PILVILASKENTA AKUSTISESSA MALLINNUKSESSA

Tomi Huttunen[1)], **Antti Vanne**[1)], **Timo Avikainen**[2)], **Leo Kärkkäinen**[2)]

[1)]Kuava Oy
PL 1188, 70210 Kuopio
tomi.huttunen@kuava.fi

[2)]Nokia Oy
Itämerenkatu 11-13
00180 Helsinki

1 JOHDANTO

Pilvilaskennalla (Cloud computing) tarkoitetaan hajautettua laskentamallia, missä simulaatiot suoritetaan paikallisen työaseman sijaan verkkoon kytketyillä palvelimilla eli "pilvessä". Pilviteknologian hyödyntämisellä pyritään joustavampaan ja tehokkaampaan laskentaresurssien käyttöön, ja sen myötä parempaan kustannustehokkuuteen. Tässä työssä esitellään pilvilaskentamallia hyödyntävä SaaS (*Software-As-A-Service*)-palvelu akustisiin simulaatioihin. Laskentaytimen muodostavat nopea BE (*Boundary Element*)-algoritmi (CompA) [1, 2] sekä korkeiden taajuuksien BE-menetelmä (HFBEM) [3]. Simulaatioesimerkkeinä käytetään pään siirtofunktion (HRTF) mallintamista sekä akustisen emission mallintamista koneakustiikan ongelmissa.

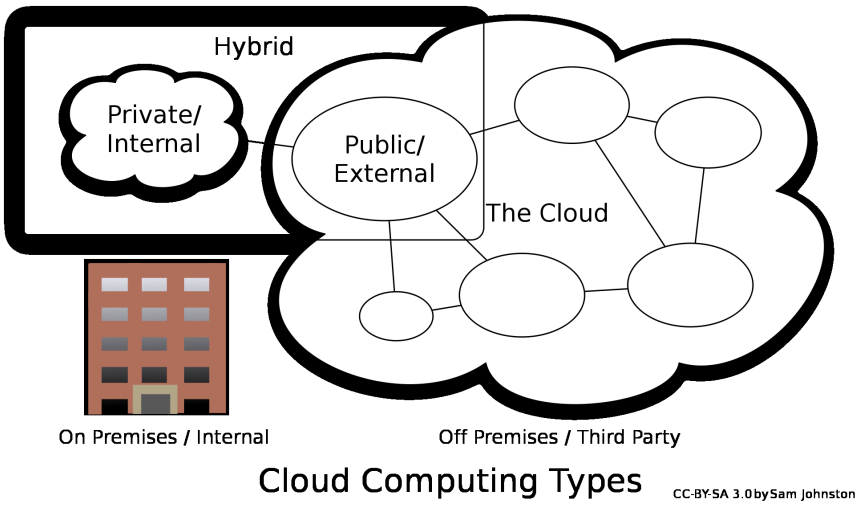
1.1 Pilviarkkitehtuurin perusteet

Pilviarkkitehtuuri voidaan jakaa loppukäyttäjälle näkyvään front-endiin ja järjestelmän sisäiseen back-endiin. Loppukäyttäjän liityntä pilvilaskentaan tapahtuu verkkoselaimen kautta; tietojen sekä simulaation laskevan palvelimen tai palvelimien tekniset yksityiskohdat tai edes sijainti eivät ole oleellista tietoa käyttäjän kannalta. Järjestelmän back-end huolehtii käyttäjältä tulevan tiedon ja simulaatioparametrien perusteella sopivien resurssien varaamisesta ja simulaation käynnistämisestä "pilvessä".

Pilven laskentapalvelimet voivat koostua organisaation omassa käytössä olevista palvelimista, organisaation ulkopuolelta vuokratusta palvelinkapasiteetista sekä näiden yhdistelmästä (kuva 1). Vuokrattavalla palvelinkapasiteetilla voidaan joustavasti tasata simulaatioiden resurssitarpeen huippuja. Tässä artikkelissa esiteltävä simulaatiopalvelu voi käyttää kuorman tasaukseen Amazonin EC2-resursseja [4]

1.2 Pilvilaskennan soveltuvuus simulointiin

Pilvilaskennan hyödyntäminen tarjoaa käyttäjälle useita etuja perinteiseen työasemalla tapahtuvaan simulointiin nähden. Palvelu on helppo ottaa käyttöön, koska se tarvitsee



Kuva 1: *Pilvilaskennan jaottelu ulkoisiin, sisäisiin ja hybridityyppeihin.*

paikallisesti vain verkkoselaimen. Pilvilaskennan edut paikallisesti asennettuihin ohjelmiin verrattuna ovat:

- Automaattisesti skaalautuvat laskentaresurssit.
- Paikkariippumattomuus: yhteiskäyttö ja tiedon jako luontevaa.
- Kustannustehokkuus: pääasiassa maksetaan silloin kun resurssia käytetään, ei kiinteitä ylläpitokuluja.

