

# Akustik i träbyggnader

Akustik är ett angeläget område för träbyggande med starkt eftersatt forskning och utveckling under senare år. Samtidigt är god akustik en förutsättning för att byggherrar och konsumenterna ska välja trä i större byggnader och flerfamiljshus i Sverige och utomlands.

En nationell samverkan initierades därför av SP Träteknik under 2007 för att utnyttja tillgängliga resurser effektivare och för att behålla och komplettera kompetensen inom området Akustik i träbyggnader. Ett konsortium bildades med samtliga svenska forsknings- och utvecklingsaktörer inom området, ledande industriföretag inom bygg-, byggmaterial- och träbranschen samt ledande konsulter.

Syftet var att sammanställa en kunskapsöversikt, definiera industrins behov för att kunna producera träbyggnader med god akustisk komfort samt formulera behov av fortsatta forsknings- och utvecklingsinsatser.

## Kunskapsläget

Akustik omfattar både ljud- och vibrationsegenskaper och för träkonstruktioner finns vissa speciella egenskaper som behöver tas hänsyn till jämfört med tunga konstruktioner av exempelvis betong. Byggnadsindustrin har genom åren lärt sig att det är svårt att använda trä i konstruktioner där de akustiska kraven är höga. Detta beror på osäkerheter i det akustiska beteendet. Spridningen i akustiska egenskaper är till exempel stor för lättviktskonstruktioner (vilket träkonstruktioner klassas som). Genom att öka kunskaperna om träkonstruktioners ljud- och vibrationsbeteende kommer riskerna att kunna reduceras.

Det svenska ljudklassningssystemet ställer akustiska krav på bostäder och lokaler. Fyra klasser definieras med olika krav, A, B, C och D, där klass A innebär högst krav och klass C ska motsvara minimikraven vid nybyggnad. Klass D kan användas vid exempelvis varsamma renoveringar där klass C inte kan uppnås.

Generellt kan trähus delas upp i tre olika konstruktionstyper:

Artikelförfattaren **Birgitt Östman**, SP Träteknik, Stockholm, initierade nätverket Akustik i träbyggnader och har koordinerat förstudien.



Trähus i Sundsvalls inre hamn med upplevd god ljudmiljö.

- **Regelkonstruktioner**, som akustiskt betraktas som dubbelväggskonstruktioner
- **Homogena träkonstruktioner**, som akustiskt beskrivs som enkelväggar när endast en skiva används och som dubbelväggar när större krav på ljudisoleringen behövs.
- **Hybridsystem**, som består av kombinationer av olika material och konstruktioner.

För att studera de akustiska egenskaperna i detalj delar man också upp dem i olika delar beroende bland annat på typ av bullerkälla.

## Luftljudsisolering

Luftljudsisolering är ett mått på hur mycket byggnadskonstruktionerna hindrar ljud i ett utrymme från att fortplantas till ett annat utrymme. Luftljudsisoleringen beror bland annat på egenskaperna hos skiljeytan, väggen, bjälklaget etcetera, men angränsande konstruktioner har också betydelse. Luftljudsisolering presenteras i form av ljudreduktionsstäl. Ju högre ljudreduktionsstäl, desto bättre ljudisolering.

Vikten per ytenhet hos en konstruktion har avgörande betydelse för ljudisoleringsegenskaperna, speciellt vid låga frekvenser (mellan 20 till 200 Hz). Detta gör att många träkonstruktioner har dålig ljudisolering vid låga frekvenser. Homogena träkonstruktioner kan emellertid ha bättre ljudisolering vid låga frekvenser än lättare regelkonstruktioner. Vid högre frekvenser har homogena träkonstruktioner ofta förhållandevis låg ljudisolering, medan dubbelväggskonstruktioner kan ha hög ljudisolering. Den så kallade dubbelväggsresonansen måste beaktas så att den

säkert infaller under 50 Hz. Eftersom det svenska ljudklassningssystemet tar hänsyn till frekvenser ner till 50 Hz kan dubbelväggsresonansen vara ett problem. Även för fasadelement är ljudisoleringen viktig och kan bli viktigare med ökande trafik och nybyggnad av lägenheter centralt i tätbebyggda områden.

