PUHALLINMELU YMPÄRISTÖMELUNLÄHTEENÄ - EPÄVARMUUSTEKIJÖITÄ

Johannes Hyrynen, Ville Veijanen

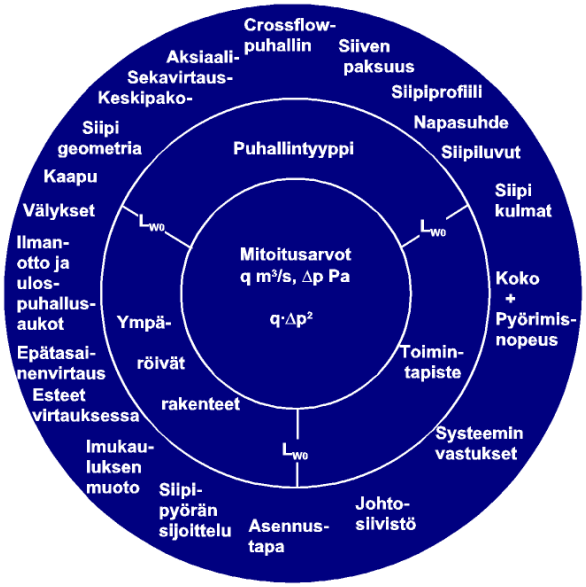
VTT
PL 1300 33720 TAMPERE
johannes.hyrynen@vtt.fi

WÄRTSILÄ FINLAND OY
PL 252, 65101 VAASA
ville.veijanen@wartsila.com

1 JOHDANTO

Puhaltimia käytetään ilman liikutteluun mm. teollisuuden prosesseissa, rakennusten ilmanvaihdossa ja jäähdytysprosesseissa. Saavuttaakseen tietyn ilmamäärän puhaltimen on pystyttävä voittamaan järjestelmässä esiintyvä painehäviö. Puhallin tuottaa ympäristöönsä melupäästön, jonka suuruus riippuu monesta tekijästä.

Puhaltimia on monentyyppisiä riippuen käyttötarkoituksesta. Aksiaalipuhaltimet soveltuvat pääosin tapauksiin, joissa tuotettavan ilman määrä suhteessa voitettavaan paineenkorotukseen nähden on suuri. Keskipakoispuhaltimia taas käytetään, kun paineenkorotus on suuri suhteessa tuotettavaan ilmamäärään nähden. Sekavirtauspuhaltimet ovat edellisten välimuotoja ja ne sijoittuvat käyttötarkoitukseltaankin aksiaali- ja keskipakoispuhaltimien välimaastoon. Puhaltimien suoritusarvot eli tilavuusvirta ja paineenkorotus sekä hyötysuhde riippuvat puhaltimen dimensioista, geometriasta ja pyörimisnopeudesta. Geometriaan liittyviä parametreja ovat muun muassa siipiprofiili, siipikulmat, siiven jännemitta, imuaukon ja ulkohalkaisijan välinen suhde sekä siipilukumäärä. Puhaltimen tilavuusvirta ja myös hyötysuhde riippuvat järjestelmässä esiintyvästä vastuksesta. Vastukseen vaikuttavat mm. kanavapituus ja -halkaisija sekä virtauksen epäjatkuvuuskohdat kuten mutkat ja dimensiomuutokset. Puhallin mitoitetaan yleensä toimimaan halutulla ilmamäärällä ja painehäviöllä siten, että sen toimintapiste osuu parhaan hyötysuhteen toimintapisteeseen. Pääsääntöisesti siinä pisteessä puhallin toimii myös parhaiten melun suhteen. Meluun vaikuttaa myös puhaltimen pyörimisnopeus, joka saattaa säätösyistä vaihdella prosessin aikana. Kuva 1 esittää puhallinmeluun vaikuttavia tekijöitä mitoituksesta ja toimintapisteestä rakenteellisiin seikkoihin asti.



Kuva 1. Puhallinmeluun vaikuttavia tekijöitä

Puhaltimen hyvyyttä melun suhteen voidaan arvioida ns. ominaisäänitehon L_{W0} avulla [1], joka suhteuttaa äänitehon puhaltimen suoritusarvoihin. Ominaisäänitehotaso määritetään kaavan 1 avulla.

$$L_{W0} = L_{WT} - \left(10 \cdot \log \frac{q}{q_0} + 20 \cdot \log \frac{\Delta p}{\Delta p_0} \right), \tag{1}$$

jossa L_{WT} = äänitehotaso, q = tilavuusvirta, Δp = paineenkorotus, $q_0 = 1\, m^3/s$ $\Delta p_0 = 1 Pa$

Kaava perustuu äänitehon riippuvuuteen virtausnopeudesta $L_W \propto v^5$. Kirjallisuus [2] antaa ominaisäänitehon arvoja erityyppisille puhaltimille, joihin arvoja voi verrata.

