

Forskningsstöd för akustikprojektet

Ljudmiljö i små och medelstora rum

Tekn Dr Per Anders Wernberg

Projektet har utvecklat och studerat beräkningsmetoder för rumsakustiska tillämpningar. Metoderna kommer speciellt att kunna vara till nytta i projekt med höga krav och möjligheter för standardisering och komponentplattformar.

1. Bakgrund

Utvecklingen av byggsystem drivs idag av krav på ökad komfort, miljövänlighet och minskade kostnader. Samtidigt finns en utveckling mot lättare stomsystem och bjälklag och väggar. För att olika lättbyggnadssystem ska accepteras krävs bland annat att man behandlar det omfattande problemet med ljudtransmission, svikt och vibrationer. Svikt innebär lågfrekventa vibrationer som alstras av den som går och uppfattas som störande eller obehagliga när de är för stora. Ljudtransmission kan ses som vibrationer som fortplantar sig genom stomsystemet. Ljudet går också mellan stomsystemet och luft innesluten i stomsystemet till anslutande rum. Vibrationerna överförs genom stommen från ett ställe i huset till ett annat och orsakar störningar.

För ljudtransmissionen är främst stegljudet, inklusive flanktransmission, ett problem i lätta konstruktioner. Visserligen kan man bygga lätta konstruktioner med acceptabelt stegljud, problemet är det omfattande utvecklingsarbete som måste utföras för varje nytt stomkoncept. Skälet är att designprocedurerna för ljudtransmission i lätta konstruktioner är outvecklade, så man är utlämnad till omfattande fullskaleförsök.

Lätta komponenter är dessutom ofta sammansatta av olika material i komplicerade geometriska mönster. De traditionella akustiska beräkningsmetoderna är baserade på att de ingående materialen i en konstruktion är homogena och jämntjocka har det visat sig svårt att beräkningsmässigt förutsäga lätta konstruktioners akustiska uppträdande.

Finita elementmetoden (FEM) är sedan länge ett etablerat verktyg för avancerade konstruktionsberäkningar och design av konstruktioner. Med FEM är det möjligt att analysera konstruktioner, också som stöd i en designfas, med nästan godtyckliga geometrier och med mycket speciella egenskaper på de ingående materialen. Det faller sig därför naturligt att använda FEM också för akustiska beräkningar.

Det speciella med lätta byggkonstruktioner ur akustisk synvinkel är att dessa är inhomogent uppbyggda, och därmed uppvisar speciella fenomen som inte finns i traditionella homogena konstruktioner. Beräkningsmetoderna kan inte bara fokuseras på idealiserade förhållanden utan man måste också kunna hantera osäkerheter i konstruktionerna och andra irregulariteter.

2. Problembeskrivning

De finns tre grundläggande fenomenen och dessa måste hanteras i ett sammanhang om framgång skall uppnås för lätta konstruktioner med hänsyn till ljudmiljö, nämligen

- Ljudtransmission
- Stabilitet
- Svikt

Även om detta projekt är fokuserat på ljudmiljö, alltså ljudtransmission så är fenomenen intimt kopplade, bland annat genom bjälklagets styvhet och massa och styvhet i knutpunkterna. I regel är dessa fenomen motriktade så att en hög styvhet i bjälklag och knutpunkter ger en hög grad av ljudtransmission. Om man å andra sidan inför knutpunktsisolering i form av separerade eller mjuka, dämpande, anordningar i knutpunkterna påverkar det stabiliteten och svikten negativt. Att utforma bjälklag, väggelement och knutpunkter är alltså ett mycket komplicerat fall av optimering av flera parametrar på en gång.

Det finns idag fungerande beräkningsmodeller som tillåter simulering av hela det mest intressanta frekvensområdet för lätta konstruktioner, det vill säga från enstaka Hz (för svikt) till 500 Hz. Det som är speciellt störande är nämligen lågfrekvensområdet. Detta konstarmades av industrirepresentanter senast vid en diskussionsdag om akustik i trähus ordnat av Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, SP, 18.1.2007. Detta projekt har bland annat bidragit till att utveckla dessa metoder.

