

AkuLite – Sammanställning av resultat för industrin

Kirsi Jarnerö

Matilda Höök

Klas Hagberg

AkuLite Rapport 12
SP Rapport 2013:26

AkuLite - Sammanställning av resultat för industrin

Kirsi Jarnerö

SP Trä

Matilda Höök

Masonite Beams

Klas Hagberg

SP Trä och WSP Akustik

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
Box 857, 501 15 Borås (huvudkontor)

© 2014 SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

SP Rapport 2013:26
ISBN 978-91-87461-11-8
ISSN 0284-5172

Förord

Denna rapport sammanfattar resultat som bedömts vara viktiga för industrin från det nationella projektet *AkuLite – Akustik och vibrationer i lätta byggnader*. I AkuLite medverkar alla svenska forskningsinstitutioner som är aktiva inom området, ledande industrier och konsulter. Vinnova och Formas är de statliga finansiärerna. Projektet startade sent 2009 och avslutades 2013.

AkuLite har bedrivits i flera olika delprojekt. Resultaten har redovisats i en särskild rapportserie med ett drygt tiotal Akulite Rapporter som finns tillgängliga bl a på SPs hemsida www.sp.se/publikationer. En rapportlista inkluderas i denna rapport.

Resultaten från AkuLite har dessutom redovisats vid vetenskapliga och tekniska konferenser inom och utom landet, i vetenskapliga och populärvetenskapliga tidskrifter, inom internationell standardisering samt i nyhetsbrev. Flertalet publikationer finns tillgängliga på www.acuwood.com.

Till grund för denna rapport ligger AkuLites slutseminarium i mars 2013. Som komplettering har även resultat från tidigare genomförda seminarier inom projektet inkluderats. Slutseminariet avslutades med en workshop för industrin på temat "Vad tror ni att resultaten från AkuLite kommer att innebära med avseende på ekonomi, design och kundtillfredsställelse?" Synpunkter som fångades upp under diskussionerna redovisas i slutet på rapporten.

Den eller de personer som varit huvudansvariga för det beskrivna arbetet anges under delrubriker i denna rapport. Referenser till mer utförliga beskrivningar av försök och resultat ges i texten.

Kirsi Jarnerö

Matilda Höök

Klas Hagberg

Birgit Östman

SP Trä

Masonite Beams

SP Trä

SP Trä

WSP Akustik

Innehåll

Förord.....	3
Summary	5
Sammanfattning.....	7
Inledning.....	9
1 Störning - subjektiv uppfattning av olika ljudkällor, ljud och vibrationer	10
1.1 Lyssningsförsök i laboratorium.....	10
1.1.1 Upplevelse av lågfrekvent stegljud - Laboratoriemätningar Chalmers.....	10
1.1.2 Olika ljudkällor – Jämförelse av gång, skrapljud, fallande föremål och hammarapparat	
14	
1.2 Upplevelse av vibrationer - Laboratoriemätningar Växjö och Lund.....	17
1.3 Enkätundersökningar för ljud och vibrationer	21
1.3.1 Ljudenkäten	21
1.3.2 Vibrationsenkäten	29
2 Förutse och utvärdera ditt slutresultat – Var står vi?	34
2.1 Hur kan steg och andra källor hanteras och modelleras?	34
2.2 Förutse flanktransmission i volymelement med trästomme	36
2.3 Mätningar och utvärdering av vägda sammanfattningsvärden	37
2.4 Mätmetodik för att medelvärdesbilda ljudtrycksnivå.....	39
3 Mål att nå - Optimera din konstruktion	40
3.1 Kvalitetssäkring för ljud i byggprocessen	40
3.2 Fältmätningar av ljud och vibrationer	40
3.3 Korreleringar av enkätsvar och mätningar av ljud	44
3.4 Korreleringar av enkätsvar och mätningar av vibrationer	47
4 Vad kommer resultaten att innebära för ekonomi, design och kundtillfredsställelse?	51
4.1 Ekonomi.....	51
4.2 Design.....	52
4.3 Kundtillfredsställelse	53
Referenser	53
AkuLite rapporter	55
AkuLite – Deltagare och kort information.....	56

Summary

This report summarizes results of main interest for the industry from the national Swedish research project *AkuLite - Sound, vibrations and springiness in lightweight buildings*. All Swedish research organizations active in the field, leading industries and consultants are project partners. The project has been run between late 2009 and 2013 with public funding from Vinnova Swedish Governmental Agency for Innovation Systems and The Swedish Research Council Formas and industrial funding from the participating industries. It has resulted in a lot of publications, most of them available at www.acuwood.com. See also the reference list.

The report is divided into four parts, as when presented at the final project seminar in March 2013:

1. Disturbance – subjective perception of different sources and vibrations

The enquiries show that residents in concrete buildings were less disturbed by air borne sound from neighbours, step sound and vibrations than residents in light weight buildings.

The listening tests in laboratory comparing low frequency step sound for timber and concrete floors show that the sound for concrete floor has to be adjusted by about 12 dB to be perceived as disturbing as much as timber floors. Frequencies below 50 Hz are not important for the perception for concrete floors, but the interval between 50 and 100 Hz. For timber floors, frequencies below 50 Hz are very important for perception of step sound.

2. Prediction and evaluation

Standardized measurements of sound are evaluated down to 50 or 100 Hz, which is not sufficient to judge if light and heavy constructions with the same test results are equal. Correlations between enquiries on subjective perceptions and objective data from field measurements show that the main frequency for disturbance is 20-100 Hz or even 20-50 Hz. A more strict weighting by the correlation term $C_{I,AkuLite20-2500}$ between 20 and 2500 Hz is proposed. This would influence solid wood constructions to some extent, while traditional light beam timber frame building technique will meet a more explicit future challenge.

The static point load was the best parameter to predict disturbance by vibrations, but the present requirement on maximum 1,5 mm deformation at 1 kN point load in the middle of the floor, based on results for one family houses, is suggested to be changed to 1,0 mm.

The impact machine (hammer apparatus) may exit structural sound above 20 Hz and modifying curves for different types of sound are proposed. However, the current ISO impact machine cannot provide enough energy in order to exit forces between 10-30 Hz. A method for measuring the impulse force has been developed and may be used for all types of sources of structural sound and to determine impact force and effect into a construction and thereby produce input data for optimizing floor structures at finite element modeling. Methods to predict flanking transmission in buildings with timber volume elements have been developed by finite element modeling with input data from walking forces.

3. Goals to achieve – Optimization of construction

Methods for standardized sound measurements and evaluation of single unit values in buildings need to be changed or modified for buildings with light weight frames. The methodology on how to create mean values of sound levels in a room with fixed microphone positions may be used instead of the sweeping technique, as it is more practical and may be used in all types of rooms.

Just a high level of prefabrication cannot secure a good quality, if the knowledge about the building system and its important descriptions of building details are not transferred to the builder as drawings, mounting instructions and check lists. Lack of knowledge may lead to errors during the construction phase. A lower sound insulation than expected may also be caused by non-verified and late changes of materials in order to save costs.

4. What do the results mean for economy, design and customer satisfaction?

At the workshop, the effects of the project results in terms of economy, design and customer satisfaction were considered to be useful for the manufacturing companies to improve and further develop their products and thereby improving the quality. This means that buildings with improved acoustic properties can be built and should lead to an increased perception by the residents and their satisfaction. An increased quality will probably mean more expensive products, but will also increase the competitiveness. An improved knowledge about impact sound in light weight constructions should mean that the constructions will be safer and increased costs, such as laboratory tests in the development stages, evaluations during construction and corrections of mistakes, should decrease. The establishment of a quality mark for those fulfilling the proposed requirements in the low frequency range should compensate for a more expensive product and increase the competitiveness.

Further and extended studies need to be performed to confirm the results, since many of the studies and tests have been performed with a limited number of persons, constructions and test objects. Further studies are also needed to increase the knowledge on acoustics in light weight constructions. It is then needed that industry is willing to supply building objects for enquiries and tests.

The Swedish national project AkuLite will continue on international basis in order to implement and further develop the results to more countries and in international standardization. There is also several new projects started both in Sweden and in neighboring countries which will bring additional knowledge and added value for the future.

Sammanfattning

Resultaten från enkätundersökningen om ljud i bostadshus med stommar i betong och lättbyggnadsteknik visar att boende i hus med betongstomme upplevde sig endast vara "något" störda av luftburet buller från grannar och "något mer" störda av stegljud. Boende i hus med trästomme var i sin tur "något" störda av luftburet buller från grannar och tekniska installationer, men stegljud orsakar stora störningar. Resultaten från enkätundersökningen om vibrationer visar att de boende i hus med betongstomme varken är störda av vibrationer eller svikt medan de boende i många av objekten med lättbyggnadsstomme är mer störda än vad som skulle kunna anses vara ett minimikrav för vibrationer.

Lyssningsförsöken i laboratorium där upplevelsen av lågfrekvent stegljud jämförts för trä- och betongbjälklag visar att ljudet för gång på betongbjälklag i medeltal måste justeras med ca 12 dB för att det ska uppfattas som lika störande som gång på träbjälklaget. För betongbjälklag är frekvensområdet under 50 Hz inte viktigt för upplevelsen av stegljud men däremot området mellan 50 och 100 Hz. Störningsuppfattningen av stegljud på träbjälklag påverkas däremot starkt av frekvenserna under 50 Hz.

Standardiserade ljudmätningar och utvärdering av entalsvärden tar endast hänsyn till frekvenser ner till 50 Hz; vilket inte är tillräckligt, för att kunna säga att olika konstruktioner (lätta och tunga och allt däremellan) med samma mätresultat, är likvärdiga. Resultatet från utförda korrelationsanalyserna mellan data från enkäten om de boendes subjektiva upplevelse av ljudmiljön och de faktiska uppmätta resultaten för olika akustiska mått från genomförda fältmätningar pekar på att det viktigaste frekvensområdet för upplevd störningsgrad för stegljud i förhållande till uppmätt stegljudsnivå exciterad med hammarapparat finns mellan 20-100 Hz eller t.o.m. mellan 20-50 Hz. Ett förslag på en skärpt viktning med korrektionstermen $C_{1,AkuLite20-2500}$ av frekvensområdet mellan 20-50 Hz föreslås. Om en skärpt viktning för stegljud skulle införas påverkas inte massivträkonstruktioner, men byggsystem med traditionell lättbyggnadsteknik skulle stå inför en betydande utmaning.

För korrelationsanalyserna mellan data från enkäten om de boendes subjektiva upplevelse av vibrationer och de faktiska uppmätta resultaten för olika mått för bjälklagsvibrationer från de genomförda fältmätningarna var den uppmätta nedböjningen för en statisk punktlast den bästa parametern för att förutsäga störning av vibrationer. Resultaten tyder på att dagens krav på vibrationer i bjälklag av trä borde ses över och skärpas. Deformationskravet på 1,5 mm för största tillåten nedböjning vid belastning med 1 kN punktlast på mitten av bjälklaget grundar sig på resultat från undersökningar i enfamiljshus, men används idag även för flerbostadshus. Ett nytt gränsvärde på 0.5 mm för nedböjning skulle innebära att 20 % av de boende skulle vara "något störda, störda eller mycket störda" och 1.0 mm skulle innebära 36 % av de boende skulle vara "något störda, störda eller mycket störda". Resultatet från de genomförda vibrationsförsöken i laboratorium tyder på att den första egenfrekvensen är en parameter som kan användas för att förutsäga både upplevd störning och acceptans av vibrationer.

Hammarapparatens förmåga att excitera stomljud har undersökts både i laboratorium och i fält. I laboratorium har hammarapparatens förmåga att excitera lågfrekvent stomljud jämförts med vanligt förekommande stomljudkällor som skrapljud, fallande föremål och gång. Resultaten visar att det är möjligt att excitera stomljud över 20 Hz på träbjälklag med hammarapparat med reservationen att undersökningen genomförts för bostäder och för bjälklag med övergolv av parkett. Förslag ges på

anpassningskurvor för de olika typerna av stomljud för utvärdering av ljudtrycksnivå från mätningar exciterade med hammarapparat.

Laboratoriemätningar där hammarapparatens förmåga att excitera vibrationer och kraft i frekvensområdet under 50 Hz har jämförts med vibrationer och kraft som exciteras vid gång med olika fotbeklädning. Resultaten visar att hammarapparaten inte i tillräckligt hög grad klarar av att excitera kraft mellan 10-20 Hz respektive 20-30 Hz. Det kan vara ett problem om bjälklagen har resonansfrekvenser med låg dämpning i det nämndafrekvensområdet, vilket är vanligt förekommande för träbjälklag.

Mätmetoden för att mäta impuls kraft, som utvecklats inom projektet kan användas för alla typer av stomljudskällor. Den kan användas för att bestämma inmatad kraft och effekt i en konstruktion och därmed ge indata för optimering av bjälklag vid till exempel finit element modellering. Inom projektet har metodik tagits fram för att förutsäga flanktransmission i volymelement med trästomme med hjälp av finit element modellering. För att genomföra modelleringen behövs indata om kraft från gång.

Metoder för standardiserade ljudmätningar och utvärdering av entalsvärden i byggnader behöver ändras eller anpassas för byggnader med stomme i lättbyggnadsteknik. Metodiken för att bilda medelvärden av ljudtrycksnivån i ett rum har undersökts. Resultatet pekar på att en metod med fasta mikrofonpositioner kan användas istället för svep eftersom det mer är praktiskt och kan användas i alla typer av rum.

Endast en hög prefabriceringsgrad kan inte säkerställa en god kvalitet om inte kunskap om byggsystemet och de tillhörande viktiga detaljbeskrivningarna överförs till byggaren i form av ritningar, montageanvisningar och checklistor. Bristande kunskap leder till fel under uppförande och stomkomplettering. En sämre stegljudsisolering än förväntad kan också orsakas av vidtagna besparingsåtgärder i form av ogenomtänkta materialbyten.

Eftersom några av undersökningarna och testerna genomförts med ett fåtal testpersoner, få typer av konstruktioner eller ett begränsat testobjekt behöver fler likvärdiga underökningar genomföras för att fastställa att resultaten är riktiga i ett större sammanhang. Dessutom behöver ytterligare undersökningar utföras för att få mer kunskap och underlag inom akustik för konstruktioner i lättbyggnadsteknik. För att uppnå detta krävs att industrin är villig att stå till förfogande med byggprojekt där t.ex. enkätundersökningar och andra tester kan utföras.

