

TAVANOMAISTEN LÄMMÖNERISTEIDEN AKUSTISET OMINAISUUDET

Reijo Alakoivu¹, Pekka Saarinen¹, Jarkko Hakala¹, Valtteri Hongisto¹

¹ Turun ammattikorkeakoulu, akustiikkalaboratorio
Joukahaisenkatu 7
FI-20520 Turku
etunimi.sukunimi@turkuamk.fi

Tiivistelmä

Riippumatonta tutkimustietoa lämmöneristeiden akustisista ominaisuuksista on tarjolla erittäin suppeasti. Tavoitteena oli selvittää tavanomaisten kaupallisten lämmöneristeiden akustiset ominaisuudet. Eristevalinnat ja ominaisuusmittaukset tehtiin monipuolisesti niin, että tutkimustieto mahdollistaa ilmiöiden ja yhteyksien laajemman ymmärtämisen. Määritimme 13:lle eristetyypille virtausvastuksen, äänenabsorptiosuhteen, dynaamisen jäykkyuden, ilmaääneneristävyyden paljaana, ilmaääneneristävyyden levyjen välissä sekä askelääneneristävyyden aleneman kelluvan laatan tilanteessa. Eristetyyppien erot akustisissa ominaisuuksissa ovat erittäin merkittäviä. Akustiset ominaisuudet kannattaa ottaa selvälle, kun rakenteella on akustisia vaatimuksia.

1 JOHDANTO

Julkisivuissa ja yläpohjissa käytettävien lämmöneristeiden perusominaisuudet ovat lämmönjohtavuus, palo-ominaisuudet, kosteustekninen toimivuus ja tiheys. Lämmöneriste vaikuttaa oleellisesti myös rakennuksen ulkovaipan ilmaääneneristävyyteen. Lämmöneristemateriaaleista valmistettuja tuotteita käytetään myös akustiikkalevyinä sekä väliseinien ja väli/alapohjien ääneneristeinä. Kaupallisia eristeitä valmistetaan hyvin erilaisista materiaaleista ja erilaisin tiheyksin. Niiden mikroskooppiset ja lujuusopilliset ominaisuudet poikkeavat toisistaan paljon. Näiden ominaisuuksien taas tiedetään vaikuttavan akustisiin ominaisuuksiin.

Yksittäisiin mittauksiin perustuvat kokemukset ovat antaneet viitteitä siihen suuntaan, että joidenkin eristetyyppien jotkut akustiset ominaisuudet poikkeaisivat toisistaan. Systemaattista, riippumatonta ja laaja-alaista tutkimustietoa tavanomaisten lämmöneristeiden erilaisista akustisista ominaisuuksista on kuitenkin vähän.

Tavoitteena oli selvittää tavanomaisten lämmöneristeiden akustiset ominaisuudet. Eristevalinnat ja ominaisuusmittaukset tehtiin monipuolisesti niin, että tutkimustieto mahdollistaa ilmiöiden ja yhteyksien laajemman ymmärtämisen.



© 2021 Valtteri Hongisto, Pekka Saarinen, Reijo Alakoivu ja Jarkko Hakala. Tämä on avoimesti julkaistu teos, joka noudattaa Creative Commons NIMEÄ 4.0 Kansainvälinen –lisenssiä (CC BY 4.0). Teosta saa kopioida, levittää, näyttää ja esittää julkisesti ja siitä saa luoda johdannaisiteoksia, kunhan tekijän nimi ja lähde mainitaan asianmukaisesti.

2 AINEISTOT JA MENETELMÄT

2.1 Eristetyypit ja eristetuotteet

Tutkimukseen valittiin 13 eristetyyppeä (Taulukko 1). Kustakin eristetyypistä tarkasteltiin kolmea paksuutta (50, 100 ja 200 mm) eli 39 tuotetta. Tässä artikkelissa raportoidaan kuitenkin tulokset vain 100 mm paksuudelle.

Taulukko 1. Eristetyyppien 1–13 materiaali, lämmönjohtavuus λ ja tiheys ρ .

