

Laborationsanvisning – laboration 2

Mätning av ljudisolering, absorption och transmission

Introduktion

Problemet med ljudtransmission har uppkommit delvis på grund av att stora folkmängder bor mycket tätt och dels för att vi i dagens samhälle omges av effektiva bullerkällor både inom- och utomhus.

Vanligen talar man om tre olika typer av ljudisolering: Luftljud, stegljud och stomljud. Dessa definieras enligt följande:

- Luftljud är ljud som avges från källan till omgivningen genom luftmediet, t ex tal och musik.
- Stegljud är ljud som t ex vid gång på bjälklag och i trappor uppstår i angränsande rum.
- Stomljud är ljud som fortplantas i en byggnadsstomme, t ex vid gång på bjälklag samt från hissmotorer och vattenledningar.

I den här laborationen kommer endast luftljud att behandlas.

Målsättning

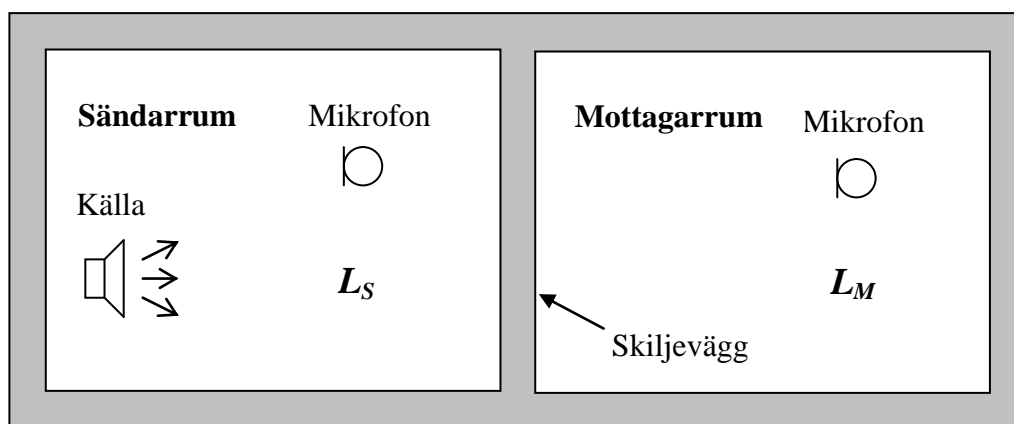
Målsättningen med laborationen är att planera, utföra och utvärdera en mätning av luftljudisolering hos en vägg av stålplåt i ljudtransmissionslabbet. Laborationen ska resultera i en ljudreduktionskurva där reduktionstalet R plottas som funktion av frekvensen f och ett vägt ljudreduktionstal R_w .

Den uppmätta kurvan ska jämföras med en beräknad reduktionskurva som ni ska räkna ut före laborationen genom att använda masslagen.

Teori

Reduktionstalet R

Vi antar att vi har två rum, ett sändarrum där vi har en ljudkälla, en högtalare, och ett mottagarrum där vi har en mottagare, en mikrofon. Rummen är åtskilda av en vägg, som vi antar svarar för all ljudtransmission.



Figur 1. Luftljudtransmission genom en skiljevägg med yta S . L_s och L_m är ljudtrycksnivåer i sändarrum och mottagarrum. A_m är mottagarrummets absorptionsyta.

Högtalaren sänder ut en viss ljudnivå i sändarrummet $L_s = 10 \log \left(\frac{\tilde{p}_s^2}{p_{ref}^2} \right)$, där \tilde{p}_s är effektivvärdet i sändarrummet. Den effekt per ytenhet, alltså intensitet, som träffar skiljeytan är proportionell mot $(\sim) \tilde{p}_s^2$. Väggen transmitterar en effekt som är proportionell mot ytan S och en transmissionskoefficient τ , dvs effekten in i mottagarrummet är $\sim \tilde{p}_s^2 \cdot S \cdot \tau$.