Synpunkter på effekterna av de erhållna resultaten med avseende på ekonomi, design och kundtillfredsställelse från workshopen tillsammans med industriparterna var bland annat att med hjälp av den nya kunskapen är det möjligt för tillverkande företag att förbättra och utveckla sina produkter och därmed höja kvaliteten. Det innebär att byggnader med bättre akustiska egenskaper byggs, vilket borde leda till att de boendes upplevelse av ljudkvaliteten höjs och därmed också kundtillfredsställelsen. En kvalitetshöjning innebär sannolikt dyrare produkter, men den ökar samtidigt konkurrenskraften. En bättre kunskap om lätta konstruktioner med avseende på stegljud innebär att konstruktionerna borde bli säkrare samtidigt som merkostnader såsom laboratorietester i utvecklingsskedet, utredning i byggskedet, samt korrigering av felaktiga konstruktioner, borde minska. För att kompensera för en dyrare produkt och förbättra konkurrenskraften på marknaden för de som tar hänsyn till och uppfyller föreslagna krav i lågfrekvensområdet, skulle en kvalitetsmärkning av produkten vara ett alternativ.

Inledning

Denna rapport är en sammanfattning av resultat om har störst intresse för industrin från projektet AkuLite. Rapporten har delats in i fyra avsnitt, vilka motsvarar presentationerna på projektets slutseminarium i mars 2013:

1. Störning - subjektiv uppfattning av olika ljudkällor, ljud och vibrationer
2. Förutse och utvärdera ditt slutresultat – Var står vi?
3. Mål att nå - Optimera din konstruktion
4. Vad tror Vad kommer resultaten att innebära för ekonomi, design och kundtillfredsställelse?

Varje avsnitt innehåller en sammanfattning av presentationerna från slutseminariet. Avsnitten har kompletterats med information från presentationer vid tidigare seminarier för industrin. Dessutom har kompletterande avsnitt lagts in med resultat som inte tidigare presenterats på AkuLite seminarier, men som presenterats i andra sammanhang. Under avsnittens rubriker namnges den eller de personer som varit ansvariga för respektive avsnitt. Referenser till mer utförliga beskrivningar av försök och resultat ges i den efterföljande texten.

Avsnitt 1: "Störning - subjektiv uppfattning av olika ljudkällor, ljud och vibrationer" innehåller först en beskrivning av lyssningsförsöken i laboratorium på Chalmers, där upplevelsen av lågfrekvent stegljud jämförts för trä- och betongbjälklag samt hammarapparatens förmåga att excitera lågfrekvent ljud har jämförts med vanligt förekommande stomljuskällor. Därefter redogörs för de försök som genomförts i laboratorier vid Lunds universitet och på SP för att undersöka upplevelsen av bjälklagsvibrationer. I det tredje underavsnittet presenteras den enkätundersökning om ljud och vibrationer som genomförts i ett antal bostadshus med både traditionell betongstomme och stommar i olika typer av lättbyggnadsteknik med trä och stål.

Avsnitt 2: "Förutse och utvärdera ditt slutresultat – Var står vi?" inleds med beskrivning av arbetet med att ta fram en mätmetod för att bestämma kraft och frekvensdata för gång på bjälklag. Dessa data ska användas som indata i beräkningar för att förutse ljud och vibrationer i konstruktioner. Dessutom har hammarapparatens förmåga att excitera vibrationer jämförts med gång med olika typer av skor på bjälklag. Därefter ges en kort sammanfattning av arbetet att med hjälp av finita element modellering förutse flanktransmission i volymelement med trästomme. Slutligen beskrivs undersökningar och försök som genomförts för att utreda om befintliga metoder för att mäta och bestämma akustiska egenskaper i byggnader behöver ändras eller anpassas för byggnader med stomme i lättbyggnadsteknik.

I avsnitt 3: "Mål att nå - Optimera din konstruktion" redovisas först en undersökning om kvalitetssäkring för ljud i byggprocessen. Därefter följer en beskrivning av de fältmätningar av ljud och vibrationer som genomförts i AkuLite-projektet. Slutligen sammanfattas resultaten från korrelationsanalyserna av data från de genomförda subjektiva enkätundersökningarna och de objektiva uppmätta egenskaperna för ljud och vibrationer.

Avsnitt 4: "Vad kommer resultaten att innebära för Ekonomi/ Design/ Kundtillfredsställelse?" sammanfattar de synpunkter som kom upp på projektets slutseminarium och workshop som genomfördes gemensamt med representanter för forskningsutförare och industripartners.

1 Störning - subjektiv uppfattning av olika ljudkällor, ljud och vibrationer

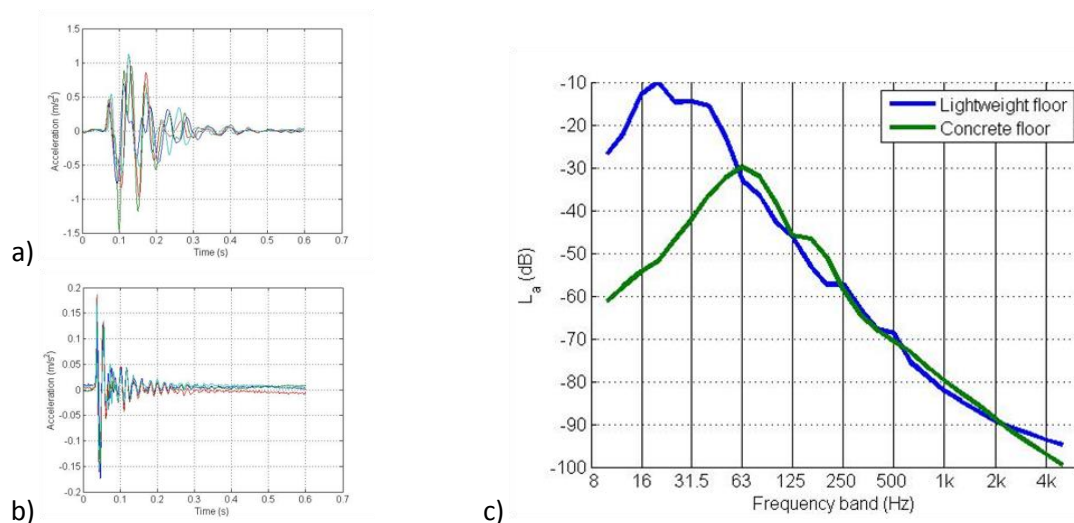
1.1 Lyssningsförsök i laboratorium

(Ansvarig: Pontus Thorsson)

Fastän stegljudsmätningar enligt standard i färdigställda bostadshus med trästomme visar godkänd stegljudsisolering upplevs ljudmiljön fortfarande mindre tillfredställande av de boende än motsvarande för ett bostadshus med betongstomme. För att undersöka skillnaden i upplevelse av stegljud har ljudförsök i laboratorium genomförts. Samma bjälklag användes för att jämföra förmågan att excitera ljud och vibrationer mellan olika vanligt förekommande stomljudskällor i bostadshus och hammarapparaten. Syftet med undersökningen var att utreda om hammarapparaten kan användas som tillförlitlig exciteringskälla vid ljudmätningar i byggnader med lättbyggnadsstomme. En sammanfattning av försök och resultat presenteras nedan. Mer utförlig information om försök och resultat finns i [1] och [2].

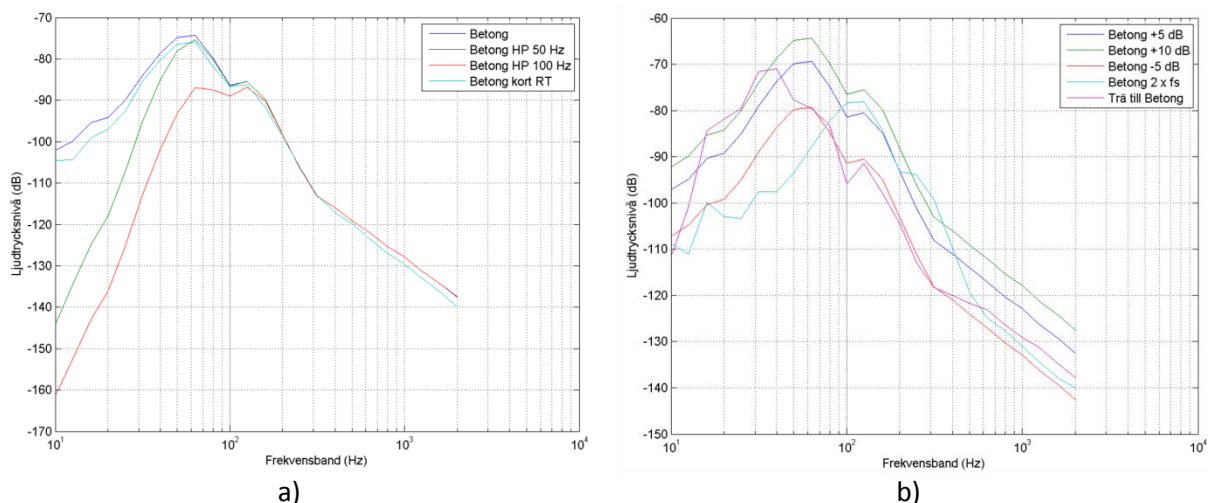
1.1.1 Upplevelse av lågfrekvent stegljud - Laboratiormätningar Chalmers

För att undersöka skillnaden i upplevelsen av lågfrekvent stegljud på bjälklag av trä och bjälklag av betong har laboratieförsök genomförts där inspelat stegljud från respektive bjälklag presenterats för ett antal personer. Två bjälklag, ett lätt träbjälklag och ett tungt betongbjälklag (båda inom ljudklass C), användes för att spela in stegljud från en person som utan skor gick över respektive bjälklag (samma person i båda fallen). Inspelningen gjordes med fyra accelerometrar fästa längs med gånglinjen, men på bjälklagets undersida. I laboratoriet, i en miljö motsvarande ett kontor, spelades sedan de inspelade accelerationerna upp för försökspersonerna via fyra bredbandshögtalare fästa i taket på motsvarande positioner som accelerometrarna. Högtalarna gömdes bakom ett upphängt lätt undertak. Det lågfrekventa basljudet 16-80 Hz återgavs med hjälp av två bashögtalare. I Figur 1 a) och b) visas tidsignalen för de inspelade accelerationsnivåerna från de fyra accelerometrarna. Observera att skalan på den vertikala axeln i a) och b) är olika, vilket betyder att accelerationsnivåerna från träbjälklaget i verkligheten är förhållandevis mycket högre.

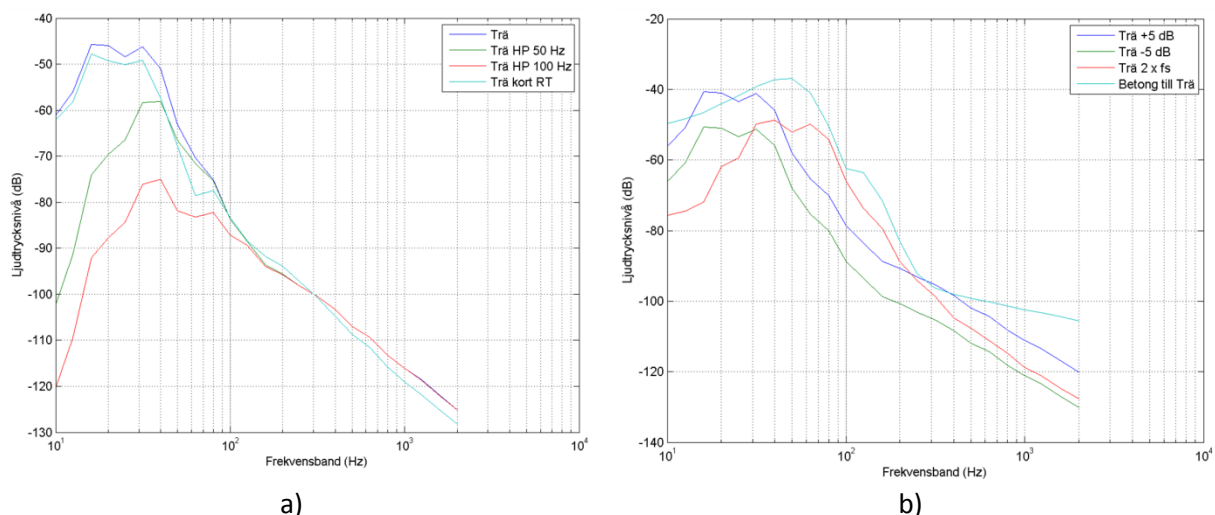


Figur 1. Uppmätta accelerationsnivåer för ett steg på a) det lätta träbjälklaget respektive b) det tunga betongbjälklaget redovisade i tidsplanet och c) redovisat i frekvensplanet för ett steg på båda bjälklagen, trä (blå linje) och betong (grönläge).

I Figur 1 c) visas accelerationsnivån för ett steg på respektive bjälklag i frekvensplanet. Nivåerna för båda bjälklagen är i stort sett lika över ca 60 Hz, men i frekvensområdet under 60 Hz skiljer de sig markant. Betongbjälklaget (grön linje) har sin maximala nivå runt 60 Hz med avtagande nivåer för både lägre och högre frekvenser, medan träbjälklaget (blå linje) har ökande nivåer ner till mellan 20-40 Hz där den har de högsta nivåerna. De inspelade signalerna av stegen på bjälklagen användes både oförändrade och förändrade på olika sätt för att undersöka hur förändringen påverkade upplevelsen av ljudet. Varje förändring utfördes för både trä- och betongbjälklaget. De olika signalernas spektrum för betongbjälklaget presenteras i Figur 2 a) och b) och för träbjälklaget i Figur 3 a) och b).



Figur 2. Spektrum och originalsignal och förändrade signaler för betongbjälklaget. a) Originalsignal (blå), högpasfilterad signal (grön 50 Hz, röd 100 Hz) och halverad efterklangtid (turkos). b) Sänkt och/eller höjd nivå med ± 5 dB respektive $+10$ dB (blå $+5$ dB, grön $+10$ dB, röd -5 dB), förskjutning av spektrum till fördubblade frekvensen, $2 \times f_s$ (turkos), och förändring av signalen från trä till betong (magenta).