No.	Eristetyypin materiaalin kuvaus	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]
1	erittäin matalatiheysinen kivivilla (levy)	0.044	25
2	matalatiheysinen kivivilla (levy)	0.036	25
3	tiheä kivivilla (levy)	0.033	75
4	erittäin tiheä kivivilla (levy)	0.037	100
5	erittäin matalatiheysinen lasivilla (matto)	0.042	11
6	matalatiheysinen lasivilla (levy)	0.035	16
7	tiheä lasivilla (levy)	0.033	70
8	selluloosa (levy)	0.039	37
9	puukuitu (levy)	0.038	50
10	EPS (levy)	0.036	17.5
11	PIR (levy)	0.022	30
12	fenolivaaho (levy)	0.02	30
13	vaahtolasi (levy)	0.036	100

2.2 Mittaukset

Toteutimme seuraavat mittaukset:

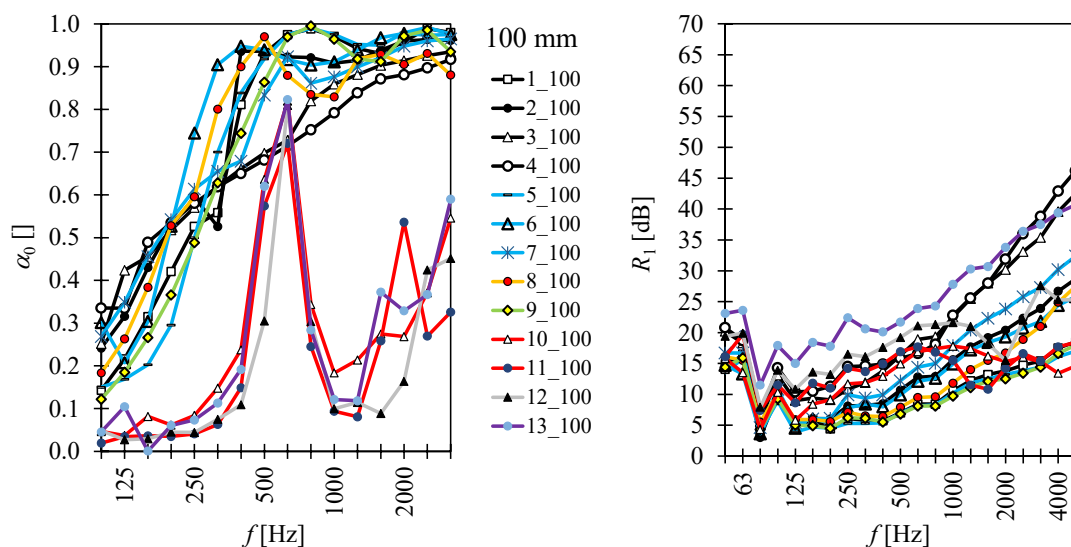
- **Virtausvastus** σ [Pa·s·m⁻²] määritettiin ISO 9053 mukaan kaikille eristetuotteille. Kustakin eristetuotteesta valmistettiin vesileikkausliikkeessä kaksi halkaisijaltaan 63.5 mm olevaa näytekiekkoa. Suure kuvaa, miten paljon materiaali vastustaa sen läpi virtaavaa ilmaa. Pieni arvo ennustaa suurta äänenabsorptiosuhdetta.
- **Dynaaminen jäykkyys** s' [N·m⁻³] määritettiin ISO 9052-1 mukaan kaikille eristetuotteille. Kustakin eristetuotteesta leikattiin tutkijan toimesta kolme 200x200 mm näytelevyä. Arvo kasvaa puristusjäykkyyden kasvaessa. Pieni arvo lattiaeristeellä ennustaa suurta ΔL -arvoa. On huomattava, että tutkitut eristetyypit ei ole tarkoitettu kelluviin lattioihin.
- **Äänenabsorptiosuhde** α_0 [] määritettiin impedanssiputkimenetelmällä ISO 10534-2 mukaan kaikille eristetuotteille terssikaistoilla 100–3150 Hz. Kustakin eristetuotteesta valmistettiin vesileikkausliikkeessä kaksi halkaisijaltaan 63.5 mm olevaa näytekiekkoa. Kiekko asennettiin jäykkää taustaa vasten. Yksilukuarvoina ilmoitetaan koko taajuusvälin keskiarvo α_M ja ISO 11654 mukainen absorptioluokka

