

# VOIMALAITOSMELUN AJANKOHTAISIA HAASTEITA

**Esa Nousiainen, Ville Veijanen**

Wärtsilä Finland Oy Power Plants  
Tarhaajantie 2, 65380 VAASA  
etunimi.sukunimi@wartsila.com

## **1 JOHDANTO**

Mäntämoottorivoimalaitos on suosittu ratkaisu haluttaessa rakentaa nopeahkosti lisää sähkön-tuotantokapasiteettia, haluttaessa nopeasti käynnistettävää varavoimaa tasaamaan kuormitus-huippuja tai tuotannon nopeaa vaihtelua tai haluttaessa itsenäisesti toimivaa luotettavaa pe-rusvoimantuotantoa (esim. kaivokset, öljyn- ja kaasunjalostus, kehittyvät yhteiskunnat ja saa-rivaltiot). Nestemäisten biopolttoaineiden käytön yleistyessä ja maakaasun ollessa helposti saatava ja suhteessa moniin muihin energialähteisiin puhdas energianlähde, rakennetaan män-tämoottorivoimalaitoksia myös ns. kehittyneissä yhteiskunnissa ja kaupunkiyhdyskuntien lä-helle tai sisälle.

Tässä kirjoituksessa tarkastellaan mäntämoottorivoimalaitoksen melun lähteitä ja normistoa laitoksen ympäristömelun rajoittamiseksi. Erilaisten normien vaikutusta laitossuunnitteluun tarkastellaan vertailemalla normeja keskenään ja toteutuilla ratkaisuilla saavutettuihin arvoi-hin. Lopuksi esitellään ajankohtaisia haasteita laitoksen meluntorjunnan suunnittelussa.

## **2 VOIMALAITOS YMPÄRISTÖMELUN LÄHTEENÄ**

### **2.1 Aggregaatti**

Moottorin ja generaattorin yhdistelmä, aggregaatti muodostuu mäntämoottorista ja generaattorista, jotka on asennettu yhteisen teräsrungon päälle. Moottorin ja generaattorin välissä on joustava kytkin. Aggregaatti on voimalan ydinkomponentti, jota käytännössä kaikki muut tässä luvussa tarkasteltavat laitteet palvelevat.

Moottorin melu on laajakaistaista ja moottori on yleensä generaattoria selvästi merkittävämpi melunlähde. A-painotettu äänenpainetaso moottorin välittömässä läheisyydessä voi ylittää 110 dB. Työsuojelun kannalta on tällöin tärkeää luokitella koko moottorihalli alueeksi, jossa kuulosuojainten käyttö on pakollista. Voimalan ympäristömelun kannalta aggregaatin melua torjutaan suunnittelemalla voimalarakennuksen seinät, ml. jäähdytysilmanvaihdon otto- ja poistoaukot, riittävän hyvin ääntä eristäviksi.

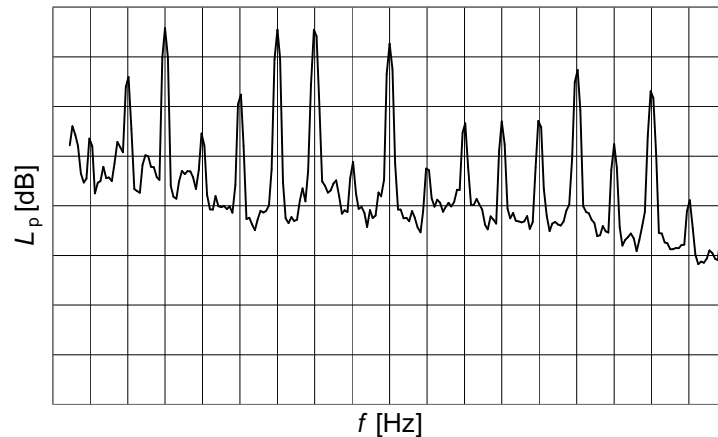
### **2.2 Moottorin hengitys**

Voimalan ympäristömelun vähentämisen kannalta moottorimelun vaimentamista haastavam-paa on usein moottorin palamisilmanvaihdon meluntorjunta. Moottorin hengityksellä tässä tarkoitetaan moottorin ilmanottoa ja pakokaasun poistoa.