Tutkimuksessa on keskitytty voimalaitoksen jäähdytysmeluun, ja paperissa esitetään yhden koelaitteen koesarjan mittaustulokset. Koelaitteessa mitattiin useita eri puhaltimia eri halkaisijoilla ja eri siipikulmilla. Sekä järjestelmän painehäviötä että puhaltimen pyörimisnopeutta muutettiin systemaattisesti. Näin on pystytty arvioimaan puhaltimen toimintaa laajalla alueella eri säätötilanteissa ja esim. painehäviöiden vaihdellessa. Puhaltimen toimintaa arvioitiin tilavuusvirran, paineenkorotuksen, tehonoton ja hyötysuhteen sekä äänitehon avulla. Alustavasti tutkittiin myös äänen suuntaavuutta, mutta sitä ei tässä paperissa esitetä.

2 VOIMALAITOKSEN JÄÄHDYTYSMELU

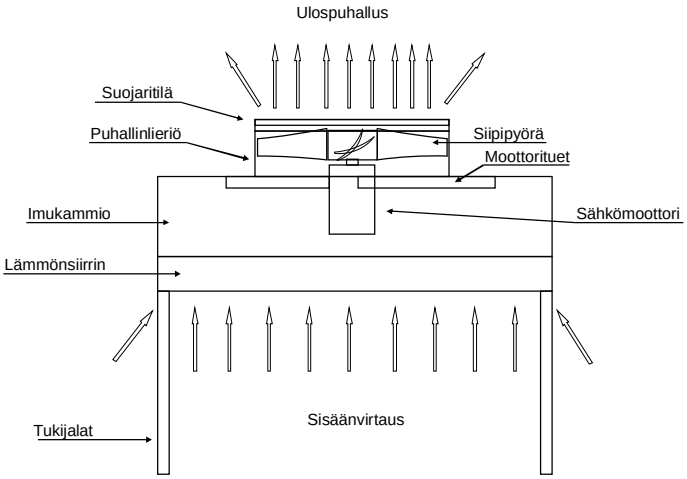
Jäähdytysmelu on yksi merkittävimmistä voimalaitoksen ympäristömelunlähteistä. Riippuen laitoksen koosta ja tehosta jäähdytyskenttä voi parhaimmillaan koostua kahdesta sadasta halkaisijaltaan 1-2 metriä olevasta aksiaalipuhaltimesta. Kuva 2 esittää osaa erään voimalaitoksen jäähdytyskentästä.

Kuva 2. Osa voimalaitoksen jäähdytyskenttää.

Melulähteen arvioimisen haasteellisuutta lisää se, etteivät kaikki puhaltimet toimi identtisellä tavalla johtuen siitä, että puhaltimien kokema painehäviö voi olla erilainen. Esimerkiksi kentän keskellä olevat puhaltimet saavat vähemmän ilmaa johtuen suuremmasta painehäviöstä. Myös tuuliolosuhteet vaikuttavat puhaltimien kokemaan painehäviöön. Voimalaitosten jäähdytysmelu on tyypillisesti pientaajuista pyörimisnopeuksien ollessa aika alhaisia, tyypillisesti n. 500-750 1/min.

3 TESTILAITTEEN RAKENNE JA MITATUT KONFIGURAATIOT

Testilaite koostui yhden puhaltimen jäähdytysyksiköstä. Jäähdytysyksikön pääkomponentit ovat tukijalat, lämmönsiirrin, imukammio, puhallinlieriö, sähkömoottori, moottorituet sekä siipipyörä.



Kuva2. Jäähdytinyksikön komponentit.

Jäähdytys toteutetaan siten että aksiaalipuhallin imee ilman alhaalta imukammion kautta lämmönsiirtimen läpi, jolloin lämmönsiirtimen läpi putkessa kulkeva kuuma neste jäähtyy.