Förenklade beräkningsmetoder kan, till stöd för design i tidiga skeenden, kan härledas från resultaten från de mer avancerade beräkningsmetoderna på inhomogena konstruktioner. Resultatet från detta projekt kommer här att vara till stor hjälp. Man kan också förutse att en mer grundläggande förståelse av inhomogena, icke-periodiska konstruktioner som bryter vägarna för ljudspridning, kan vara ett designhjälpmedel.

3. Innehåll

Projektet har gett användbara verktyg för att förutse akustiska och mekaniska effekter redan på konstruktionsstadiet. Det väntas även ge värdefull kunskap och riktlinjer för hur man ska utforma ett lättbyggnadssystem för att det ska vara optimalt utifrån de olika problemen, t ex hur man ska utforma knutpunkter för att optimera ljudisolering, eller placera ljuddämpande material i rum för att möta speciella krav.

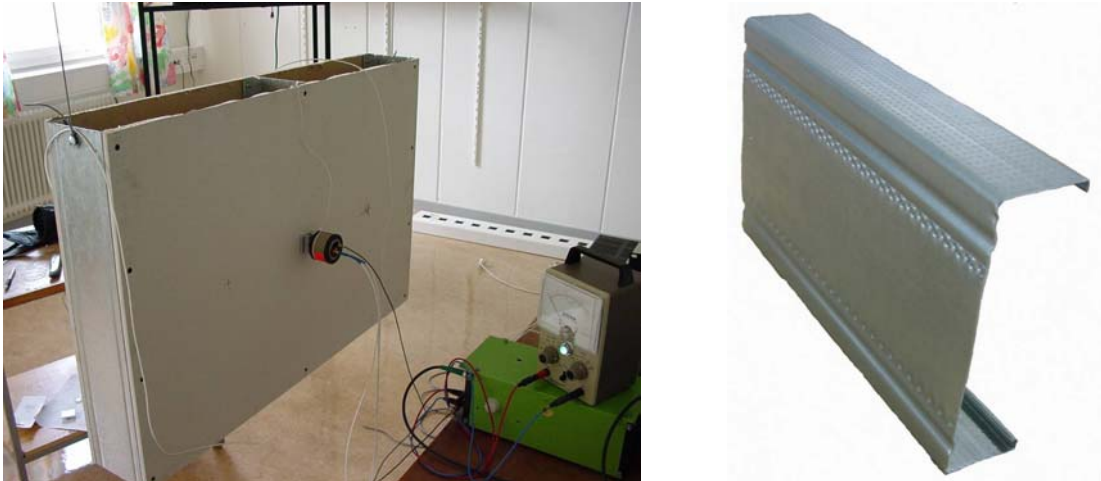
Speciellt har målet varit att utveckla metoderna så att dessa också ger underlag för designundersökningar och innovation. De önskvärda egenskaperna måste kunna bestämmas men därefter ska utformning av detaljer kunna ske med hjälp av de metoder och principer som utvecklas.

Per-Anders Wernberg har studerat hur man kan förbättra beräkningsmetoderna inom FEM för att möjliggöra akustiska beräkningar upp till storleksordningen 500 Hz för små och medelstora rum. Han har särskilt studerat teoribildningen kring hur ljudenergin överförs från luft till fasta material och vice versa. Genom att göra vissa förenklade antaganden om denna ljudövergång går det att

radikalt minska beräkningstiden. Även beräkningsmetodiken har förbättrats, bl a genom uppdelning av de beräknade strukturerna i speciella delområden.