Figur 3. Spektrum för originalsignal och förändrade signaler för träbjälklaget. a) Originalsignal (blå), högpasfilterad signal (grön 50 Hz, röd 100 Hz) och halverad efterklangtid (turkos). b) Sänkt och/eller höjd nivå med ± 5 dB, (blå $+5$ dB, grön -5 dB) respektive förskjutning av spektrum till fördubblade frekvensen $2 \times f_s$ (röd), och förändring av signalen från trä till betong (turkos).

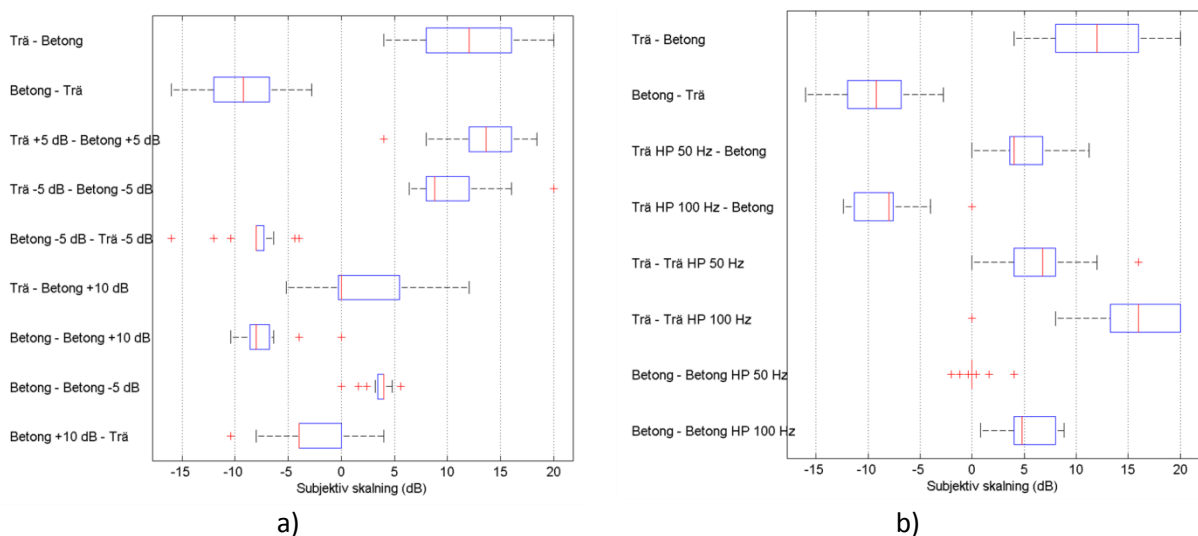
De olika typer av förändringar som testades var att höja eller sänka signalernas ljudnivå med ± 5 dB för båda bjälklagen eller höja ljudnivån med $+10$ dB för betongbjälklaget, filtrera med ett högpasfilter på 50 eller 100 Hz och förskjuta hela ljudspektrumet till en dubbelt så hög frekvens. En mer komplicerad förändring bestod i att förändra betongbjälklaget till ett träbjälklag och tvärt om, träbjälklaget till ett betongbjälklag, genom att ta skillnaden mellan trä- och betongbjälklagets

spektrum och lägga till den ursprungliga för att få en ny signal. Eftersom en kortare efterklangstid upplevs ge en ljudmiljö som är bättre undersöktes dessutom vilken skillnad en halvering av efterklangstiden för respektive bjälklag har för upplevelsen av ljudet.

De olika förändringarna testades endast var för sig. Sammanlagt bestod ljudförsöket av 30 olika delförsök. Vid varje försök presenterades två olika ljud av steg, det ena av ljuden med en fix nivå medan det andra ljudet skulle justeras till en nivå för vilken den upplevda störningen motsvarade det fixerade ljudets störning. Genomförandet av försöket, presentation av delförsöken och insamlingen av data genomfördes automatiskt med hjälp av ett enkelt program på en dator där den justerbara ljudnivån kunde justeras till rätt nivå med en förskjutbar knapp. Delförsöken presenterades i olika ordning för samtliga 60 testpersoner.

Resultatet av lyssningsförsöket med avseende på efterklangtidens betydelse visade att den förbättrade upplevelsen motsvarade den sänkning av ljudtrycksnivå som den nya signalen gav, jämför Figur 2 a) och Figur 3 a). Att försöka förändra signalen för gång på betongbjälklaget till gång på träbjälklaget, genom att addera skillnaden mellan signalerna till den ursprungliga signalen, visade sig inte fungera speciellt bra eftersom återgivningen av ljudet förändrades så mycket att det inte längre var riktigt användbart. I Figur 4 visas resultat från lyssningsförsöken. Namnet på delförsöken ska tolkas så att den första delen motsvarar det fixa ljudet och den andra motsvarar ljudet som justerats till en nivå som motsvarar störningen för den första. På den horisontella axeln ges den subjektiva skalningen dvs. upplevd skillnad i dB mellan de två stegljuden. För varje delförsök har medianvärdet för den subjektiva skalningen markerats med ett vertikalt rött streck, den blå rektangeln motsvarar 25:e till 75:e percentilen, de svartstreckade markeringarna de yttersta skalvärdena och de röda kryssen avvikande svar.

I Figur 4 a) visas delförsöket med oförändrat ljud respektive ljudet förändrat genom att sänka eller höja ljudnivån. I det oförändrade delförsöket Trä-Betong måste ljudets justera för gång på betongbjälklag med i medeltal ca 12 dB för att det ska uppfattas som lika störande som gång på träbjälklaget.



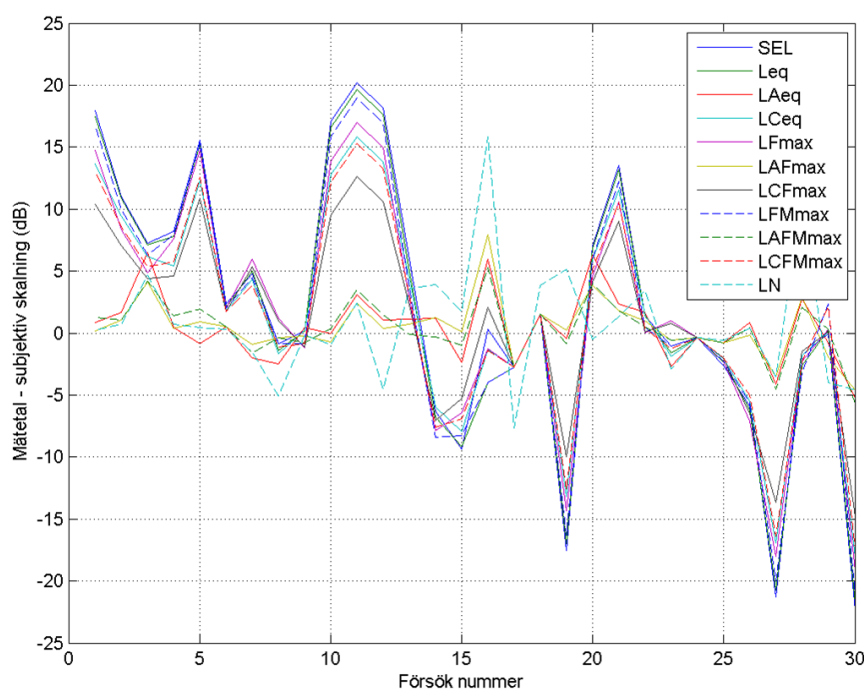
Figur 4. Resultat från lyssningsförsöken.

Motsvarande subjektiva skalning för delförsöket Betong-Trä är att ljudnivån måste sänkas nästan 10 dB för att upplevelserna ska motsvara varandra. Skillnaden i subjektiv skalningsnivå för jämförelse Trä-Betong (lätt till tungt) eller Betong-Trä (tungt till lätt) visade sig gälla för alla delförsöken. Dvs.

med ljud från det lättare träbjälklaget som referens krävdes en större justering av ljudnivån för det tyngre bjälklaget i betong och tvärt om. För delförsöket Trä-Betong+10dB är den subjektiva skalningen 0 dB, vilket betyder att ljuden uppfattas som lika.

I Figur 4 b) visas delförsöket med oförändrat ljud och då ljudet förändrats genom att högpasstrera det med brytfrekvensen 50 eller 100 Hz. I delförsöket där man för trä filtrerat bort frekvenser under 50 Hz, Trä HP 50 Hz, och jämför med originalljudet för betong, ses att behovet av subjektiv skalning sjunkit till ca 4 dB jämfört med ca 12 dB för originalljudet för trä. Detta betyder att frekvenser under 50 Hz har betydelse för uppfattningen av ljud av steg på träbjälklag. Filtrering ner till 100 Hz gör att ljudet av steg på träbjälklaget uppfattas som nästan 8 dB lägre än för steg på betongbjälklaget. För delförsöken där träbjälklagets originalljud jämförs med filtrerat ljud för detsamma blir den subjektiva skalningen för 50 Hz högpasstrering nästan 7 dB och för 100 Hz ca 16 dB. Motsvarande subjektiva skalning för betongbjälklaget blir 0 dB respektive 5 dB. Det innebär att för betongbjälklag är frekvensområdet under 50 Hz inte viktigt men däremot området mellan 50 och 100 Hz, medan för träbjälklag är frekvensområdet också under 50 Hz viktigt för den subjektiva upplevelsen av stegljud, dvs. att frekvenserna under 50 Hz starkt påverkar störningsuppfattningen.

För att undersöka vilka eller vilket akustiskt mått som bäst klarar att sätta ett mått på det upplevda ljudet genomfördes ljudförsöket för 11 olika akustiska mått. Måtten var linjär, A-vägd och C-vägd ekvivalent ljudnivå (L_{eq} , L_{Aeq} , L_{Ceq}), Sound exposure level (SEL), som är den ekvivalenta ljudnivån normaliserad till en sekund, linjär, A-vägd och C-vägd maximal ljudtrycksnivå för alla steg (L_{Fmax} , L_{AFmax} , L_{CFmax}), maximalt värde av medelvärdet för ljudtrycksnivån för varje enskilt steg (L_{FMmax} , L_{AFMmax} , L_{CFMmax}) samt Loudness-nivå (LN) enligt ISO 532B. I Figur 5 visas resultatet för utvärderingen, de olika akustiska måtten representeras av de olika linjerna, på den horisontella axeln anges delförsökets nummer och på den vertikala axeln den subjektiva skalningen.

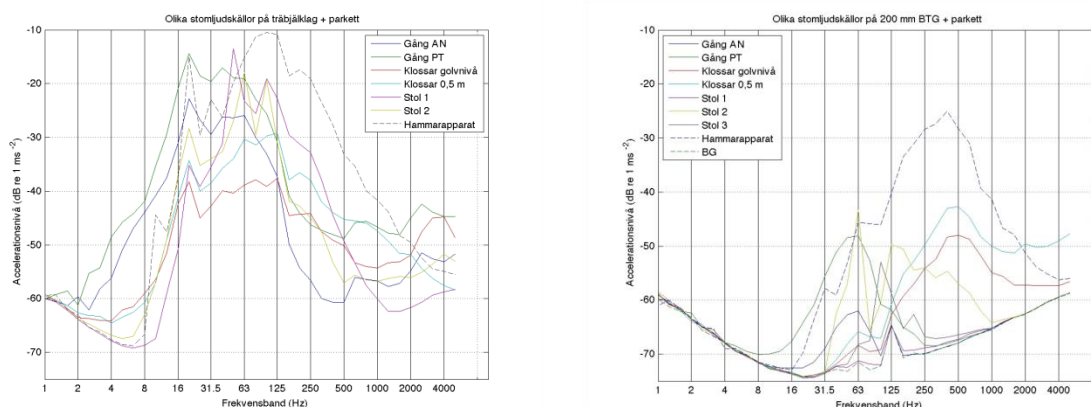


Figur 5. Subjektiv skalning för de olika akustiska mått som provats. Den subjektiva skalningen innebär att det akustiska måttet klarar att beskriva det upplevda ljudet exakt, värden över 0 ger en högre ljudnivå än vad som upplevs och värden under 0 en lägre ljudnivå än den upplevda.

Värdet 0 för den subjektiva skalningen innebär att det akustiska måttet klarar att beskriva det upplevda ljudet exakt, värden över 0 ger en högre ljudnivå än vad som upplevs och värden under 0 en lägre ljudnivå än den upplevda. För delförsök 10 till 12 är det tydligt att de ovägdade linjära måtten (SEL , L_{eq} , L_{FMmax} och L_{Fmax}) avviker mest från 0, därefter följer de C-vägdade måtten (L_{Ceq} , L_{CFMmax} och L_{CFmax}). Mönstret återkommer på liknande sätt för andra delförsök. Loudness-nivå (LN) klarar ganska bra av att sätta mått på det upplevda ljudet, men är kanske ändå ett osäkert mått eftersom frekvenserna under 100 Hz slås samman och man vet att även små skillnader i nivå vid låga frekvenser ger stor skillnad i upplevelse av ljudet. De bästa akustiska måtten verkar vara de som är A-vägdade och i det här fallet var ljudtrycksnivån (L_{AF}) bäst.

