

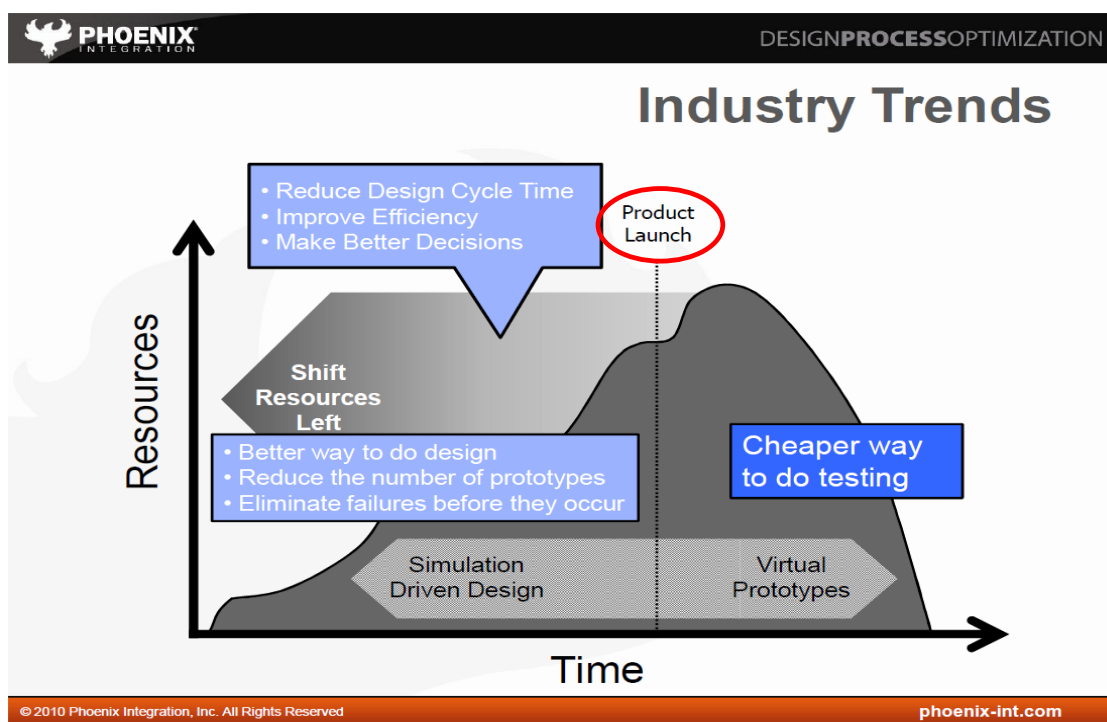
PSYKOAKUSTISEN KOKEMUKSEN EVALUOINTI JA MUOKKAAMINEN OHJAAMO- JA MATKUSTAMOYMPÄRISTÖSSÄ

Hannu Nykänen, Marko Antila, Panu Maijala, Seppo Uosukainen

VTT Teolliset järjestelmät, Älykkäät koneet
PL 1300, 33101 TAMPERE
hannu.nykanen@vtt.fi

1 JOHDANTO

Tuotteiden suunnittelun trendi teollisuudessa on lisätä mallinnus- ja simulointiperustaisia suunnittelua [1]. Tuotteiden akustiikan osalta tämä tarkoittaa tuotteiden geometrinen ja materiaalmallien muokkaamista 3D FEM-, BEM- ja SEA-malleiksi ja näillä tehtävää tuotteiden akustisten ja värähtelyominaisuuksien suunnittelua. Tavoitteena on saada aikaan myös kuuntelukokein tapahtuvaan akustisten ominaisuuksien evaluointiin soveltuva malli.



Kuva 1: Teollisen tuotteen suunnittelutrendit [1].