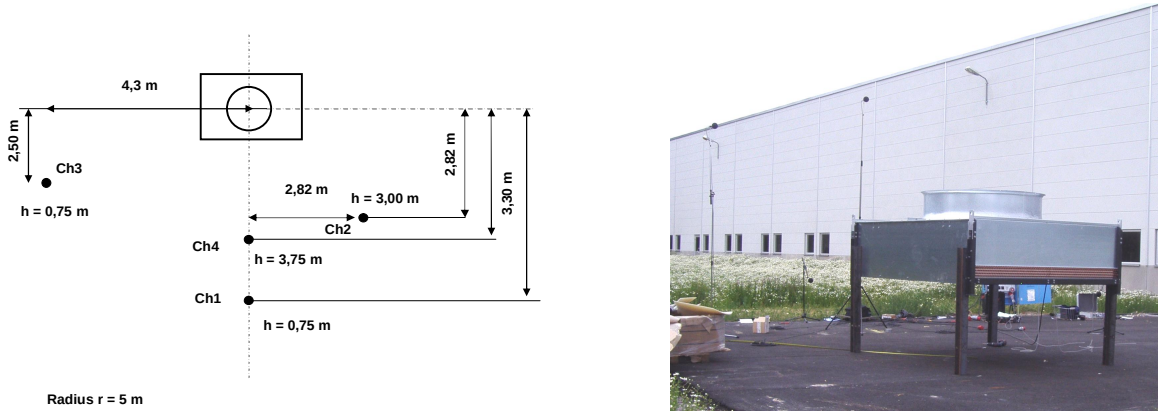
Koesarjassa mitattiin yhteensä 5 erilaista siipipyörää kahdella eri halkaisijalla. Suuremmasta puhaltimesta mitattiin 5 siipikulmaa ja pienemmästä 3. Kuvassa 3 on esitetty pienemmän halkaisijan mitatut siipipyörät. Jokainen tapaus mitattiin kolmella eri pyörimisnopeudella kolmea eri painehäviötä käyttäen. Pyörimisnopeutta säädettiin taajuusmuuttajalla. Painehäviötä muutettiin asettamalla lämmönsiirtimen imupuolelle suodatinkangas, jolloin painehäviötä saatiin kasvatettua.

Kuva 3. Puhallintyypit

4 MITTAUSSUUREET JA -MENETELMÄT

Puhaltimen äänitehomittaukset tehtiin soveltaen standardia ISO 3744 [3] käyttäen neljää mikrofonia 5 m säteellä puhaltimen keskipisteestä. Äänilähde oletettiin symmetriseksi, joten mittauspisteet sijoitettiin vain yhdelle puhaltimen sivulle. Kuvassa 4 on esitetty mikrofonien sijoituspaikat sekä valokuva koelaitteesta ja mittausjärjestelystä.

Ilmamäärän mittaaminen toteutettiin mittaamalla staattinen paine erityisellä mittasondilla heti lämmönsiirtimen jälkeen 12 kohdassa lämmönsiirtimen otsapinnalla. Vastaavat virtausnopeudet oli määritetty etukäteen k.o lämmönsiirtimille laboratoriossa. Tilavuusvirta laskettiin 12 virtausnopeuden keskiarvona. Samoja sondeja käyttäen määritettiin imukammiossa vallitseva staattinen paine. Tilavuusvirran ja paineen mittaustapa on esitetty kuvassa 5.



Kuva 4. Äänitehon mittaamisen järjestelyt

Kuva 5. Ilmamäärän ja paineen mittaus

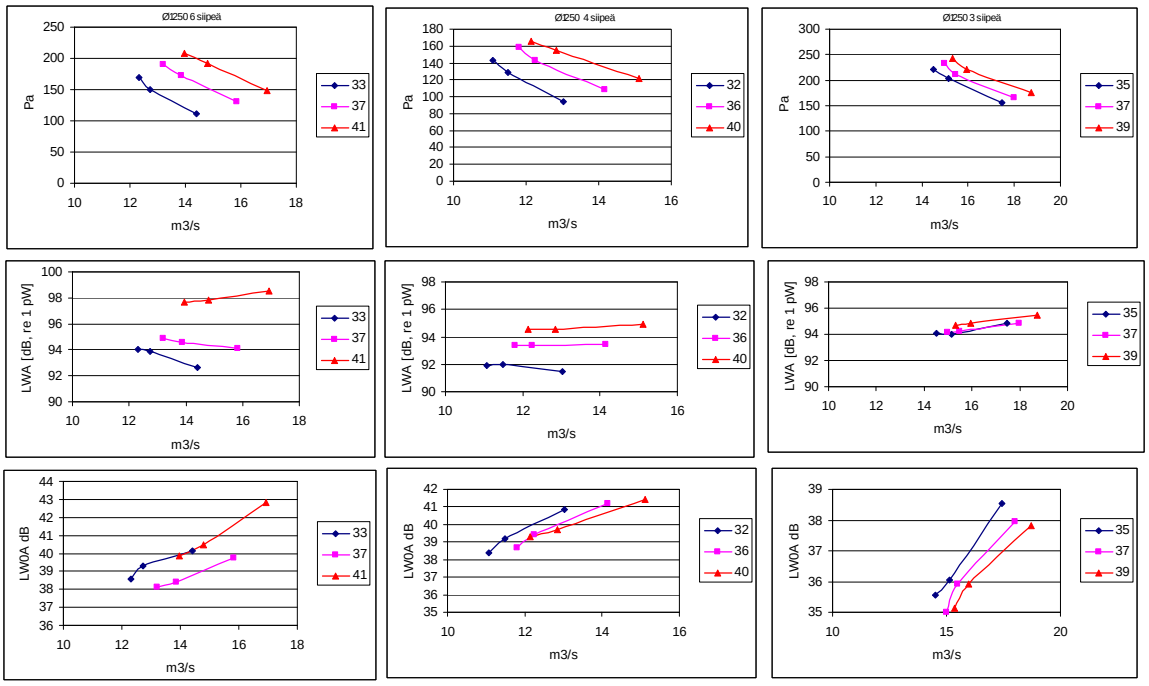
Laitteen hyötysuhteen määrittämistä varten mitattiin puhaltimen ottama sähköteho HIOKI tehonmittauslaitetta käyttäen.

