

Beräkning av ljudisolering i trästommar med SEAWood

Efter tre år pågår nu slutleveransen av projektet "Silent Timber Build" (www.silent-timber-build.com). Ett av de mest spännande forskningsprojekten hittills för framtidens trähus, men också ett av de mest utmanande. Att beräkna ljudisolering på olika träkonstruktioner kräver kunskaper vad gäller material och system men också en stor andel "känsla". Inom Silent Timber build har delar av forskargruppen som består av experter från Sverige, Frankrike, Tyskland, Österrike, Schweiz, Norge och Finland gjort en gruppering av olika tekniska lösningar, en gruppering som kan användas för att göra grova bedömningar av ljudisoleringen, som sedan kan förfinas med hjälp av mjukvaran, "SEAWOOD", som förädlats under projektets gång. Det gör att vi nu har en bra modell för att göra kloka och relativt säkra bedömningar av träkonstruktioner så som de ofta byggs i Europa idag. MEN, vi kan också ge förslag på hur konstruktioner skall utformas för optimalt utnyttjande av material i framtidens konstruktioner. Resultaten från Silent Timber Build samt samarbete med vårt systerprojekt HCLTP (www.hcltp.com) borgar för detta.



Efter projekten AkuLite och AcuWood som handlade om hur ljudisolering skall värderas i byggnader med lätta stomsystem och som avslutades för snart fyra år sedan var det dags att ta sig an att modellera träkonstruktioner så att dessa kan beräknas med avseende på ljud. Detta är helt avgörande eftersom det alltid är ljud och vibrationer som dimensionerar träkonstruktioner (och för övrigt också andra konstruktioner med tyngre stommaterial). När vi kan dimensionera med avseende på ljudisolering och lägga ribban på rätt nivå med rimlig säkerhet, då klarar man normalt också andra tekniska aspekter.



Klas Hagberg,
WSP



Tobias Augustsson,
WSP

Hela arbetet inom *Silent Timber Build* kommer att presenteras i en serie rapporter – "en design guide" som kommer att finnas tillgängliga på www.silent-timber-build.com efter sommaren. En del av resultaten har också förts vidare via vår franska partner CSTB, till Europastandardiseringen och därmed i viss mån bidragit till uppdatering av beräkningsstandarder EN 12354.

Metod

Arbetet har varit indelat i flera olika Work Packages (WP:n) där Lunds Universitet ansvarat för den WP som utvecklat modelleringsverktyget som innehållit två delar: modellering med FEM tillsammans med mjukvaran SEAWOOD som vidareutvecklats av InterAC i Frankrike. Vidare har SINTEF i Norge haft ansvaret för den WP som skall bidra med underlag för att verifiera konstruktioner som modelleras. I denna WP har man först identifierat typiska europeiska konstruktioner i stort och sedan grupperat dessa genom att beskriva vilka aspekter som avgör vilken grupp de skall tillhöra. Vidare har en stor

mängd mätningar utförts i labb för kalibrering och verifiering av modellen. Lignum i Schweiz samlar ihop data med goda lösningar i en databas som i projektet gått under namnet EATSI, *European Atlas for Timber Assemblies, Sound Insulation*. I denna finns samlat en stor mängd tekniska lösningar men där kommer också att finnas förlag på lösningar direkt från *Silent Timber Build* och vi hoppas och tror att den kommer att fortsätta växa och leva även efter att projektet är avslutat i juni i år. Databasen innehåller också en auraliseringsfunktion för att användaren direkt skall kunna lyssna och därmed enklare förstå hur olika lösningar påverkar upplevt ljud. (Den finns på www.lignum.ch).

