

Mallipohjainen käyränsovitus in-situ pintaimpedanssimittauksiin

Miikka Tikander

22.5.2003
Diplomityöesitelmä

Teknillinen korkeakoulu
Akustiikan ja äänenkäsittelytekniikan laboratorio

Esitys

- Johdantoa
- Mittausmekaniikoita
- Mittausdemo
- In-situn ongelmia
- Kovan pinnan käyttö referenssinä
- Mallipohjainen käyränsovitus
- Yhteenveto

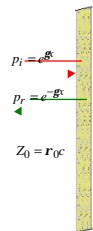
Johdantoa



- Perinteisesti mitattu laboratoriossa
 - impedanssiputki
 - kaiuton- ja kaiutahuone
- Usein laboratoriotekniikat mahdollittomia kenttäolosuhteissa
- Käytännön suunnittelussa tarvitaan kenttämittausmenetelmiä
- Kenttämittaukset alttiita häiriöille

Käsitteet

- Pintaimpedanssi Z_0
 - Paineen ja hiukkasnopeuden suhde materiaalin pinnalla
- Heijastuskerroin R
 - Tulevan ja heijastuneen paineaallon suhde
- Absorptiokerroin α
 - Materiaalin absorboima energia
- Etenemiskerroin γ
 - Määrittää väliaineessa tapahtuvat häviöt



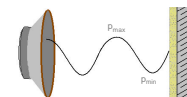
Pintaimpedanssin mittaaminen

- Kaiutahuone
 - Jälkikaiunta-aikojä vertailemalla saadaan estimoitua absorptiosuhde
 - Diffuusi heijastus
 - Työläs mittaustapa
 - Mahdoton kenttäkäytössä
- Seisovan aallon suhde
- Siirtofunktiomenetelmä
- Ikkunointimenetelmä
- Vähennystekniikka



Pintaimpedanssin mittaaminen

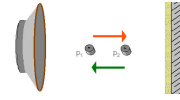
- Kaiutahuone
- Seisovan aallon suhde
- Siirtofunktiomenetelmä
- Ikkunointimenetelmä
- Vähennystekniikka
 - Etsitään pinnan eteen muodostuvan seisovan aallon minimiä ja maksimiä
 - Seisovan aallon suhteen avulla voidaan ratkaista heijastuskerroin
 - Mitattava joka taajuudella erikseen => epäkäytännöllinen



Pintaimpedanssin mittaaminen

- Kaiuntahuone
- Seisovan aallon suhde
- Siirtofunktiomenetelmä
- Ikkunointimenetelmä
- Vähennystekniikka

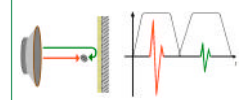
- Mitataan mikrofonien väliset siirtofunktiot saapuvalle ja palaavalle paineaalolle
- Samaa menetä käytetään impedanssiputkessa



Pintaimpedanssin mittaaminen

- Kaiuntahuone
- Seisovan aallon suhde
- Siirtofunktiomenetelmä
- Ikkunointimenetelmä
- Vähennystekniikka

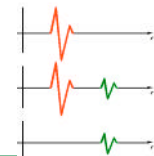
- Mitataan impulssivaste pinnan edessä
- Ikkunoidaan suora ääni ja heijastus impulssivasteesta
- Yksinkertainen metodi
- Pienillä taajuuksilla ongelmallinen



Pintaimpedanssin mittaaminen

- Kaiuntahuone
- Seisovan aallon suhde
- Siirtofunktiomenetelmä
- Ikkunointimenetelmä
- Vähennystekniikka

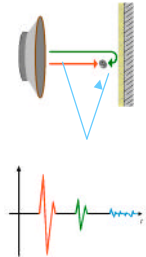
- Suora ääni kumotaan impulssivasteesta vähentämällä
- Parantaa käytettävyyttä pienillä taajuuksilla



esimerkki myöhemmin...