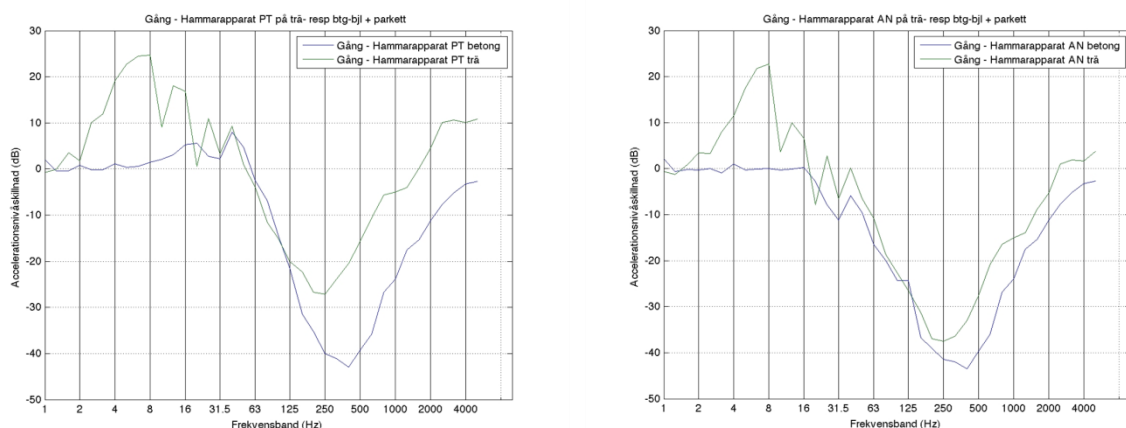
1.1.2 Olika ljudkällor – Jämförelse av gång, skrapljud, fallande föremål och hammarapparat

För att undersöka om hammarapparaten är lämplig att använda för excitering av stomljud på lätta bjälklag av trä har olika ljudkällor i bostäder med avseende på förmåga att excitera vibrationer och ljud jämförts med excitering med hammarapparat. De vanligt förekommande störande stomljudskällor som valdes var stegljud, skrapljud från stolar och möbler samt ljud från föremål som tappas i golvet. Stegljudet exciterades genom gång av olika personer, skrapljudet med hjälp av stolsdrag och de tappade föremålen av fallande byggklossar i trä från olika höjd ovanför golvet. Frekvensområdet som studerats är från 20 Hz till 5000 Hz. Undersökningen har utförts på ett trä- och ett betongbjälklag med övergolv av parkett. Båda bjälklagen tillhör ljudklass C med avseende på stegljudnivå. I Figur 6 visas uppmätta accelerationsnivåer för träbjälklaget i det aktuella frekvensområdet för de olika stomljudskällorna och hammarapparaten.



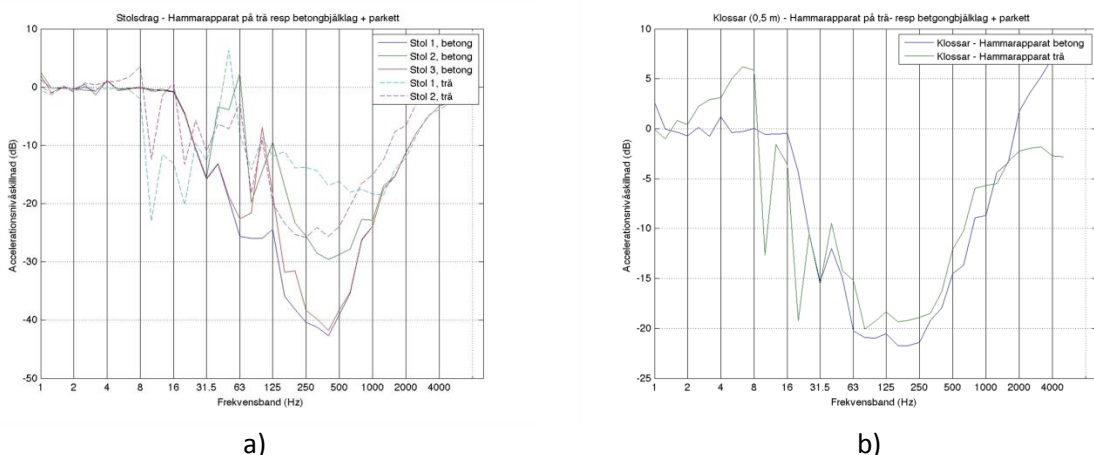
Figur 6. Accelerationsnivåer för träbjälklag för frekvenser upp till 5000 Hz uppmätta för olika stomljudskällor och hammarapparat.

Det är önskvärt att hammarapparaten ska klara av att excitera ett brett frekvensomfång till nivåer som motsvarande de verkliga stomljudskällorna. En närmare analys av skillnaden mellan de olika källornas och hammarapparatens excitering av bjälklagen presenteras i Figur 7 och Figur 8. Där har accelerationsnivån för den aktuella stomljudskällan minskats med accelerationsnivån för hammarapparaten, vilket betyder att nivåer högre än noll är högre för stomljudskällan än för hammarapparaten och nivåer lägre än noll är lägre för stomljudskällan än för hammarapparaten.



Figur 7. Skillnad mellan excitering med gång av två olika personer och excitering med hammarapparat på träbjälklag (grön linje) och betongbjälklag (blå linje).

I Figur 7 visas skillnaden mellan excitering med gång av två olika personer och excitering med hammarapparat på trä- respektive betongbjälklag. Den första personen (PT) har en högre vikt och har använt en forcerad gångstil, medan den andra personen (AN) har en lägre vikt och har använt en normal gångstil. Man ser att för träbjälklaget är nivåerna högre för gång än för hammarapparat i det lägre frekvensområdet för den första personen ända upp till ca 50 Hz och för den andra upp till ca 16 Hz. Vid högre frekvenser ger excitering med hammarapparaten högre nivåer förutom för de allra högsta frekvenserna. Skillnaden i exciteringsförmåga är stor mellan olika personer och beror mer på hur man går än den egentliga vikten hos den gående.

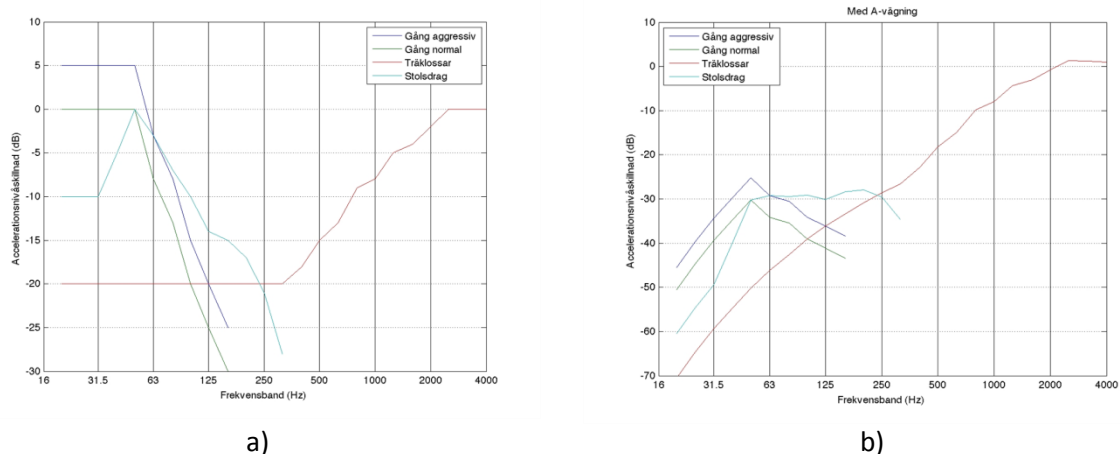


Figur 8. Skillnad mellan excitering med hammarapparat och a) olika skrapljud på träbjälklag (heldragna linjer) och betongbjälklag (streckade linjer) samt b) fallande träklossar på träbjälklag (grön linje) och betongbjälklag (blå linje).

I Figur 8 a) visas skillnaden mellan excitering med olika skrapljud och excitering med hammarapparat på trä- respektive betongbjälklag. För betongbjälklaget (heldragna linjer) är nivåerna för hammarapparaten alltid lika höga eller högre än för skrapljuden och för träbjälklaget är situationen densamma förutom för ett snävt frekvensområde runt 50 Hz där det finns tendenser till högre nivåer för skrapljud. I Figur 8 b) visas motsvarande skillnad mellan fallande träklossar och excitering med hammarapparat. De fallande träklossarna ger högre nivåer än hammarapparaten endast för frekvenser under ca 10 Hz.

I Figur 9 presenteras förslag på anpassningskurvor för de olika undersökta slagen av stomljuds-excitering för utvärdering av ljudtrycksnivå från mätningar exciterade med hammarapparat. I Figur 9 a) presenteras kurvorna utan vägning och i b) med A-vägning. Tanken är att anpassning bara ska

görs för de frekvensband där värden angivits. Två kurvor för gång, "Normal" och "Aggressiv" gång, med 5 dB skillnad har inkluderats. För att vara på den säkra sidan skulle rekommendationen vara att välja att anpassa för "Aggressiv" gång, eftersom annan forskning visat att individuella händelser med höga ljudnivåer är de som stör mest. Med avseende på de A-vägda kurvorna skulle det vara möjligt att slå samman alla kurvor till en genom att inkludera de högsta värdena totalt sett.



Figur 9. Förslag på anpassningskurvor för de olika stomljudskällorna a) utan A-vägning och b) med A-vägning.

Med ledning av resultaten verkar det vara möjligt att excitera stomljud över 20 Hz på träbjälklag med hammarapparat, eftersom det för frekvenser över 20 Hz bara egentligen för den forcerade gångstilen finns exciteringsnivåer som är högre än för hammarapparaten. Detta gäller med reservationen att undersökningen genomförts för bostäder och för bjälklag med övergolv av parkett. För att fastställa att hammarapparaten är användbar för alla typer av golvbeläggningar och bjälklag måste fler bjälklagstyper undersökas och också fler försökspersoner inkluderas i den subjektiva utvärderingen. Detsamma gäller för de förslagna anpassningskurvorna. Man måste också ta ställning till om ett sammanlagt värde eller en vägningskurva ska användas. Andra frågor som återstår att utreda med avseende på kravsättning är vilka kravvärden vi ska ha för stegljud i framtiden, ska man använda ljudnivå eller ljudisolering som mått och vilka skillnader ska ljudklasserna ha?

1.2 Upplevelse av vibrationer - Laboratiemätningar Växjö och Lund

(Ansvariga: Delphine Bard och Lars-Göran Sjökvist)

För att utvärdera vilka mätbara fysikaliska egenskaper i bjälklag som bäst kan förutsäga upplevd vibrationsstörning hos personer som vistas på ett bjälklag genomfördes en laboratorieundersökning i tre steg.

1. Subjektiva data om upplevelse samlades in från försökspersoner med hjälp av enkäter.
2. Objektiva data för bjälklagens mätbara fysikaliska egenskaper samlades in med hjälp av statiska och dynamiska mätningar.
3. Subjektiva och objektiva data jämfördes för att hitta de bjälklagsegenskaper som bäst kan förutsäga störning eller acceptans för vibrationer.

En detaljerad beskrivning av enkäter, mätningar och resultat finns i [3], [4] och [5]. Den statistiska analysen av data för att hitta de parametrar som bäst kan förutsäga störning och acceptans av vibrationer och resultatet från denna finns beskrivna i [6] och [7]. I [5] finns också en litteraturstudie över olika metoder för dimensionering av bjälklag med hänsyn till vibrationer. Nedan presenteras en sammanfattning av resultaten.

Sammanlagt 60 personer deltog i försöken, 29 i Växjö och 31 i Lund. Samtliga bjälklag testades av alla försökspersoner i slumpmässig ordning. Varje försök bestod av två delar; ett sittande test då försökspersonen satt på en stol och försöksledaren gick på bjälklaget och ett gående test då försökspersonen själv gick omkring på bjälklaget. Under pågående försök fick försökspersonerna svara på frågor om sin upplevelse av vibrationer och svikt och bedöma graden av störning och bjälklagens egenskaper. De två frågor som sedan användes för vidare analys var:

1. Hur störd blir du av vibrationerna som uppstår då försöksledaren går på golvet och du själv sitter på stolen?
2. Skulle du acceptera bjälklaget hemma i ditt vardagsrum?

Mätningar av bjälklagets rörelser utfördes under varje pågående försök. Accelerationer mättes i flera punkter på bjälklagets översida och nedböjningen mättes i en punkt på bjälklagets undersida.

Från accelerationsmätningarna bestämdes tre olika parametrar, den frekvensvägda RMS (Root-Mean-Square) accelerationen a_w , den frekvensvägda RMS hasigheten v_w och det maximala transienta vibrationsvärdet $MTVV$ enligt standarden ISO 2631-1. Dessa av försökspersonerna beroende parametrar inkluderades sedan i regressionsanalyserna mot subjektiva omdömena om störning och acceptans av vibrationer.

Bjälklagens objektiva egenskaper mättes med statiska och dynamiska försök utan belastning av försökspersoner. Med de statiska försöken bestämdes nedböjningen för bjälklagskonstruktionen $d_{1,m}$ och nedböjningen för övergolvet $d_{2,m}$ genom belastning med en punktlast på mitten av bjälklaget. De dynamiska försöken utfördes med vibrator, kraftgivare och accelerometrar för att bestämma bjälklagens egenmoder, modtäthet, egenfrekvenser och dämpning. Den första egenfrekvensen f_1 , dämpningen η och modtätheten n_{40} användes som parametrar i korreleringarna mot subjektiv upplevelse av vibrationsegenskaper hos bjälklagen.

Böjstyvhet längs med bärningsriktningen och vinkelrät mot den $(EI)_l$ och $(EI)_b$ beräknades för den bärande delen i bjälklagen. Tre metoder för dimensionering av bjälklagvibrationer utvärderades

sedan med hänsyn till deras förmåga att förutsäga störning och acceptans av bjälklagets vibrationsegenskaper. De metoder som utvärderades var den som presenteras i Eurokod 5 [8], en metod föreslagen av kanadensarna Hu och Chui [9] och en metod enligt Dolan m.fl. [10].