Gruppering

Genom grupperingen har det varit möjligt att finna samband som gör det relativt enkelt att värdera vilket entalsvärde på ljudisoleringen (stegljudsnivån i detta fall) som rimligen kan förväntas för en viss konstruktion. Dessa samband kan exempelvis användas för att utvärdera rimligheten i de antaganden som görs när

Floor Assembly group	Name	Assembly	
Group A	Wood Joist	FS-CS	
		FS-CR	
		FS-CN	
		FR-CS	
		FR-CR	
Group B	Hybrid Wood Joist	FS-CS	
		FS-CR	
		FR-CS	
		FR-CR	
Group C	Massive wood	FS-CS	
		FS-CR	
		FS-CN	
		FR-CS	
		FR-CR	
Group D	Hybrid Massive element	FR-CS	
		FR-CR	

Tabell 1 – Fyra huvudgrupper med undergrupper.

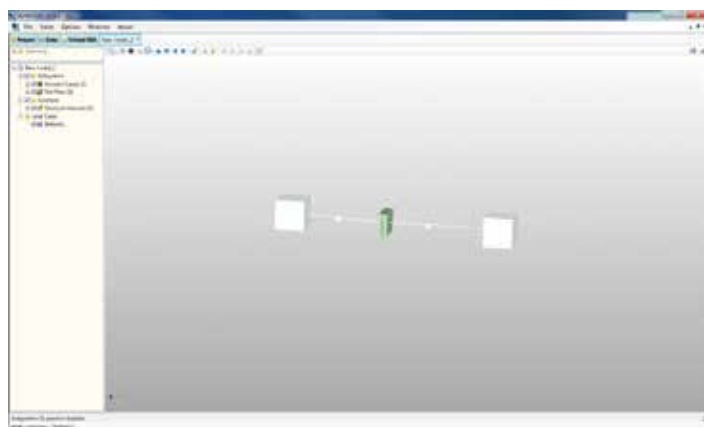
upp i så kallade subsystem. I det här exemplet består systemet av tre subsystem, två rum och en platta, enligt *Figur 1*. Det ena rummet exciteras av en viss effekt och sen räknas energioverföringen mellan de olika subsystemen ut. Energoöverföringen mellan subsystemen är proportionell mot energin per mod. Så länge modalenergin i subsystemen är olika, så kommer det att ske energiflöde mellan subsystemet med högre mängd energi per mod och subsystemet med lägre energi per mod. Utifrån detta kan energin i varje subsystem beräknas och från energin kan man räkna ut ljudtrycksnivåerna i rummen. Detta används sedan för att beräkna reduktionstalet för den konstruktion som avskärmar de båda rummen. För stegljudsnivåerna så sker beräkningarna på samma sätt förutom hur systemet exciteras. Antingen används en förenklad beräknad kraftpunktkälla eller beräknad in effekt. Från energinivåerna i mottagarrummet räknas sen stegljudsnivåerna ut. Det är dock fortfarande svårt att få väldigt god överensstämmelse mellan mätningar och beräkningar för stegljudsnivåerna, det pågår fortfarande arbete med att förbättra modellen för inmatad kraft (hammarapparaten).

För att genomföra dessa beräkningar har en av *Silent Timber Builds* projektpartner (det franska företaget InterAC) utvecklat en mjukvara kallad SEAWOOD. Mjukvaran är vidareutvecklad inom *Silent Timber Build*. I denna mjukvara så har det varit möjligt att utföra beräkningar på olika träkonstruktioner. SEAWOOD mjukvaran har utvärderats i flera olika sammanhang, bland annat i ett examensarbete vid mastersprogrammet Ljud och vibrationer på Chalmers.

Resultat

Optimerade konstruktioner

Nedan redovisas några resultat från typiska träkonstruktioner såsom de ofta kan se ut i Sverige och som har beräknats med mjukvaran SEAWOOD. Beräkningarna som redovisas har kalibrerats mot uppmätta reduktionstal men även används för att optimera en konstruktion som utvecklats inom systerprojektet HCLTP. I första hand redovisas här resultat med avseende på luftljudsisolering tillsammans med motsvarande mätresultat. Vi hoppas, innan projektet slutförs, kunna redovisa mer framgångsrika stegljudsberäkningar som ju nästan uteslutande är av störst betydelse för att dimensionera en träbyggnad. Vi har kommit en bra bit på väg men analyserar nu vilka justeringar som krävs.