2 PSYKOAKUSTISEN KOKEMUKSEN EVALUOINTI

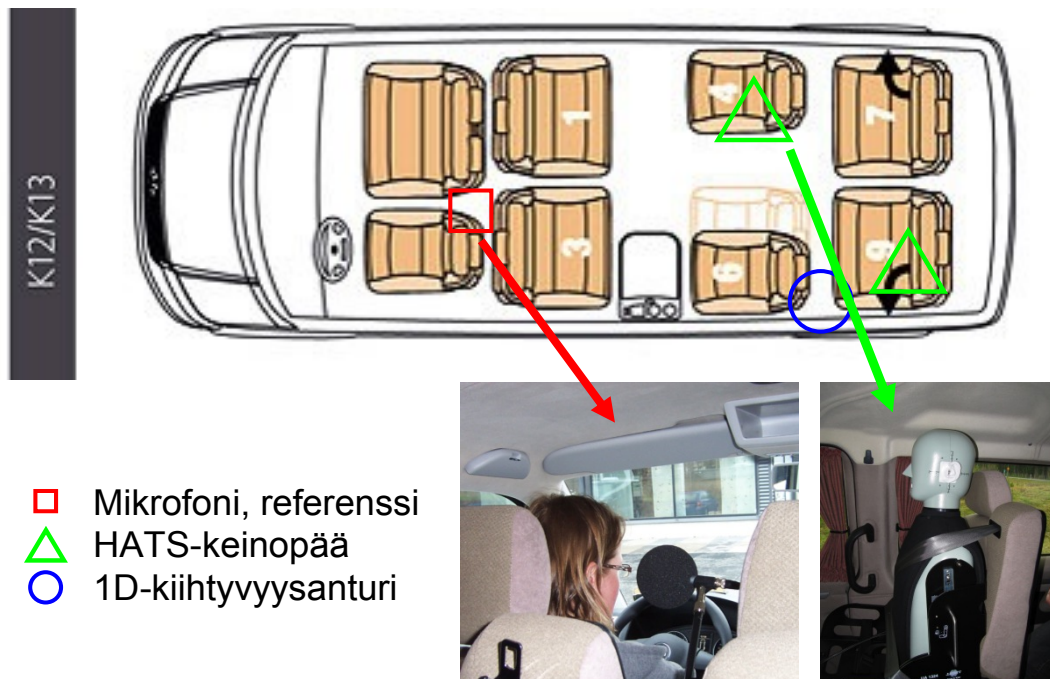
Psykoakustisen kokemuksen evaluointi ja muokkaaminen voidaan tulkita menetelmäksi, jolla arvioidaan, kuinka ihminen kokee akustisen ympäristön ja mitkä ovat avaintekijät akustisen ympäristön parantamiseen psykoakustisen kokemuksen kannalta. Kokemuk-

sen arviointiin voidaan liittää muita tekijöitä kuten visuaalisuus, lämpöolosuhteet ja tärinä, jolloin kokonaiskokemuksen arviointiin tarvitaan virtuaaliympäristö, jossa binauraalisen akustisen signaalin lisäksi voidaan tuottaa muut arviointiin vaikuttavat tekijät.

VTT kehittää virtuaaliympäristön hyväksikäyttöön perustuvaa psykoakustisen ja kokonaiskokemuksen evaluoinnin järjestelmää ja metodiikkaa erityisesti traktori- ja työ-koneohjaamoiden sekä liikennevälineiden matkustamojen työ- ja matkustuskokemuksen arviointiin.

2.1 Psykoakustinen evaluointi VTT:llä

VTT tekee psykoakustisia evaluointeja sekä kaupallisella ohjelmistolla, että kuuntelukokein. Evaluoitavat signaalit mitataan keino- tai tosipäällä binauraalisesti (kuva 2).



