa suomalaisissakin ympäristömeluselvityksissä on tutkittu laivojen apukoneiden äänitehotasoa ja sen vaikutusta lähiympäristöön. Näitä selvityksiä tutkittaessa ilmenee, että useimmissa tietokonemallinuksissa mittauksia suorittanut taho on määrittänyt laivojen apukoneiden pakokaasumelun äänitehotasoksi 103 - 108 dB.

(Ympäristömeluselvitykset: Promethor, Akukon, TL Akustiikka).

6 MELUMITTAUKSET

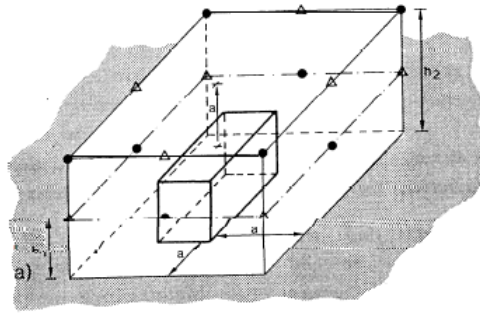
6.1 Standardi

Nordtest ACOU 080 on yleisesti käytössä oleva menetelmä ympäristömelulähteiden, erityisesti teollisuuslaitosten yksittäisten äänilähteiden äänitehotason määrittämiseksi. Menetelmä soveltuu erinomaisesti äänitehotason vaikutusten arviointiin ympäröivälle alueelle, sillä mittaukset toteutetaan lähellä kohdetta ja menetelmä sallii joustoa, mikäli mittapisteiden sijoittaminen kaikkialle ei ole mahdollista.

Tarkoituksena on mitata äänipainetasot kohteen ympäriltä ja laskea näiden perusteella kohteen äänitehotaso. NT ACOU 080 sisältää kaksi eri tarkkuusluokan mittausmenetelmää äänitehotason määrittämiseksi. Nämä ovat käytännössä standardien ISO-3744 ja ISO-3746 mukaisia. Käytettävät menetelmät ovat *sphere-method* sekä *box-method*. Menetelmän valintaan vaikuttaa tarkkuusvaatimus ja äänen suuntautuvuustiedon tarve. Äänen suuntautumisen havaitsemiseksi tulisi mittapisteeet sijoittaa puolipallon kuorelle (*sphere-method*).

Mikäli suuntautumistietoa ei tarvita tai mittapisteitä ei voida sijoittaa puolipallon muotoon, voidaan mittapisteet asettaa suorakulmaisen särmiön kulmiin ja tahkoihin (*box-method*). Mittapisteet sijoitetaan 0-20 asteen korkeudelle ylimmän tason vaakalinjasta, jolloin ei huomioida ylöspäin suuntautuvaa äänipainetta. Tämä ei yleensä ole olennaista korkeiden melulähteiden kohdalla, kun vaikutusta ympäröiviin alueisiin halutaan arvioida, sillä vapaassa heijastuskentässä ylöspäin suuntautuva ääni ei vaikuta lähiympäristöön.

Mittauspisteiden etäisyys äänilähteestä määräytyy lähteen ympärille muodostetun, mahdollisimman tiiviin kuvitteellisen suorakulmaisen särmiön (vertailusärmiö) ja tämän särmiön koon mukaan lasketun mittaussärmiön perusteella (kuva 2).



Kuva 2. Mittapisteiden laskentaan käytetyt särmiöt (Nordtest).

Kuvassa esiintyvä sisempi särmiö on asetettu tiiviisti äänilähteen ympärille ja ulompi särmiö muodostettu etäisyydelle a . Etäisyyden a tulee olla vähintään 0,15 metriä, mutta matalien taajuuksien lähikenttävirheen välttämiseksi enemmän kuin 1 m.

Vertailusärmiön kasvaessa on mittaussärmiötä ja siten mittausetäisyyttä kasvatettava, muttei kuitenkaan yli kymmeneen metriin (Nordtest 1997). Pallopisteet kuvan 2 mittaussärmiössä ovat varsinaiset mittapisteet ja kolmiopisteet osoittavat mahdollisten lisämittapisteiden paikat.

Mittaajan on pystyttävä asettamaan mittalaite oikeaan kohtaan vertailusärmiössä. Etäisyyden äänilähteen kulmista on oltava tunnettu, sillä mittaussärmiön pinta-ala on olennainen tieto äänitehotason laskemisessa. Mittalaite on myös suunnattava kohti äänilähteen oletettua keskipistettä kaikissa mittapisteissä.

Menetelmä on kattava ja tarjoaa mahdollisuuden monien erityyppisten kohteiden äänitehotason laskemiseksi äänipainetasojen perusteella. Olennaista on, että mittaja valitsee kohteelleen soveltuvat mittapisteet oikein, arvioi mittapisteiden määrän tarpeen ja soveltaa menetelmää sallituissa määrin virheen minimoimiseksi.