Figur 1 SEAWOOD modell.

beräkningsmodellen används. Genom att gruppera på ett visst sätt, se tabell 1, så har det varit möjligt att finna samband mellan stegljudsnivåernas entalsvärden och bland annat konstruktionens totala massa/m² (mpua, mass per unit area).

De olika undergrupperna är uppdelade beroende på om de har dämpande övergolv (FR – Floor Resilient) eller på samma sätt fjädrande undertak (CR – Ceiling Resilient) eller om de är styvt sammanfogade (Stiff) eller slutligen om de är helt frikopplade från varandra (None), och olika kombinationer däremellan.

Mjukvaran SEAWOOD

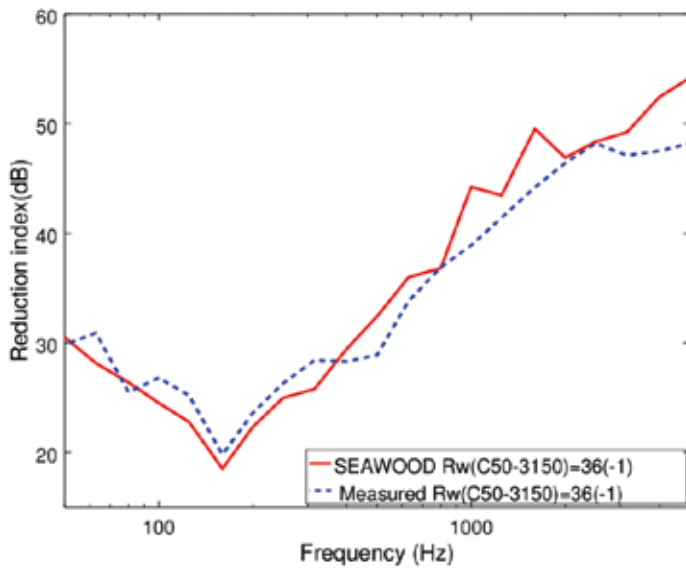
SEA står för *Statistical Energy Analysis*, översatt statistisk energianalys. Metoden utvecklades i början på 60-talet, och har sedan dess använts inom bland annat flyg, båt och fordonsindustrin. Metoden har även använts med framgång inom byggnadsindustrin. Nedan följer en kort beskrivning av SEA teorin.

SEA används för att modellera resonanta system innehållande bland annat plattor, balkar och rum. Ett system kan bestå av en vägg mellan två bostadsrum. Metoden fungerar så att systemet delas

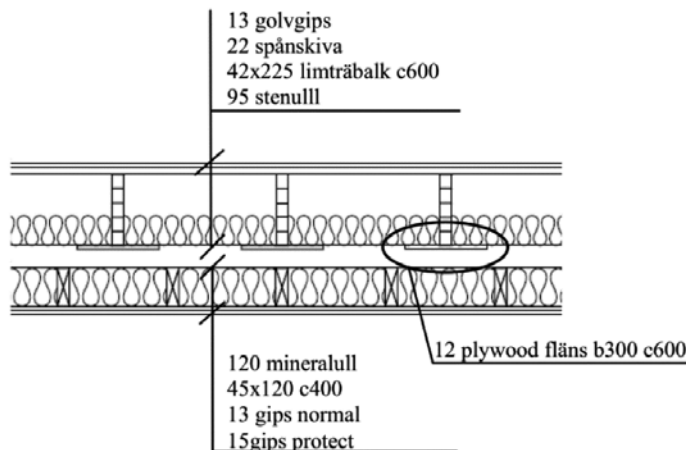
Homogen CLT 140 L5

CLT konstruktioner har gjort sitt intåg på den svenska marknaden. Tidigare har vi inte använt det särskilt mycket utan det har mest varit i vanligt i mellaneuropa. De senaste två åren har man dock kun-