Vaikka pilvipalveluiden hyödyntäminen on laajassa käytössä esimerkiksi sähköpostipalveluissa, tai jopa akustisen mittausdatan keräämisessä ja tallentamisessa, rajoittavat vaativien mallinnustöiden pilvitoteutuksia seuraavat tekijät:

- Käyttöliittymän yksinkertaisuus: verkon yli tapahtuva toiminta rajoittaa esimerkiksi tulosten interaktiivista visualisointia.
- Siirrettävän tiedon määrä: esimerkiksi elementtimallien ratkaisuna voi syntyä dataa useita gigatavuja.
- Data ei täysin omissa käsissä: tiedon luottamuksellisuus ja integriteetti - toisaalta keskittämällä data, voidaan tietoturvallisuutta myös parantaa.

Akustisen mallinnuksen osalta tässä työssä keskitytään BE-mallien simulointiin (eli ratkaistaan akustinen Helmholtzin yhtälö annetuin reunaehdoin ja tunnetuilla lähdetermeillä, kts. esimerkiksi viite [2]). BE-mallia voidaan pitää liki ideaalisena pilvilaskennan sovelluskohteena: koska malligeometrian kuvaaminen tapahtuu pintaverkon avulla, on simulaation aloittamiseen tarvittava datamäärä suhteellisen pieni. Laskenta tapahtuu taajuus kerrallaan, jolloin ongelma on triviaalisti rinnakkaistuva (yksi taajuus per laskentayksikkö). Käyttäen nopeita BE-algoritmejä (kuten CompA), ei yksittäisen taajuuden simulointi vaadi suurta muistikapasiteettia, mutta laskenta-aika voi olla useita tunteja. Kun kullekin simuloitavalle taajuudelle voidaan tarpeen mukaan varata laskentaresurssi konepilvestä, on kokonaislaskenta-aika (=käyttäjän odottama aika) sama kuin pisin yksittäisen taajuuden laskentaan kuluva aika.