In-situ menetelmien ongelmia

- Ympäröivät pinnat aiheuttavat heijastuksia
 - käytännössä rajaa alarajataajuuden
- Mittausetäisyydet lyhyitä
 - mittalaite aiheuttaa heijastuksia
 - tasoalto-oletus aiheuttaa virhettä
- Mitattavan pinnan rakenne
- Ympäristön melu

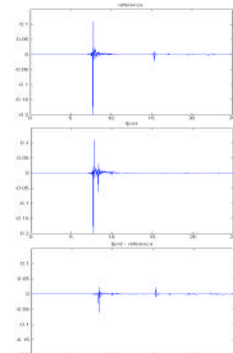


Mittausesimerkki

Vähennystekniikkamenetelmä

Kivivilla 18 mm
60 kg/m³

- Referenssimittaus kaukana heijastavista pinnoista
- Mittaus materiaalin edessä
 - vasteessa suora ääni ja heijastus
- Poistetaan suora ääni vähentämällä referenssimittaus materiaalmittauksesta
 - Heijastus ikkunoidaan pois

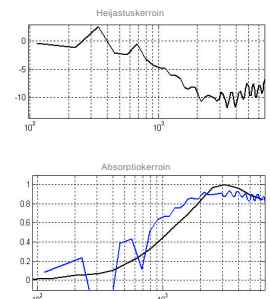


Mittausesimerkki

Vähennystekniikkamenetelmä

Kivivilla 18 mm
60 kg/m³

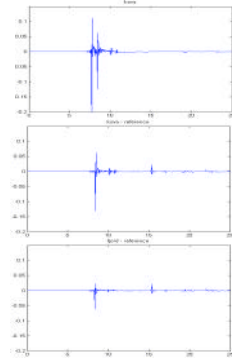
- Heijastuneen äänen amplitudi tulee korjata palloaaltovaimentuman vuoksi
- Käytetty ikkunan koko määrittää alarajataajuuden
- Pienillä taajuuksilla ongelmia



Mittausesimerkki

Kova pinta referenssinä

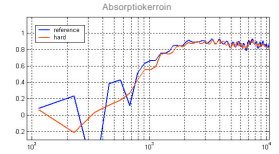
- Suoritetaan mittaus kovan pinnan edessä
 - Esim. lattia tai kiviseinä
- Suora ääni voidaan poistaa käyttämällä aikaisemmin mitattua referenssiä
 - vasteessa näkyy toisen kertaluokan heijastukset
- Verrataan aikaisemmin mitattua heijastusta kovan pinnan heijastukseen



Mittausesimerkki

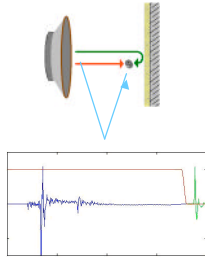
Kova pinta referenssinä

- Toisen kertaluokan heijastukset kovan pinnan mittauksessa ja materiaalmittauksessa kompensoivat toisiaan
- Mittaukset suoritettava tarkasti samalla etäisyydellä
- Vaatii kovan pinnan
- Sopiva esimerkiksi kiinteissä valmistuslinjoissa



In-situ menetelmien ongelmia

- Ympäriävät pinnat aiheuttavat heijastuksia
 - käytännössä rajaa alarajataajuuden
- Mittausetäisyydet lyhyitä aallonpituuteen verrattuna
 - mittalaite aiheuttaa heijastuksia
 - tasoaalto-oletus aiheuttaa virheitä
- Mitattavan pinnan rakenne
- Ympäristön melu



Mallipohjainen käyränsovitus

- Usein on tietoa mitattavasta rakenteesta
- Luodaan rakenteesta akustinen malli
- Sovitetaan malli mitattuun dataan
- Mittausten käytettävyys paranee
- Sopivien mallien löytäminen
 - mallien vapaiden parametrien määrä tulee olla mahdollisimman pieni



Empiiriset virtausvastuspohjaiset mallit

- Delany ja Bazleyn (1970) empiiriset mallit kuitumaisten absorbenttien karakteristiselle impedanssille Z_c ja etenemiskertoimelle γ

$$g = \left(\frac{w}{c} \right)^2 \left[1 + 0.0978 \left(\frac{r \cdot f}{R_f} \right)^{0.550} - j \cdot 0.189 \left(\frac{r \cdot f}{R_f} \right)^{0.880} \right]$$

$$Z_c = r \cdot c \left[1 + 0.057 \left(\frac{r \cdot f}{R_f} \right)^{0.724} - j \cdot 0.087 \left(\frac{r \cdot f}{R_f} \right)^{0.712} \right]$$

- Näiden mallien pohjalta on kehitetty erilaisia malleja laajentaen mallien pätevyysaluetta (Miki, Mechel, Allard and Champoux...)

