

KONEAKUSTINEN MANIFESTI

Jukka Tanttari¹⁾, Ari Karjalainen²⁾

1) Ylisitarintie 18 B9, 37500 Lempäälä

2) Muroleenkatu 14 B 25, 33720 Tampere

1 ARTIKKELIN TAUSTA JA TARKOITUS

Seuraavassa esitetään katsaus muutamiin koneiden äänenhallinnan liepeillä viimeisen 15 vuoden aikana kukoistaneisiin ilmiöihin. Esityksen keskeisenä tarkoituksena on herättää keskustelua.

Tarkoituksena ei ole kritisoida erilaisia akustiikan menetelmiä ja lähestymistapoja sinänsä tai osaavia tutkijoita ja teoreetikkoja, vaan asioiden esiintymistä *populaariakustisina taikasanoina*. Taikasanojen rummutus johtaa päättäjien ja suuren yleisön keskuudessa epärealistisiin odotuksiin ja pidemmällä tähtäimellä luottamuksen vähenemiseen.

2 KONEAKUSTIIKKA

Koneakustiikka tarkoittaa akustisen seurauksen eli melun liittämistä sen syihin eli koneen toiminnallisiin ilmiöihin. Koneakustiikan ydin on energianmuuntoprosessin, jossa laitteen toiminnallinen energia muuttuu äänienergiaksi, tunteminen *sekä koneeseen että akustiikkaan liittyviltä osiltaan*. Pelkistettynä...



Kuva 1. Koneakustiikka pelkistettynä.

3 ANTEEKSI, PUHALTIMENNE ON DIPOLI

Koneen ja akustiikan ilmiömaailmat yhdistämällä ja niihin vaikuttamalla voidaan löytää todellisia, tehokkaita ja taloudellisia äänenhallinnan ratkaisuja. Pelkästään seurausta tarkastelemalla jää suuri osa ratkaisuista löytymättä.

Aksiaalipuhallin on hyvä esimerkki koneakustiikan ja perinteisen akustiikan näkökulmaeroista. Akustiikan kannalta hyvä selitys ei yleensä riitä koneakustikolle. Johdatellaanpa lukijaa: puhallin ei melua siksi, että se on ”dipoli”, vaan se on ”dipoli” siksi että puhallinta ympäröivä virtauskenttä, aiheuttaa siiven pinnalla paineen (voiman) muutoksia. Puhaltimen toiminnasta voidaan erottaa kymmenkunta eri virtausilmiötä, jotka aiheuttavat akustisen seurauksen. Kokeellisesti on havaittu, että näiden ilmiöiden aiheuttamalla melulla on tyypillisesti $v^{5...6}$ -riippuvuus. Akustisesti tämä vastaa 2D...3D-dipolia. Mutta monestako dipolista puhaltimen pitäisi *akustisessa kuvauksessa* muodostua? Ja kuinka ne pitäisi sijoittaa malliin? Ja mikä tekisi dipoleista puhaltimen suunnittelijaa hyödyttävää *konkreettista informaatiota*?

4 SE PYÖRII SITTEENKIN

Äänen intensiteettitekniikan kehittymisen 80-luvun alussa piti mahdollistaa ”lähteiden paikallistaminen” ja ”meluntorjunta lähteellä”. Satojen, jopa tuhansien pisteiden intensiteettimittaukset paljastivatkin mielenkiintoisia asioita, kuten intensiteettikenttien pyörteisyyden. Tästä voitiin päätellä että intensiteettikentät ovat pyörteisiä - mutta tuskin montakaan konstruktion kehittämiseen liittyvää asiaa. Asiasta emme voi syyttää intensiteettikenttiä, vaan omia ajattelumallemme. Nytemmin tiedetään, että osaavat ihmiset kykenevät intensiteettimenetelmällä paikallistamaan tärkeimmät äänen säteilijät. Siitä koneakustinen tarkastelu usein alkaa.

5 HILJAINEN RAKENNE – VAIN SANAHELINÄÄ?

Sanat tulevat välillä tärkeämmiksi kuin realiteetit, joihin ne viittaavat. Se on inhimillistä. Nykypäivän taikasanoja ovat ”Designing Quiet Structures” (DQS) ja optimointi.

DQS -tekniikalla ei ole mitään tekemistä tuotesuunniteluun liittyvän ”Low Noise Design” (LND) –toimintamallin kanssa, vaikka niin on Suomessa erheellisesti kuviteltu. Kysymyksessä ovat eri hierarkiatasoilla olevat käsitteet.