6.2 Mittausolosuhteet

Äänipainetasojen mittausten tekemiseen käytettiin Kymenlaakson ammattikorkeakoulun melumittaria SoundPro SE/DL, joka on tarkkuusluokaltaan ja ominaisuuksiltaan käypä tämän tyyppisten mittausten tekemiseen. Melumittaukset toteutettiin mahdollisimman normaalissa käyttötilanteessa, kun koneiston kuormitus oli tavallista vastaava ja sää soveltuva mittausten suorittamiseen. Kaikki mittaukset toistettiin kahteen kertaan ja tallennettiin laitteen muistiin tietokoneella analysointia varten. Mittari tallentaa muistiinsa yhdellä mikrofonilla kaksi virtuaalista tallennetta. Virtuaalisten mittareiden asetukset voidaan säätää poikkeamaan toisistaan, jolloin yhdellä mittausjaksolla saadaan esimerkiksi kahdella eri painotussuotimella painotettua dataa.

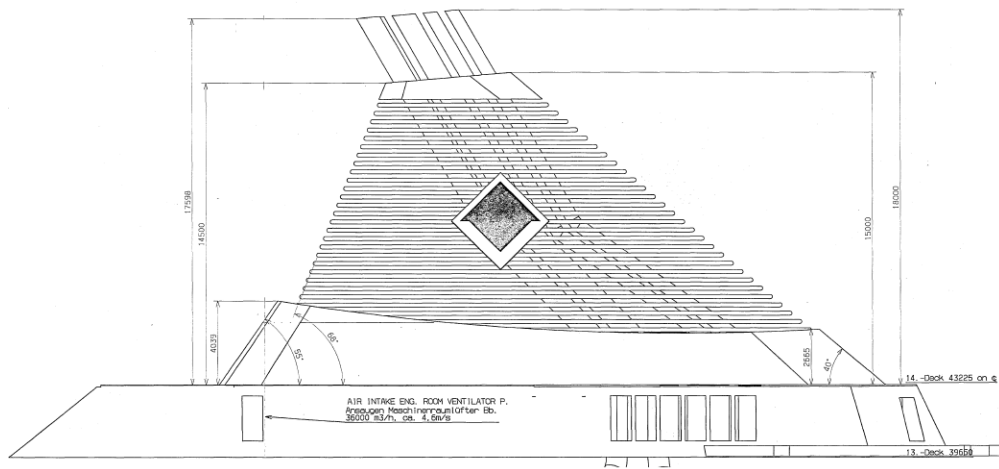
Melutasomittausten tuloksia käsiteltäessä on epätarkkuus karkeasti arvioituna +/- 2 dB, joten mittalaitteen ilmaisemat ensimmäiset desimaalit tulee pyöristää lähimpään kokonaislukuun. (Lahti 1997, 37). Olen tutkimuksessani lisännyt tuloksiin +1 dB:n virheen. Lisäksi koneistojen tuottama melu on tulkittava kapeakaistaiseksi, joten on suositeltavaa käyttää +5 dB:n kapeakaistaisuuskorjausta. Kapeakaistaisuuskorjaus tuottaa arviointiin riittävän lisän tutkittaessa melun häiritsevyyttä.

Mittauksia tehtiin kahtena eri päivänä, jotta oli mahdollista kokeilla eri koneistoyhdistelmien vaikutusta äänitehotasoon. Apukoneiden melumittaukset tehtiin satamassa 1.1.2012, kun Silja Europa oli aikataulusta poiketen seisomassa Tukholmassa. Vertailuarvon saamiseksi suoritettavat mittaukset apukoneiden ja pääkoneiden ollessa yhdessä käynnissä tehtiin 3.1.2012 Ahvenanmerellä.

6.3 Mittausmenetelmä

Silja Europan pakoputkiston ylin kulkutaso on tilava, joten mittaukset pystyttiin toteuttamaan varsin lähellä äänilähdettä. Kulkutason ja putkiston huipun välinen etäisyys on noin 4 m, ja pakoputket on suunnattu viistosti taaksepäin. Takimmaisen

putken reuna on yli kulkutason takareunan (kuva 3). Kohteen muodon ja aluksen piirustusten perusteella laskettu vertailusärmiö ei mahdollistanut mittapisteiden asettamista sphere-menetelmän mukaisesti puolipallon kuorelle. Äänen suuntautumisen laskeminen ei siis ollut mahdollista, joten käytettäväksi valittiin suorakulmaiseen särmiöön perustuva box-menetelmä. Tällöinkin pystytään yksittäisten mittapisteiden äänipaineen perusteella arvioimaan äänen suuntautumista karkeasti. Vaikka putket ovatkin takaviistossa, on huippu melko tasainen horisonttiin nähden ja voidaan olettaa, ettei suuntautumista tapahdu merkittävästi.



Kuva 3. Pakoputkistojärjestelyt (Meyer Werft, 1990).