En konstruktion analyseras ofta som separata byggelement till exempel då man studerar den så kallade direkta transmissionsvägen och det finns idag ett flertal beräkningsmodeller. I en tidigare studie kom man fram till att bara några av dessa modeller kunde förutsäga ljudisoleringen med en acceptabel noggrannhet, men att ingen av dem var kapabel till att förutsäga ljudisoleringen för alla väggtyper. Ett av de stora problemen med de existerande modellerna är hur de behandlar hålrummen som bildas mellan reglarna i dubbelväggar.

## Stegljud

Stegljudsnivån är ett mått på den ljudtrycksnivå som uppkommer i ett rum när en standardiserad hammarapparat slår på ett bjälklag, trappa eller dylikt i ett annat utrymme. Stegljudsnivån vill man ha så låg som möjligt.

Problem med störande stegljudsnivåer från gång är det vanligaste problemet i lätta träbjälklag, speciellt vid låga frekvenser. Vid låga frekvenser bestäms ljudtrycksnivån primärt av ljud från steg av personens vikt, fotvikt och stegfrekvens. Vid högre frekvenser är typen av skor relevant, åtminstone på hårda golvbälgningar. En skillnad mot andra typer

av buller är att fotsteg upplevs mycket störande även vid låga frekvenser. Stegljudsnivå mäts med den standardiserade ISO-stegljudsapparaten. Även om maskinen inte simulerar verkliga fotsteg ger mätningar värdefull information om golvet dynamiska egenskaper.

En komplikation är att utvärderingen av stegljudsnivån kan ge missvisande resultat för träbjälklag. I vissa fall kan boende klaga på alltför hög stegljudsnivå trots att kraven enligt ljudklass A eller B uppfylls vid mätningar. Speciellt vid låga frekvenser, även under 50 Hz, är stegljudsnivån svår att uppfylla i dessa konstruktioner. Trots detta finns ett antal lyckade exempel där goda stegljudsegenskaper har uppnåtts med träbjälklag.

## Flanktransmission

Flanktransmission är en sammanfattande benämning på bidraget från alla andra transmissionsvägar än den direkta.

För lättviktskonstruktioner är flanktransmission oftast ett av huvudproblemen, till exempel att vibrationerna från ett golv sprider sig till bärande väggar, vilket resulterar i ljudutstrålning också från väggarna. Flanktransmission är ett viktigt praktiskt problem för platsbyggda lättviktskonstruktioner. Om konstruktionerna kan separeras är det en säker lösning, men det är oftast inte praktiskt genomförbart eftersom regelkonstruktionen behöver stabiliseras för att klara till exempel horisontella vindlaster. Flanktransmission har avgörande betydelse även för att kunna minska problem med stegljud.

Tillförlitliga teoretiska modeller för flanktransmission saknas. För att utveckla nya modeller bör tre olika aspekter beaktas; ljudalstring (input), transmission och strålning. Nuvarande mätmetoder för flanktransmission är inte alltid tillräckligt effektiva. Därför finns ett brådskande behov av nya och bättre konstruktionslösningar.



*Volymmodul på plats vis Roslagstull i Stockholm.*

## Installationer och vibrationer

Installationsbuller är benämningen på det buller som kommer från mekaniska system som är installerade i byggnaden för att uppnå vissa funktioner och komfort. Det kan vara värmesystem, ventilationsystem, hissar, vitvaror med mera. Kraven på komfort, god innemiljö och låg energiförbrukning har ökat, vilket har lett till fler och mer komplexa installationer. Exempelvis har självdragsventilation i bostäder ersatts av mekanisk FTX-ventilation med fläktar och värmeväxlare, vilket ökar risken för bullerstörning. De vanligaste orsakerna till klagomål på ventilation är drag och buller. Klagomål på buller förekommer även med system för värmeåtervinning med värmepumpande teknik i småhus som är mycket vanliga. Det finns emellertid goda exempel på både tysta och energieffektiva ventilationssystem med existerande teknik.