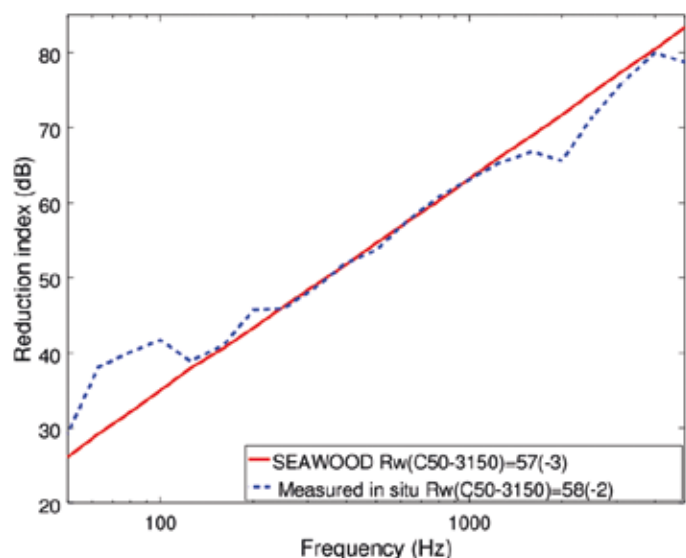
nat se ett trendbrott. *Figur 2* visar en jämförelse mellan två reduktionstalskurvor för en 140 millimeter tjock, laminerad träplatta med måtten 4 x 2,5 meter. "SEAWOOD" kurvan visar det beräknade reduktionstalet från mjukvaran och "Me-



Figur 2 Beräknade och uppmätta reduktionstalskurvor för en CLT 140 L5 platta.



Figur 3. Bjälklagskonstruktion enligt AkuLite mät rapport.



Figur 4. Beräknade och uppmätta reduktionstalskurvor för träbjälklag enligt figur 3.

asured" kurvan visar det laboratorieuppmätta reduktionstalet. Kurvorna visar att beräkningarna stämmer väl överens med de uppmätta värdena. Detta syns även genom att de viktade reduktionstalen stämmer mycket bra överens, även med C50-3150 korrektion.

Bjälklag volyelement (från AkuLite)

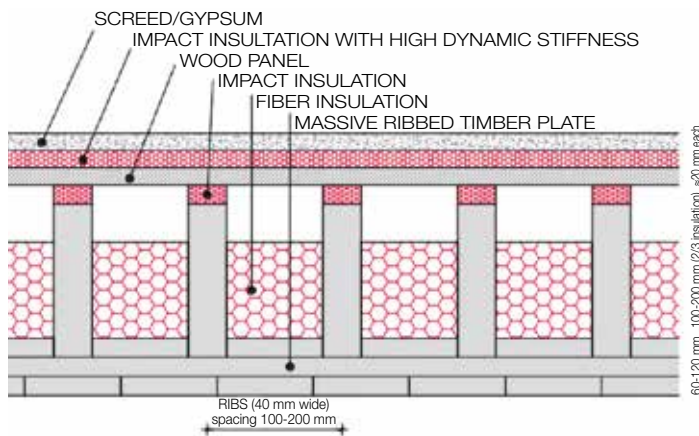
Vanligt i Sverige och även Norge är och har länge varit, volyelement. *Figur 4* visar jämförelsen mellan beräkningar och mätningar utförda på ett så kallat volyelement där regelverken är strukturellt separerade, se princip i *figur 3*. SEA beräkningarna är utförda med plattor av storleken 5 x 5,5 m. "SEAWOOD" kurvan visar det beräknade reduktionstalet och "Measured in situ" kurvan visar den på plats mätta reduktionstalskurvan.

Återigen visar beräkningarna att reduktionstalskurvorna stämmer väl överens med varandra. Även de vägda reduktionstalen med och utan C50-3150 stämmer väl överens. Generellt känner vi i oss idag väldigt trygga med modellering av luftljudsisolering för olika konstruktioner.