(Class). Sen laskennassa 4000–5000 Hz arvoina käytettiin 3150 Hz:n arvoa. Arvo on 0 ja 1 välillä ja suuri arvo tarkoittaa hyvää äänenabsorptiokykyä.

- **Paljaan eristetuotteen ilmajääneneristävyys R_1 [dB]** määritettiin kaiuntahuonemenetelmällä ISO 10140-2 mukaan kaikille eristetuotteille terssikaistoilla 50–5000 Hz. Kustakin eristetuotteesta koottiin 1200x2100 mm kokoinen näyte L-listojen väliin. Yksilukuarvona ilmoitetaan ilmajääneneristysluku R_{w1} ISO 717-1 mukaan. Suuri arvo merkitsee hyvää ilmajääneneristyskykyä.
- **Kapseloidun eristetuotteen ilmajääneneristävyys R_2 [dB]** määritettiin ISO 10140-2 mukaan 100 mm paksuille eristetuotteille terssikaistoilla 50–5000 Hz. Mittausta varten kustakin eristetuotteesta koottiin 1200x2100 mm kokoinen näyte, joka sijoitettiin kahden levyn väliin (13 mm kipsi, 9 mm vaneri). Levyn etäisyys oli 100 mm eikä eristetuotteita liimattu levyihin. Yksilukuarvona ilmoitetaan ilmajääneneristysluku R_{w2} . Suuri arvo merkitsee hyvää ilmajääneneristyskykyä.
- **Askeläänepainetason alenema ΔL [dB]** määritettiin kaiuntahuonemenetelmällä ISO 10140-3 mukaan 100 mm paksuille eristetuotteille kelluvan lattian tilanteessa. Kukin eristetuote (koko 1200x2100 mm) asetettiin 160 mm teräsbetonilaatan päälle ja eristetuotteen päälle sijoitettiin 19 mm vanerilevy edustamaan uivaa laattaa. Vakioidulla laattalla voidaan vertailla eri eristetyyppejä keskenään. Askeläänitasoluvun alenema, ΔL_w , määritettiin ISO 717-2 mukaan. Suuri arvo merkitsee suurta parannusta betonin askelääneneristykseen.

3 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

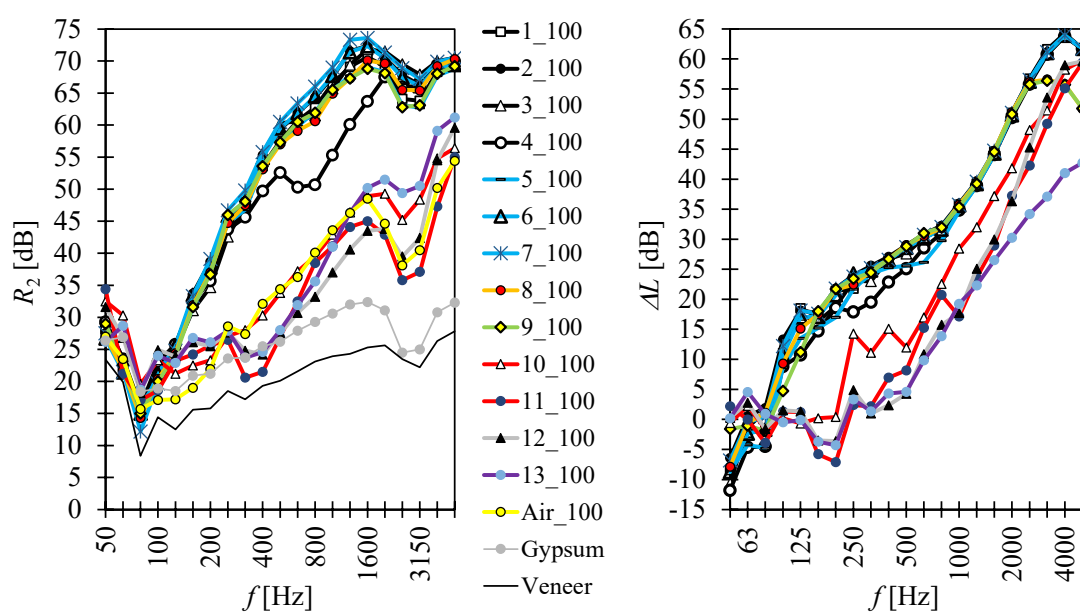
Päätulokset ovat taulukossa 2. Taajuusriippuvia tuloksia on kuvissa 1–2. Taulukossa 3 on esitetty perusominaisuuksien ja akustisten suureiden välisiä lineaarisia yhteyksiä.