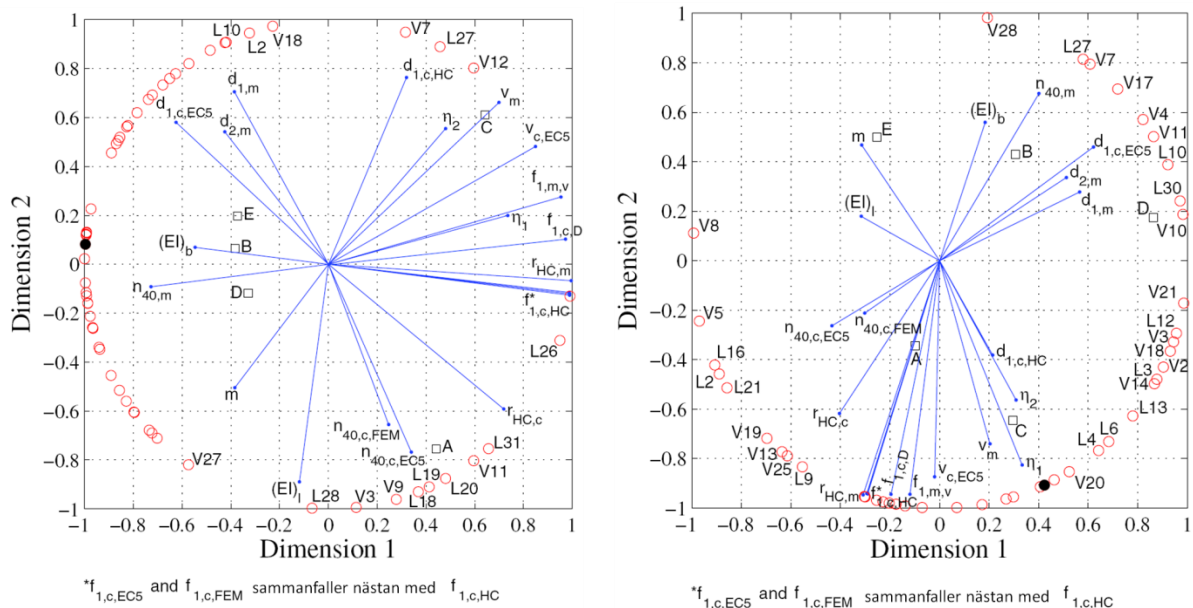
I Eurokod 5 begränsas den statiska nedböjningen orsakad av en 1 kN punktlast och den vertikala vibrationshastigheten orsakad av en enhetsimpuls. I Sverige är gränsvärdet för nedböjning satt till 1.5 mm och bjälklagens första egenfrekvens ska vara högre än 8 Hz. Vibrationshastigheten i sin tur begränsas i förhållande till egenfrekvens, nedböjning och antalet egenfrekvenser/egenmoder under 40 Hz. I dimensioneringsmetoden som föreslås av Hu och Chui begränsas kvoten mellan den första egenfrekvensen och nedböjningen, orsakad av en 1 kN punktlast, upphöjt till 0.44 till större än 18.7 för bebodda utrymmen. Dolan m.fl. har föreslagit att styvheten i bjälklagen ska anpassas så att första egenfrekvensen för bebodda utrymmen ligger över 14 Hz. Med alla metoderna beräknades den första egenfrekvensen f_1 och nedböjningen d_1 beräknades enligt Eurokod 5 samt Hu och Chui. I Tabell 1 presenteras en sammanställning av uppmätta och beräknade parametrar som inte var beroende av försökspersonerna och som inkluderades i den statistiska analysen.

Nedböjning		Vibrationshastighet för enhetsimpuls	
$d_{1,m}$	Uppmätt nedböjning i bjälklagskonstruktionen	v_m	Uppmätt vibrationshastighet
$d_{1,c,EC5}$	Beräknad nedböjning i bjälklagskonstruktionen enl. Eurocode 5	$v_{c,EC5}$	Beräknad vibrationshastighet
$d_{1,c,HC}$	Beräknad nedböjning i bjälklagskonstruktionen enl. Hu och Chui	Massa	
$d_{2,m}$	Uppmätt bjälklagsnedböjning för övergolvet	m	Bjälklagens massa (kg/m ²)
Modtäthet under 40 Hz		Dämpning	
$n_{40,m}$	Uppmätt antal moder	η_1	Dämpning för 1:a egenmoden
$n_{40,c,EC5}$	Beräknat antal moder enl. Eurocode 5	η_2	Dämpning för 2:a egenmoden
$n_{40,c,FEM}$	Beräknat antal moder med hjälp av finit element modellering (FEM)		
Första egenfrekvensen f_1		Styvhet	
$f_{1,c,EC5}$	Beräknad egenfrekvens enl. Eurocode 5	$(EI)_l$	Beräknad styvhet för bjälklagskonstruktionen längs bärningsriktningen
$f_{1,c,FEM}$	Beräknad egenfrekvens med finit element modellering FEM	$(EI)_b$	Beräknad styvhet för bjälklagskonstruktionen tvärs bärningsriktningen
$f_{1,c,HC}$	Beräknad egenfrekvens enl. Hu och Chui	Kriterier	
$f_{1,c,D}$	Beräknad egenfrekvens enl. Dolan	$r_{HC,c}$	Hu och Chui kriterium från beräknade värden $d_{1,c,HC}$ och $f_{1,c,HC}$
$f_{1,m,v}$	Uppmätt egenfrekvens	$r_{HC,m}$	Hu och Chui kriterium från uppmätta värden $d_{1,m}$ och $f_{1,m}$

Tabell 1. Sammanställning av uppmätta och beräknade parametrar som var oberoende av försökspersonerna.

För att välja ut ett begränsat antal av parametrarna i Tabell 1 för de fortsatta regressionsanalyserna genomfördes en principal komponentanalys (PCA). Den beskriver hur de olika parametrarna förhåller sig till varandra med hänsyn till störning och acceptans av vibrationer. I Figur 10 a) presenteras PCA resultatet för frågan om störning av vibrationer och i b) PCA resultatet för acceptans av vibrationsnivåer i ett nybyggt vardagsrumsbjälklag. De ingående bjälklagen A, B, C, D och E har i figurerna markerats med kvadrater, de mätbara objektiva parametrarnas vektorer med blå linjer, de

subjektiva omdömena med röda cirklar och medelvärde av samtliga omdömen med en fylld svart cirkel. Omdömen från försökspersoner från Lund är markerade med L och från Växjö med V.



a) Störning av vibrationer

b) Acceptans av vibrationer för ett vardagsrumsbjälklag.

Figur 10. Principal komponent analys för a) upplevd vibrationsstörning och b) acceptans av vibrationer för ett vardagsrumsbjälklag.

Omdömena från de två olika studierna har blandat sig väl, vilket betyder att hela datamängden kan analyseras samtidigt. För störning av vibrationer är omdömena någorlunda koncentrerade till den vänstra delen av diagrammet, vilket visar på god enighet bland försökspersonerna. För acceptans är de mer utspridda, vilket tyder på sämre enighet. Avgörande för valet av starka objektiva parametrar är parametervektorns längd och förhållande till medelvärdet för de subjektiva omdömena. En lång vektor som ligger i linje med medelvärdets läge (eller 180 grader ifrån) motsvarar en objektiv parameter med hög korrelation med de subjektiva bedömningarna.

För störning är Hu och Chuis kriterium $r_{HC,m}$ tillsammans med de beräknade egenfrekvenserna $f_{1,c}$ starka parametrar. För acceptans och samma parametrar är längden störst, men placeringen mot medelvärdet för det subjektiva omdömet inte lika självklar. Dämpningen för den första egenmoden η_1 har en bättre placering i förhållande till medelvärdet för det subjektiva omdömet men en kortare längd. För störning ligger vektorn för dämpningen nära medelvärdet för det subjektiva omdömet, men har en något kortare längd än vektorerna för första egenfrekvensen. Med stöd av resultatet valdes den första egenfrekvensen beräknad enligt Eurokod 5 $f_{1,c,EC5}$, dämpningen för den första egenmoden η_1 och vibrationskriteriet enligt Hu och Chui $r_{HC,m}$ beräknad från uppmätta data för fortsatt regressionsanalys för både störning och acceptans.

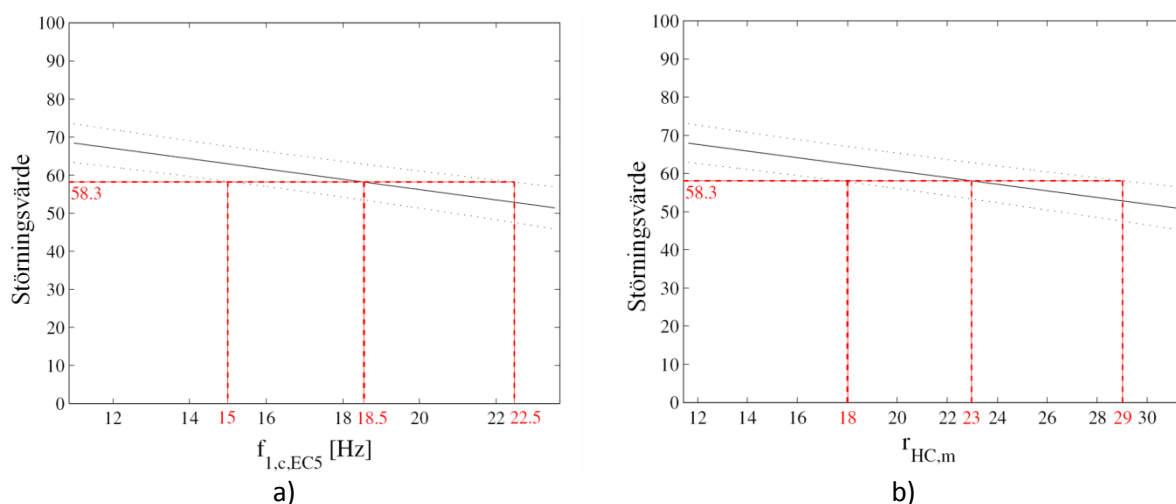
En linjär regression i flera nivåer utfördes för de objektiva parametrar som valdes från PCA analysen, samt för de objektiva parametrar som bestämts från mätningar med försökspersoner. Resultatet av regressionerna sammanfattas i [7]. Hu och Chuis kriterium $r_{HC,m}$ tillsammans med de beräknade egenfrekvenserna $f_{1,c}$ visade sig vara de två starkaste parametrarna för att förutsäga störning av vibrationer. Däremot visade de sig inte fungera för acceptans då motstridiga resultat erhöles, vilket också stärks av PCA:n där försökspersonernas inte är eniga i sin bedömning med hänsyn till acceptans, men däremot är det för störning. Dämpningen η_1 var den parameter som bäst kunde

förutsäga acceptans för vibrationer av de parametrar som inte var beroende av försökspersonerna. Däremot konstaterades att det maximala transienta vibrationsvärdet MTVV, som är beroende av försökspersonerna, var bättre på att förutsäga acceptans. Ingen av parametrarna, som är beroende av försökspersonerna, kunde anses förutsäga vibrationsstörning.

Parametrar från mätningar		Störning av vibrationer	Acceptans av vibrationer
Oberoende av försökspersoner	$f_{1,c,EC5}$	+++	-
	$r_{HC,m}$	+++	-
	η_1	+	+
Beroende av försökspersoner	a_w	-	+
	v_w	-	+
	MTVV	-	++

Tabell 2. Resultatsammanfattning från regressionsanalysen. De olika parametrarnas förmåga att förutsäga störning och acceptans av vibrationer. Nivåer från sämst till bäst enligt: -, +, ++, +++, +++++.

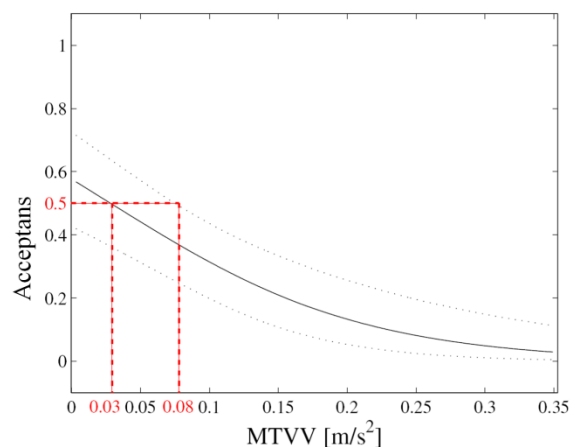
I Figur 11 a) presenteras regressionsdiagram för vibrationsstörning och den första egenfrekvensen $f_{1,c,EC5}$ beräknad enligt Eurokod 5. I diagrammet ges regressionslinjen med den svart heldragen linje och gränsen för 95 % konfidensintervall med svart streckad linje. Störningsvärdet som motsvarar medelvärdet för den subjektiva bedömningen av störning är 58.3. Värdet har markerats i figuren och ger ett medelvärde för den första egenfrekvensen på 18.5 Hz. Med hänsyn till det lägre konfidensintervallet blir värdet för egenfrekvensen 15 Hz vilket motsvarar gränsvärdet som Dolan m.fl. föreslagit som lägsta värde för att undvika störande vibrationer i bebodda utrymmen. I Figur 11 b) presenteras på motsvarande sätt regressionsdiagram för vibrationsstörning och Hu och Chuis kriterium $r_{HC,m}$ beräknad med hjälp av uppmätta värden för $d_{1,m}$ och $f_{1,m}$. Också här har medelvärdet 58.3 markerats tillsammans med motsvarande medelvärde och gränsvärden för 95 % konfidensintervall. Medelvärdet för Hu och Chuis kriterium $r_{HC,m}$ blir 23 och gränsvärdena 18 respektive 29. Det lägre gränsvärdet motsvarar Hu och Chuis föreslagna gränsvärde på 18.7 för att undvika störande vibrationer.



Figur 11. Regressionsdiagram för störning av vibrationer och den objektiva parametern a) första egenfrekvensen $f_{1,c,EC5}$ beräknad enligt Eurokod 5 och b) Hu och Chuis kriterium $r_{HC,m}$ beräknad med hjälp av uppmätta värden för $d_{1,m}$ och $f_{1,m}$.

I Figur 12 presenteras regressionsdiagrammet för acceptans av vibrationer och parametern MTVV. På den vertikala axeln ges sannolikheten för att vibrationsegenskaperna kommer att anses vara acceptabla i ett nybyggt vardagsrum. I diagrammet markeras med röd streckad linje sannolikheten för 50 % acceptans, vilket motsvarar ett medelvärde för det maximala transienta vibrationsvärdet 0.03 och ett övre värde 0.08 m/s² motsvarande gränsvärdet för 95 % konfidensintervallet.

Motsvarande värden används inte för dimensionering, eftersom den förutsätter mätning av vibrationsnivå i den färdiga konstruktionen, men resultatet visar att maximal vibrationshastighet kan vara en användbar parameter för att förutsäga acceptans av vibrationer i bjälklag.



Figur 12. Regressionsdiagram för acceptans av vibrationer och den objektiva parametern MTVV, maximalt transient vibrationsvärde.

De erhållna resultaten måste tolkas och hanteras med hänsyn taget till att bara ett fåtal bjälklag ingått i undersökningen och att ett begränsat antal personer medverkat. För att med större säkerhet fastställa resultaten måste fler försök på större antal olika bjälklagstyper genomföras.