Pakoputkiston huipun ja kulkutason välinen korkeus on riittävän suuri, ettei mahdollista äänen heijastumista kulkutasosta mittalaitteeseen ja siitä johtuvaa heijastusvirhettä tarvinnut huomioida. Avoimen heijastuskentän ansiosta mittapisteet voitiin asettaa suorakaiteen muotoon yhteen tasoon ja sopivaksi kulmaksi topin vaakalinjaan nähden valittiin 10 astetta. Näin mittaussuorakaiteen koko oli riittävä, jottei lähikenttävirhettä syntynyt.

Piirustusten ja paikan päällä tehtyjen mittausten perusteella laskettiin mittaussuorakaiteen koko ja mittauspisteiden paikat. Melumittariin asennettiin jatkovarsi, jonka avulla laite saatiin nostettua oikeaan korkeuteen hieman huipun yläpuolelle, jolloin kulmaksi pakoputkiston yläosan vaakalinjaan tuli 10 astetta. Jatkovarten asetettujen tukien avulla mittalaite saatiin toistuvasti asetettua oikeaan kohtaan vertailusuorakaiteessa, 1 metrin päähän vertailusärmiön kulmasta, suunnattuna keskipisteeseen. Suorakaiteen kattamaksi pinta-alaksi laskettiin 20 m². Koemittausten

perusteella todettiin, että neljä mittauspistettä, yksi vertailusuorakaiteen jokaisessa kulmassa, antaa riittävän tarkkuuden, sillä äänipaineen vaihtelu suorakaiteen suorien keskipisteissä ei vaikuttanut tulokseen.

Jokaisessa kulmassa suoritettu yksi mittaustapahtuma kesti minuutin, ja sinä aikana laite tallensi äänipainetasoa muistiinsa. Yhdessä nämä mittaustapahtumat muodostivat mittausjakson. Neljän minuutin mittausjaksot purettiin mittausten jälkeen laitteen muistista tietokoneelle jatkoa varten. Jokaisesta mittausjaksosta tehtiin mittauspöytäkirja, josta selviää jakson aikana vallinneet olosuhteet (liitteet 1 ja 2).

6.3.1 Mittaukset 1.1.2012

Apukoneiden pakokaasumelun äänitehotason selvittämiseksi suoritettiin äänipainetasojen mittaukset uudenvuoden seisonpäivänä Tukholmassa. Silja Europa poikkesi normaalista aikataulustaan ja mittausten valmisteluun sekä suorittamiseen oli koko päivä aikaa. Aluksella oli matkustajia ja kaikki satamassa olon aikaiset toiminnot olivat normaalissa käytössä, joten apukoneiden kuormitus vastasi tavallista käyttötilannetta. Vasemmalle puolelle sähkötaulua oli kytketty apukone 1, kuorma oli noin 1300 kW, ja oikealle puolelle apukone 3 kuormalla 1900 kW. Apukoneiden vakiokierrosluku on 720 rpm.

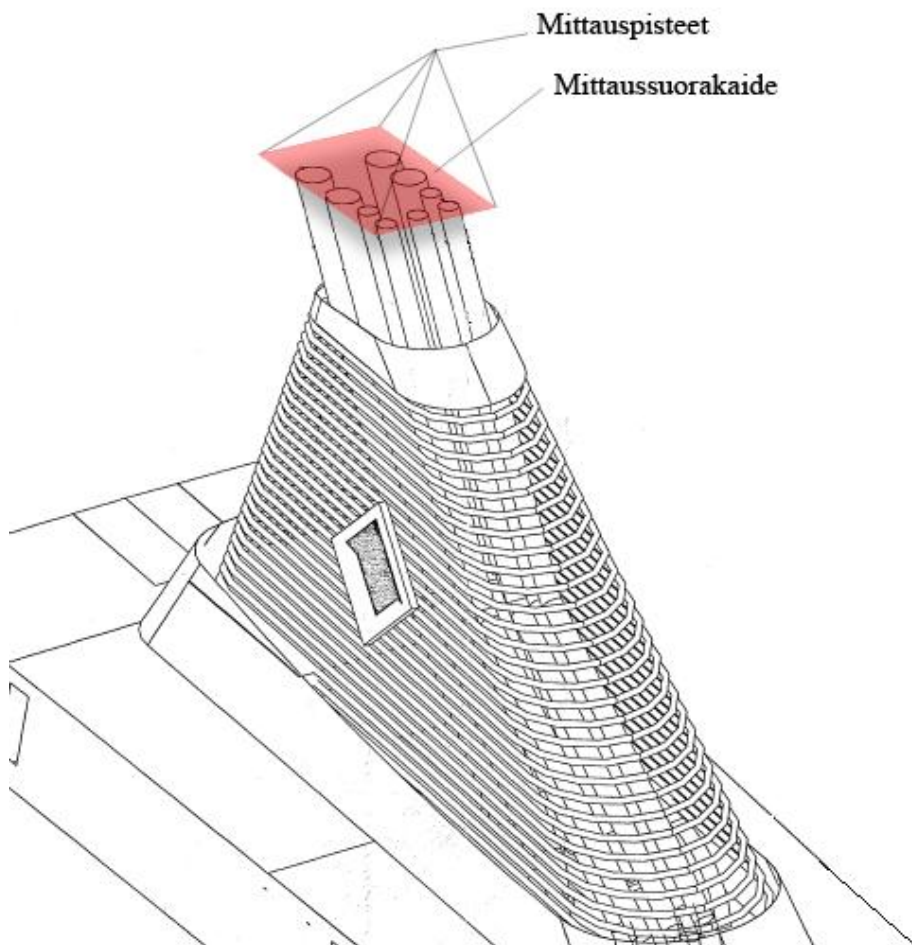
Ulkolämpötila oli -5 astetta ja tuuli 3 m/s etelästä. Mittalaite pidettiin lämpimässä ennen aloittamista ja varustettiin mittausten aikana tuulisuojalla, joten sään aiheuttama mittavirhe voitiin sulkea pois. Virtuaalisten mittareiden asetuksiksi valittiin 1. mittarille A-painotettu suodatus ja 2. mittarille lineaarinen suodatus. Molempien mittareiden vasteajaksi valittiin *fast* eli nopea mittasykli. Mittaustapahtuman kestoksi asetettiin 1 minuutti.