Vid effektjämvikt gäller att en absorberad effekt i mottagarrummet $(\sim \tilde{p}_m^2 \cdot A_m)$, är lika med ineffekten i rummet. A_m är absorptionsarean i mottagarrummet. Vi har således att

$$\frac{p_m^2}{p_s^2} \sim \frac{S \cdot \tau}{A_m}$$

Man kan visa att under vissa förutsättningar (normalstora och större rum, ljudhård miljö) blir

$$L_m = L_s + 10 \log \frac{S \cdot \tau}{A_m}$$

τ är en för väggen karakteristisk storhet och vi definierar reduktionstalet R som

$$R = 10 \log \frac{1}{\tau}$$

och vi får ur detta ett uttryck för reduktionstalet som vi kan använda i mätning

$$R = L_s - L_m - 10 \log \frac{A_m}{S}$$

Sabines formel

Absorptionsarean förhåller sig till efterklangstiden T_{60} enligt Sabines formel

$$T_{60} = 0.16 \frac{V}{A_m}$$

där

c_0 = ljudhastigheten i luft (m/s)

V = rummets volym (m^3)

A_m = absorptionsarean i rummet (i vårt fall mottagarrummet) (m^2) $A_m = \Sigma S \alpha$.

Efterklangstiden T_{60} är tiden det tar för ljudnivån i rummet att sjunka med 60 dB när det plötsligt blir tyst. Genom att mäta efterklangstiden kan man lösa ut ett värde på absorptionsarean.

Masslagen för enkelväggar

Masslagen ger ett teoretiskt uttryck för reduktionstalet R hos en enkelvägg som funktion av frekvensen. Den är härledd under vissa förutsättningar (t ex försummas väggens böjstyvhets) och utgör i allmänhet en övre gräns för $R(f)$, vilken vi i bästa fall uppnår. Masslagen för diffust ljudfält skrivs

$$R_0(f) = 20 \log \frac{\pi f m''}{2\rho c}$$

där

f = frekvensen (Hz)

m'' = väggens ytvikt (kg/m^2)

ρ och c är densitet och ljudhastighet för luft. För att rita $R_0(f)$ -kurvan i ett diagram av typ lin-log behöver vi endast beräkna för två frekvenser, t ex $f = 100$ Hz och 1000 Hz, och därefter dra en rät linje genom dessa två punkter.

Koincidens

En anledning till att vi inte når masslagen kan vara koincidens. För att förstå detta fenomen betraktar vi först en oändligt stor vägg som kan svänga fritt. Man kan då visa att böjvågor i väggen (vågor som fortplantar sig längs denna) har en hastighet c_B

$$c_B = \sqrt{2\pi f} \sqrt[4]{\frac{Eh^2}{12\rho}} = \sqrt{2\pi f} \sqrt[4]{\frac{Eh}{12m''}}$$

där

f = frekvens för böjvågen (Hz)

E = materialets E-modul (Pa)

m'' = väggens ytvikt (kg/m^2)

h = väggens tjocklek (m)

En våg som faller in mot väggen, Figur 2, får en längs väggen projicerad våglängd av $\lambda/\sin\beta$, och eftersom $\lambda = c/f$ får den en hastighet längs väggen