Installationsbuller domineras i många fall av låga frekvenser, under 200 Hz. Det är därför speciellt viktigt att beakta att ljudisoleringen i träkonstruktioner kan vara otillräcklig vid låga frekvenser. Träbjälklag är vekare än motsvarande betongkonstruktioner, vilket gör att installationsutrustning som monteras på träbjälklag kan överföra mer vibrationsenergi till bjälklaget. Vibrationsisolering dimensioneras normalt utgående från att underlaget är styvt, vilket ger problem när utrustningen placeras på ett vekt underlag. Det saknas en praktisk och tillförlitlig mätmetod för att bestämma stomljudseffekt från installationer, men arbete pågår inom europeisk standardisering med EN 12354-5.

Ökat fokus på låg energiförbrukning har lett fram till mer välisolerade och lufttäta lågenergihus och passivhus. Ofta är isoleringen mot ljud utifrån mycket hög i dessa hus. Samtidigt blir det då viktigt att välja tysta installationer eftersom bakgrundnivån är låg och interna ljudkällor kan uppfattas som extra störande. Moderna hus med öppen planlösning kräver tysta installationer eftersom den interna ljudisoleringen, skärmningen och dämpningen är låg.

Vibrationer och svikt i bjälklag är ett problem för veka träbjälklag, speciellt då spännvidden blir stor. Ofta kan de lägsta resonansfrekvenserna i bjälklag inträffa i det frekvensområde där människan är mest känslig.

## Industrins behov

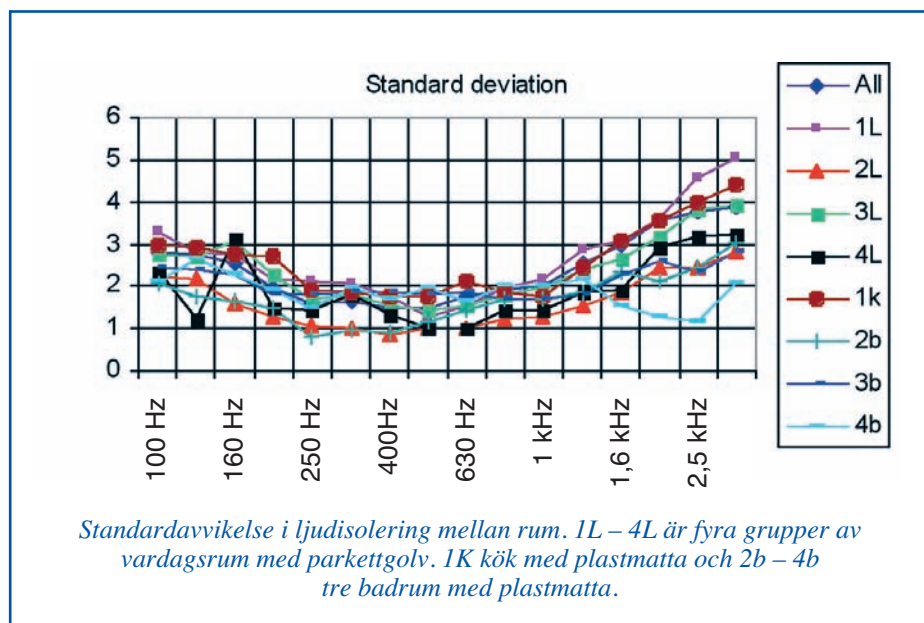
För industrin är det väldigt viktigt att ha enkelt åtkomlig kunskap om de akustiska egenskaperna hos byggnadskonstruktioner som kan användas i tidiga byggskedet. Då är det också extremt viktigt att kunna säkerställa den tänkta utformningen genom att ha tillförlitliga beräkningsmodeller, så att byggprocessen kan fortsätta utan drastiska ändringar. Industrins behov är av både teoretisk och praktisk natur.