Hiljaisista rakenteista ei pitäisi puhua irrallaan niistä olosuhteista joissa, niiden pitäisi olla hiljaisia. Hiljaisten rakenteiden ja optimoinnin lähtökohdana on tyypillisesti olemassa oleva rakenne, joka yleensä on määräytynyt aivan muista kuin akustisista syistä. Tällöin tehtäväksi jää lokaalin minimin hakeminen. Äänensäteilyn minimointi esim. lisämassoilla jollekin taa-juudelle ja herätteen sijainnille ei toimi yleisesti, ja aiheuttaa usein huononnuksen joissakin toisissa oloissa. Kun kyseessä ovat satunnaisherätteet ja vaihtelevat käyttöolosuhteet (kuten useimmissa koneissa), palataan rakenteen keskimääräisiin ominaisuuksiin jotka ovat olennaista. Toisin sanoen palaudutaan suunnittelun lähtökohtiin.

Lokaalien minimien esittelylle on tyypillistä, että tulokset esitetään vain siltä alueelta, jolla parannusta on saavutettu. Tällöin on parempi puhua äänenlaadullisista muutoksista tai parhaimmillaan äänenlaadun optimoinnista kuin hiljaisista rakenteista tai melupäästön rajoittamisesta. Optimi on suomeksi paras mahdollinen tila ja optimointi on *parhaan vaihtoehdon etsimistä*.

6 VASTAUS ON VASTAUS, MUTTA VAIN OIKEAAN KYSYMYKSEEN AJOISSA SAADUT LASKETAAN

Äänikenttien numeerinen mallinnus ja simulointi ”Noise Problems Solved Silently” löi itseään läpi 90-luvun alkupuolella. Vauhdin hurmassa harva on vieläkin tullut ajatelleeksi, että tärkeimmät suunnitteluratkaisut on yleensä jo tehty silloin, kun numeerisen mallinnuksen vaatima tarkka geometria on olemassa. Mahdollisuuksia rakenteellisille ratkaisuille ei yleensä enää ole – ainoaksi mahdollisuudeksi jää add-on kotelointi, joka aina lisää kustannuksia. Pahimmillaan tämä saa akustikon näyttäytymään ongelman aiheuttajana, ei ratkaisijana.

Mallinnuksella ja simuloinnilla voidaan ilman muuta tuottaa hyödyllistä tietoa äänenhallinnan tueksi. Kaiken edellytyksenä on se, että *tiedetään kysymykset*, joihin mallinnuksella ja simuloinnilla *haetaan vastausta*. On hyvä pohtia myös sitä, missä *suunnitteluvaiheissa* merkittävimmät melupäästöön ja äänen laatuun vaikuttavat ratkaisut tehdään.

7 PELASTAVIA ENKELEITÄ

Ihminen on löytöretkeilijä. Helmholtzin yhtälöä ratkaisevia ohjelmia löydetään edelleen vähintään yksi vuodessa. ”Vibroakustiikka” ja ”vuorovaikutus” myrskysivät vesilasissa vähän aikaa, kunnes huomattiin mistä on kysymys – Newtonilaisen mekaniikan peruslaeista. Tuoreimpia esimerkkejä mullistavista uutuuksista ovat esim. I-Deas Vibro-Acoustics, Elmer, Femlab ja Power. Ja mikäli yksittäisen ohjelman nimi on kärsinyt inflaation, niin ei hätää: *virtuaaliprototyypinnilla* vaatteet saadaan jälleen kerran vaihdettua.

Toki myös melun syntyä mallintavia ohjelmistoja on olemassa. Kevyimmät näistä simuloivat vain pientä osaa ilmiökentästä, sitä matemaattisesti helpoiten kuvattavaa. Esimerkiksi *CAA-ohjelmistona* mainostettu FanNoise laskee siiven jättöreunan pyörteen muodostuksesta ja sisään virtauksen epätasaisesta ajasta riippumattomasta profiilista johtuvaa melua. Analyttiset kaavat näille ilmiöille ovat varsin yksinkertaiset, ongelma jättöreunan pyörteen muodostuksessa on oikean rajakerroksen paksuuden mallinnus! Lisäksi siiven jättöreunan pyörteen muodostus on merkittävää lähinnä vain (katto-)tuulettimissa ja epäideaalisissa toimintapisteessä toimivilla, siis väärin mitoitetuilla tai valituilla (laite-)puhaltimilla!

Uusien ohjelmien käyttöönotto vaiheessa onkin nähdäksemme aina riski, että kuvitellaan löydetyksi jotain uutta, ennen kuin ajan kuluessa ja ymmärryksen kasvaessa todetaankin että johtopäätökset olivatkin väriä – ja kalliita. Esimerkiksi LES-pohjaiselle Radioss-ohjelmistolla puhaltimen yhden toimintapisteen akustinen laskenta vaatii nykyisellään toista viikkoa tietokoneaikaa. Lisäksi ohjelmiston tekninen asiantuntija suhtautui varauksin mm. virtausestelevyn mukaan ottamiseen mallinnukseen, useampien rinnakkaisten puhaltimien (=realismia) laskemista hän piti epärealistisena.