1.3 Enkätundersökningar för ljud och vibrationer

För att samla in subjektiva omdömen från boende om störning av ljud och vibrationer genomfördes två enkätundersökningar, en om ljud och en om vibrationer. Enkätundersökningen om ljud genomfördes i bostadshus där det redan fanns tillgång till data från traditionella ljudmätningar och i de bostadshus där mer utförliga ljud- och vibrationsmätningar enligt en gemensam mall inom AkuLite projektet genomförts. Vibrationsenkäten skickades bara till boende där mätningar enligt den gemensamma mätmallen genomfördes. Enkäterna och resultaten från undersökningen sammanfattas nedan, en mer utförlig redovisning hittas i [11], [12] och [13].

1.3.1 Ljudenkäten

(Ansvariga: Christian Simmons och Klas Hagberg)

Enkäten som har använts i undersökningen har översatts till svenska från den engelska originalversionen av Pontus Thorsson (Chalmers tekniska högskola). Originalen utvecklades under ledning av Christian Simmons (Simmons akustik & utveckling AB) i september 2010 av en grupp europeiska forskare inom EU-nätverket COST TU 0901. Frågorna uttrycks i vilken grad av störning som upplevts; "hur besvärad, störd eller irriterad är du i din bostad av buller från XX" och graden av störning anges på en 11-gradig skala från 0 "inte alls störd" till 10 "oerhört mycket störd". Enkäten presenteras i Figur 13.

Instruktioner:											
Välj en siffra på skalan 0-10 för hur mycket du besväras, störs eller irriteras av buller i din bostad:											
Om du hör bullret men inte alls störs av det, svara 0			Om du upplever att bullret stör oerhört mycket, svara 10			Om du störs till viss del av bullret, svara med en siffra mellan 1 och 9			Om du inte hör något buller, eller bullerkällan inte finns, eller du inte kan svara på frågan, svara "Vet ej"		
Hur mycket har du störts i din bostad under de senaste 12 månaderna på grund av					 Inte alls 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10  Oerhört mycket					Vet ej	
1 – Buller från grannar, tekniska installationer med mera					☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐					☐	
Hur mycket har du störts i din bostad under de senaste 12 månaderna på grund av följande bullerkällor					 Inte alls 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10  Oerhört mycket					Vet ej	
2 – Grannar; vardagliga ljud från samtal, telefon, radio, TV genom väggarna					☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐					☐	
3 – Grannar; vardagliga ljud från samtal, telefon, radio, TV genom tak eller golv					☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐					☐	
4 – Grannar; musik med bas och trummor					☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐					☐	
5 – Grannar; stegljud, dvs. du hör när de går på golvet					☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐					☐	
6 – Grannar; det skallrar eller klingar i dina möbler när folk rör sig i lägenheten ovanför					☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐					☐	
7 – Trapphus, loftgångar; samtal, dörrar som stängs					☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐					☐	
8 – Trapphus, loftgångar; stegljud, slag mot trappränne					☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐					☐	
9 – Vatten- och avloppsrör; användande eller spolning i WC, dusch					☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐					☐	
10 – Värme, kyla och luftbehandling; radiatorer, luftkonditionering, till- och frånluftsdon					☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐					☐	
11 – Maskiner; hissar, tvättmaskiner, värmepumpar, fläktar					☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐					☐	
12 – Lokaler; garage, affärer, kontor, pubar, restauranger, tvättstugor o dyl, som hörs inomhus med stängda fönster					☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐					☐	
13 – Trafik; bilar, bussar, lastbilar, tåg eller flyg, som hörs inomhus med stängda fönster					☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐					☐	
Innan du flyttade till din nuvarande bostad, hur viktig ansåg du då att ljudisoleringen var mot					Inte alls viktig 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Oerhört viktig						
14 – Buller från grannar, tekniska installationer med mera					☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐						
Hur känslig anser du dig vara mot					Inte alls känslig 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Oerhört känslig						
15 – Buller från grannar, tekniska installationer med mera					☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐						
Kommentarer:											

Figur 13. Enkäten om ljud.

Enkätundersökning om ljud i byggnader med befintliga mätdata

(Ansvariga: Christian Simmons och Erik Backman)

I [11] redovisas resultat från enkätundersökningar utförda i 10 svenska flerbostadshus samt fältmätningar som utförts i samma byggnader. Tillverkare som deltagit i två forskningsprogram (SBUF och AkuLite), har valt representativa byggnader för deras nuvarande husproduktion och kunder/boende. Resultaten från studien bör tolkas främst med avseende på de ingående byggnadstyperna eftersom urvalet av byggnader och boende inte varit slumpmässigt. Med den begränsningen, föreslås i rapporten några mer allmänna slutsatser om bullerskydd i de ingående typerna av byggnadskonstruktioner. Här följer en sammanfattning av resultaten för enkätundersökningen.

Enkätmallen föreföll fungera tillfredsställande. Cirka 70 % av de boende fyllde i formuläret och returnerade det i tid, eller efter en påstötning. Men när en byggnad valts ut för en enkätundersökning, så verkar det vara nödvändigt att informera de boende i förväg och förklara syftet med studien. Man bör räkna med att skicka ut minst en påminnelse för att få en bra svarsfrekvens.

I Tabell 3 presenteras en sammanställning av svaren från bostadshusen med betongstomme och i Tabell 4 svaren från bostadshusen med trästomme. Analyser av svaren visar, att medelbetyg är starkt korrelerade till andel störda, beräknad som "% av svar med betyg $\geq x$ ". Resultaten för andelen störda som svarat med betygen ≥ 3 , ≥ 5 och ≥ 8 visas tillsammans med medelvärdet (A50), medelvärdet ökat med en standardavvikelse (A16) samt 95 % konfidensintervallet (A50_CI95). Antalet som svarat på enkäten N och de boendes åldersfördelning visas också.

Andelen som uppfattar sig vara störda med ≥ 3 kan anses vara de som är "något störda, störda eller mycket störda". För att de boende kan anses vara nöjda, kan en ambition vara att hålla värdet < 20 % och som minimikrav < 40 % . Andelen som uppfattar sig vara störda med ≥ 5 kan anses vara de som är "störda eller mycket störda", motsvarande ambition kunde vara att sätta gränserna för andel störda vid 10 respektive 20 % för att uppnå nöjda boende. Andelen som uppfattar sig vara störda med ≥ 8 är de som är "mycket störda" och rimligt kunde vara att begränsa denna andel till < 5 % i minimikrav. I tabellerna har resultaten för andelen störda mellan 20-40 % för störda med ≥ 3 markerats med gult. På motsvarande sätt har andelen störda mellan 10-20 % för störda med ≥ 5 och 5-10 % för störda med ≥ 8 också markerats med gult. De röda markeringarna motsvarar att mer än 40 % av de boende är störda med ≥ 3 , att mer än 20 % av de boende är störda med ≥ 5 och att mer än 10 % av de boende är störda med ≥ 8 .

Invånarna i bostadshus med golv och väggar av betong (byggda av NCC) i Tabell 3 upplevde sig endast vara "något" störda av luftburet buller från grannar och "något mer" störda av stegljud. Buller från tekniska installationer och trafik var däremot mer uttalade, till exempel kompressorljud från frysar och stomljud från hissar och toaletter. Det övergripande betyget från de boende kan anses tillfredsställande eller bra, men flera förbättringar föreslås för att minska störningar från de bullerkällor som observerades.

NCC/SBUF	Question (see fig 1b):	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Building info:	Parameter	General	Walls	Floor	Bass	Footfall	Rattle	Stairwell	Stairs	Wat,San	Heater	Equipm	Premise	Traffic	Import	Sensit
Örebro	A50_Average	0,9	0,3	0,3	0,1	0,7	0,1	0,5	0,3	0,5	1,1	1,1	0,1	2,2	7,0	3,8
N=36	A50_CI-95 ($\pm 2S/\sqrt{N}$):	$\pm 0,5$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,1$	$\pm 0,5$	$\pm 0,1$	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$	$\pm 0,7$	$\pm 0,6$	$\pm 0,1$	$\pm 0,9$	$\pm 1,0$	$\pm 1,1$
Age 18-25: 0 %	A16_Avg+StdDev	2,6	0,8	1,2	0,4	2,1	0,5	1,5	1,2	1,8	3,1	3,0	0,5	4,8	10,0	7,2
Age 26-39: 0 %	Fract >=3 Some Disturb	11,8%	0,0%	2,6%	0,0%	8,3%	0,0%	5,3%	2,8%	8,6%	13,5%	13,9%	0,0%	38,5%	86,8%	59,0%
Age 40-64: 7 %	Fract >=5 Disturbed	5,9%	0,0%	2,6%	0,0%	2,8%	0,0%	2,6%	2,8%	5,7%	8,1%	11,1%	0,0%	15,4%	81,6%	46,2%
Age 65 -: 93 %	Fract >=8 Very Disturb	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,7%	0,0%	0,0%	7,7%	57,9%	25,6%
Västerås	A50_Average	1,50	0,49	0,76	1,38	1,20	0,13	1,17	1,28	1,20	1,04	1,09	0,33	1,40	6,75	3,94
N=86	A50_CI-95 ($\pm 2S/\sqrt{N}$):	$\pm 0,3$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$	$\pm 0,0$	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$	$\pm 0,1$	$\pm 0,3$	$\pm 1,5$	$\pm 0,9$
Age 18-25: 0 %	A16_Avg+StdDev	3,53	1,43	2,53	3,45	3,31	0,51	3,39	3,48	3,36	3,25	3,13	1,31	3,54	10,00	6,70
Age 26-39: 14%	Fract >=3 Some Disturb	21,4%	4,8%	9,4%	20,7%	15,9%	0,0%	14,0%	15,1%	15,3%	11,8%	14,8%	3,6%	20,9%	85,4%	61,8%
Age 40-64: 37%	Fract >=5 Disturbed	10,7%	1,2%	3,5%	11,5%	9,1%	0,0%	8,1%	9,3%	10,6%	9,4%	9,1%	1,2%	9,3%	77,5%	41,6%
Age 65 -: 49 %	Fract >=8 Very Disturb	2,4%	0,0%	3,5%	2,3%	3,4%	0,0%	4,7%	7,0%	4,7%	7,1%	3,4%	0,0%	4,7%	65,2%	19,1%
Umeå-D	A50_Average	2,8	0,8	1,2	1,7	1,2	0,4	1,4	1,3	1,1	1,4	1,8	0,1	1,1	6,2	3,2
N=79	A50_CI-95 ($\pm 2S/\sqrt{N}$):	$\pm 0,6$	$\pm 0,4$	$\pm 0,5$	$\pm 0,6$	$\pm 0,5$	$\pm 0,2$	$\pm 0,4$	$\pm 0,5$	$\pm 0,4$	$\pm 0,5$	$\pm 0,6$	$\pm 0,1$	$\pm 0,3$	$\pm 0,7$	$\pm 0,6$
Age 18-25: 25%	A16_Avg+StdDev	5,5	2,4	3,4	4,3	3,3	1,3	3,3	3,5	2,9	3,6	4,6	0,7	2,6	9,4	5,8
Age 26-39: 30%	Fract >=3 Some Disturb	46,1%	8,6%	17,7%	24,1%	14,3%	1,4%	18,8%	17,5%	17,1%	20,3%	26,9%	1,4%	12,3%	81,4%	52,3%
Age 40-64: 20%	Fract >=5 Disturbed	25,0%	4,9%	10,1%	12,7%	9,1%	1,4%	6,3%	11,3%	4,9%	16,2%	16,7%	0,0%	4,9%	72,1%	34,9%
Age 65 -: 25 %	Fract >=8 Very Disturb	7,9%	1,2%	2,5%	5,1%	3,9%	0,0%	2,5%	2,5%	1,2%	1,4%	6,4%	0,0%	0,0%	45,3%	5,8%
Umeå-S	A50_Average	1,4	0,3	0,8	0,7	1,8	0,3	1,1	0,6	1,8	1,6	1,2	0,0	3,3	7,3	3,2
N=71	A50_CI-95 ($\pm 2S/\sqrt{N}$):	$\pm 0,5$	$\pm 0,2$	$\pm 0,4$	$\pm 0,4$	$\pm 0,6$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,4$	$\pm 0,6$	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$	$\pm 0,1$	$\pm 0,8$	$\pm 0,7$	$\pm 0,6$
Age 18-25: 0 %	A16_Avg+StdDev	3,4	1,1	2,6	2,5	4,5	1,5	3,3	2,2	4,5	3,8	3,4	0,3	6,5	10,3	5,6
Age 26-39: 8 %	Fract >=3 Some Disturb	17,7%	2,8%	8,5%	5,6%	21,1%	2,9%	14,9%	6,9%	20,5%	21,1%	16,9%	0,0%	42,7%	84,0%	53,3%
Age 40-64: 42%	Fract >=5 Disturbed	6,5%	1,4%	4,2%	2,8%	12,7%	1,5%	9,5%	2,8%	13,7%	9,9%	9,9%	0,0%	32,0%	78,7%	36,0%
Age 65 -: 50 %	Fract >=8 Very Disturb	3,2%	0,0%	2,8%	2,8%	8,5%	1,5%	4,1%	1,4%	6,8%	4,2%	2,8%	0,0%	14,7%	60,0%	5,3%
Göteborg-U	A50_Average	1,7	0,4	1,4	1,7	2,4	0,3	1,2	0,9	1,6	1,9	2,3	0,9	1,8	7,0	3,8
N=32	A50_CI-95 ($\pm 2S/\sqrt{N}$):	$\pm 0,8$	$\pm 0,3$	$\pm 0,8$	$\pm 0,9$	$\pm 1,2$	$\pm 0,2$	$\pm 0,7$	$\pm 0,6$	$\pm 0,8$	$\pm 1,0$	$\pm 1,1$	$\pm 0,6$	$\pm 1,0$	$\pm 1,0$	$\pm 0,9$
Age 18-25: 0 %	A16_Avg+StdDev	4,1	1,4	3,7	4,3	5,8	1,0	3,1	2,7	4,0	4,8	5,4	2,7	4,6	9,9	6,3
Age 26-39: 15%	Fract >=3 Some Disturb	25,8%	6,3%	27,3%	31,3%	27,3%	3,1%	15,6%	9,1%	21,2%	22,6%	38,7%	14,3%	29,0%	88,9%	69,4%
Age 40-64: 56%	Fract >=5 Disturbed	19,4%	0,0%	9,1%	21,9%	27,3%	0,0%	6,3%	6,1%	18,2%	12,9%	22,6%	10,7%	16,1%	80,6%	30,6%
Age 65 -: 29 %	Fract >=8 Very Disturb	3,2%	0,0%	3,0%	3,1%	15,2%	0,0%	0,0%	0,0%	3,0%	9,7%	9,7%	0,0%	6,5%	55,6%	11,1%

Tabell 3. Sammanställning av svar på ljudenkäten från boende i hus med betongstomme med befintliga mätdata. (Tabell 1 [11].)