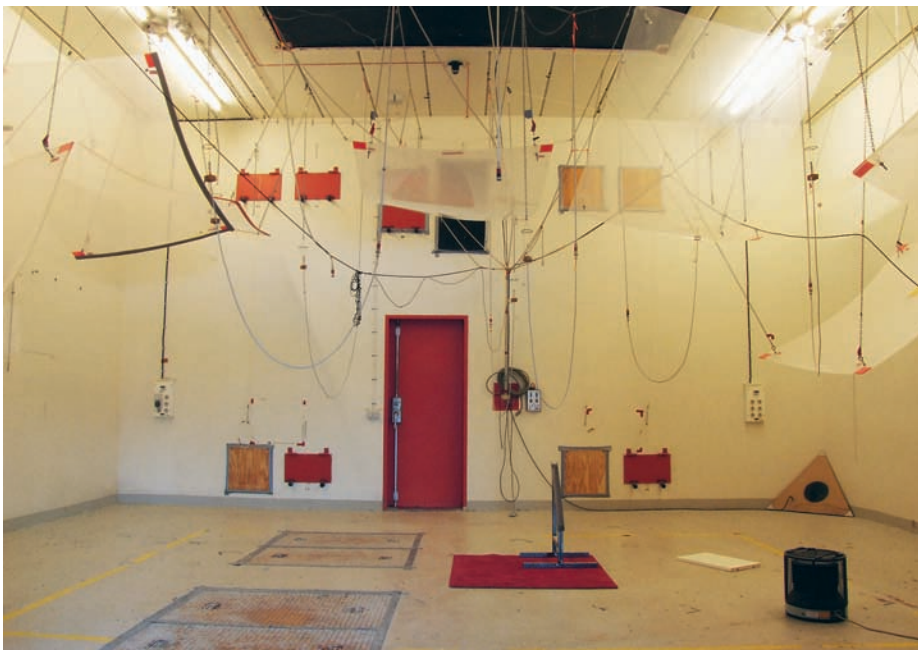
### De teoretiska behoven är:

- Tydliga regler som medför att de slutliga konstruktionerna och deras objektiva ljudisoleringsvärden är jämförbara med den subjektiva uppfattningen i tunga konstruktioner.
- Kunskap om regelverk i andra länder, som kan bli nya exportmarknader.



*Ljudisolerande rullager.*





Mätning av ljudisolering i laboratorium.

- Förbättrade möjligheter att förutse ljudisoleringen i hela byggnaden, inklusive välkända säkerhetsmarginaler. Detta arbete involverar utveckling av den europeiska standarden EN 12354.

- Ökad kunskap om hur laster i högre hus inverkar på ljudisoleringen. Vad händer till exempel när lasterna i de lägsta våningarna ökar? Kommer en ökad last att påverka flanktransmissionen eller någon annan transmissionsväg?

- Flanktransmissionen generellt.

**De praktiska behoven är:**

- Säkerställ att de produkter som ingår i byggnader, till exempel vibrationsdämpningsprodukter, har samma livslängd som andra byggelement i konstruktionen.

- Öka kunskapen hos de yrkesgrupper som är involverade i byggandet av träkonstruktioner. Korta kurser bör anordnas innan byggandet startar.

- Information om konstruktioner, knutpunkter och skarvkonstruktioner som är beprövade och effektiva.

Det är också viktigt för industrin att utbildningen av akustiker med relevant kom-

petens säkerställs. Akustik i trähus har särskilda aspekter och problem varför specialkurser anpassade för lätta konstruktioner behövs och bör hållas av universitet med forskning inom området.

**Teori**

Förenklade beräkningsmodeller är viktiga verktyg för dimensionering av nya konstruktioner och byggnadsprojekt. Idag finns förenklade beräkningsmodeller, till exempel SEA (*Statistical Energy Analysis*), som bygger på förenklade antaganden och är utvecklade för tunga och homogena konstruktioner. Detta är en mycket stor nackdel för de som vill bygga i trä eftersom modellerna fungerar mindre bra på lättviktskonstruktioner. En av dessa modeller finns i den europeiska standarden EN 12354. Ett stort problem är att man har uteslutit de flesta lättviktselementen. För att skapa nya förenklade modeller för lättviktskonstruktioner är ett första steg att ha deterministiska högupplösta beräkningsmodeller. Man behöver även starta med baskvationerna i SEA.