Yhteistä näille ”uutuuksille” on, että ennestään tunnettua teknologiaa/tekniikkaa/ohjelmaa/periaatetta kaupataan pelastajana, joka on sovellettavissa ilman perusteellista ymmärrystä järjestelmästä tai ilmiöistä. Ohjelmat tarjoavat turvapaikan ilmiömaailman tuntemattomuutta vastaan. Siksi niihin on niin helppo takertua. Toisaalta osavissa käsissä kunnolliset ohjelmat ovat kuin testerit autonkorjaajalle.

8 TEORIA EI NÄE ITSENSÄ ULKOPUOLELLE

Yleisesti ottaen kannattaa pitää mielessä että mallit, kuvaukset ympäröivästä maailmasta, voivat pohjautua aalto- tai hiukkaslähestymiseen. Perinteisesti akustiikassa käytetään aaltolähestymistapaa, mikä onkin riittävä kuvaamaan *äänien etenemistä ideaalioloissa*. Haluttaessa selvittää melun syntyyn liittyviä ilmiöitä, esimerkiksi virtauksen synnyttämää ääntä, kannattaa kuitenkin miettiä olisiko hiukkaslähestymisellä annettavaa. Äänihän on kuitenkin hiukkasten liikettä.

Tässä vaiheessa lienee paikallaan palauttaa mieliin tieteessä käytettäviä luonnonlakeja. Virtausta ja siis myös akustiikkaa hallitsevat seuraavat lait:

1. Jatkuvuusyhtälö (massan säilyminen)
2. Liikeyhtälö (Newtonin II laki)
3. Energiayhtälöt (termodynamiikan I ja II pääsääntö)

Usein tarvitaan lisäksi muita lakeja kuten kaasun tilayhtälöä ja viskositeetilakeja sekä reuna-ehdoja. Mallin kyky selittää luontoa tai konetta (niiden ilmiöitä) kasvaa sitä mukaan mitä useampi näistä tekijöistä malliin sisällytetään. Samalla kuitenkin yhtälöiden ratkaiseminen vaikeutuu huomattavasti.

Riippuen siitä mitä tekijöitä malliin sisällytetään ja kuinka paljon niitä yksinkertaistetaan saadaan ratkaistua äänen eteneminen, synty ja/tai häviöt hieman eri tavoin. Sovelluskohteesta ja soveltajasta riippuen kenttämuuttujana voidaan käyttää ainakin painetta, hiukkasnopeutta, tiheyttä tai entalpiaa. Akustisissa analogioissa täydellisin kuvaus on Doakin esittämä jossa kenttämuuttujana on entalpia (fluctuating total enthalpy), siinä siis hyödynnetään kaikkia em. lakeja. Toisaalta esimerkiksi kanavistoissa syntyvä melu saadaan varsin hyvin kuvattua potentiaalivirtausmalleilla, jotka Doak on omasta lähestymistavastaan lähtien osoittanut oikeiksi.

9 MULLISTAVIA TEKNIKOITA TULOSSA – AIVAN PIAN

Esimerkkimme mullistavasta tekniikasta on *aktiivinen äänenhallinta*. Aktiivinen äänenhallinta on ainakin 50-luvulta lähtien tarjonnut aina uudelleen populistisia, suurelle yleisölle tarjottuja tieteistarinoita siitä kuinka se *aivan pian* ratkaisee meluongelmat ilman suurempaa ymmärrystä koneen toiminnasta ja varsinaisesta melun synnystä. Kuitenkin aktiivinen äänenhallinta on lähtökohdiltaan ajallisesti ja spatiaalisesti yksinkertaisiin, mielellään deterministisiin tapauksiin soveltuva – joskus tehokaskin – menetelmä.

Useimmat koneiden ilmiöt ovat satunnaisia. Puhaltimissa on äänesten tapaisia ilmiöitä jotka voivat olla stationäärisiä, mutta eivät välttämättä deterministisiä. Puhallinäänekset eivät aina ole korreloitavissa pyörimiseen. Tai kaikkihan tietysti riippuu tarkastelutarkkuudesta, mutta 30 dB periodisen melun alenemat ovat lähinnä laboratoriotuloksia, joissa äänilähde on *kaiutin* tai tilanteita joissa lähde itsessään käyttäytyy epäideaalisesti synnyttäen ylimääräistä melua.

Useimmissa käytännön ilmanvaihtosovelluksissa kaiken periodisen äänen osuus on alle puolet kokonaismelupäästöstä, usein vain dB:n osia. Äänenlaadullisesti periodiset äänet sen sijaan voivat olla merkittäviäkin. Aktiiviseen äänenhallintaan liittyy lisäksi lähes aina melun lisääntymien muilla kuin vaimennettavilla taajuuksilla. Tämä johtuu todellisista ilmiöistä ja sekä vastaanilähteiden että säätöjärjestelmien epäideaalisuuksista.