Mittalaite nostettiin mittaustapahtuman ajaksi jatkovarren avulla 4,5 metrin korkeuteen, hieman putkiston vaakalinjan yläpuolelle ja 1 metrin päähän vertailusärmiön kulmasta, sekä suunnattiin noin kymmenen astetta alaviistoon kohti äänilähteen oletettua keskipistettä. Jatkovarteen kiinnitettyjen vaakaturvien avulla mittalaite saatiin sivuttaissuunnassa oikealle etäisyydelle pakoputkiston huipun ympärille kuvitellun suorakaiteen kulmasta. Sama tapahtuma toistettiin mittaussuorakaiteen jokaisessa

kulmassa (kuva 4). Mittausjakso toistettiin kahteen kertaan. Tallennettu data purettiin laitteesta tietokoneelle mittausten jälkeen käsittelyä varten.

6.3.2 Mittaukset 3.1.2012

Vertailuarvon saamiseksi suoritettiin uudet mittaukset aluksen ollessa kulussa. Mittaukset tapahtuivat Ahvenanmerellä, kaikkien neljän pääkoneen ollessa käytössä täydellä kuormalla. Pääkoneiden tuottama yhteenlaskettu akseliteho oli 25 MW ja kunkin koneen kierrosluku noin 430 rpm. Lisäksi vasemmalle puolelle sähkötaulua oli kytketty apukone 2 kuormalla 1200 kW ja oikealle puolelle apukone 3 kuormalla 1800 kW. Ulkolämpötila oli -5 astetta ja tuuli etelästä 10 m/s. Muuten mittausjaksot olivat täysin identtiset edellisten suoritusten kanssa.

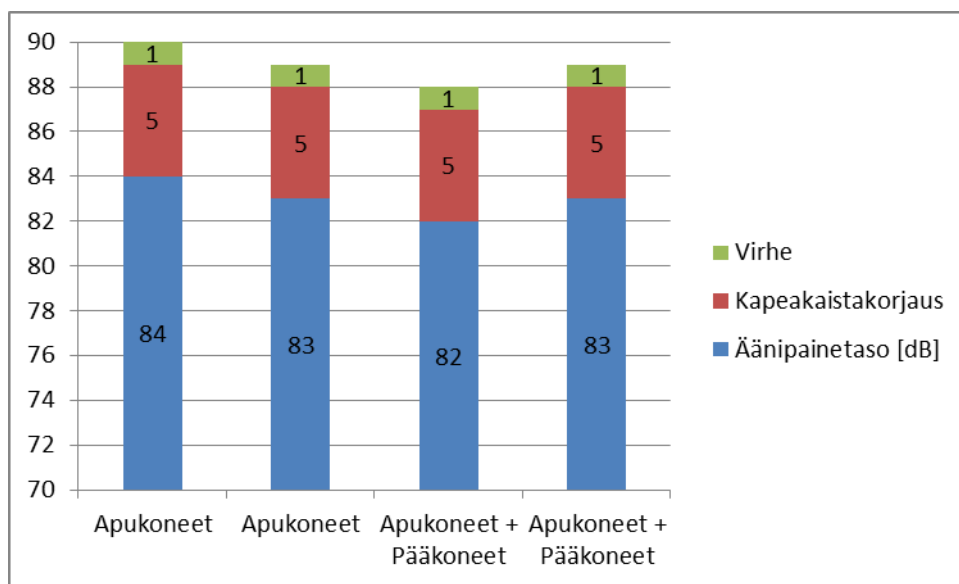


Kuva 4. Mittauspisteet ja mittaussuorakaide (alkuperäinen kuva: Meyer Werft 1990).