Tyypillinen voimalamoottori on 16...20 sylinterinen V-moottori. Moottori imee paloilmaa 15...45 kg/s erilaisten suodattimien läpi. Ilma kulkee kanavaa pitkin turboahtimelle, joka pu-ristaa sen sylintereihin. Turboahtimen kompressoripyörä herättää lapataajuudellaan ja sen ker-rannaisilla selvästi erottuvan tonaalisen komponentin. Tämä voidaan yleensä vaimentaa te-

hokkaasti resistiivisellä kanavavaimentimella, jonka toimintaperiaate on esitetty esim. lähteessä [1].

Moottorin pakomelu on usein merkittävä pienitaajuisten ympäristömelun lähde. Se on samoin kuin imu- tai ahtoilmamelu luonteeltaan jaksollista. Jakso riippuu moottorin pyörimisnopeudesta. Yleensä pakomelun taajuusjakaumassa erottuu muutama sytytystaajuuden kertaluku.

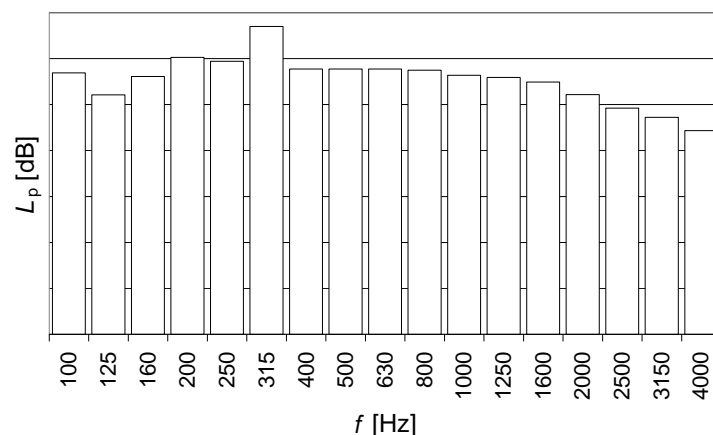


Kuva 1. 18-sylinterisen V-moottorin pakomelun taajuusjakauma. Pystyakselin viivaväli 10 dB. Vaaka-akselin jako moottorin pyörimisluvun kerrannainen.

Pakomelua vaimennetaan reaktiivisilla vaimentimilla. Yleensä yhdistetään reaktiiviseen toimintaan myös resistiivinen osa, esim. kuten lähteessä [2]. Lisäämällä häviöitä vähennetään ”resonanssien” aiheuttamien ongelmien todennäköisyyttä. Vaimentamisen erityishaaste on suurten laitteiden useiden 4...8 pakoputken ryppäiden interferenssin ja syntyvän melun paikka- ja suuntariippuvuuden hallinta.

### 2.3 Jäähdytys

Moottori jäähdytetään yleensä suljetun vesikierron järjestelmällä, missä moottorilta tuleva kuuma vesi pumpataan lämmönvaihtimen läpi. Lämmönvaihtimen ja jäähdytyspuhaltimen yhdistelmää sanotaan radiaattoriksi. Radiaattorin melu on laajakaistaista puhaltimen ollessa oikein mitoitettu ja toimiessa tehokkaasti.



Kuva 2. Jäähdytysradiaattorin melun taajuusjakauma puhaltimen lähellä mitattuna. Tässä tapauksessa puhallin-siiven lapataajuus (blade bypass frequency bpf) erottuu 315 Hz 1/3-oktaavikaistalla.