Kuva 1. Vasen) Äänenabsorptiosuhde α_0 taajuuden f funktiona 13 eristetyypille. Oikea) Paljaan eristetuotteen ilmajääneneristävyys R_1 taajuuden f funktiona 13 eristetyypille.

Taulukko 2. Tulokset eristetyypeille 1–13. ID kertoo eristetyypin ja paksuuden.

ID	m' [kg/m ²]	α_M	Class	s' [MN/m ³]	ΔL_w [dB]	R_{w1} [dB]	R_{w2} [dB]	σ kPa·s/m ²
1_100	2.5	0.73	B	1.8	36	11	51	6.6
2_100	2.5	0.75	B	1.6	36	15	51	12
3_100	7.5	0.7	C	1.8	35	21	50	31
4_100	10	0.68	B	11	32	22	50	33
5_100	1.1	0.72	B	3.1	33	11	50	3
6_100	1.6	0.78	A	1.2	36	15	52	10
7_100	7	0.73	B	0.43	36	17	51	16
8_100	3.7	0.73	A	0.75	35	12	50	11
9_100	5	0.71	B	1.9	34	10	50	5.9
10_100	1.8	0.27	D	44	20	16	38	530
11_100	3	0.22	E	10	16	15	33	2600
12_100	3	0.2	E	35	15	20	34	2700
13_100	10	0.26	E	720	15	27	35	68



Kuva 2. Vasen) Kapseloidun eristetuotteen ilmaääneneristävyys R_2 taajuuden f funktiona eristetyypeittäin. Vertailukohtana on Air_100: se vastaa tulosta, kun kaviteetti on tyhjä. Lisäksi esitetään vanerin ja kipsin itsenäiset arvot. Oikea) Askeläänenpainetason alenema ΔL taajuuden f funktiona eristetyypeittäin.

Taulukko 3. Pearsonin korrelaatiokertoimen neliö, r^2 , joidenkin suureiden välillä. Analyysi perustuu 13 eristetuotteelle, joiden paksuus on 100 mm. ** Erittäin merkitsevä yhteys ($p < 0.01$).

	ρ	λ	α_M	s'	ΔL_w	R_{W1}	R_{W2}	σ
ρ	1	-0.00	-0.03	0.51	-0.07	0.74**	-0.02	-0.24
λ		1	0.67*	0.02	0.64*	-0.36	0.68*	-0.89**
α_M			1	-0.45	0.99**	-0.46	0.99**	-0.76**
s'				1	-0.52	0.66*	-0.47	-0.08
ΔL_w					1	-0.49	0.99**	-0.74**
R_{W1}						1	-0.44	0.12
R_{W2}							1	-0.78**
σ								1

Tuloksista voi tehdä mm. seuraavia havaintoja:

Äänenabsorptiosuhde, α_0 ja α_M :

- Arvot ovat selvästi korkeampia avosoluisilla eristetyypeillä 1–9 kuin umpisoluisilla eristetyypeillä 10–13.
- Arvot ovat pääsääntöisesti suurempia jos virtausvastus on pienempi.
- Kaikilla umpisoluisilla eristetyypeillä esiintyy resonanssi 630 Hz taajuudella. Varmaa selitystä ei tälle toistaiseksi ole. Resonanssi ei välttämättä johdu materiaalin ominaisuuksista, koska rakenne on homogeeninen eikä sisällä resonanssin aiheuttavia kalvoja. Lisäksi resonanssi on aina samalla taajuudella. Resonanssi voi johtua esimerkiksi näytteen taakse jäävästä langanohuesta ilmaraosta (levyresonaattori).