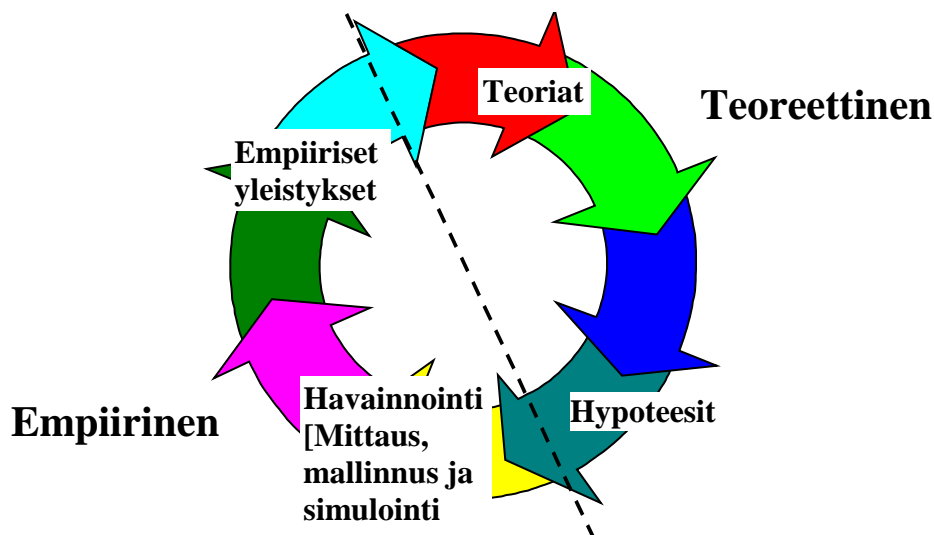
Viime aikoina on aktiivisessakin äänenhallinnassa näkynyt kehitystä, kun kyseistä tekniikkaa on alettu soveltaa *täsmäaseena*, vaikuttamaan aktiivisesti *suoraan äänen syntyilmiöihin* eikä niinkään äänen etenemiseen. Esimerkkeiksi tästä löytyy vaikkapa suihkumoottoreiden rajakerroksen modifiointi ja staattoreiden aktiivinen värähtelyn hallinta.

ISVR:ssä pohditaan, että suihkumoottoreiden lähestymis- ja nousumelusta pyrittäisiin aktiivisesti vaimentamaan vain alaspäin suuntautuvaa keilaa, koska kokonaisuuden vaimentaminen on liian vaikeaa.

10 TIETEELLISEN TOIMINNAN TARKOITUS JA LUONNE

Tieteellisen lähestymisen tarkoitus on *korjata arkiajattelun rajoituksia*. Ei se sen juhlallisempaa ole. Suurimpia arkiajattelun rajoituksia ovat epäluotettavat ja valikoivat havainnot, liiallinen yleistäminen, puutteellinen päättely, lyhytjänteisyys sekä asioiden tarkastelu irrallaan yhteyksistään.

Tieteessä asiat *eivät etene harppauksin*, vaan pohjaavat aikaisempaan osaamiseen, jossa teoreettinen ja empiirinen tieto vuorottelevat. Usein tämä teorian ja empirian liitto kuvataan ns. tieteen pyörällä. Kun tarkasteluun otetaan mukaan aikajänne tai osaamisen kehittyminen, voidaan tieteen etenemistä verrata pyörän pyörimiseen. Pyöriminen muodostaa spiraalin, jonka eri ”tasoja” voidaan verrata koesuunnittelussa käytettäviin tasoihin, jotka ovat aihealueeseen tutustuminen (Familiarization), aihealueen kartoitus (Screening), muuttujien optimalueen etsiminen (finding the optimal region), optimointi (Optimization), robustisuuden testaus (Robustness testing) ja mekanistinen tai teoreettinen malli (Mechanistic modelling).



Kuva 2. Tieteen pyörä.

11 LOPUKSI

Tämän hieman nihilistisen näkemyksen jälkeen tulee mieleen, mitä jää jäljelle. Kaikki tarvittava, nimittäin ihmisen ymmärrys perusasioista. Kun pohjatiedot (järjestelmän toiminnasta, ilmiöistä, keinoista ja työkaluista) ovat riittävän hyvät, niin etenkin koko äänensyntyketjun kattava järjestelmällinen havainnointi auttaa ymmärtämään relevantteja ilmiöitä syvällisemmin ja ratkaisemaan meluongelmat tehokkaammin, samalla koneen toimintaa kehittäen. Tähän lähestymiseen perustuvaa, suunnitteluun integroitua äänenhallintaa kutsumme Low Noise Designiksi.