AkuLite	Question (see fig 1b):	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Building info:	Parameter	General	Walls	Floor	Bass	Footfall	Rattle	Stairwell	Stairs	Wat,San	Heater	Equipm	Premise	Traffic	Import	Sensit
Göteborg K	A50_Average	1,0	0,2	1,2	0,9	3,6	1,1	2,1	2,1	0,3	1,0	0,9	0,2	1,9	7,0	4,6
N=24	A50_CI-95 ($\pm 2s/\sqrt{N}$):	$\pm 0,7$	$\pm 0,2$	$\pm 1,0$	$\pm 0,7$	$\pm 1,4$	$\pm 0,8$	$\pm 1,2$	$\pm 1,0$	$\pm 0,3$	$\pm 0,9$	$\pm 0,6$	$\pm 0,2$	$\pm 0,9$	$\pm 1,2$	$\pm 1,1$
Age 18-25: 0 %	A16_Avg+StdDev	2,6	0,7	3,6	2,5	7,0	2,9	5,1	4,6	1,0	3,1	2,3	0,8	4,0	10,0	7,3
Age 26-39: 22%	Fract >=3 Some Disturb	9,1%	0,0%	16,7%	18,2%	44,0%	13,6%	25,0%	28,0%	0,0%	8,7%	12,0%	0,0%	30,8%	88,9%	80,8%
Age 40-64: 26%	Fract >=5 Disturbed	4,5%	0,0%	12,5%	4,5%	36,0%	13,6%	20,8%	24,0%	0,0%	8,7%	4,0%	0,0%	15,4%	81,5%	57,7%
Age 65 -: 52 %	Fract >=8 Very Disturb	0,0%	0,0%	8,3%	0,0%	24,0%	0,0%	8,3%	4,0%	0,0%	4,3%	0,0%	0,0%	3,8%	55,6%	11,5%
Växjö L	A50_Average	1,59	0,32	0,61	1,39	2,38	0,56	1,00	0,76	1,18	1,78	1,43	0,18	1,20	6,88	4,26
N=64	A50_CI-95 ($\pm 2s/\sqrt{N}$):	$\pm 0,6$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,6$	$\pm 0,7$	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$	± 3	$\pm 0,6$	$\pm 0,6$	$\pm 0,5$	$\pm 0,1$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$	$\pm 0,7$
Age 18-25: 7 %	A16_Avg+StdDev	3,87	1,03	1,78	3,74	5,16	1,82	2,48	2,16	3,43	4,05	3,30	0,65	3,05	10,01	7,01
Age 26-39: 15%	Fract >=3 Some Disturb	18,8%	1,8%	8,1%	16,1%	32,4%	7,3%	13,8%	11,3%	8,5%	26,2%	20,3%	0,0%	18,8%	83,8%	69,9%
Age 40-64: 49%	Fract >=5 Disturbed	10,9%	0,0%	1,6%	11,3%	22,1%	1,8%	6,2%	4,8%	8,5%	9,2%	8,7%	0,0%	6,3%	78,4%	54,8%
Age 65 -: 29 %	Fract >=8 Very Disturb	4,7%	0,0%	0,0%	4,8%	8,8%	0,0%	0,0%	0,0%	5,6%	4,6%	2,9%	0,0%	3,1%	59,5%	12,3%
Linköping O	A50_Average	2,1	0,7	1,3	2,1	4,7	2,3	1,1	2,2	2,2	1,2	0,1	1,3	0,9	5,5	3,7
N=16	A50_CI-95 ($\pm 2s/\sqrt{N}$):	$\pm 1,2$	$\pm 0,8$	$\pm 1,0$	$\pm 1,7$	$\pm 1,9$	$\pm 1,7$	$\pm 0,9$	$\pm 1,7$	$\pm 1,2$	$\pm 0,8$	$\pm 0,1$	$\pm 1,3$	$\pm 0,7$	$\pm 1,9$	$\pm 1,3$
Age 18-25: 6 %	A16_Avg+StdDev	4,4	2,3	3,3	5,6	8,5	5,7	3,0	5,5	4,7	2,9	0,4	3,9	2,2	9,3	6,4
Age 26-39: 29%	Fract >=3 Some Disturb	33,3%	11,1%	27,8%	25,0%	64,7%	29,4%	7,1%	23,5%	33,3%	20,0%	0,0%	21,4%	11,8%	70,6%	61,1%
Age 40-64: 29%	Fract >=5 Disturbed	13,3%	11,1%	11,1%	25,0%	52,9%	17,6%	7,1%	23,5%	27,8%	6,7%	0,0%	21,4%	5,9%	70,6%	44,4%
Age 65 -: 36 %	Fract >=8 Very Disturb	0,0%	0,0%	0,0%	12,5%	35,3%	17,6%	0,0%	11,8%	5,6%	0,0%	0,0%	7,1%	0,0%	41,2%	11,1%
Växjö P	A50_Average	2,0	0,2	1,1	1,5	2,9	0,6	1,0	0,6	1,4	0,4	1,4	0,2	1,4	7,9	5,1
N=21	A50_CI-95 ($\pm 2s/\sqrt{N}$):	$\pm 1,0$	$\pm 0,2$	$\pm 1,0$	$\pm 1,2$	$\pm 1,2$	$\pm 0,6$	$\pm 0,7$	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 0,3$	$\pm 0,8$	$\pm 0,2$	$\pm 0,9$	$\pm 0,8$	$\pm 1,2$
Age 18-25: 5 %	A16_Avg+StdDev	4,2	0,8	3,4	4,3	5,7	2,0	2,5	1,8	3,6	1,1	3,2	0,6	3,5	9,7	7,9
Age 26-39: 32%	Fract >=3 Some Disturb	35,0%	0,0%	19,0%	20,0%	45,5%	5,0%	13,0%	13,6%	22,7%	0,0%	17,4%	0,0%	17,4%	100%	78,3%
Age 40-64: 27%	Fract >=5 Disturbed	20,0%	0,0%	9,5%	20,0%	22,7%	5,0%	8,7%	0,0%	13,6%	0,0%	4,3%	0,0%	8,7%	95,7%	56,5%
Age 65 -: 36 %	Fract >=8 Very Disturb	0,0%	0,0%	0,0%	5,0%	9,1%	0,0%	0,0%	0,0%	4,5%	0,0%	0,0%	0,0%	4,3%	65,2%	21,7%
Växjö W	A50_Average	2,1	1,0	1,7	1,8	4,4	1,3	2,4	1,5	2,0	1,5	1,8	0,6	1,5	5,3	3,2
N=24	A50_CI-95 ($\pm 2s/\sqrt{N}$):	$\pm 0,8$	$\pm 0,7$	$\pm 1,1$	$\pm 1,0$	$\pm 1,3$	$\pm 1,0$	$\pm 1,0$	$\pm 0,9$	$\pm 0,8$	$\pm 0,8$	$\pm 1,1$	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 1,4$	$\pm 1,1$
Age 18-25: 17%	A16_Avg+StdDev	4,1	2,7	4,4	4,2	7,6	3,8	4,9	3,7	3,9	3,4	4,5	1,8	4,1	8,8	5,9
Age 26-39: 39%	Fract >=3 Some Disturb	30,0%	16,0%	20,8%	28,0%	62,5%	15,0%	32,0%	25,0%	32,0%	24,0%	16,7%	5,0%	16,7%	68,0%	44,0%
Age 40-64: 30%	Fract >=5 Disturbed	15,0%	8,0%	12,5%	20,0%	54,2%	10,0%	24,0%	12,5%	12,0%	12,0%	12,5%	5,0%	8,3%	56,0%	32,0%
Age 65 -: 14 %	Fract >=8 Very Disturb	0,0%	0,0%	8,3%	0,0%	16,7%	5,0%	4,0%	0,0%	0,0%	0,0%	8,3%	0,0%	8,3%	36,0%	4,0%

Tabell 4. Sammanställning av svar på ljudenkäten från boende i hus med trästomme med befintliga mätdata. (Tabell 2 [11].)

Boende i hus med träbjälklag och uppreglade väggar i Tabell 5 upplevde sig endast vara "något" störda av luftburet buller från grannar och tekniska installationer. Däremot orsakar stegljud stora störningar i alla byggnader som ingick i studien. Cirka 25-30 % av de boende är mycket störda, cirka 25 % är störda och cirka 10 % är något störda. Det konstaterades emellertid att nya hus har bättre boendebetyg än äldre med avseende på luftljudsisolering i alla byggnader som studerats.

Författarnas egna intryck i några av husen är att det förefaller vara gånghastigheten som har en betydande effekt på hur störande stegljudet blir i bostaden under bjälklaget. Även en liten ökning av hastigheten (kraften i steget) ändrar ljudet från knappt hörbart till mycket obehagligt.

Det finns många detaljer att förbättra för att uppnå bättre betyg från de boende, framför allt bättre arbetsutförande och bättre teknisk utrustning. Ljud från WC, luftdon och hissar kan tas som exempel på dämpande åtgärder som kan erhållas till låga kostnader. Planeringsprocessen (utformningen) skulle kunna förbättras med små medel.

Enkätundersökning om ljud i byggnader där AkuLite fältmätningar genomförts

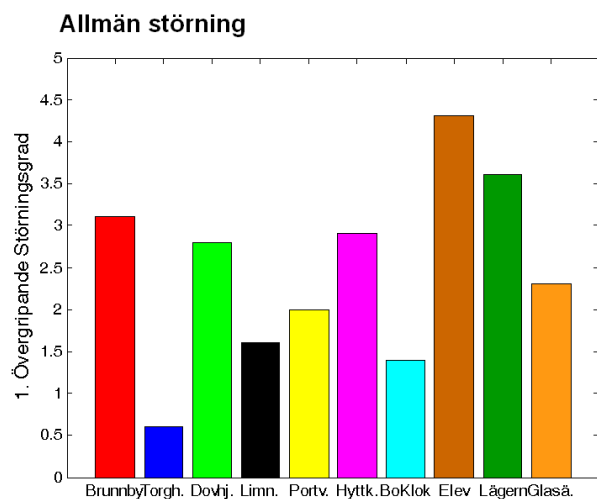
(Ansvariga: Fredrik Ljunggren och Christian Simmons)

I [12] presenteras en sammanställning av resultaten från ljudenkäten för de byggnader där AkuLite fältmätningar har genomförts tillsammans med resultaten från fältmätningarna.

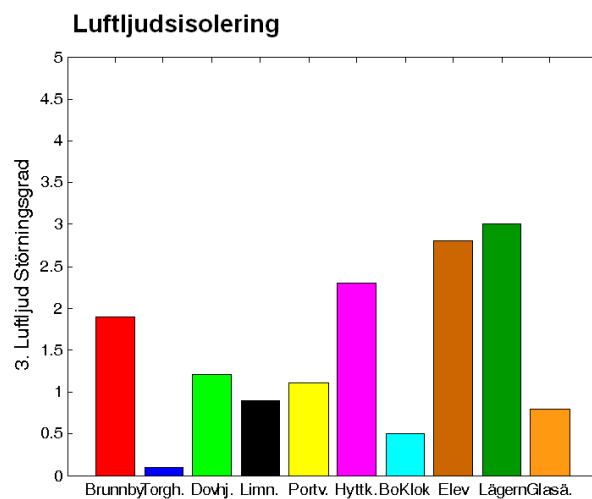
I Tabell 5 presenteras en sammanställning av resultaten för samtliga frågor och objekt, frågorna i kolumnerna och resultaten för frågorna från de olika bostadsobjekten i raderna. För varje fråga presenteras medelvärde och standardavvikelse för svaren från de olika objekten. Antalet svar N och andelen svarande av alla boende anges också.

Andelen boende som svarat med betygen ≥ 3 , ≥ 5 och ≥ 8 har beräknats. Andelen som uppfattar sig vara störda med ≥ 3 kan anses vara de som är "något störda, störda eller mycket störda". För att de boende kan anses vara nöjda, kan en ambition vara att hålla värdet vid $< 20\%$ och som minimikrav $< 40\%$. Andelen som uppfattar sig vara störda med ≥ 5 kan anses vara de som är "störda eller mycket störda", motsvarande ambition kunde vara att sätta gränserna för andel störda vid 10 respektive 20 % för att uppnå nöjda boende. Andelen som uppfattar sig vara störda med ≥ 8 är de som är "mycket störda" och rimligt kunde vara att begränsa denna andel till $< 5\%$ i minimikrav. I tabellerna har resultaten andelen störda mellan 20-40 % för störda med ≥ 3 markerats med gult. På motsvarande sätt har andelen störda mellan 10-20 % för störda med ≥ 5 och 5-10 % för störda med ≥ 8 också markerats med gult. De röda markeringarna motsvarar att mer än 40 % av de boende är störda med ≥ 3 , att mer än 20 % av de boende är störda med ≥ 5 och att mer än 10 % av de boende är störda med ≥ 8 .