7 PÄÄTELMÄT

7.1 Mittaustulokset

Mitatut äänipainetasot siirrettiin laitteen muistista tietokoneelle. Virtuaalimittareiden tallentamasta tiedosta vain A-painotettua äänipainetasoa käytettiin äänitehotason laskemiseen. Toisen virtuaalimittarin keräämän lineaarisen mittauksen tiedolla voitiin verrata pää- ja apukoneiden tuottaman melun eroavaisuuksia eri taajuusalueilla. Jokaisesta jaksosta laskettiin äänipainetason keskiarvo (kuva 5).



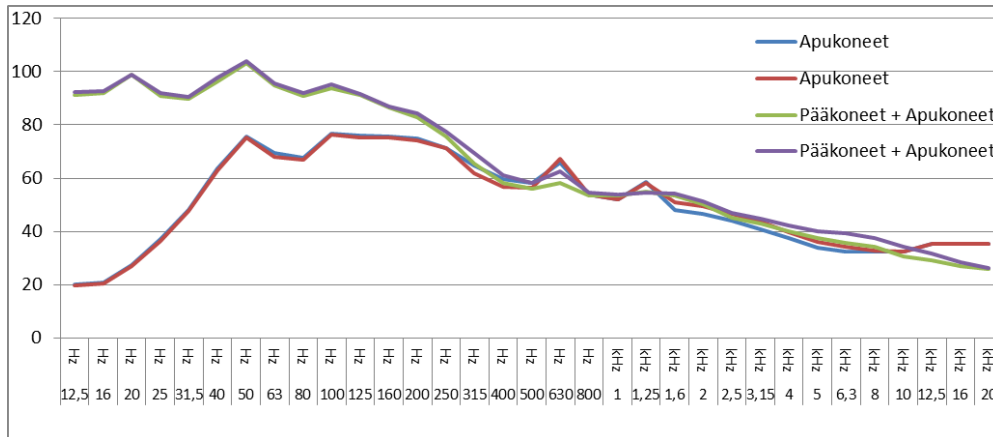
Kuva 5. Mittausjaksojen äänipainetasojen keskiarvot.

Toistettujen mittausjaksojen äänipainetasot ovat yhden desibelin sisällä toisistaan, joten mittalaitteen asettaminen mittaussärmiöön onnistui. Vaihtelua kuitenkin syntyy kuorman jatkuvasta muutoksesta. Peräkkäisten mittausjaksojen välillä kului aikaa noin 30 minuuttia. Hallitsevan taajuusalueen ollessa kapea lisätään mittaustulokseen kapeakaistaisuuskorjaus + 5 dB. Lisäksi on huomioitu + 1 dB:n mittausrvirhe ja pyöristetty tulos lähimpään kokonaislukuun.

Lähikenttävirhettä ei tarvitse huomioida näissä olosuhteissa, sillä mittapistet sijaittivat riittävän kaukana äänilähteestä. Menetelmän mukaan myöskään taustamelun vaikutusta ei tarvitse huomioida, mikäli se on 3 dB heikompaa kuin mitattavan äänilähteen tuottama melu. Taustamelua ei voitu mitata paikan päällä, sillä Silja Europalla on aina

koneita käynnissä, mutta äänipaineen keskiarvon ollessa yli 80 dB voidaan olettaa taustamelun olevan huomattavasti alhaisempi.

Toisella virtuaalimittarilla tallennettiin lineaarista äänipainetasoa hallitsevien taajuuksien ja koneistojen taajuuserojen selvittämiseksi. Kuvasta 6 näkyy mittausjaksojen aikana esiintyneiden taajuuksien äänipainetasojen keskiarvot.



Kuva 6. Taajuskohtaiset äänipainetasot.

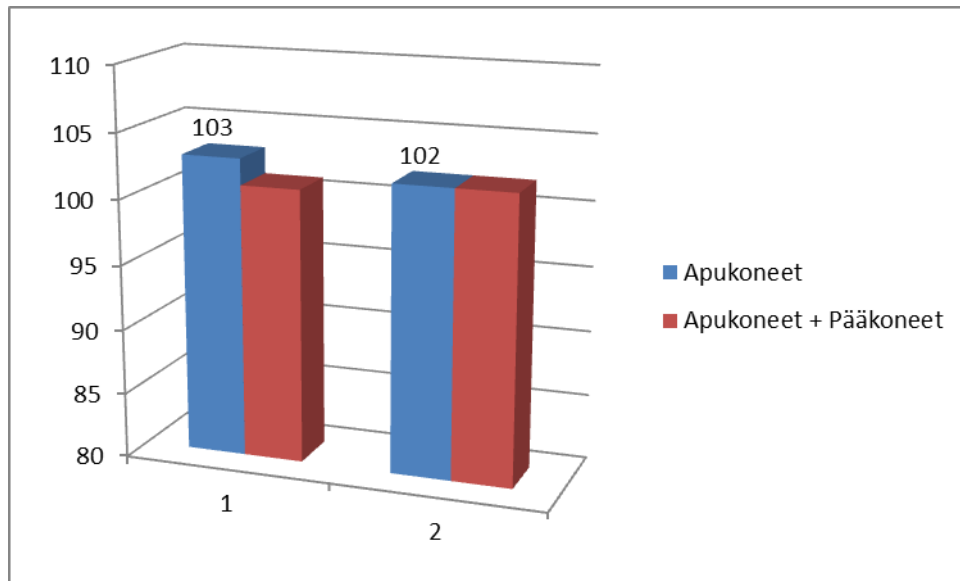
Äänitehotaso määritetään kaavalla:

$$L_w = \left[10 \lg \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_{pi}}{10}} \right) \right] + 10 \lg \frac{S}{S_0}$$