5 TULOKSET

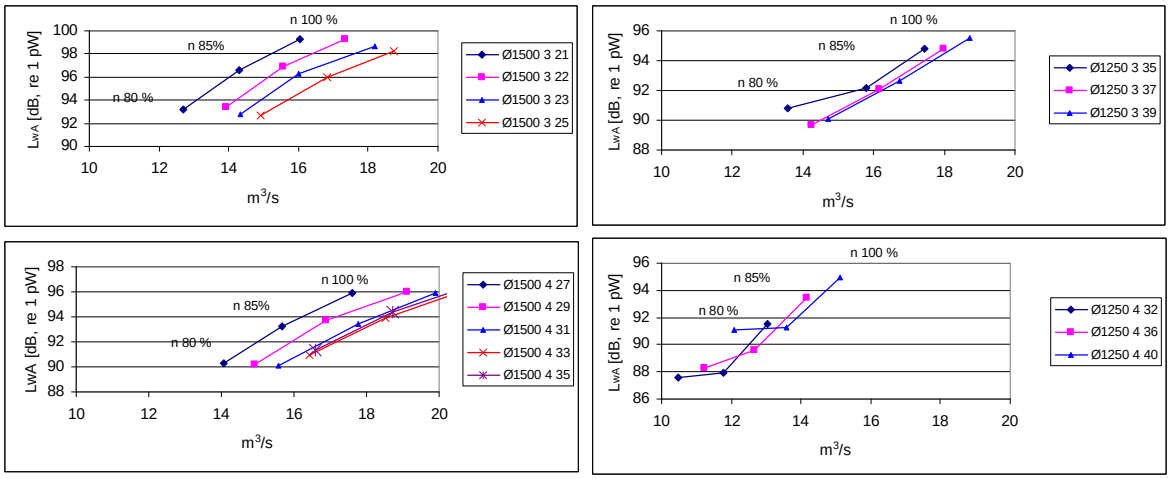
Tutkimuksen tulokset on esitetty kuvaajina, joissa puhaltimen paineenkorotus, ääniteho sekä ominaisääniteho on esitetty puhaltimen tilavuusvirran funktiona. Tulokset on esitetty kuvassa 6. Osa tuloksista on esitetty myös pyörimisnopeuden funktiona. Koska mittauksia on paljon, tulokset tilavuusvirran funktiona on esitetty vain kolmelle eri siipipyörälle kukin vain maksimipyörimisnopeudellaan. Tulokset pyörimisnopeuden funktiona on esitetty 4 siipipyörälle kaikilla siipikulmilla yhdellä painehäviöllä kuvassa 7.

Kuvan 6 mukaan ääniteho riippuu valitusta siipikulmasta, mutta myös painehäviöstä. Siipikulman vaikutusta voi arvioida ominaisäänitehokuvaajasta ja sen vaikutus voi olla 3 dB. Sii-

pikulma on tekijä johon voidaan vaikuttaa siipipyörän mitoitusvaiheessa. Painehäviö taas voi muuttua puhaltimen käytön aikana esimerkiksi lämmönsiirtimen likaantuessa tai tuulen vaikutuksesta. Myös eri puhaltimet voivat olla sijoitettuna järjestelmään siten, että niiden painehäviöt ovat erilaiset. Painehäviön vaikutus mitatuissa rajoissa on 1-3 dB, joten vaikutus on itse asiassa aika pieni, mikäli säilytään puhaltimen toiminta-alueella, jossa puhallin ei sakkaa.