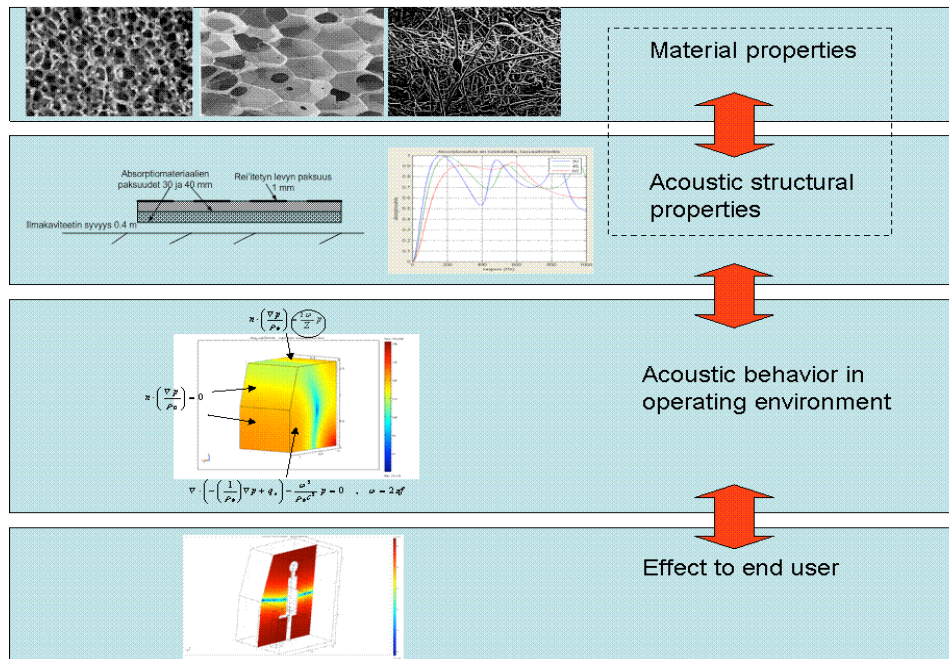
Kuva 2: Binauraalinen mittaus keinopäällä tila-autossa.

Mitatuista signaaleista analysoidaan rutiinimaisesti suureet [2 - 4]: **A-painotettu äänenpainetaso, äänekkyys, äänekkyys 10 %**, (äänenvoimakkuus, joka ylitetään 10 % ajasta), **terävyys, vaihteluvoimakkuus, karheus, impulssivisuus, tonaalisuus, harhaton häiritsevyys/kiusallisuus, sensorinen miellyttävyyys ja artikulaatioindeksi-NVH**. Artikulaatioindeksi-NVH kuvaa kuinka hyvin normaali puhe ymmärretään lähinnä ohjaamoympäristössä.

2.2 Metodiikan kehittäminen VTT:llä

Mitattujen signaalien käytöstä siirrytään vähitellen mallipohjaiseen evaluointimenetelyyn. Mallipohjainen akustinen evaluointi on VTT:llä aloitettu ilmanvaihtojärjestelmän mallintamisella ja mallista tuotetun signaalin vertaamisella mitattuun signaaliin. Vertailu osoitti, että mallipohjainen ja mitattu signaali ovat varsin lähellä toisiaan. Toisena

mallinnussuuntana on ollut työkoneohjaamon sisäakustiikka ja pintojen materiaaliominaisuudet (kuva 3). Ohjaamon sisätilan akustiset ominaisuudet on mallinnettu FEM-akustiikkaohjelmistolla ja ohjaamon sisäpintojen materiaalien absorptio-ominaisuudet on sijoitettu malliin reunaehtona. Näistä mallinnoista ei saatu vielä binauraalista signaalia: ilmanvaihtojärjestelmästä tuotettiin kuunneltava yksikanavainen signaali ja ohjaamomallista visuaalinen melutasojakauma. [5 - 7]



Kuva 3: VTT:n käyttämä lähestymistapa ohjaamoakustiikan materiaalien mallinnukseen ja vaikuttavuuden arviointiin. Ohjaamossa käytettyjen pintamateriaalien akustiset ominaisuudet on määritetty materiaaliparametrien perusteella ja sijoitettu reunaehtona ohjaamon akustiseen FEM-malliin, jolla on laskettu äänitasojakauma ohjaamossa.