Ensimmäinen osa kaavasta on mittausjakson äänipainetasojen keskiarvo (kuva 5.), jonka avulla lasketaan mittausalueen pinta-alasta riipuva äänitehotaso.

S = Mittaussuorakaiteen pinta-ala, S_0 = Vertailupinta-ala = 1 m^2 .

Kuvassa 7 on esitelty äänipainetasojen perusteella lasketut äänitehotasot jokaiselle mittausjaksolle



Kuva 7. Lasketut äänitehotasot.

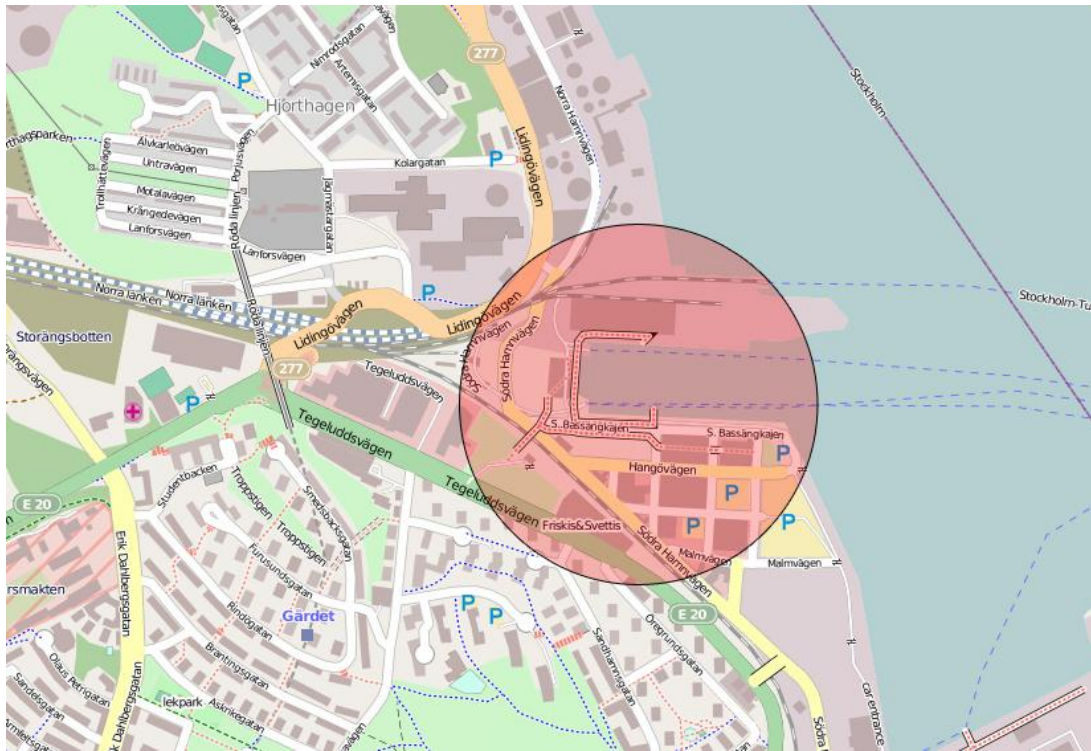
Laskettujen äänitehotasojen perusteella voidaan havaita, että apukoneiden pitkä pakoputkisto vaimentaa pakokaasumelua huomattavasti, mikäli oletetaan äänitehotason olevan vaimentamattomana verrattavissa Wärtsilän tuloksiin, 120 – 140 dB (Saine 2001). Silja European apukoneiden pakoputkistossa ei ole muita vaimentavia tekijöitä, mutta silti laskettu äänitehotaso on varsin alhainen.

Pääkoneiden pakokaasumelun vaikutus jää alhaiseksi pakokaasukattiloiden ja katalysaattorien vaimentavien ominaisuuksien takia. Melun taajuus on myös huomattavasti matalampaa. Tämä johtuu sytytystaajuuden eroista pää- ja apukoneiden välillä. 6-sylinteriset pääkoneet käyvät noin 430 kierrosta minuutissa, kun taas 8-sylinteriset apukoneet 720 kierrosta minuutissa. Kuvan 6 taajuusjakaumasta havaitaan selvä ero taajuksissa ajettaessa pelkillä apukoneilla.