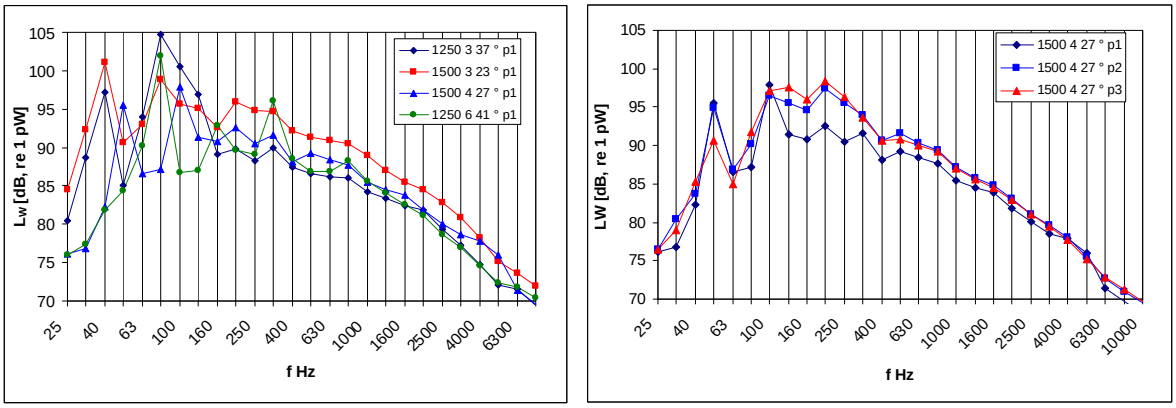
Kuva 6. Kolmen eri puhaltimen painekäyrät (ylhäällä), A-painotetut äänitehokäyrät (keskellä) sekä ominaisäänitehokäyrät (alhaalla).



Kuva 7. Äänitehon muuttuminen puhaltimen pyörimisnopeuden mukaan. Pyörimisnopeudet n = 100%, n 85% ja n 80%.

Kuvan 7 käyrissä on esitetty tuloksia kolmella eri pyörimisnopeudella, maksiminopeudella sekä 85 % ja 80 % maksimista. Tutkituissa tapauksissa erot maksimipyörimisnopeuden ja 80% pyörimisnopeuden välillä ovat 5-6 dB. Puhallinlakien mukaan ero on $50\log(n_2/n_1)$, eli muutos maksimista 80 %:iin tarkoittaa äänitehotason alenemista 5 dB. Tulos vastaa näin ollen hyvin tätä riippuvuutta. Kuvassa 8 on vertailtu eri siipiluvun puhaltimien terssikaistoja (vasen

puoli). Vertailtavat puhaltimet on valittu siten että ne toteuttavat saman ilmamäärän samassa rakenteessa. Oikealla puolella näkyy kuinka taajuusjakauma muuttuu kun puhaltimen painehäviö muuttuu.



Kuva 8. Äänitehon terssikaistoja eri puhaltimille sekä yhden puhaltimen eri toimintapisteille

6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksessa on tehty jäähdytyspuhaltimen aerodynaamisiin suoritusarvoihin ja äänitehoon liittyvä koesarja, jonka avulla on pyritty saamaan käsitys puhaltimen äänitehotasoista eri olosuhteissa. Koesarjassa tutkittiin useita puhallinkonfiguraatioita eri pyörimisnopeuksilla ja painehäviöillä. Tulokset esitettiin ääniteho- ja ominaisäänitehotasoina puhaltimen tilavuusvirran funktiona sekä äänitehotasoina pyörimisnopeuden funktiona.

Pyörimisnopeuden muutokset osoittautuivat puhallinlakien mukaisiksi. Painehäviön vaikutus tutkitulla vaihteluvälillä oli suhteellisen vähäinen. Riippuen puhaltimen toimintapisteestä painehäviön nousu voi vaikuttaa äänitehotasoihin joko alentavasti tai kasvattavasti. Painehäviö puhaltimelle voi olla erilainen johtuen sen sijainnista jäähdytyskentässä tai tuuliolosuhteissa. Puhaltimen taajuusjakauma ja etenkin siipitaajuus riippuu puhaltimen siipiluvusta ja pyörimisnopeudesta.

VIITTEET

1. Madison, R.D.:Fan Engineering (Handbook), 5th Edition Buffalo Forge Company, Buffalo N.Y, 1949
2. Neise, W.: Noise rating of fans on the basis of the specific sound power level, Proc. of AFMC, Melbourne, Australia, December 1989, pp1.41-1.44.
3. ISO 3744: 1995 Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure. Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane.