

SYSTEMAATTINEN LÄHESTYMISTAPA VIBROAKUSTISEEN MALLINTAMISEEN JA SIMULOINTIIN

Seppo Uosukainen

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
Rakennedynamiikka ja vibroakustiikka
PL 1000
02044 VTT
Seppo.Uosukainen@vtt.fi

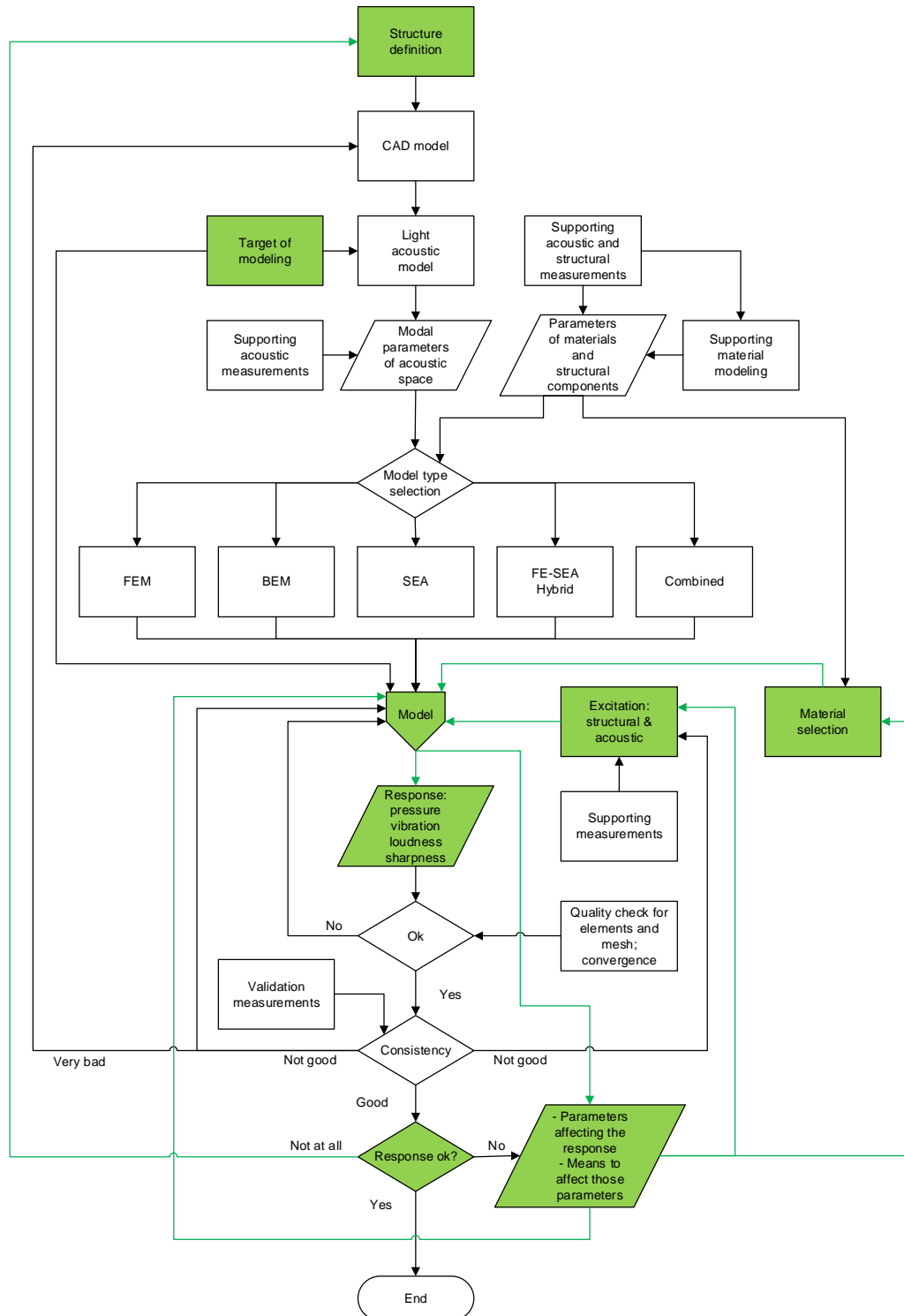
Tiivistelmä

Systemaattinen lähestymistapa vibroakustiseen mallintamiseen ja simulointiin on kehitetty VTT:llä NOVI-hankkeessa. Lähestymistapaa voidaan käyttää rakenteiden vibroakustiseen kehittämiseen mallinnuksella suunnittelun eri asteilla: konseptitasolla, kokonaisuuden suunnittelussa ja yksityiskohdallisessa suunnittelussa. Mallinnukseen perustuva suunnittelu tunnetusti vähentää yrityksen ja erehdyksen tuottamia kustannuksia ja suunnitteluprosessi voidaan näin ollen toteuttaa luotettavammin, nopeammin ja riskittömämmin. Ääniteknisesti erilaisten vaihtoehtojen kokeilu simuloimalla on myös helposti toteutettavissa. Esitettävä systemaattinen lähestymistapa on lisäksi hyödyllinen suunnitteluprosessin eri vaiheiden määrittämiseksi suunnittelun vuokaavion avulla, suunnitteluprosessin kaikkien mahdollisten vaiheiden tarpeellisuuden arvioimiseksi sekä suunnitteluprosessin kustannusten arvioimiseksi.

1 JOHDANTO

Melu ja värähtely ovat tärkeitä aspekteja tuotteissa sekä lainsäädännön että tuoteimagon kannalta. Meluttomuus ja äänenlaatu kilpailutekijöinä ovat kasvamassa sekä ympäristötekijänä että koneiden ja laitteiden käyttöolosuhteissa. Jälkikäiteistöimennepiteet melun