På samma sätt som för luftljudisoleringen saknas tillförlitliga enkla beräkningsmodeller för stegljudsnivå och flanktransmission.

**Högupplösta metoder**

För att öka möjligheterna att utveckla innovativa lösningar behövs detaljerade, högupplösta beräkningsmetoder som kan användas för att prediktera det akustiska beteendet vid konstruktionsändringar och detaljer i tidiga utvecklingskedan. Här behövs deterministiska modeller som löser ekvationerna med rätt randvillkor. Detta kan göras med analytiska modeller eller med olika numeriska modeller exempelvis FEM (Finita Element Metoden), om analytiska lösningar saknas. FEM är en attraktiv metod att lösa differentialekvationer som kan ge detaljerad information om konstruktioners akustiska beteenden. För detaljerade beräkningar (oavsett metod) krävs tillförlitliga och detaljerade uppgifter på materialegenskaper, egenskaper hos infästningar, dämpningsegenskaper etcetera.

**Mätteknik**

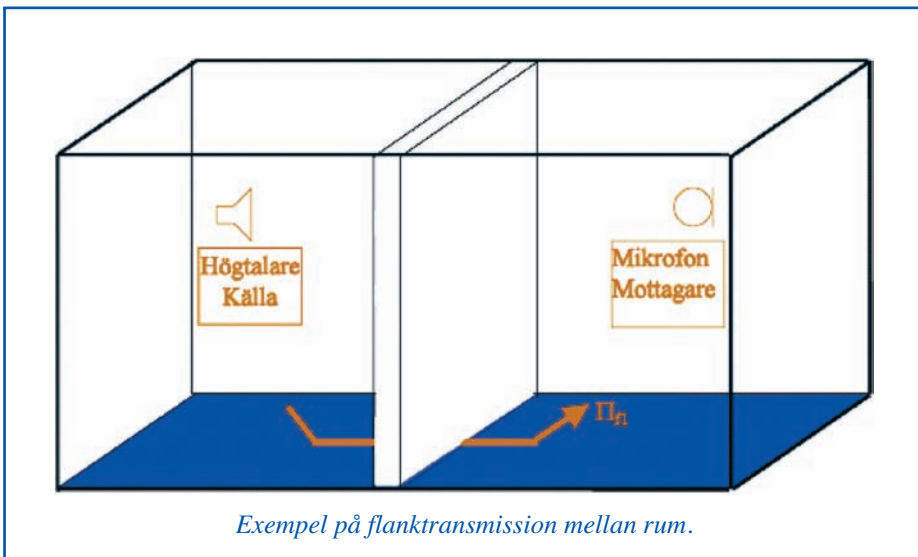
Mätmetoder och beräkningsmodeller för akustiska egenskaper vilar ofta på statistiska egenskaper baserade på antaganden om diffust fält. Villkoren för diffust fält uppfylls vanligtvis inte vid de lägsta frekvenserna, vare sig för ljud i rum eller för vibrerande konstruktioner. Dessutom har lätta konstruktioner generellt högre intern dämpning än tunga konstruktioner varför antagandet om diffust fält sällan är uppfyllt i praktiken. Mätmetoder har utvecklats för att bestämma egenskaper hos separata element. Dessa metoder avser framför allt laboratoriemätningar där resultaten används för att bestämma ljudisoleringen i färdiga byggnader. De icke-diffusa fälten i elementen vid låga frekvenser orsakar stor osäkerhet om beräknade resultat för hela byggnaden. Även fältmätningar vid låga frekvenser har stora osäkerheter.