Kehityskohteenä on suljetun ohjaamotilan binauraalinen akustinen mallinnus. Tavoitteena on malli, jota voidaan käyttää ohjaamoakustiikan kuuntelutesteihin. Herätteet malliin tuotetaan edelleen pääosin mittauksen perusteella, mutta mittausdataa käsitellään siten, että eri herätteiden merkitystä voidaan tarkastella erikseen. Siirtotiet toteutetaan aika-alueen suotimina, jolloin myös eri siirtoteiden merkitystä voidaan tarkastella reaaliaikaisesti (kuva 4).

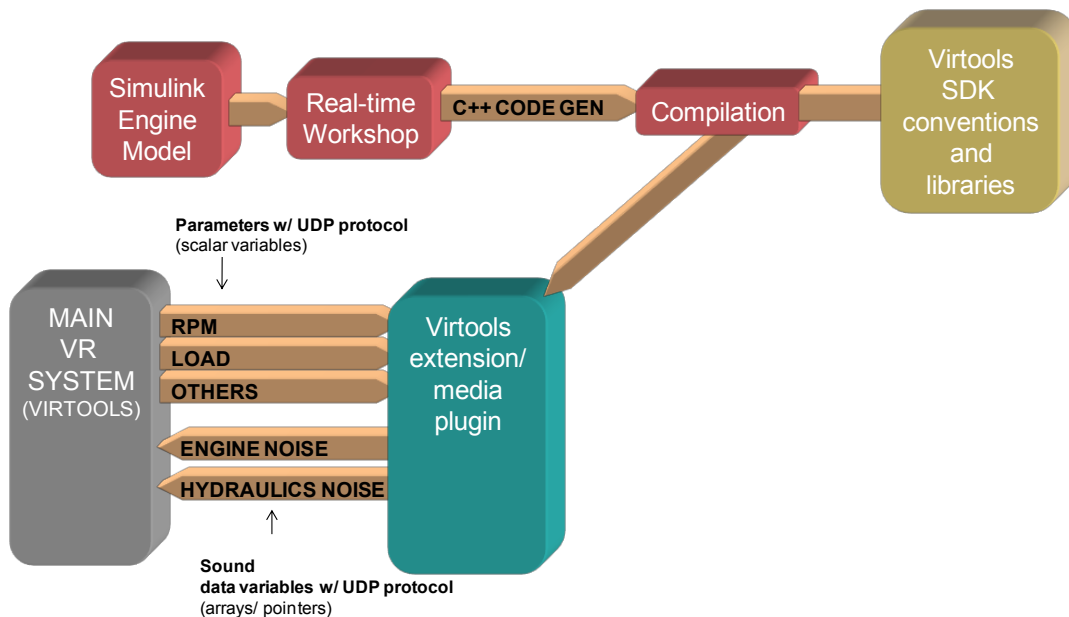
Suurin haaste ohjaamomallinnuksen menetelmäkehityksessä on, miten laatia akustinen malli, joka kykenee tuottamaan binauraalisen signaalin psykoakustista evaluointia varten. Potentiaalisimmalta vaihtoehdolta näyttää sekä taajuus- että aikatason laskennan mahdollistava FEM-akustiikkaohjelmisto. Ohjaamon sisäpintojen materiaalien mallinnukseen ja kehittämiseen voitaisiin käyttää taajuustason mallinnusta ja konvertoida malli aikatasoon binauraalisen signaalin tuottamiseksi.

Ohjaamon sisääkustiikka (toteutetaan olemassa olevan testiohjaamon mallina ja verifioidaan mittauksin)	Siirtotiet (toteutetaan mittauksiin perustuvina, rinnakkaisina aika-alueen suotimina, joita voidaan muokata reaaliaikaisesti)	Lähteet / herätteet (perustuvat mittauksiin, joiden tuloksia modifioidaan tarvittaessa)
3D CAD-malli => FEM/BEM/Matlab malli <ul style="list-style-type: none"> ▪ mitat ▪ materiaalit ▪ resonaattorit ja muut sisätilan rakenteet => Binauraalinen akustinen ohjaamomalli, josta saadaan kuunneltava binauraalinen signaali (virtuaaliympäristössä) kuulokkeilla tehtäviin kuuntelutesteihin	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ohjaamon ulkoinen akustiikka (suljettu tai avoin työskentely-ympäristö) ▪ ohjaamon aukot ja läpiviennit ▪ tuulilasi ja muut lasit, katto, lattia, seinät ▪ runkorakenne ▪ "jäykät" liitokset ▪ tärinäneristimet 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ moottori ▪ voimansiirto ▪ jäähdytysjärjestelmä (puhallin) ▪ pakoääni ▪ hydraulikka ▪ prosessi ja työmelu ▪ rengasmelu ▪ (sisä)ilmanvaihto

