



Laborationsanvisning – Lab 1

Genomgång av utrustning och mätmetoder för ljud och vibrationer

Laboration 1 handlar om att bekanta sig med mätmetoder för ljud och vibrationer. Den består av två moment där det första momentet går ut på att mäta frekvensen i en gitarrsträng och det andra handlar om att mäta vibrationer och egensvängningar i en balk. På grund av rådande omständigheter kommer rapporten inte skrivas i grupper utan varje elev skriver sin egen rapport.

1. Egensvängning i sträng

Teori

Vågekvationen för en sträng är: $\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0$, där w är strängens transversella förskjutning, $c = \sqrt{F/\mu}$ är våghastigheten, med dragkraften F och längddensiteten μ . Randvärden, alltså föreskriven förskjutning i ändarna, är $w(0,t) = w(L,t) = 0$.

Förberedelseuppgift – sträng

Den lägsta egenfrekvensen och motsvarande egenmod för strängen när den är fastsatt i båda ändar fås när precis en halv våglängd ryms mellan $x = 0$ och $x = L$. Uttryck egenfrekvensen i F , μ och L .

Observera att det finns fler förberedelseuppgifter längre fram i laborationsanvisningarna!

Utförande

Två strängar med olika längddensitet är fastspända i båda ändar där längden L kan varieras genom att hålla fast ena änden vid olika lägen som i en gitarr, och spännkraften F kan varieras genom att hänga tyngder i strängarna (häng inte mer än 7kg! varje vikt väger 390 gram).

Börja med att försöka avgöra vilka variabler som styr frekvensen och i vilken riktning. Undersök längd L , längddensitet μ , amplitud w_0 (hur hårt man slår på strängen) samt strängkraft F . Här lyssnar ni bara efter frekvensen/tonhöjden.

Frekvensen på tonen som hörs när man knäpper på strängen mäts sedan genom att spela in tonen med mobiltelefonen och göra en frekvensanalys (fft) i *Matlab* med koden som finns på kusens websidan. Instruktioner för hur man behandlar den givna datan finns också på websidan.

Mät egenfrekvensen som funktion av F och L . Ändra en variabel i taget medan den andra hålls konstant. Plotta i ett diagram uppmätta och teoretiskt framräknade frekvenser som funktion av roten på kraften i strängen och i ett nytt diagram uppmätta och teoretiskt framräknade frekvenser som funktion av ett delat med längden så borde det bli linjära kurvor. Om ni ska visa på ett linjärt samband så bör ni ha åtminstone fem mätpunkter. Se till så ni har mätt upp allt ni behöver innan ni lämnar laborationen.



2. Böjsvängning i balk ($\approx 2D$ bjälklag)

OBS: Detta året, istället för att mäta en balk, kommer vi mäta (eftersom det är roligare och lättare att se) en stålplatta, som "kan ses" som en 2D balk (detta diskuteras vidare med läraren).

Teori

För transversella böjvågor i balkar är vågekvationen: $B \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \rho S \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0$, där B är balkens böjstyvhetsmoment som för ett rektangulärt tvärsnitt är $B = EI = E \frac{bh^3}{12}$. $S = b \cdot h$ är balkens tvärsnittsarea, E är E-modulen i den longitudinella riktningen och ρ är densiteten. h är höjden, dvs balkens dimension i riktningen som den svänger. Våghastigheten för en böjvåg är beroende av frekvensen enligt $c_f = \frac{\omega}{k} = \sqrt{\omega} \cdot \sqrt[4]{\frac{B}{\rho S}} = \sqrt{\omega} \cdot \sqrt[4]{\frac{Eh^2}{12\rho}}$

Egensvängningar i balkar inträffar om balkens våglängd (utböjningsformen) stämmer överens med avståndet mellan stöden, se Figur 1. För en fritt upplagd balk gäller att den lägsta egenfrekvensen inträffar om exakt en halv våglängd ryms på balkens längd, $L = \lambda/2$. Då är $k = \frac{2\pi f}{c} = \frac{2\pi}{\lambda}$



Figur 1. Utböjningsform för lägsta egenfrekvensen i böjsvängningen.

Från uttrycken ovan kan vi lösa ut egenfrekvensen för den lägsta egenfrekvensen $f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 \cdot \sqrt[4]{\frac{Eh^2}{12\rho}}$

Man får alltså en egenfrekvens för svängning i horisontalled och en för svängning i vertikalled genom att byta ut h från höjd till bredd. Högre egenfrekvenser, den n :te, kan man få genom att multiplicera f_0 med n^2 , där $n = 2, 3, 4$ osv, så att $f_n = f_0 n^2$. Mest rörelseenergi finner man dock vid den lägsta egenfrekvensen, så den är mest intressant att studera och också lättast att hitta.