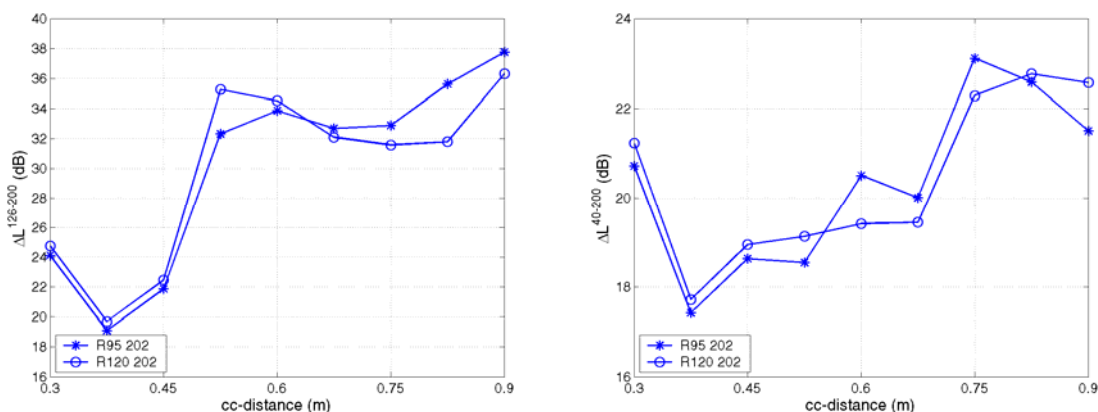
3.1. Ljudtransmission genom väggen mellan två rum

I ett projekt som ingår i avhandlingen har ljudtransmission i lågfrekvensområdet genom dubbelväggar studerats.



FIGUR: Mätningar på gipsvägg för att få en detaljerad beskrivning av dynamisk styvhet i infästningen av gipsskiva mot lättregel. Detaljerad beskrivning av reglarna möjliggjorde optimering av detaljer i tvärsnittsprofilen.

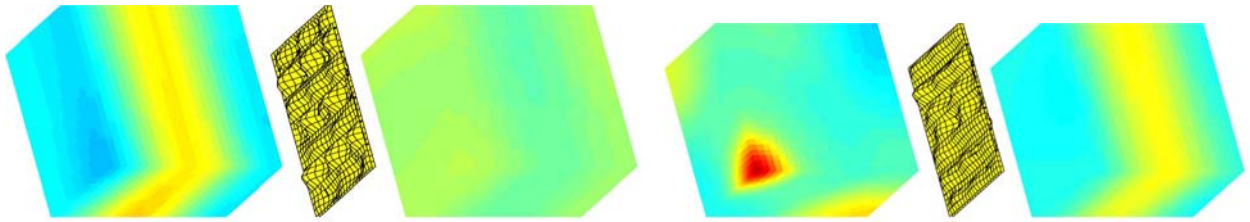
Resultaten härifrån bekräftar resultat från en del tidigare studier, både vad gäller mätningar och teoretiska modeller. I den här undersökningen har dock hela den geometriska beskrivningen av stålreglar, gipsskivor och sändar- respektive mottagarrum tagits med och därmed har en strukturerad presentation av effekterna av variationen av olika parametrar kunnat göras.



FIGUR: Skillnaden i ljudnivå (dB) i lågfrekvensområdet mellan sändarrum och mottagarrum när man varierar avståndet mellan reglarna i väggen.

I projektet har ett flertal parametrar studerats; rummets storlek, avstånd mellan regler, isoleringsmaterialets egenskaper, enkla eller dubbla gipsskivor. Ljudnivån i ett flertal punkter har beräknats i mottagarrummet. I sändarrummet har frekvensen varierats inom området 0-300 Hz.

Jämförelse har mynnat i en beräkning av transmissionsförlusten (ljudisoleringsförmågan) mellan rummen.



FIGUR: Resultat från finita element beräkningar av ett dubbelrum. Man kan också av beräkningarna avgöra vilka områden inom ett rum som har höga ljudnivåer och styra åtgärder med detta som underlag.

Resultatet visar tydligt hur de traditionella metoderna inte kan ge underlag för konstruktionsarbete. De traditionella masslagarna inom rumsakustiken gäller inte utan det är de modala egenskaperna som måste hanteras.