Kuva 4: Tiivistelmä VTT:n lyhyen tähtäimen tavoitteesta binauraalisesti kuunneltavan ohjaamomallin kehittämiseen.

3 SIMULAATTORIKEHITYS

Akustinen simulaattori on integroitu osaksi VTT:n virtuaaliympäristön Virtools-ohjelmistoa (kuva 5). Simuloinnissa käytetään tällä hetkellä ääninäytteiden toistoa. Ääninäytteinä käytetään yhdistelmää moottorin eri kierroslukualueilta tallennettuja ääniä (multisamples). Lisäksi on kehitetty SIMULINK-malli, joka tuottaa moottoriäänien annetulla moottorin kierrosluvulla. Tämä versio on toistaiseksi itsenäisesti toimiva, eikä sitä ole vielä liitetty Virtools-ohjelmistoon.

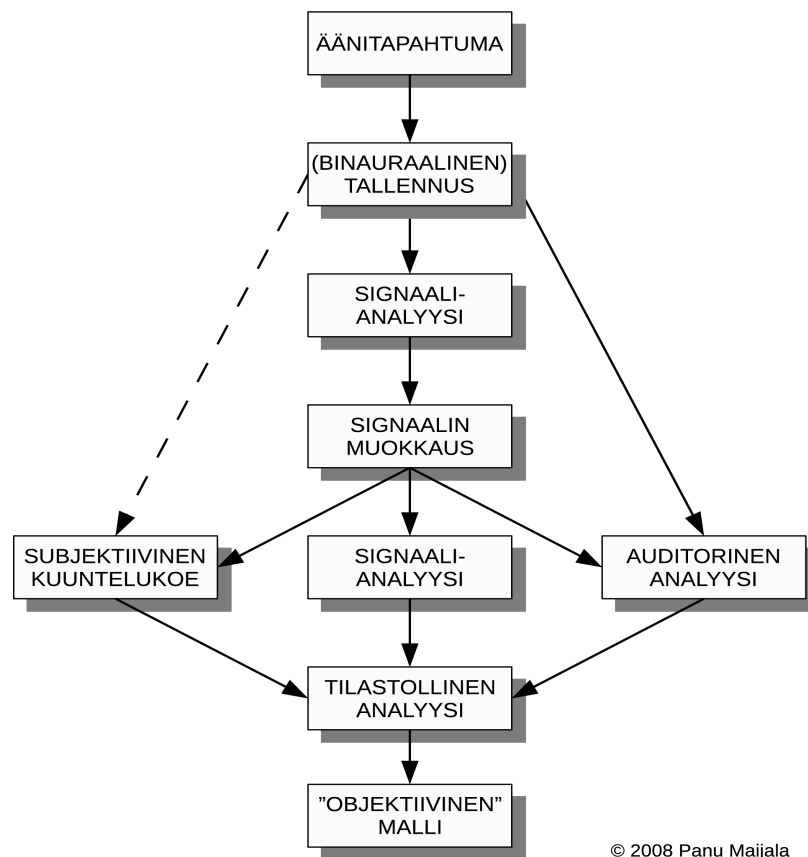


Kuva 5: Akustinen simulaattori osana virtuaaliympäristöä.