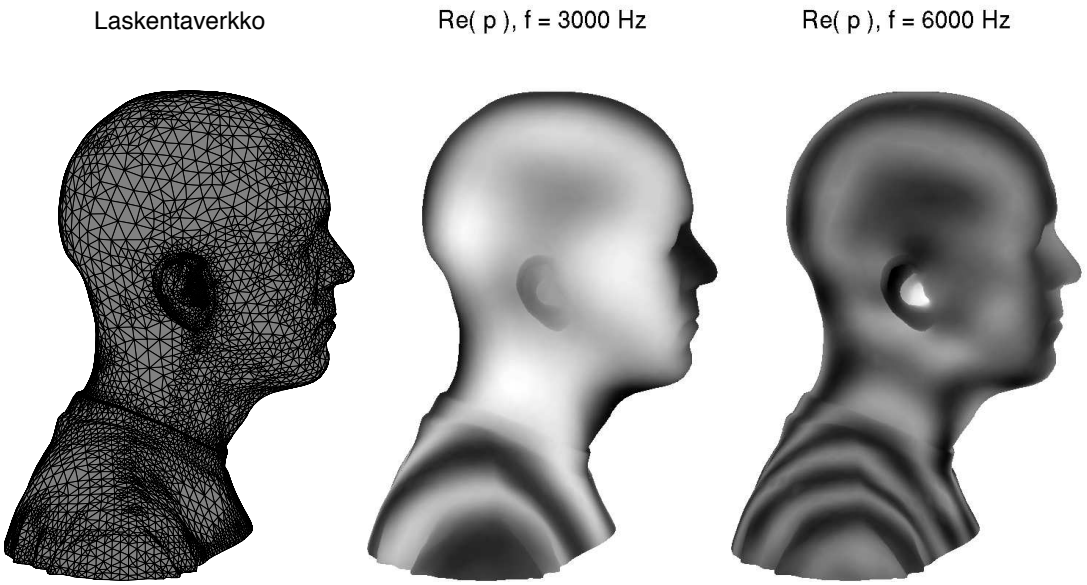
2 SIMULAATIOMALLIT JA TULOKSET

Esimerkkeinä pilvilaskennan hyödyntämisestä akustiikassa käytettiin kahden BE-mallin simulointia. Laskenta toteutettiin Kuava Oy:n kehittämällä SIMAAS (*SImulation-As-A-Service*) laskenta-alustalla. Molemmat esimerkkitapaukset on laskettu vain CompA algoritmiä käyttäen. Yksittäisten taajuuksien laskentaan käytetty kone sisälsi neliytimisen Intel Xeon CPU:n (kellotaajuus 2.83 GHz) ja 16GB käyttömuistia.

2.1 Pään siirtofunktion mallintaminen

Ensimmäisenä esimerkkiongelmana tarkastellaan pään siirtofunktioon liittyvää mallia. Malligeometria on luotu Aalto-yliopiston Signaalinkäsittelyn ja akustiikan laitoksella laserskannaamalla pään näkyvät osat, ottamalla valos korvakäytävästä tärykalvolle asti ja skannaamaalla ko. valos ja liittämällä se pään geometriaan. Laskentaverkko on generoitu Comsol Multiphysics (COMSOL AB, Tukholma, Ruotsi) ohjelmistolla. Laskentaverkko koostuu 23904 pintakolmiosta ja 11954 solmupisteestä. Laskentaverkon tiheys on riittävä noin 6 kHz:n ylärajataajuuteen. Simulaatiossa laskettiin taajuuskaista 20-6000 Hz käyttäen 1/12 oktaavikaistan keskitaajuuksia (yhteensä 103 taajuutta). Pään ja hartioiden pinnat mallinnettiin akustisesti koviksi ja äänilähteenä käytettiin tasoaaltoa.

Kuvassa 2 on esitetty laskentaverkko sekä kaksi esimerkkitulosta (taajuuksilla 3000 Hz ja 6000 Hz) akustisen paineen reaaliosasta pään pinnalla. Äänilähde oli suoraan oikealta tuleva tasoaalto.



Kuva 2: *HRTF mallinnuksessa käytetty laskentaverkko ja siinä simuloidut pintapaine-kentät kahdella eri taajuudella.*

Pilvimallinnuksen soveltuvuuden kannalta tärkeitä tekijöitä ovat pilveen siirrettävän datan määrä suhteessa simulaation tarvitsemaan laskenta-aikaan. Jotta pilvimallinnus olisi ajan käytön suhteen mielekästä, on datan siirtoajan oltava lyhyt suhteessa lasken-

nan tarvitsemaan aikaan. Tässä laskentaesimerkissä siirrettävän datan määrä on suhteellisen pieni, sillä simulaatio suoritetaan yhdellä laskentaverkolla (pakkaamaton koko 1.36MB), reunaehtojen ja akustisen lähteen pysyessä vakiona kaikilla taajuuksilla. Taulukossa 1 on esitetty siirrettävä datamäärä ja laskenta-aikoja.

Taulukko 1: *Siirrettävän datan määrä ja laskenta-aika HRTF esimerkin tapauksessa.*

Siirrettävä datamäärä pakattuna (MB)	0.37
Siirtoon pilveen ja laskennan initialisointi (s)	53
Laskenta-aika per taajuus (s)	34-95