**Byggregler**

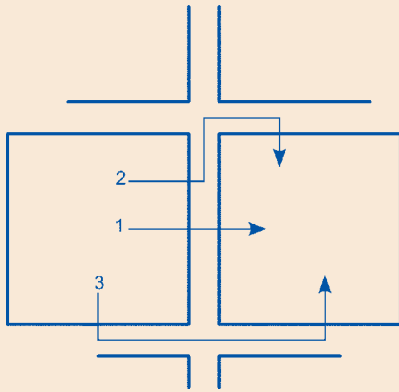
Byggreglernas utvärderingskurvor för subjektiv utvärdering (av både luftljuds- och stegljudisolering) är bäst lämpade för tunga konstruktioner och vissa produktkombinationer. I moderna byggnadskonstruktioner är dock tunga konstruktioner inte nödvändigtvis det självklara valet. Det blir mer och mer vanligt med prefabricerade tunna bjälklagskonstruktioner och särskilt lättviktskonstruktioner. Erfarenheterna visar att byggnader byggda med lättviktskonstruktioner i själva verket har acceptabel luftljudisolering medan stegljudisoleringen ofta är otillräcklig.

**Förslag till fortsatt arbete**

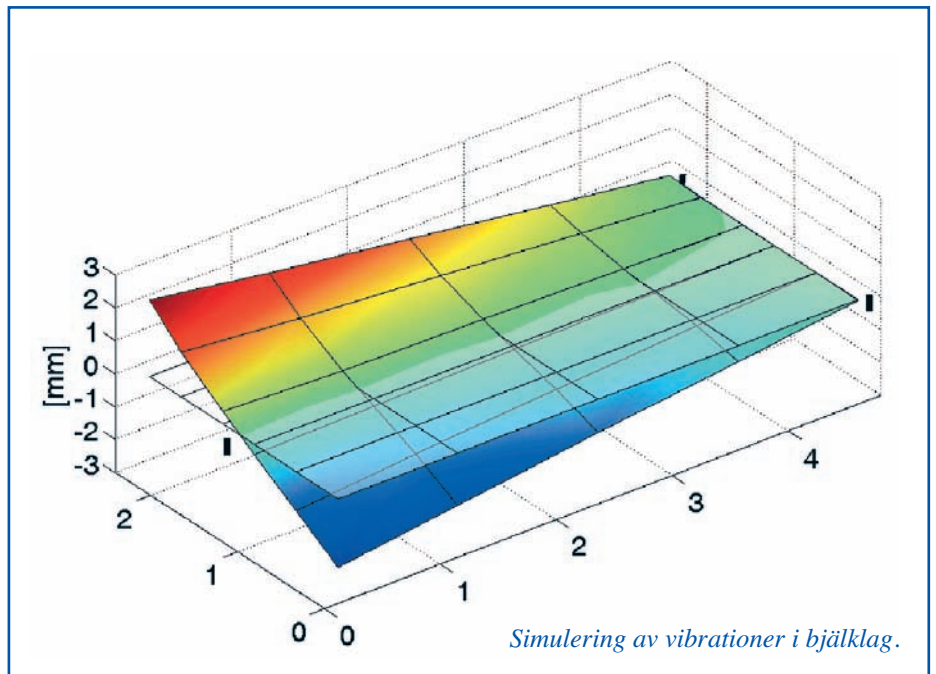
Här listas några viktiga problemområden för fortsatt forskning och utveckling. Notera att de listas utan prioriteringsordning



Exempel på flanktransmission mellan rum.



Flanktransmission mellan två rum.  
Väg 1 är den direkta transmissionsvägen, medan väg 2 och väg 3 är exempel på andra indirekta transmissionsvägar.



Simulering av vibrationer i bjälklag.

eftersom prioriteringen inte bara bör utgå från områdets betydelse utan även andra faktorer som exempelvis utvecklingen i andra länder, samarbetsmöjligheter, utvecklingen inom svensk industri etcetera.