7.2 Vaikutusten arviointi

Äänitehotason avulla voidaan arvioida melun vaikutusta lähiympäristöön. Stockholms Hamnar AB ilmoitti melutasorajat satamaa ympäröiville alueille. Nämä rajat ovat EY-direktiivin mukaisia, ja yöaikana sataman läheisyydessä olevien asuintalojen piha-alueilla melutaso ei saa ylittää 45 dB (2002/49/EY). Silja Europa saapuu Värtahamniin aikataulun mukaisesti 06.15 Ruotsin aikaa. Päiväaika alkaa vasta kello 07.00, jolloin melutasot saavat piha-alueilla olla 55 dB. Alus on siis 45 minuuttia yöajan puolella,

jolloin melutaso 45 dB ei saa ylittyä. Äänitehotason ja äänen vaimenemisen perusteella voidaan laskea, millä säteellä aluksen ympärillä pakokaasumelu on yli 45 dB. Kuvassa 7 esitetyn, korkeimman lasketun äänitehotason (103 dB) mukaan Silja Europan apukoneiden pakokaasumelu vaimenee 44 desibeliin 300 metrin matkalla. Kuvassa 8 on sijoitettu ympyrä jonka säde on 300 m, havainnollistamaan 44 dB:n ylittävää aluetta. Keskipiste on sijoitettu aluksen oletetulle paikalle.

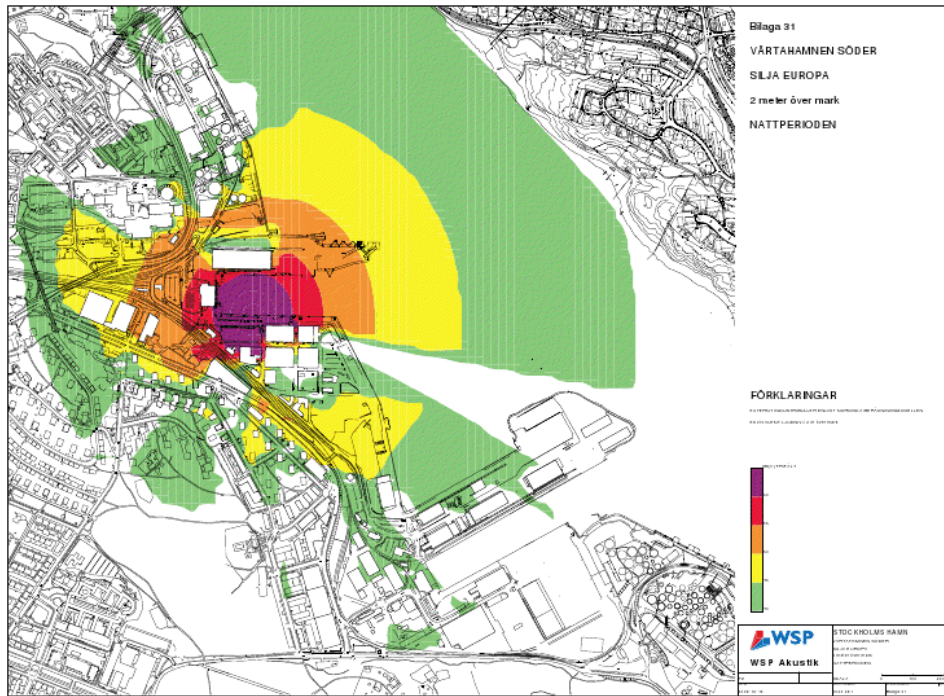


Kuva 8. 44 dB ylittävä alue (alkuperäinen kuva: OpenStreetMap).

Kuvassa 8 havainnollistetaan, että teoriassa apukoneiden aiheuttama melutason ylitys voi tapahtua Tegeluddsvägenin etelän puoleisilla tonteilla. Kuvasta poiketen melu ei todellisuudessa kantaudu kaikkialle tasaisella voimakkuudella, sillä sataman ympäristön rakenteet sekä maaston muodot vaikuttavat meluun estämällä sen kulkeutumista tai heijastamalla ääntä toisiin suuntiin. Ympyrän kattama alue on kuitenkin erittäin todennukainen, sillä pakoputkiston korkeus ylittää välittömässä läheisyydessä olevien rakennusten harjakorkeuden, jolloin melun kulkeutumista estäviä rakenteita ei ole edessä.

WSP Akustik suoritti melumittauksia sataman ympäristössä vuonna 2008. Kuvasta 9 nähdään mittauksen perusteella tietokoneella mallinnettu melukartta. 45 dB:n raja kulkee

vihreän ja keltaisen välillä. Melun mallintaminen melutasomittausten perusteella ei kuitenkaan kerro koko totuutta hallitsevasta melutason tuottajasta, vaan kyseessä on kaikki alueelle saapuva melu. WSP Akustikin tietokonemallinnuksen tulokset ovat saman suuntaisia tämän tutkimuksen tulosten kanssa, mutta tietokonemallinnuksella pystytään myös arvioimaan äänen vaimenemista ympäristötekijöiden avulla.