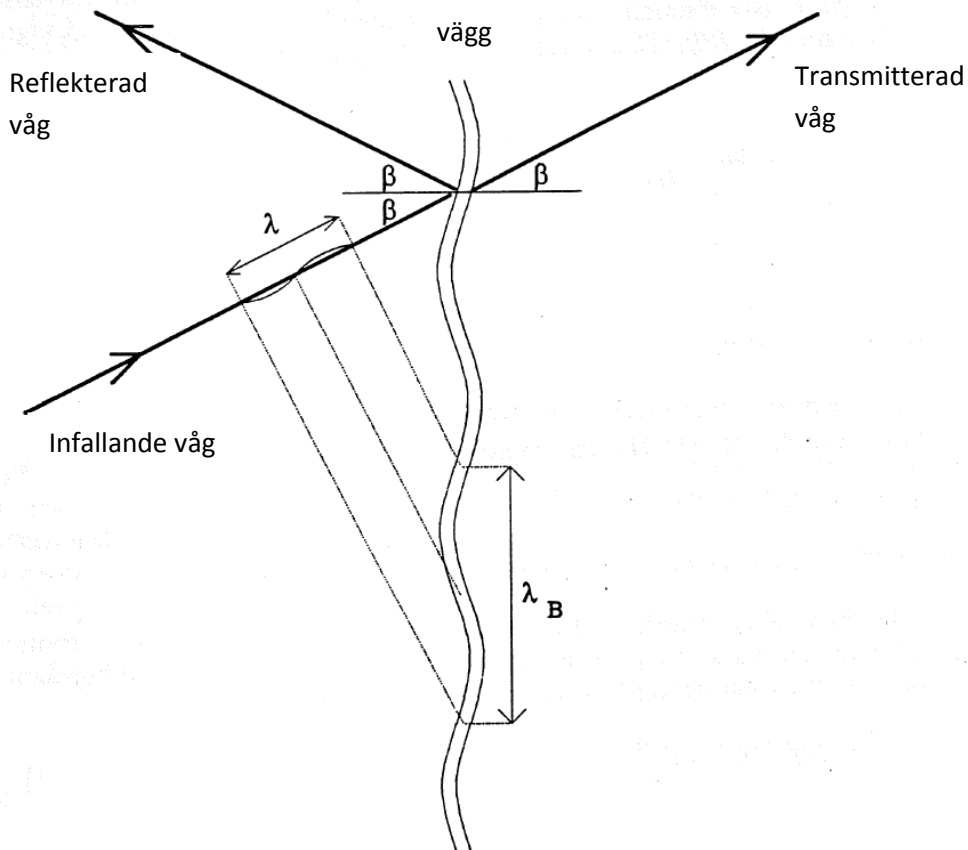
$$c_s = c / \sin \beta$$

där c är utbredningshastigheten i luft (m/s).

Denna hastighet längs väggen är oberoende av frekvensen. Den fria böjvågen däremot har en hastighet c_B som beror av frekvensen. Om vi nu kan hitta en frekvens f och en vinkel β så att $c_s = c_B$, då vi så att

$$f = \frac{c^2}{(2\pi \sin^2 \beta) \sqrt[4]{\frac{12m''}{Eh^3}}}$$

fås ett förhållande som visas i figur 2.



Figur 2. Koincidensfenomenet illustrerat för en viss infallsvinkel β . Den tänkta våglängden för fria böjvågor λ_B överensstämmer med $\lambda/\sin\beta$. Detta medför lågt reduktionstal relativt masslagen.

Som man kan misstänka får vi då en kraftig utstrålning på mottagarsidan (= kraftig transmission), dvs lågt reduktionstal relativt masslagen. Den lägsta frekvens för vilket detta kan ske blir då $\beta = \pi/2$, så kallat strykande infall.

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{12m''}{Eh^3}}$$

Denna frekvens kallas kritisk frekvens eller koincidensfrekvens och betecknas f_c . I praktiken inträder dock en försämring i reduktionstalskurvan för frekvenser lägre än f_c . Ett alternativt sätt att skriva uttrycket för f_c , som är mycket praktiskt, är att införa en materialkonstant, ett "koincidenstal" K , så att

$$f_c = K/h$$

där

h = väggens tjocklek (m)

K = koincidenstal (m/s)

Koincidenstalet för stål och aluminium är ungefär 12-13. För konstruktionsvirke ligger K runt 15 samt för en gipsskiva ca 32 m/s.

Förberedelseuppgifter

Skiljeväggen vi ska studera är en enkelvägg bestående av en 13 mm tjock gipsskiva ($\rho = 650 \text{ kg/m}^3$).