Samverkansbjälklag utvecklat inom HCLTP

Denna konstruktion är ett så kallat samverkansbjälklag från systerprojektet HCLTP, också inom *Wood Wisdom Net+* programmet www.woodwisdom.net. I detta fall så har vi inte utgått från några uppmätta data specifikt på detta bjälklag utan det är framtaget för att skapa ett samverkansbjälklag som kan produceras och levereras med tillräcklig styvhet för att klara lite längre spännvidder. Bjälklaget är sedan beräknat för flera olika fall och jämförda med förväntade värden utifrån den gruppering som beskrivits ovan. Konstruktionen av bjälklaget är uppbyggt enligt *figur 5*, förutom att slutresultatet blev att endast förse bjälklaget med stegljudsdämpning direkt mot balkarna. Plattorna i modellen är av storlek 3 x 5 m.

Det finns vissa osäkerheter kring stegljudsberäkningen som nämndes tidigare men vi har i detta fall jämfört med förväntade värden utifrån den gruppering som redovisades tidigare. Detta är då bedömt vara en konstruktion i grupp C (FR-CS) och förväntat värde baserat på vikt och sammansättning bör ligga inom intervallet $L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 53-57$ dB. Därmed bör det vara räknat på "säkra sidan". Här finns mycket mer att jobba vidare med men vi har ett bra jämförelsematerial, det stärker oss när beräkningar görs för att optimera konstruktioner.

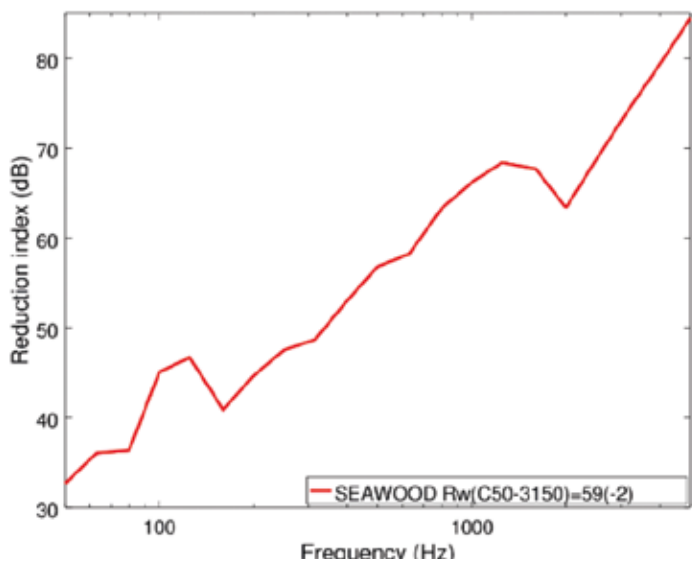


Figur 5 Bjälklags konstruktion HCLTP.