3.2. Optimering av ljuddämpning i rum

Osäkerheter i olika indataparametrar i ett beräkningsschema måste hanteras på ett bra sätt för att få pålitliga och ingenjörsmässiga resultat. Detta gäller inte minst då man försöker optimera någon typ av egenskap, då är det väldigt viktigt att förstå hur resultaten påverkas av olika variationer i indataparametrarna. Om man inte gör detta riskerar man att få ett väldigt dåligt resultat av optimeringen så fort någon av indataparametrarna har ett annat värde än det man förutsatte i beräkningarna.

I stokastiska simuleringar är variablerna av två typer, antingen variabler med osäkerhet i egenskaperna eller variabler som utgör designparametrar. Den första typen är t ex osäkerhet i materialegenskaper eller i geometriska toleranser. Båda typerna kan hanteras i en beräkningssvit och kan ge underlag för designbeslut t ex i placering av och kvalitén på ljuddämpande material i ett rum för att uppnå de krav som ställs ljudmiljö i rummet.

4. Originalitet

Per- Anders arbete har bidragit till att skapa en ny förståelse för akustiska fenomen och hur dessa kan analyseras. Hans huvudsakliga arbete har varit inriktat på att skapa en mer effektiv beräkningsmodell som därmed möjliggör att räkna på större och mer komplicerade geometriska utformningar och att även räkna inom ett bredare frekvensomfång än vad som var möjligt tidigare. En huvudprincip har varit att minska antalet parametrar genom att skapa beräkningsmässiga symmetrier, och på ett nytänkande sätt dela in det beräknade området i delområden som sedan kan kopplas ihop. Han har med tillämpningsexempel visat att hans beräkningsmodell fungerar väl.

4.1. Metoderna användbarhet

Metoderna syftar främst mot design och utveckling av rum och produkter med hög grad av standardisering. I dessa fall finns tid att optimera konstruktionerna mot de krav som ställs.

Speciellt finns sådana möjligheter inom Industriellt byggande där utrymmet att utveckla optimerade komponenter är bättre.

5. Informations-spridning

Per-Anders har publicerat sitt arbete i vetenskapliga tidskrifter som International Journal for Numerical Methods in Engineering, Computer methods in applied mechanics and engineering, Building Acoustics, och även presenterat delar av sitt arbete på WCCM V, Fifth World Congress on Computational Mechanics, 2002 i Wien. Kontakt och samarbete har skett med bl.a. Södra Timber och Skanska.

6. Rekommendation för fortsatt arbete

Per-Anders arbete har lett till att skapa bättre förutsättningar för att använda FEM för akustiska beräkningar.

- Samband mellan beräkningsmetodernas resultat, tolkning av dessa och mer designrelaterade frågeställningar till rent innovativ verksamhet behöver utvecklas genom implementering industriella projekt.
- Bättre modeller för dämpande material som är anpassade för rumsakustiska beräkningar.
- Metodernas precision ger möjlighet att utforma rum, ljudisolering, ljuddämpande material med en tredimensionell bild av ljudnivån i olika rumsdelar. Resultatpresentationen måste utvecklas för detta.
- Resultatredovisning från denna typ av beräkningar behöver bättre anpassas för en byggnadsakustik tolkning, värden för ett rum ges i decibel med en tredimensionell presentation.

7. Idag

Per-Anders Wernberg jobbar idag på Institutionen för byggvetenskaper vid LTH.. Han arbetar bland annat tillsammans med en ny doktorand och en postdoc, Delphine Bard från Ecolé Polytechnique i Lausanne, för att studera lätta bjälklag i trä. Detta projekt inkluderar både mätning och beräkning och kommer att utnyttja de ovan utvecklade rutinerna.

wernberg@byggmek.lth.se

Titel: Structure-Acoustic Analysis; Methods, Implementations and Applications	Utgiven: 2006
Författare: Per-Anders Wernberg	Rapport: TVSM-1019
Avdelning: Byggnadsmekanik, Lunds Tekniska Högskola	Handledare: Prof Göran Sandberg
Stödande företag: Södra Timber/Skanska	Industrihandledare: Peter Karlsson