vähentämiseksi ovat yleensä kalliita ja vaikeita toteuttaa. Tehokkain ja luonnollisin lähestymistapa melun ja sen häiritsevyyden vähentämiseksi sekä äänenlaadun parantamiseksi on ottaa ne huomioon jo tuotesuunnittelun alkuvaiheessa. Mallinnustyökalujen käyttö tässä yhteydessä vähentää oleellisesti kokeilemiseen tarvittavaa aikaa ja siihen liittyviä kustannuksia.

NOVI-hankkeessa [1] vibroakustisia mallinnustyökaluja käytettiin mm. työkonoiden, erityisesti traktoreiden, ohjaamoiden ääniolosuhteiden laskentaan ja erilaisten ratkaisujen akustisen toimivuuden keskinäisiin arviointeihin niissä [2, 1]. Tämä johti tarpeeseen kehittää systemaattinen lähestymistapa vibroakustiseen mallintamiseen ja simulointiin [3, 1]. Käytetyistä sovelluskohteista johtuen lähestymistapa on jossain määrin painottunut työkonoiden ohjaamo-olosuhteisiin ja pieniin akustisiin tiloihin sovellettavaksi. Lähestymistavan vuokaavio on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Vibroakustisen mallintamisen vuokaavio [3, 1].

2 MALLINNUKSEN LÄHTÖKOHTA

Rakenteen perusmäärittelyn jälkeen suunnittelija tekee rakenteesta yleensä CAD-mallin. Suunnittelija ja mallintaja joutuvat tätä mallia tyypillisesti modifioimaan akustisia tarkoituksia silmälläpitäen. Akustisesti turhien yksityiskohtien vähentäminen vähentää tarvit-

tavaa laskenta-aikaa. Lisäksi CAD-mallissa tyypillisesti esiintyvät epärelevantit aukot joudutaan paikkaamaan, jotta perusgeometria voisi toimia mallin pohjana.