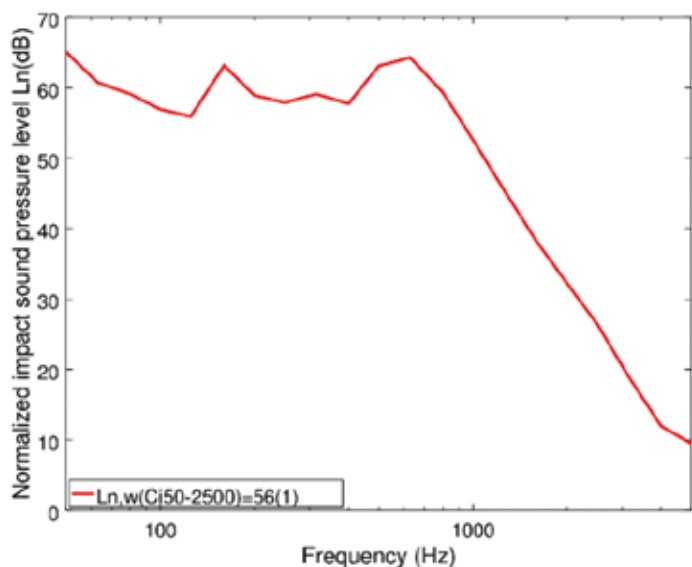
Analys

Generellt stämmer beräkningar av luftljudsisolering väl vilket vi kan konstatera genom att jämföra med uppmätta data. Jämförelsen mellan beräkningar och mätningar av den laminerade trä plattan CLT140L5 (och även andra storlekar) visar på att det går att modellera trä med framgång i SEAWOOD mjukvaran. Även mer komplexa strukturer såsom volymelementet med balkar och olika lager på golv och i tak går att beräkna med god säker-

het. I fallet med samverkansbjälklaget så finns idag ingen exakt mätning att jämföra med men med viss erfarenhet går det att avgöra om det är sannolikt. Så snart mätningar görs bör dessa återföras till modellen och korrigera för materialparametrar eller justera SEA modellen på andra sätt. Som i alla beräkningar måste man vara noga med att modellen byggs upp korrekt och att resultatet granskas kritiskt. För beräkning av stegljudsnivåer krävs lite mer förbättringar och förfiningar av modellen



Figur 6 visar beräknade värden på reduktionstal och stegljudsnivå för samverkansbjälklaget efter att det optimerats och jämförts med förväntade värden med stöd av grupperingen.



Figur 6. Beräknade reduktionstal och stegljudsnivåer för samverkansbjälklaget utvecklat inom projektet HCLTP (www.hcltp.com).

innan det känns helt tillfredsställande, men med en gruppering vi har gjort så det går faktiskt att ganska väl "skatta" förväntat resultat. Detta kan användas under tiden som arbete fortgår med att skapa mer indata som bidrar till säkerhet i bedömningarna. Beräkningarna i SEAWOOD är beroende av att modellen är rätt uppbyggd och att lämpliga materialparametrar används. Med noggrannhet och erfarenhet går det idag att göra goda bedömningar utan att prova i full skala, vilket varit ett av träbyggandets stora svagheter fram till nu. Vi har mjukvara och databaser och dessutom utvecklas de standardiserade metoderna parallellt (EN 12354).

Inom SEA finns även ett antal olika begränsningar. Eftersom grundteorin antar att systemet är resonant och energioverföringen mellan subsystemen är proportionell mot energin per mod så ställer det krav på konstruktionerna. För att få tillförlitliga resultat så måste man ha detta i åtanke. Subsystemens modaltäthet, moder per frekvensband samt modal överlappningsfaktor är till hjälp för att bedöma om subsystemet kan antas vara resonant.

Diskussion och framtida arbete

SEA har främst varit en metod som tillämpats vid högre frekvenser där antalet moder är mycket större än vid lägre frekvenser. I SEAWOOD så finns det möjlighet att använda sig av *Finite Element Modelling* (FEM) i kombination med SEA för att göra modellen mer pålitlig. Denna funktion har inte använts i dessa beräkningar. Denna funktion utvecklas i samarbete med Lunds Universitet.

De presenterade konstruktionerna i denna artikel utgöra bara ett ytterst litet urval av de träkonstruktioner som är beräknade med SEAWOOD. Nya beräkningar görs ständigt och detta bidrar till mer och mer beräkningserfarenhet. Detta leder till att modeller kan förbättras och att resultatet blir mer tillförlitligt. I kombination med att SEAWOOD mjukvaran ständigt utvecklas så bidrar även det till att beräkningarna blir bättre. Modellen för stegljudsberäkningarna utvärderas och utvecklas ständigt. Med hjälp av den gruppering som gjorts kan resultaten från sådana beräkningar användas redan nu. ■

Referenser

- [1] T.Augustsson, "Evaluating SEA modelling of lightweight building elements containing cross laminated timber", Master's thesis, Chalmers University of Technology, Division of Applied Acoustics, 2016
- [2] www.silent-timber-build.com
- [3] www.hcltp.com