Kuva 9. Tietokonemallinnus melun leviämisestä (WSP Akustik 2008).

7.3 Korjaavia toimenpiteitä

Koska äänitehotaso on näin pieni, voidaan yksinkertaisilla ratkaisulla saada apukoneiden melun haittavaikutusta vähennettyä. Opinnäytetyötä suunniteltaessa käytiin eri vaihtoehtoja läpi, ja yksi vaihtoehtoista oli pakokaasumelun suuntaaminen pakoputkiston asentoa muuttamalla. Aluksen keulapuolella on huomattavasti enemmän tilaa äänelle vaimentua ilmassa, joten äänen suuntaaminen eteenpäin on tehokas ratkaisu. Kalliimpi vaihtoehto olisi asentaa apukoneiden pakoputkistoon äänenvaimentimet. Voidaan kuitenkin olettaa, että äänen suuntaaminen on kustannustehokkain ratkaisu, sillä vaikutuksen voidaan olettaa riittävän kuvassa 8 esiintyvien ylitysten torjumiseen.

Mikäli pakokaasumelun vaimentaminen ei riitä piha-alueiden melutasojen alentamiseen, voisi seuraava askel olla imu- ja poistoilmapuhaltimien äänitehotason alentaminen. Konehuoneen imu- ja poistoilmapuhaltimet sijaitsevat kannella 13, konekuilun yläosassa keskellä laivaa. Tehokkaat puhaltimet tuottavat korkeataajuista ääntä, joka pääsee kantautumaan ylimmältä kannelta ympäristöön. Äänen etenemistä on jo vaimenettu rakenteellisesti asettamalla absorptiolevyillä vuorattuja pystyesteitä tiloihin, mutta suunnittelemalla uudet väliläipiot ja käyttämällä tehokkaampaa absorptiolevyä voidaan imu- ja poistoilmamelua vaimentaa hieman lisää. Suunnittelussa tulisi ottaa huomioon puhaltimien ja ilmavirtauksen aiheuttama hallitseva taajuus, jonka perusteella ääniesteet asetetaan sopiville etäisyyksille äänen aallonpituuden mukaisesti. Kuitenkin, mikäli konetilojen tuuletusta voidaan vähentää mahdollisimman paljon satamassa, on yksinkertaisin ja kustannustehokkain ratkaisu ohjeistaa käyttöhenkilökunta pysäyttämään kaikki tarpeettomat puhaltimet satamassa, jolloin vain apukoneiden ja kattiloiden ilmanottoon tarvittavat puhaltimet jätetään päälle.

LÄHTEET

Akukon Oy. 2003. Ympäristömeluselvitys. Pietarsaaren satama.

Braskén, M. & Aura, M. 2009. Dieselmoottorin pakokaasumelun simulointi.

Akustiikkapäivät, luentoja: Akustinen Seura.

http://www.akustinenseura.fi/images/stories/akustiikkapaivat2009/04_Brasken.pdf

[Viitattu: 1.2.2012]

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi [2002/49/EY](#), annettu 25 päivänä kesäkuuta 2002, ympäristömelun arvioinnista ja hallinnasta.

Lahti, T. 1997. Akustinen mittaustekniikka. Raportti 38. Teknillinen korkeakoulu.

Meyer Werft. 1990. M/s Silja Europa. Arrangement in engine room (funnel). Piirustus: 500M50BL02.

Nordtest. 1991. NT ACOU 080. Nordtest: Espoo. www.nordtest.org [Viitattu 1.4.2012]

OpenStreetMapin tekijät. CC-BY-SA, kartta. <http://www.openstreetmap.org/> [Viitattu: 10.4.2012]

Peltonen, H. Perkkiö, J. Vierinen, K. 2007. Insinöörin (AMK) Fysiikka. Osa 2.

Saarijärvi: Saarijärven Offset Oy.

Promethor. 2011. Ympäristömeluselvitys. Humaliston I:n alueen kaavamuutos.

Naantali.

Saine, K. Aura, M. Tienhaara, H. Hyrynen, J. Saarinen, K. Kuivamäki, M. Lamula, L.

2007. Dieselmoottorin melun hallitseminen koneakustiikan osaamista hyödyntäen.

Akustiikkapäivät, luentoja: Akustinen seura.

http://www.akustinenseura.fi/images/stories/akustiikkapaivat2007/Saine_etal.pdf

[Viitattu: 1.2.2012]

Sosiaali- ja terveyshallitus. 1992. Opas terveydenhoitolain (469/65) soveltamisesta meluntorjunnassa. Rauma: West Point.

Starck, J. & Teräsvirta, L. 2009. Melu. Työterveyslaitos. Tampere: Esa Print.

Stockholms Hamnar AB. 2010. Lehdistötiedote. Company Presentation.

http://www.stockholmshamnar.se/Documents/EN/Trycksaker/SH-10_eng.pdf [Viitattu: 15.2.2012]

TL Akustiikka. 2011. Meluselvitys. Raahen Lapaluodon satama.