Mallin luominen

- Impedanssi voidaan laskea kun materiaalien karakteristinen impedanssi ja etenemiskerroin tiedetään

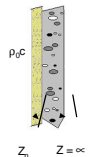
$$Z(x) = Z_1 \frac{Z_2 + Z_1 \tanh(g_1 \cdot x)}{Z_1 + Z_2 \tanh(g_1 \cdot x)}$$

- Vastaavasti rajapintojen impedanssien avulla voidaan ratkaista heijastuskerroin

$$R(R_f) = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

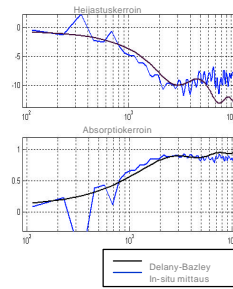
- Karakteristinen impedanssi ja etenemiskerroin saadaan malleista

=> heijastuskerroin R virtausvastuksen R_f funktio

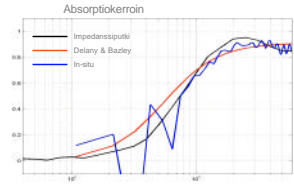


Mallisovitus

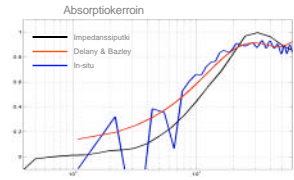
- Sovitetaan malli mitattuun heijastukertoimeen käyttäen virtausvastusta vapaana parametrinä
- Sovituksen tuloksena saadaan arvo virtausvastukselle
- Tällä virtausvastuksen arvolla lasketaan absorptiokerroin



lasivilla 50 mm
tiheys: 40 kg/m³

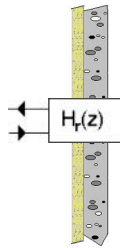


vuorivilla 18 mm
tiheys: 60 kg/m³



Abstraktit mallit

- Kun rakenteen akustinen käyttäytyminen tiedetään, voidaan käyttää mitä tahansa mallia, mikä käyttäytyy samalla tavalla
- Pinta voidaan mallintaa siirtofunktiolla $H_r(z)$
- Ei välitöntä fysikaalista taustaa
- Toimii yksinkertaisissa tapauksissa



Abstraktit mallit

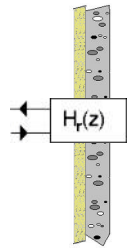
Esimerkki

Homogeeninen, villamainen vaimennusmateriaali kovalla seinällä

Rakenteen heijastuskerroin toimii alipäästösuotimen tapaan

Luodaan malli heijastuskertoimelle, joka toimii samalla tavalla

$$H_r(z) = \frac{k}{1 + az^{-1}} + b$$

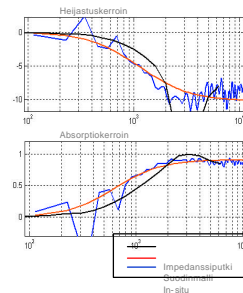


Abstraktit mallit

Esimerkki

- Oletetaan, että matalilla taajuuksilla ei ole absorptiota
- Mallissa kaksi parametriä
 - a - rajataajuus
 - b - korkeiden taajuuksien vaimennus

$$H_r(z) = \frac{1 + a - ab + abz^{-1}}{1 + az^{-1}}$$



Yhteenveto

- In-situ-menetelmät toimivat melko hyvin suurilla absorptiokertoimilla
- Vähän absorboivien materiaalien kanssa ja pienillä taajuuksilla ongelmia
- Mallipohjaisella käyrän sovituksella mittausten käytettävyys paranee
- Tarvitaan käytännöllisiä malleja