Paljaan eristetuotteen ilmaaneneristävyys, R_1 ja R_{W1} :

- Eristetyyppien R_{W1} erot ovat suuria, peräti 17 dB.
- Arvot kasvavat lähes monotonisesti taajuuden kasvaessa paitsi eristetyypeillä 10–12, joilla esiintyy keskitaajuudella kuoppia. Ne voivat johtua koinsidenssi-ilmiöstä.
- Virtausvastus σ ei selittänyt arvoja, vaikka alhaisen virtausvastuksen yleensä ajatellaan ennustavan pientä ääneneristävyyttä ja suurta absorptiosuhdetta.

Kapseloidun eristetuotteen ilmaaneneristävyys, R_2 ja R_{W2} :

- Käyrät noudattavat kytkemättömän kaksinkertaisen levyrakenteen teorioita hyvin: pientaajuuksilla on massa-ilmajousi-massa-resonanssitaajuus f_{mam} , jonka yläpuolella arvot lähtevät kasvamaan, kukin rakenne kuitenkin hyvin omaa tahtiaan.
- Eristetyyppien väliset R_{W2} -arvojen erot ovat jopa 19 dB.
- Umpisoluisilla eristetyypeillä 10–13 arvot ovat heikompia kuin avosoluisilla.
- Absorptiosuhde selittää arvoja erittäin voimakkaasti: mitä paremmin kaviteetissa oleva eriste absorboi ääntä, sitä vähemmän kaviteetti kaikuu ja sitä parempi R_2 saavutetaan f_{mam} yläpuolella.
- Umpisoluisilla eristetyypeillä ei saavuteta parannusta siihen nähden, että kaviteetissa olisi pelkästään ilmaa.

Dynaaminen jäykkyys, s' :

- Umpisoluisilla eristetyypeillä 10, 12 ja 13 arvot moninkertaisia avosoluisiin eristetyypeihin 1–9 verrattuna edellisen korkeamman puristusjäykkyyden vuoksi.

Askeläänenpainetason alenema ΔL ja ΔL_w :

- Käyrät noudattavat betonilaatan päälle asennetun kelluvan laatan teorioita hyvin: pientaajuuksilla esiintyy laatta-eristejousi-pintalevy-resonanssi f_0 , jossa DL on pienimmillään, jopa negatiivinen. Sen yläpuolella DL lähtee kasvuun.
- Suuren s' -arvon omaavilla eristetyypeillä arvot selvästi, jopa 15 dB, heikompia kuin pienen s' -arvon omaavilla eristetyypeillä.
- Umpisoluisilla eristetyypeillä f_0 on selvästi suurempi (luokkaa 200 Hz) kuin avosoluisilla eristetyypeillä (50–100 Hz).

Lämmönjohtavuus λ :

- Pienempi lämmönjohtavuus (parempi lämmöneristyskyky) ennusti heikompia ominaisuuksia olennaisten akustisten muuttujien kohdalla (α_M , ΔL_w tai R_{w2}).

Tiheys ρ :

- Tiheys ei ollut yhteydessä olennaisimpien muuttujien kanssa (α_M , ΔL_w tai R_{w2}).

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Eristettyyppien erot akustisissa ominaisuuksissa ovat erittäin merkittäviä. Akustiset ominaisuudet kannattaa ottaa selville, kun rakenteella on akustisia vaatimuksia.

KIITOKSET

Tutkimuksen rahoitti Paroc Oy Ab.