● *Den stora variationen mellan nominellt "identiska" mätplatser*

Orsakerna till att det finns stora variationer mellan mätningar gjorda i nominellt identiska konstruktioner är inte helt kända. I lätta träkonstruktioner kan en liten skillnad i konstruktionen orsaka en stor skillnad i ljudisoleringssegenskaper, vilket gör området komplext.

● *Beräkningsmodeller för ljudisolerering*

Tillförlitliga modeller för bestämning av ljudisolerering inklusive flanktransmission behöver utvecklas för att säkerställa att de akustiska kraven kan uppfyllas kostnadseffektivt tidigt i byggskedet.

● *Ljudisolerering vid låga frekvenser*

Detta område omfattar åtminstone tre delar; stegljudsnivå, inverkan av resonanser i rum och konstruktioner samt flanktransmission vid låga frekvenser. Relaterade problem är lågfrekvent buller- och stomljud från installationer.

● *Utvärdering av ljudisolerering i lätta konstruktioner*

Att vidareutveckla metoder för utvärdering av ljudisolerering i lätta konstruktioner som stämmer med den subjektiva upplevelsen.

● *Ingenjörsmässiga beräkningsmodeller för industriellt byggda volymelement*

Eftersom industriellt byggande av volymelement ökar finns ett ökande behov av tillförlitliga användarvänliga beräkningsmodeller som kan användas för att lösa de komplexa problemen i lätta trä-

konstruktioner.

● *Utveckling av bullerreducerande komponenter*

För att lösa ljud- och vibrationsproblemet i lätta konstruktioner behöver nya lösningar och komponenter tas fram som är anpassade efter de relativt veka träkonstruktionerna. Detta gäller bland annat för vibrationsisolerering för olika typer av installationer.

● *Vibrationer i lätta bjälklag med långa spännvidder*

För att träkonstruktioner ska vara konkurrenskraftiga behöver träbjälklag med långa spännvidder och med acceptabla vibrationsnivåer utvecklas.

● *Kompetens*

För att upprätthålla kompetensen inom akustik i träkonstruktioner behövs relevant utbildning vid universitetet. Utbildningen ska vara baserad på forskning, vilket betyder att det finns en risk att utbildningen försämras när antalet forskningsgrupper inom området minskar.

## Nuläge och fortsättning

En kunskapsöversikt är det första resultatet från det nya konsortiet, se Mer att läsa. Rapporten innehåller en litteraturoversikt, analys och definition av industrins behov för att kunna producera träbyggnader med god akustisk komfort samt behov av fortsatta forsknings- och utvecklingsinsatser, både nationellt och internationellt.

Vår avsikt är att fortsätta det goda samarbetet. Ett första steg togs vid en workshop som Vinnova arrangerade den 9 maj 2008.

Arbetet har finansierats gemensamt av Vinnova och deltagande företag. ■

## Mer att läsa:

*Acoustics in wooden buildings – State of the art 2008*, Vinnova project 2007-01653, SP Rapport 2008:16.

## Deltagare i nätverket och förstudien

### Industri och konsulter:

CBBT, Centrum för byggande och boende med trä

Gyproc

NCC Construction

Paroc

Saint-Gobain - Isover

Setra Group

WSP

ÅF-Ingemansson

### Forsknings- och utvecklingsaktörer:

Chalmers

DTU, Danmarks tekniska universitet

KTH, Kungliga tekniska högskolan

LTH, Lunds tekniska högskola

LTU, Luleå tekniska universitet

SP Akustik

SP Träteck

VXU, Växjö universitet

### Personer:

Erik Serrano

Rickard Nilsson

Olof Hallström

Lars-Erik Olsson

Hanne Dybro

Olle Jakobsson, Göran Wilsson

Klas Hagberg

Carl-Gunnar Ekstrand, Melker Johansson

Jens Forssén, Wolfgang Kropp

Jonas Brunskog

Sten Ljunggren

Delphine Bard, Göran Sandberg

Fredrik Ljunggren, Anders Åberg

Krister Larsson, Karl Tillberg

Kirsi Jarnerö, Lars-Göran Sjökvist,

Birgit Östman

Åsa Bolmsvik, Anders Olsson