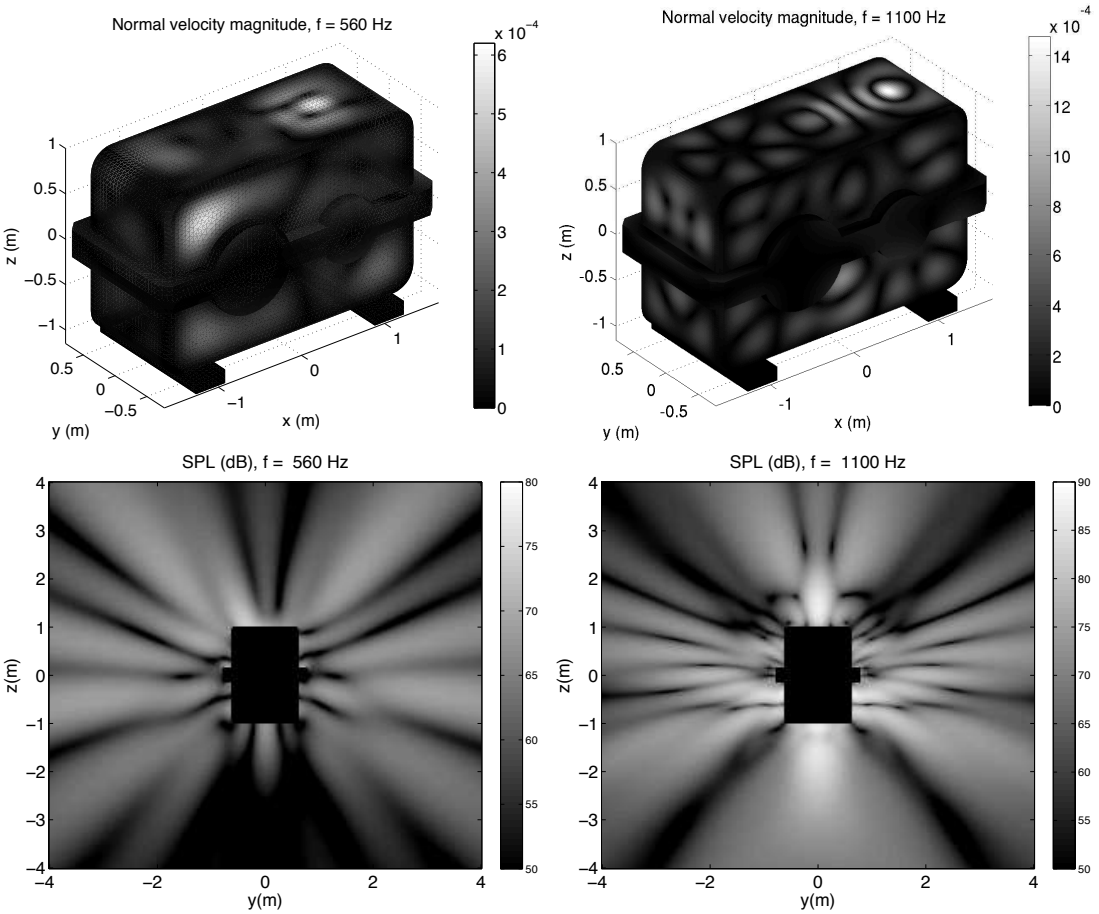
2.2 Koneakustiikka

Koneakustiikassa pilvimallinnus sopii hyvin esimerkiksi akustisen emission mallintamiseen. Tyypilliset työvaiheet koneen akustisiin ominaisuuksiin liittyvässä virtuaalisuunnittelussa ovat pääpiirteittäin seuraavat:

1. Rakenteesta luodaan CAD-malli. Akustista simulaatiota varten voi olla jo tässä vaiheessa tarpeen säilyttää yksinkertaistettu CAD-geometria.
2. Mallinnetaan rakenteeseen liittyvien osaprosessien tuottamat mekaaniset herätteet.
3. Simuloidaan koko rakenteen mekaaninen värähtely käyttäen kohdan 2. herätteitä.
4. Rakennevärähtelymallista lasketaan rakenteen akustisesti säteilevän pinnan pintanopeusjakauma taajuuden funktiona.
5. Käyttäen pintaverkkoa ja siinä kuvattua pintanopeusjakaumaa, simuloidaan akustinen emissio esimerkiksi BE-menetelmällä.

Koneakustiikan esimerkkiongelmana käytettiin vaihdelaatikkomallia, jonka rakennevärähtely on simuloitu VTT:n Kone- ja Ympäristöakustiikan Yksikön toimesta Abaqus-elementtimenetelmäohjelmistolla (SIMULIA, Providence, USA). BE-mallinnukseen valittiin taajuuskaista 20-2240 Hz, joka simuloitiin 18 Hz:in askelissa. Kullakin taajuudella käytettiin elementtimenetelmän tuottamaa pintanopeusjakaumaa. Simulointia varten generoitiin kaksi pintaverkkoa käyttäen Abaqus laskentaverkon pintakolmiointia. Harvassa verkossa (23080 elementtiä ja 11542 solmupistettä) simuloitiin taajuuskaista 20-614 Hz. Tiheämpää verkkoa (92320 elementtiä ja 46162 solmupistettä) käytettiin yli 614 Hz:in taajuuksilla. Esimerkit pintanopeusjakaumista ja niiden säteilemistä painekentistä on esitetty kuvassa 3.