3 MALLINNUKSEN TAVOITTEET

Seuraavaksi asiakkaan ja mallintajan tulee selvittää tarkoin mallinnuksen tavoitteet. Tavoitteet, tarvittavien rakenteellisten yksityiskohtien ja vuokaaviosta tarvittavien osien määrä riippuvat suunnittelun asteesta: konseptitasolla malli voi olla yksinkertaisempi ja yksityiskohtaisessa suunnittelussa kaikkien akustisesti merkitsevien yksityiskohtien tulisi sisältyä malliin. Vuokaavion kaikki osat eivät ole välttämättömiä suunnittelun kaikissa vaiheissa.

Tavoitteiden määrittelyyn liittyy oleellisesti tieto siitä, mihin materiaali- ja geometriaky-symyksiin halutaan mallinnuksen antavan vastauksia. Näihin voivat kuulua esimerkiksi ohjaamon sisäkaton rakenne, absorbenttien ja niiden sijoittelun valinta, muut mahdolliset meluntorjuntatoimenpiteet ja niiden spesifikaatiot, värähtelyä vaimentavien rakenteiden ja materiaalien räätälöinti sekä rakennerungon ja pienten ilmaonteloiden ominaisuudet.

Ympäristöolosuhteet ja sopivat herätetyypit tulee määritellä: mallinnetaanko rakennetta laboratorio-olosuhteisiin diffuusilla herätteellä vai käynninaikaiseen tilanteeseen toiminnallisilla herätteillä ja käytetäänkö tärinä- vai ääniherätteitä. Haluttujen vastesuureiden määrittely on oleellista: arvioidaanko ympäristömelua vai käyttäjään kohdistuvaa melua, mikä on validi taajuusalue, halutaanko tietoa äänenpaineesta, värähtelystä vai häiritsevyysuureista, riittävätkö tarkastelussa keskiarvosuureet vai halutaanko tietoja kenttäjakaumista sekä tehdäänkö laskennat aika- vai taajuustasossa. Aikatasoa tarvitaan transienttivasteiden laskemiseksi, epälineaaristen ilmiöiden tarkastelussa ja esimerkiksi kun mallia halutaan käyttää auralisaatiossa. Taajuustason malli soveltuu ominaismuotojen ja -taajuuksien laskentaan sekä jatkuvan tilan vasteen laskentaan eri taajuisilla herätteillä.

3 KEVYET LÄHTÖMALLIT JA NIITÄ TUKEVAT MITTAUKSET

Keveyen akustisen mallin simulointitulosten ja niitä tukevien mittausten avulla voidaan määrittää akustisen tilan alimpia ominaistajuuksia ja -muotoja sekä jälkikaiunta-aika ominaismuototiheyden ja Schröderin taajuuden arvioimiseksi. Keveyen materiaalmallin simulointitulosten, niitä tukevien akustisten ja rakenteellisten mittausten sekä asiakkaan ja/tai mallintajan toimittamien tietojen avulla voidaan kartoittaa materiaalien ja rakennekomponenttien parametreja, erityisesti elastiset parametrit sekä ominaismuototiheydet ja häviökertoimet modal overlap -tekijöiden arvioimiseksi. Saatuja parametreja hyödynnetään myöhemmin varsinaisessa laskennassa ja erityisesti varsinaisen mallityypin valinnassa tarvitaan ominaismuototiheyksiä ja Schöderin taajuuksia tai modal overlap -tekijöitä (jälkimmäiset keskenään suorassa suhteessa).

4 MALLITYYPIN VALINTA

Tähän mennessä määriteltyjen tietojen pohjalta valitaan mallityyppi: elementtimenetelmä (FEM), reunaelementtimenetelmä (BEM), tilastollinen energia-analyysi (SEA), FE-SEA-hybridi tai kombinaatiomalli. Kahdella ensiksi mainitulla on saatavissa ääni- ja värähtelykenttien jakaumat. Ne toimivat parhaiten pienillä taajuuksilla, suurilla taajuuksilla ne vaativat paljon muistia ja laskenta-aikaa. Tilastollinen energia-analyysi tuottaa keskiarvot osajärjestelmien ääni- ja värähtelyjakaumista. Se toimii parhaiten suurilla taajuuksilla, joilla ominaismuototiheydet ja modal overlap -tekijät ovat riittävän suuria. Hybridimallilla

(FEM ja SEA -osasysteemejä samoilla taajuusalueilla) ja kombinaatiomallilla (FEM pienillä ja SEA suurilla taajuuksilla) sekä koko taajuusaluetta voidaan käsitellä tehokkaasti.