Akustisen simulaattorin äänentuottojärjestelmä on toteutettu kaupallisena Surround sound 5.1 järjestelmänä. Se soveltuu yleiseen virtuaaliympäristön esittelyyn, mutta ei luotettavien kuuntelukokeiden toteuttamiseen. Vuoden 2011 aikana rakennetaan edellisen rinnalle 24 koehenkilön samanaikaiseen testaamiseen soveltuva kuuntelukoejärjestelmä.

4 PSYKOAKUSTINEN EVALUOINTI

Psykoakustinen evaluointi perustuu tallennettuun tai mallista laskettuun binauraaliseen signaaliin, jolle on tehty toistomenetelmän vaatimat korjaukset (kuva 6). Äänitapahtuman psykoakustiset ominaisuudet määritetään formaalein psykoakustisin menetelmin ja kuuntelukokein. Kuuntelukokeiden perusteella määritellään malli, jonka perusteella voidaan ennakoida binauraaliseen signaaliin tehtävien muutosten vaikutus psykoakustisen evaluoinnin tuloksiin.



Kuva 6: Fysikaalisesta äänitapahtumasta voidaan muodostaa objektiivinen, psykoakustinen malli kuuntelukokeiden avulla. Vain erikoistapauksissa voidaan binauraalisesti tallennettuja ääninäytteitä käyttää suoraan kuuntelukokeissa ja niille tulee tehdä ainakin toistomenetelmän vaatimat korjaukset.

Psykoakustisen mallin yhtenä tavoitteena on määrittää fyysiseen ympäristöön tehtävien muutosten tarve. Tämän menettelyn luotettavuuden arviointi muodostaa toisen tutkimuksellisen haasteen eli miten pitkälle psykoakustista mallia voidaan käyttää fyysikaalis-

ten muutosten etukäteisevaluointiin ja milloin tarvitaan uudet kuuntelukokeet psykoakustisen mallin päivittämiseksi.

5 YHTEENVETO

VTT kehittää virtuaaliympäristön hyväksikäyttöön perustuvaa psykoakustisen ja kokonaiskokemuksen evaluoinnin järjestelmää ja metodiikkaa työkoneiden ohjaamoiden sekä liikennevälineiden matkustamojen työ- ja matkustuskokemuksen arviointiin.

Tärkeimmät tutkimuskysymykset, joka lähivuosien tutkimuksella pyritään ratkaisemaan, ovat:

- kuinka hyvin mallilla laskettu signaali vastaa todellisessa ympäristössä mitattua binauraalista signaalia, ja
- kuinka pitkälle psykoakustista mallia voidaan käyttää fysikaalisten muutosten etukäteisevaluointiin, eli milloin tarvitaan uudet kuuntelukokeet psykoakustisen mallin päivittämiseksi.

VIITTEET

1. MULLINS J, Design Process Optimisation. Phoenix Integration, Inc., AnalysisLibrary_Webinar 21.9.2010. 22 slides.
2. FASTL H & ZWICKER E, *Psychoacoustics. Facts and models*. 3rd edition, Springer Verlag, 2007.
3. KARJALAINEN M, *Kommunikaatioakustiikka*. Korjattu esipainos. Helsinki University of Technology, Laboratory of Acoustics and Audio Signal Processing, Report 51, Espoo 1999.
4. MVI technologies group, 01dB-Stell, dBFA32 software suite, user manual. Limonest: 01dB-Stell Head Office, 2001.
5. SAARINEN A, ANTILA M, UOSUKAINEN S, KATAJA J, SIPONEN D, MELLIN V & LANKILA A, *Kuultavat virtuaalimallit*. VTT tutkimusraportti VTT-R-11303-07, Espoo 2007.
6. SAARINEN A, UOSUKAINEN S, NYKÄNEN H, ANTILA M, LINDROOS T, UOTILA T, SIPONEN D & LANKILA A, *Kehittyvät absorptiomateriaalit*. VTT tutkimusraportti VTT-R-11314-08, Espoo 2009.
7. SAARINEN A & UOSUKAINEN S, Kuormaajan ohjaamon äänikentän mallinnus kytketyllä menetelmällä. *Akustiikkapäivät 2009*, 14.-15.5.2009, Vaasa, 216-221.