När man knacker till en balk på mitten kommer den att svänga som ett SDOF-system. Den kommer då att svänga med den lägsta egenfrekvensen med en våglängd som är halva balkens längd.

Titta även över avsnittet gällande SDOF som handlar om homogen lösning samt avsnitt 2.3.6 – 2.3.7 i kompendiet.

Förberedelseuppgifter – balk ($\approx 2D$ bjälklag)

Följande uppgifter bör vara lösta innan man kommer till laborationen. De diskuteras med labb-handledaren i början av laborationen.

Stålplattan har måtten $l \times b \times b = 3 \times 0.4 \times 0.04 \text{ m}^3$, E-modulen $E = 200 \text{ GPa}$ och densiteten $\rho = 8000 \text{ kg/m}^3$.

1. Räkna ut våghastigheten för en longitudinell våg i plattan ovan.



2. Beräkna hur lång tid det tar för en longitudinalvåg att färdas från en kant till den motsatta kanten, reflekteras och färdas tillbaka till den första kanten, alltså totalt balkens dubbla längd.
3. Beräkna den lägsta egenfrekvensen för böjsvängning i vertikal-led.

Utförande

Egensvängning i en bjälklag: ett bjälklag är fritt upplagt på sin kortsida i labbet. Fem accelerometrar som mäter accelerationen som funktion av tiden i vertikal riktning sitter fast på bjälklagen. Detta innebär att *in-plane* och *torsional* eigenmodes inte ska mätas. Detta diskuteras med läraren.

I början av laborationen görs en genomgång av mätprogrammet som användas (*Brueel&Kjaer PULSE*). Observera att tanken inte är att du blir en expert i själva programmet, utan att se hur vibrationsmätningarna (*Experimental Modal Analysis –EMA–*) görs i verkligheten samt att förstå resultaten vi kommer få från mätningarna.

Undersök bjälklagets svängningar genom att excitera det med ett hammarslag. Man knackar på bjälklaget i den riktning man vill att det ska svänga. Lyssna på hur bjälklaget låter när man knackar på mitten i båda riktningarna och på en kortsida. En stark ton innebär en hög egenfrekvens i den riktningen.

Observera hur accelerationen varierar beroende på var ni knackar. Se också hur frekvensinnehållet hos accelerationens olika positioner beter sig vid excitationerna. Se om ni kan identifiera om någon frekvens dominerar. Stämmer denna frekvens överens med resultatet från förberedelseuppgifterna?

Avsluta med att spara en mätning till ert USB-minne och ta med för efteranalys. Titta på datafilen och se till att ni förstår hur datan är lagrad. Spara också modformerna (som t.ex. *.jpg*) som ni vill använda för rapporten.

Glöm inte att kontrollmäta bjälklagens dimensioner! När det gäller böjsvängningar är L = avståndet mellan stöden.

Analys: Resultatet från vibrationsmätningen ska ni analysera så att ni får fram ett frekvensspektrum likt den fft-analys ni kunde se på mät datorn. Plotta FRF:en för de fem olika accelerometrarna, identifiera och jämför med förväntade teoretiska värden. Diskutera också *modformerna* i samband med FRF plottarna.

3. 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:



Sträng:

- Beskrivning av de variabler som undersöks i strängen och hur de påverkar egenfrekvensen (ökar/minskar).
- Två diagram med uppmätta och beräknade strängfrekvenser, som funktion av roten ur kraften i det ena och som funktion av ett genom längden i det andra.
- Plottade tids-signaler och frekvensinnehållet för olika toner som man får ut från *Matlab*-scripten "*readsound.mat*". Kommentera lite om de "*peaks*" som man ser i frekvensspektra.

Balk:

- Plottade frekvensspektra för olika accelerometrar och uppskattade egenfrekvenser för bjälklagen.
- Bilderna av uppmätta egenmoder.
- Jämförelser med de lösta förberedelseuppgifterna.

Försök diskutera och förklara utseendet på alla plottar ni redovisar. Komplettera gärna med bilder på utförandet!

Laborationsrapporten ska vara datorskriven, utskriven och häftad. Den lämnas **senast en vecka efter laborationstillfället**. Laborationsrapporten godkänns eller lämnas tillbaka för komplettering.

OBS: skicka rapporten via mail till nikolas.vardaxis@construction.lth.se