Jäähdytysmelun hallinta on tärkeää, koska jäljempänä esitettävällä tavalla voimalan ympäristömelua arvioidaan usein laitosalueen rajalla. Jäähdytyspuhaltimet sijaitsevat usein lähimpänä laitosalueen rajaa ja ovat laajakaistaisina puhallinmelulähteinä tärkeitä A-painotetun äänenpainetason ja ympäristömelun arvioinnin kannalta.

Puhallinmelun torjunta on tehokkainta kun se tehdään suunnittelemalla puhallinlaite oikein. Rakenteellinen meluntorjunta sisältää oikean siipipyörän valinnan paineenkorotuksen, tehonoton, ilmantuoton ja ominaisäänitehon ollessa tarkastelukriteereinä. Joskus joudutaan melun alentamiseksi turvautumaan puhaltimen pyörimisluvun pienentämiseen. Tällöin on vastaavasti lisättävä lämmönvaihtimen pinta-alaa. Tällainen meluntorjunta on kallista.

## 2.4 Ilmanvaihto

Vaikka moottorihallin ilmanvaihto liikuttaa paljon ilmaa, ei se yleensä muodostu laitoksen ympäristömelun kannalta kriittiseksi. Puhaltimien ilmanoton ja ilmanpoiston vaimennus voidaan järjestää tehokkaasti resistiivisillä lamelli- ja kanavavaimentimilla.

## 2.5 Muut prosessilaitteet

Voimalan apulaitteiden, esim. erilaiset pumput ja kompressorit, meluntorjunnan onnistumisen kannalta tärkeää on, että laitetoimittajat pystyvät toimittamaan luotettavat melupäästöarvot apurakennusten ja voimalan seinien ääneneristävyyden mitoittamiseksi.

## 3 YMPÄRISTÖMELUN NORMIT

Ympäristömelulle asetettujen normien ja raja-arvojen tarkoitus on suojata mm. laitoksen naapurien terveyttä, omaisuutta ja ympäristön luontoarvoja.

Suojelumekanismi toteutuu käytännössä rajoittamalla laitoksen meluemissiota asettamalla raja-arvo laitteen sallitulle melupäästölle tai säätelemällä laitoksen toiminnasta johtuvaa melua laitosalueen rajalla [3, 4]. Toinen tapa on rajoittaa laitoksen meluimissiota sellaisessa kohteessa, jonka arvioidaan kokevan melusta johtuvaa häiriötä. Tämä on esim Suomessa sovellettu tapa [5], samoin eurooppalaisessa lainsäädännössä sovellettu tapa. [6]

### 3.1 Meluemission rajoittaminen

Koneakustisen suunnittelun ja teknisen meluntorjunnan kannalta selkeä tapa on rajoittaa laitoksen komponentin melupäästöä. Tällöin voidaan suunnitella vaimentimet, laitosrakennus tai jäähdytyspuhaltimet siten että standardin mukaisin melupäästömittauksin, esim EN-ISO 374X-sarja ja EN ISO 6798 [7, 8] voidaan osoittaa vaaditun meluemissionormin täyttyminen.

Tulkinnanvaraiseksi tilanne muuttuu, kun meluemission raja-arvo asetetaan laitosalueen rajalla. Tontin raja voi olla 5 m tai 500 m etäisyydellä laitteistosta. Ympäröivä alue luokitellaan usein erilaisten käyttötarkoitusten mukaan, kts. Taulukko I.

Suunniteltaessa tai rakennettaessa laitos keskelle peltoaukeaa tai muuta ns. ”joutomaata” sanotaan kyseessä olevan ”greenfield project”. Alue on usein luokiteltu virkistysalueeksi, ja laitoksen meluemissiolle sovelletaan vastaavaa tiukahkoa raja-arvoa. Kysymys kuuluu: onko alue virkistysalue, kun sille perustetaan teollisuusalue, jonka sähköistämiseksi rakennetaan voimalaitos? Tällöin menettely laitoksen meluemission rajoittamiseksi tontin rajalla annetulla raja-arvolla johtaa laitoksen melutekniseen ylisuunnitteluun, ja luo paitsi teknisiä haasteita myös poliittisen ongelman voimalaitoksen ostajalle ja myyjälle.