Johtuen taajuuden ja paikan mukaan muuttuvasta reunaehdosta (=pintanopeusjakaumasta), on pilveen siirrettävän datan määrä huomattavasti edellistä esimerkkiä suurempi (taulukko 2). Datan siirto ja laskennan käynnistäminen vievät kuitenkin edelleen vain pienen osan kokonaislaskenta-ajasta.



Kuva 3: *Ylärivi: Pintanopeusmagnitudit taajuuksilla 560 ja 1100Hz. Alarivi: Vastaavat SPL kentät yz-tasossa.*

3 DISKUSSIO

Tässä työssä käytettiin pilvilaskenta-alustaa akustisten BE-mallien simulointiin. Havaittiin, että mallien siirto simulointipilveen on suhteellisen nopea tapahtuma verrattuna kokonaislaskenta-aikaan. Pilvimalli näyttäisi soveltuvan hyvin juuri BE-mallien tapaiseen simulointiin, joissa siirrettävät datamäärät ovat pieniä ja ongelma taajuuksittain triviaalisti rinnakkaistuva. Tällöin pilvilaskennan joustava resurssien allokointi mahdollistaa oman laskentayksikön varaamisen kullekin taajuudelle, ja käyttäjä joutuu odottamaan tuloksia vain pisimmän yksittäisen taajuuden vaatiman laskenta-ajan verran.

Pilvilaskennan haasteena on etu- ja jälkiprosessoinnin siirtäminen verkkoselaimella tehtäväksi. Tällä hetkellä SIMAAS voi visualisoida esimerkiksi yksittäisiä painekenttäkuvia tai taajuuskaistoittain laskettavia säteilevän äänitehon arvoja [5]. Kuitenkin laskentaverkon generointi ja vaativampi jälkikäsittely (esim. 3D kuvadatan pyörittäminen interaktiivisesti) joudutaan tekemään siirtämällä tulokset pilvestä käyttäjän työasemalle. Uusimmissa verkkoselaimissa on jo kuitenkin sisäänrakennettuna WebGL-kirjasto, joka mahdollistaa vaativankin visualisoinnin toteuttamisen suoraan selaimessa.

Taulukko 2: *Siirrettävän datan määrä ja laskenta-aika koneakustiikan esimerkissä.*

Siirrettävä datamäärä pakattuna (MB)	136
Siirtoon pilveen ja laskennan initialisointi (s)	300
Laskenta-aika per taajuus, harva verkko (s)	194-234
Laskenta-aika per taajuus, tiheä verkko (s)	2822-3360

Kiitokset

Kirjoittajat haluavat kiittää Marko Hiipakkaa (Aalto-yliopisto) luvasta käyttää päätään esimerkkigeometriana siirtofunktion mallinnuksessa. Lisäksi haluamme kiittää Johannes Hyrystä (VTT) ja Matias Auraa (Wärtsilä Finland Oy) koneakustiikan esimerkkiongelmasta.

VIITTEET

[1] WALLEN H, JÄRVENPÄÄ S, & YLÄ-OIJALA P, Broadband multilevel fast multipole algorithm for acoustic scattering problem, *Journal of Computational Acoustics*, **14**(2006) 4, 507–526.

[2] HUTTUNEN T, AVIKAINEN T, & COZENS J, Akustisia simulaatioita pää- ja torsomallilla, in *Akustiikkapäivät 2009*, pages 204–209, Vaasa, 14.-15.5.

[3] HERRIN D W, MARTINUS F, WU T W, & SEYBERT A F, A new look at the high frequency boundary element and rayleigh integral approximations, in *SAE 2003 Noise & Vibration Conference and Exhibition*, May 2003.

[4] http://aws.amazon.com/ec2/, www-page.

[5] 3745:2003 I, Acoustics - determination of sound power levels of noise sources using sound pressure - precision methods for anechoic and hemi-anechoic rooms, Technical report, ISO 3745:2003, 2003.