1. Beräkna en teoretisk reduktionstalskurva för skiljeväggen enligt masslagen och plotta resultatet i ett lin-log diagram.
2. Beräkna koincidensfrekvensen för väggen och avgör om denna kommer att påverka kurvan och i så fall hur.

Mätutrustning

Mätutrustningen består av

- En Norsonic 140 sonometer
- Brusgenerator
- Förstärkare
- Högtalare

Utförande

Innan ni påbörjar mätningarna kan ni bekanta er med mätinstrumentet. Mät ljudnivån vid olika bullerkällor i lokalen och se hur tyst ni kan få det.

1. Börja med att sända ut brus med en ljudnivå på minst 80 dBA i sändarrummet. Detta ställer ni in genom att justera volymen på högtalarförstärkaren. Högtalaren placeras i ett hörn långt bort från skiljeväggen och dörren hålls stängd. Hörselskydd ska finnas tillgängliga.
2. Mät ljudnivån genom att spela in bruset under 10 s med sonometern. Anteckna alla värden på ljudnivån för respektive frekvens (tersband).
3. Flytta er till mottagarrummet och ta med sonometern. Rör inte volymkontrollen på förstärkaren, vi vill sända ut samma ljudnivå hela tiden. Högtalaren lämnas kvar i sändarrummet.
4. Stäng dörrarna till sändarrum och mottagarrum. Den här gången mäter ni alltså ljudnivån i mottagarrummet. Denna borde bli avsevärt lägre än i sändarrummet eftersom endast en liten del av effekten tränger igenom skiljeväggen.
5. Stäng av högtalaren och mät efterklangstiden T_{60} i mottagarrummet med sonometern genom att impulsexcitation (slå ihop klappträn).

Laborationsrapport

Generellt kan man säga att en laborationsrapport kortfattat ska beskriva

- Teorin bakom laborationen.
- En beskrivning av vad ni gjort och hur ni gjort det.
- Vilka resultat ni kommit fram till.
- En förklaring, diskussion eller reflektion över resultaten.
- En diskussion över hur pass noggranna och tillförlitliga mätningarna är, samt över eventuella felkällor.

Tänkt målgrupp för laborationsrapporten ska vara en annan student som ska kunna ta rapporten som handledning, gå ner i labbet, göra om laborationen och få samma resultat.

Följande resultat ska ingå i rapporten

Tabell över:

- Uppmätt ljudnivå i sändarrum
- Uppmätt ljudnivå i mottagarrum
- Efterklangstid
- Beräknad absorptionsarea A_m i mottagarrummet
- Reduktionstalskurva $R(f)$, utvärderad av mätningen tillsammans med den från förberedelserna

för varje tersband i frekvensområdet $f = 100\text{--}3150$ Hz.

Diagram över reduktionstalskurvan $R(f)$ och den teoretiska reduktionstalskurvan enligt masslagen från förberedelseuppgift 1. Tänk på att ha log-skala på x -axeln, alltså frekvensen.

Försökt att diskutera och förklara utseendet på alla plottar ni redovisar. Stämmer de båda kurvorna överens? Om inte, hur och varför skiljer de sig åt? Komplettera gärna med bilder på utförandet!

Om möjligt, beräkna även vägt reduktionstal R_w (ensiffervärde) enligt den internationella standarden SS-ISO 717/1. Den beskrivs i avsnitt 4.4.4 – 4.4.5 i kompendiet och behandlas sent i kursen. *Denna uppgift är frivillig* eftersom många som gör laborationen inte hunnit gå igenom teorin för detta. Det är dock en mycket nyttig övning och en bra erfarenhet!

Laborationsrapporten ska vara datorskriven, utskrivna och häftad. Den lämnas i Kristians fack på 4:e våningen intill fikarummet senast en vecka efter laborationstillfället. Laborationsrapporten godkänns eller lämnas tillbaka för komplettering.