5 MALLINNUS JA SIMULOINTI

Mallinnusta varten asiakas ja/tai mallintaja tekee ensin tarvittavat materiaalivalinnat sekä rakenteellisten ja akustisten herätteiden määrittelyt käyttäen tarvittaessa määrittelyjä tukevia mittauksia. Mallin rakentamisen jälkeen äänenpaine-, värähtely-, äänekkyys-, terävyysvasteita ja muita vasteita voidaan saada simuloimalla.

Elementtien ja verkon laadun tarkistus sekä laskennan suppenemistarkastelu voidaan suorittaa tässä yhteydessä. Mikäli tulokset eivät tyydytä, on palattava takaisin mallin määrittelyyn. Muussa tapauksessa mittaustulosten avulla voidaan seuraavaksi validoida simulointituloksia. Mikäli tulokset eivät ole riittävän yhdenmukaisia, on palattava takaisin herätteiden ja mallin määrittelyyn. Mikäli tulosten yhtäpitävyys on olematon, on palattava takaisin CAD-mallin määrittelyyn asti. Muissa tapauksissa voidaan siirtyä vasteen tarkasteluun. Mikäli vaste ei ole tyydyttävä, vasteeseen vaikuttavat parametrit ja tavat vaikuttaa niihin tulee selvittää sekä palata takaisin materiaalivalintoihin ja herätteiden ja mallin määrittelyyn. Mikäli vaste ei ole lainkaan halutunlainen, tulee palata takaisin aina rakenteen perusmäärittelyyn asti. Mikäli vaste on tyydyttävä, virtuaalisimulointi voidaan katsoa loppuun suoritetuksi.

6 YHTEENVETO

Kehitettyä systemaattista lähestymistapaa voidaan käyttää rakenteiden vibroakustiseen kehittämiseen mallinnuksella suunnittelun eri asteilla: konseptitasolla, kokonaisuuden suunnittelussa ja yksityiskohtaisessa suunnittelussa. Lähestymistapa on hyödyllinen suunnitteluprosessien eri vaiheiden määrittämiseksi suunnittelun vuokaavioiden avulla, suunnitteluprosessin kaikkien mahdollisten vaiheiden tarpeellisuuden arvioimiseksi sekä suunnitteluprosessin kustannusten arvioimiseksi.

KIITOKSET

Työ on osa yhteisrahoitteista kolmivuotista NOVI-hanketta (Advanced functional solutions for Noise and Vibration reduction of machinery), jonka rahoittajina oli TEKES, VTT ja teollisuus. Työ on tehty hankkeen osaprojektissa SP2 (Sound absorption and sound insulation concepts in cabins).

VIITTEET

[1] Lindroos T, Nykänen H, Lamula L, Karhu M, Uosukainen S, Parviainen H, Komin E, Majjala P, Isomoisio H, Aaltio I, Advanced functional solutions for Noise and Vibration reduction of machinery, NOVI final report, VTT Research Report VTT-R-02256-14, Tampere, 2014.

[2] Siponen D, Lehtinen A, Uosukainen S, Virtual cabin model, NOVI Deliverable D 2.3, VTT, Espoo, 2013.

[3] Uosukainen S, Siponen D, Evaluation of the modelling tools for predicting the performance of materials and structures in cabins – Selected modelling methods and tools for cabin acoustic design, NOVI Deliverables D 2.5 & D 2.8, VTT, Espoo, 2013.