*Taulukko I. Brasilian kansallisen standardin NBR 10151 [3] ja Maailmanpankin ympäristö-ohjeen [4] ympäristömelun raja-arvojen  $L_{p,A}$  [dB] vertailu. Päiväajan arvo 7-22 / yöajan arvo 22-7.*

Alueluokitus	NBR	IFC
Maaseutu	40/35	
Sairaala-alue	45/40	
Asutusalue	50/45	
Pääasiassa asutusalue, liikennettä	55/50	55/45
Asutusalue, liikennettä, kaupan tiloja	60/55	
Virkistysalue, liikennettä	65/55	
Yleinen alue, 40 m liikenneväylästä	70/55	
Pääasiassa teollisuusalue	70/60	70/70

### 3.2 Meluimmission rajoittaminen

E erityisesti eurooppalaisessa, mukaanlukien suomalaisessa lainsäädännössä pyritään rajoittamaan meluimmissio laitoksen ympäristön ”häiriintyvissä kohteissa” sellaiselle tasolle, että ”häiriintyvälle kohteelle” ei aiheudu terveydellistä haittaa eivätkä materiaaliset tai immateriaaliset arvot vaarannu, esim. kiinteistön arvo laske tai alueen virkistyskäyttö vaikeudu.

Tämä on osoittautunut käytännön projektisuunnittelutyössä edellisessä luvussa kuvattua selkeämmäksi tavaksi ennakoita ja suunnitella laitoksen melupäästö siten että konfliktia ympäristön kanssa ei synny. Meluimmission rajoittamiseen tähtäävä normisto takaa sen, että tarpeetonta ylimitoitusta voimalamelun rajoittamiseksi ei tarvitse tehdä.

Immissiotason normiarvot vaihtelevat Suomen uusien asuinalueiden yöajan arvosta  $L_{p,A}$  45 dB [5] Arabiemiraateissa ja Benelux-maissa monin paikoin käytännössä sovellettavaan arvoon  $L_{p,A}$  30 dB. On selvää, että immissioraja-arvon täyttymistä ei pystytä kaikissa tapauksissa osoittamaan mittauksin. Laitoksen luovuttamisen yhteydessä mitataan laitteiston meluimmissio, jonka perusteella laskennallisesti arvioidaan meluimmissio tarkasteltavassa pisteessä. Tällöin tullaan joka tapauksessa suunnittelemaan voimalaitos akustisesti parhaaksi mahdolliseksi. Tällä on myös kustannusvaikutuksia.

### 3.3 Pienitaajuinen melu

Pienitaajuisen melun osalta ei ole olemassa selkeää kansainvälisesti tunnustettua normistoa. Voimalaitostarjouskilpailuissa ja teknillisissä erittelyissä esitetyt vaatimukset pienitaajuismelulle perustuvat yleensä kansalliseen lainsäädäntöön tai ovat mielivaltaisia ja hajanaisia, melukonsultin omaan kokemukseen perustuvia. Aiheesta on esitetty hyvä katsaus [9], missä osoitetaan hajaannuksen tila.

Ohjaavan normiston puuttuessa voimalaitoksen pienitaajuisista ympäristömelua rajoittaa teknillisten mahdollisuuksien lisäksi naapuruston reagointi ”häiritseväksi” koettuun pienitaajuusäänneen. Haasteita ovat mm. kasvava laitostekniikka ja usean erivaiheisen pienitaajuusäännilähteen interferenssi-ilmiöt (savupiippujen melun yhteisvaikutus ja melun suuntariippuva voimakkuusvaihtelu sekä erittäin pienitaajuinen interferenssimelu jossa amplitudimodulaation taajuus on 0,5...2 Hz).

Toisaalta paikallinen rakennustapa ei vastaa välttämättä meillä tunnettuja normeja esim. ikkunoiden kiinnityksen, tiivistyksen ja seinien materiaalivahvuuksien osalta. Tällöin pienitaajuisten melun herättämä ikkunan tai seinän rakenteellinen värähtely voi pahimmillaan aiheuttaa *akustinen heräte-rakenteen vaste-akustinen sekundääriheräte-asukkaan vaste*-ketjun.

Pienitaajuisten melun torjunnassa saavutetaan usein hyviä tuloksia täsmämitoitettujen reaktiivisten pakomeluvaimentimien käytöllä [10]. Oikein mitoitettulla reaktiivisella vaimentimella voidaan saavuttaa kenttäolosuhteissakin 20 dB lisäsvaimennus moottorin pakomelun tietyillä harmonisilla. Subjektiiivinen kokemus vaimennuksesta voi olla vielä voimakkaampi sekundääristen herätteiden (ikkunoiden räminä, seinien värähtely) poistuessa.

#### 4 VALVOMOMELUN NORMIT

Voimalan toimintaa valvotaan ja ohjataan valvomohuoneesta. Valvomomelulle annettiin ensimmäinen raja-arvo v. 2007 Maailmanpankin (International Finance Corporation IFC) voimalaitosten yleisessä ympäristö-, terveys- ja turvallisuusohjeessa [4]. Voimalan valvomon suositusäänenpainetasoksi annetaan  $L_{p,A}$  45...50 dB.

Tutkittaessa tämän raja-arvon perustelua huomataan, että kansainvälisen sähköteknisen komission standardi antaa vastaavan vaatimuksen ydinvoimalaitoksen valvomohuoneelle [11]. Rakennusakustiset standardit ja suunnitteluohjeet [esim. 12, 13] luokittelevat sisätilojen akustiset vaatimukset eri tavoin. Valvomotilan väänenpainetasolle asetettujen tasojen vertailu esitetään taulukossa II alla.

*Taulukko II. Esimerkkejä valvomotilan äänenpainetason suositusarvo kansainvälisissä standardeissa ja ohjeissa.*

Standardi	$L_{p,A}$ [dB]
IEC 60964 [11]	45
SFS 5907 [12]	55...60
VDI2058 [13]	70
IFC EHS [4]	45...50
IFC Thermal Plants [14]	65

Usein ei ole taloudellisesti kannattavaa tai teknisesti järkevää rakentaa varsinkaan pienehkön mäntämoottorivoimalaitoksen valvomohuonetta samaan huoneakustiseen tasoon kuin ydinvoimalan valvomo. Tämän teknillis-taloudellisen perustelun tueksi kirjallisuustutkimuksessa [15] havaittiin, ettei ole muita varsinaisia syitä kuin varmuuden maksimointi tähdätä mainittuun tasoon  $L_{p,A}$  45...50 dB.

Uudemmassa ohjeessaan suuremmille lämpövoimalaitoksille Maailmanpankki on kohtuullistanut vaatimustaan v 2008 [14]. Uusi raja-arvo on  $L_{p,A}$  65 dB. Tämä voidaan saavuttaa yleisesti käytetyillä seinäelementtirakenteilla ja huolellisella rakennustavalla. Kokemuksen perusteella laitoksen operaattorien vaste tähän tasoon on käytännössä hyvä.

#### 5 YHTEENVETO

Mäntämoottorivoimalaitoksen tärkeimmät ympäristömelun lähteet ovat moottorin jäähdytyslaitteisto ja moottorin hengitykseen liittyvät ahtoilman otto ja pakokaasun poisto.

Jäähdytysmelun vaimentamisen haasteet liittyvät yhtäältä tekniikkaan: kuinka kaikista mahdollisista puhallinsiivistä valitaan sovellukseen paras ja kuinka mitoitetaan ilmantuotto ja paineenkorotus oikein. Toisaalta ympäristömelun arviointi emission perusteella, laitosalueen rajalla korostaa lähellä rajaa sijaitsevien lähteiden, kuten jäähdytysradiaattori, merkittävyyttä.

Pakomelun tehokkaan vaimentamisen haasteet liittyvät pienitaajuiseen, suhteessa muihin voimalan äänilähteisiin voimakkaaseen herätteeseen. Prosessitekniikka määrittää pakoputken halkaisijan ja pituuden: halkaisija lähestyy 2000 mm mittaa, yksittäisen putkilinjan pituuden ollessa moottorilta ulostuloon jopa 100 m. Putken halkaisija määrää suoraan vaimentimen koon perinteistä vaimenninteknologiaa käytettäessä. Vaadittaessa vaimentimelle pieni vastapaine ja suuri vaimennuskyky pienitaajuisilla moottorin harmonisilla tulee erilaisten täsmävaimentimien käyttö kiinnostavaksi.

Ympäristömelua ja melua työturvallisuusmielessä arvioidaan kansainvälisesti hyvin kirjavin kriteerein. Laitossuunnittelun kannalta paras tapa ylisuunnittelun välttämiseksi on arvioida ympäristömelua immissiotason perusteella. Sovellettaessa emissiotasoon perustuvaa arviointia nousee laitosalueen koko kriittiseksi muuttujaksi. Äänenpainetaso laitosalueen rajalla ei usein liity laitoksen naapurin kokemaan häiriöön tai vaikuta ympäristön käyttöarvoon.

Onnistunut voimalaitoksen akustinen suunnittelu perustuu tasapainoiseen lähteiden ja vaimennuksen mitoitukseen. Yksittäisten komponenttien ylimitoitusta vältetään. Usein joudutaan vaimentamaan kaikkia lähteitä toivotun lopputuloksen saavuttamiseksi. Tärkeä näkökohta on myös suunnittelun ja toteutuksen vakiointi. Tunnetut, hyvin suunnitellut ja testatut komponentit ja ratkaisut eivät tuota ikäviä yllätyksiä ja aiheuta kalliita jälkikäteiskorjauksia.

## VIITTEET

1. Munjal ML, *Acoustics of Ducts and Mufflers*, luku 6.6, John Wiley & Sons, 1987
2. Munjal ML, Galitsis AG, Ver IL, *Passive Silencers*, teoksessa Ver IL, Beranek LL, *Noise and Vibration Control Engineering*, John Wiley & Sons, 2006
3. NBR 10151:1987 - Acústica-Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade - Procedimento
4. International Finance Corporation, *General Environmental, Health and Safety Guidelines*, Washington DC, 2007
5. Valtioneuvoston päätös 993/92
6. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2002/49/EY Ympäristömelun arvioinnista ja hallinnasta
7. ISO 3744 Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure - Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane
8. ISO 6798 Reciprocating internal combustion engines - Measurement of emitted airborne noise - Engineering method and survey method
9. Saine K, Pääkkönen R, Lahti T, *Low frequency noise - a need for guidelines? Inter-noise 2006*, Havaiji
10. <http://www.wartsila.com>, hakusana CSS
11. IEC 60964, *Design for Control Rooms of Nuclear Power Plants*, International Electrotechnical Commission, Geneva, 1989
12. SFS5907, *Rakennusten akustinen luokittelu*, SFS Standardisointi, Helsinki, 2004
13. VDI 2058 Blatt 3 - *Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung unterschiedlicher Tätigkeiten*, 1991
14. International Finance Corporation, *Environmental, Health, and Safety Guidelines for Thermal Power Plants*, Washington DC, 2008
15. [http://www.euromot.org/download/news/positions/stationary\\_engines/WB\\_EHS\\_guidelines\\_euromot\\_position\\_background\\_paper\\_290607.pdf](http://www.euromot.org/download/news/positions/stationary_engines/WB_EHS_guidelines_euromot_position_background_paper_290607.pdf)