Ljud		Fråga	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		Parameter	Allmänt	Väggar	Golv	Lägf.	Steg	Skaller	Trapphus	Trappor	Avlopp	Värme	Maskin	Lokaler	Trafik	Viktigt	Känslig
BrunnbyPark		Medelvärde	3,1	0,8	1,9	1,4	4,3	2,0	3,1	2,0	0,5	2,3	2,3	0,3	2,8	7,5	5,0
	N= 24	Std.avvikelse	2,9	1,4	2,4	1,8	4,1	2,6	3,8	2,6	0,8	3,0	2,5	0,8	3,1	2,6	2,7
	33%	≥ 3 Ngt. störda	50	13	29	21	52	36	39	29	4	30	33	5	42	96	83
		≥ 5 Störda	32	4	21	13	43	18	30	17	0	26	17	0	25	88	71
		≥ 8 Mkt. Störda	14	0	0	0	30	5	17	4	0	9	8	0	17	58	17
Torghörnet		Medelvärde	0,6	0,0	0,1	0,2	1,3	0,4	0,5	0,4	0,2	0,9	0,1	0,3	1,4	4,2	2,1
	N= 19	Std.avvikelse	1,3	0,0	0,3	0,8	2,1	0,9	1,1	1,1	0,4	1,8	0,3	0,8	1,6	3,7	2,1
	73%	≥ 3 Ngt. störda	14	0	0	6	18	8	6	6	0	13	0	7	20	50	33
		≥ 5 Störda	0	0	0	0	6	0	0	0	0	7	0	0	7	50	22
		≥ 8 Mkt. Störda	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0
BoKlok		Medelvärde	1,4	0,4	0,5	0,2	2,2	2,7	2,3	2,1	0,9	1,6	1,5	0,1	1,8	7,5	3,1
	N= 19	Std.avvikelse	2,5	0,9	1,3	0,8	3,5	4,3	3,0	3,0	2,3	1,9	1,9	0,5	2,1	2,3	2,8
	68%	≥ 3 Ngt. störda	22	6	6	6	28	29	28	33	11	22	28	0	32	100	42
		≥ 5 Störda	6	0	6	0	22	29	17	17	6	17	11	0	16	95	26
		≥ 8 Mkt. Störda	6	0	0	0	11	29	11	11	6	0	0	0	0	58	11
Hyttkammaren		Medelvärde	2,9	0,9	2,3	2,0	3,3	1,9	1,3	1,1	1,5	1,9	1,0	0,7	2,0	7,1	4,4
	N= 30	Std.avvikelse	3,3	1,9	3,3	2,8	4,0	3,3	2,5	2,5	2,5	2,9	2,4	1,7	2,3	3,0	3,0
	65%	≥ 3 Ngt. störda	41	7	32	25	39	26	18	18	21	25	10	11	30	87	70
		≥ 5 Störda	22	7	25	11	32	19	11	11	11	18	7	4	13	80	50
		≥ 8 Mkt. Störda	11	4	18	7	25	15	7	7	7	7	7	0	3	60	20
Lägem		Medelvärde	3,6	0,8	3,0	3,9	4,7	1,7	3,4	3,0	2,4	1,3	0,4	0,1	1,3	6,2	3,0
	N= 28	Std.avvikelse	2,8	1,0	3,1	2,9	3,4	2,6	3,1	3,5	2,2	1,9	1,0	0,3	2,1	2,7	1,9
	39%	≥ 3 Ngt. störda	57	5	43	63	62	18	50	38	35	23	6	0	16	86	57
		≥ 5 Störda	35	0	26	32	52	9	29	27	22	9	0	0	8	79	14
		≥ 8 Mkt. Störda	9	0	13	15	29	9	18	23	0	0	0	0	4	32	0
Limnologen		Medelvärde	1,6	0,3	0,6	1,4	2,4	0,6	1,0	0,8	1,2	1,8	1,4	0,2	1,2	6,9	4,3
	N= 75	Std.avvikelse	2,3	0,7	1,2	2,4	2,8	1,3	1,5	1,4	2,2	2,3	1,9	0,5	1,8	3,1	2,7
	56%	≥ 3 Ngt. störda	19	2	8	16	32	7	14	11	8	26	20	0	19	84	70
		≥ 5 Störda	11	0	2	11	22	2	6	5	8	9	9	0	6	78	55
		≥ 8 Mkt. Störda	5	0	0	5	9	0	0	0	6	5	3	0	3	59	12
Portvakten		Medelvärde	2,0	0,2	1,1	1,5	2,9	0,6	1,0	0,6	1,4	0,4	1,4	0,2	1,4	7,9	5,1
	N= 23	Std.avvikelse	2,2	0,5	2,2	2,8	2,8	1,4	1,5	1,2	2,2	0,7	1,8	0,4	2,1	1,8	2,8
	36%	≥ 3 Ngt. störda	35	0	19	20	45	5	13	14	23	0	17	0	17	100	78
		≥ 5 Störda	20	0	10	20	23	5	9	0	14	0	4	0	9	96	57
		≥ 8 Mkt. Störda	0	0	0	5	9	0	0	0	5	0	0	0	4	65	22
Glasäppet		Medelvärde	2,3	0,8	0,8	0,9	3,4	1,3	0,7	0,7	2,6	2,6	1,8	0,1	0,1	6,7	2,9
	N= 20	Std.avvikelse	2,6	2,4	2,4	2,6	3,4	3,0	1,0	1,0	2,8	2,7	2,2	0,3	0,2	2,5	3,0
	83%	≥ 3 Ngt. störda	26	6	6	13	50	15	11	11	44	37	22	0	0	95	42
		≥ 5 Störda	16	6	6	6	28	15	0	0	22	16	11	0	0	89	21
		≥ 8 Mkt. Störda	5	6	6	6	22	8	0	0	6	11	6	0	0	37	11
Elevhem		Medelvärde	4,3	3,0	2,8	4,8	3,0	4,0	3,5	1,5	2,0	4,2	3,2	0,1	0,3	6,2	2,7
	N= 13	Std.avvikelse	2,8	3,0	3,6	3,1	3,9	4,6	2,6	2,5	2,8	3,3	2,8	0,3	0,7	3,4	2,1
	38%	≥ 3 Ngt. störda	67	55	36	77	33	67	58	27	33	67	50	0	0	83	62
		≥ 5 Störda	42	36	27	54	25	33	42	9	25	50	25	0	0	75	15
		≥ 8 Mkt. Störda	8	0	18	23	25	33	8	9	8	8	8	0	0	42	0
Dovhjorten		Medelvärde	2,8	0,8	1,2	1,7	1,2	0,4	1,4	1,3	1,1	1,4	1,8	0,1	1,1	6,2	3,2
	N= 79	Std.avvikelse	2,7	1,6	2,2	2,6	2,1	0,9	1,9	2,2	1,8	2,2	2,8	0,6	1,5	3,2	2,6
	53%	≥ 3 Ngt. störda	46	9	18	24	14	1	19	18	17	20	27	1	12	81	52
		≥ 5 Störda	25	5	10	13	9	1	6	11	5	16	17	0	5	72	35
		≥ 8 Mkt. Störda	8	1	3	5	4	0	3	3	1	1	6	0	0	45	6

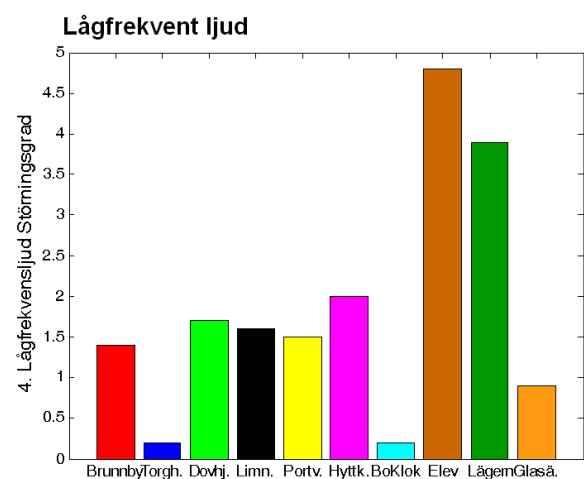


a) Hur mycket har du störts i din bostad under de senaste 12 månaderna på grund av buller från grannar, tekniska installationer med mera?

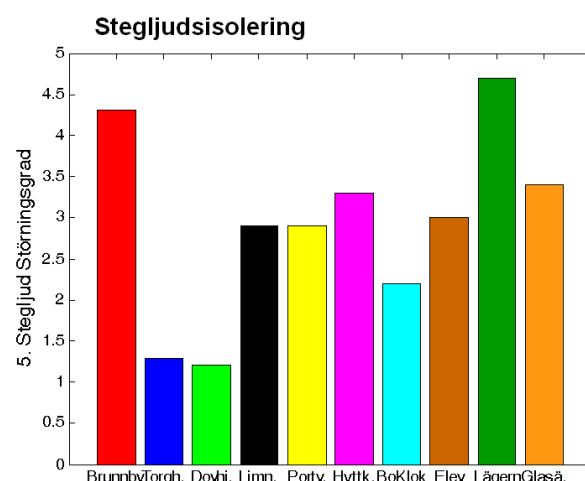


b) Hur mycket har du störts i din bostad under de senaste 12 månaderna på grund av följande bullerkällor grannar, vardagliga ljud från samtal, telefon, radio, TV genom tak eller golv?

Figur 14. Medelvärde för svar på frågan om a) allmän upplevd störning och b) luftljudsisolering.



a) Hur mycket har du störts i din bostad under de senaste 12 månaderna på grund av följande bullerkällor grannar, musik med bas och trummor?



b) Hur mycket har du störts i din bostad under de senaste 12 månaderna på grund av följande bullerkällor grannar, stegljud, dvs. du hör när de går på golvet?

Figur 15. Medelvärde för svar på frågan om a) lågfrekvent ljud och b) stegljudsisolering.

1.3.2 Vibrationsenkäten

(Ansvariga: Kirsi Jarnerö, Delphine Bard och Christian Simmons)

För att undersöka om boende i flerbostadshus med lättbyggnadsstomme störs av svikt och vibrationer, utfördes en enkätundersökning motsvarande den för ljud. Enkäten utvecklades i samarbete mellan Kirsi Jarnerö (SP Trä), Delphine Bard (Lunds universitet) och Christian Simmons (Simmons akustik & utveckling AB). Samma sätt att uttrycka frågor och skala för graden av störning användes som i ljudenkäten, dvs. frågorna uttrycktes i upplevd grad av störning; "hur besvärad, störd eller irriterad är du i din bostad av XX" och graden av störning angavs på en 11-gradig skala från 0 "inte alls störd" till 10 "oerhört mycket störd". Frågorna tog upp olika orsaker till vibrationer, exempelvis om vibrationer framkallas av de boende själva, om de uppstår då någon annan går inne i samma rum, om de orsakas av grannar, dörrar som slås igen eller trafik. Även olika sätt att uppfatta vibrationer ingick i undersökningen d.v.s. om man uppfattar en påverkan med känseln, hörseln eller synen. Också frågor om de boendes känslighet för vibrationer och om de måste anpassa sitt sätt att gå i sin bostad för att inte störa familjemedlemmar eller grannar inkluderades. Den sista frågan i enkäten behandlade nöjdhet, om de boende var nöjda med kvaliteten på golv och väggar. Enkäten presenteras i Figur 16. Undersökningen i sin helhet presenteras i [13].

Enkätundersökning om vibrationer i byggnader där AkuLite fältmätningar genomförts

Enkäten skickades till 8 av de 9 bostadsobjekt med lättbyggnadsstomme som också varit mål för fältmätningar inom projektet. För att klargöra om vibrationer inte är ett problem i bostadshus med betongstomme och som referensobjekt inkluderades ett objekt i betong. Eftersom undersökningens huvudsakliga intresse har varit bjälklagsvibrationer delades bostäderna upp i de med lättbyggnadsstomme i bjälklaget och de med betongstomme, betongbjälklag eller platta på mark. Bostäderna med betong från alla objekt slogs sedan samman till en enda grupp och presenteras som objektet Betong i kommande sammanställningar. I Tabell 6 presenteras resultaten för samtliga frågor och objekt, andelen störda som svarat med betygen ≥ 3 , ≥ 5 och ≥ 8 visas tillsammans med medelvärdet och standardavvikelse för svaren. Antalet svar N och andelen svarande av alla boende anges också. Andelen som uppfattar sig vara störda med ≥ 3 kan anses vara de som är "något störda, störda eller mycket störda". För att de boende kan anses vara nöjda, kan en ambition vara att hålla värdet vid $< 20\%$ och som minimikrav $< 40\%$. Andelen som uppfattar sig vara störda med ≥ 5 kan anses vara de som är "störda eller mycket störda", motsvarande ambition kunde vara att sätta gränserna för andel störda vid 10 respektive 20 % för att uppnå nöjda boende. Andelen som uppfattar sig vara störda med ≥ 8 är de som är "mycket störda" och rimligt kunde vara att begränsa denna andel till $< 5\%$ i minimikrav.

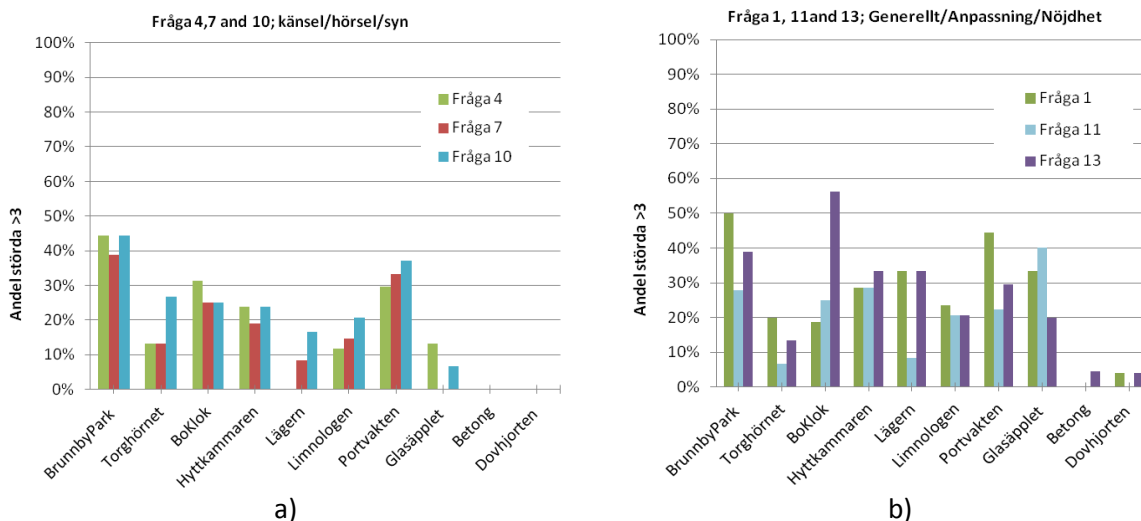
I Tabell 6 motsvarar de gula markeringarna för störda med ≥ 3 att 20-40 % av de boende är störda. För störda med ≥ 5 motsvarar den gula markeringen 10-20 % av de boende och för störda med ≥ 8 på samma sätt 5-10 % av de boende. De röda markeringarna motsvarar att mer än 40 % av de boende är störda med ≥ 3 , att mer än 20 % av de boende är störda med ≥ 5 och att mer än 10 % av de boende är störda med ≥ 8 . Som komplement till tabellen presenteras resultaten för några av frågorna också i stapeldiagram i Figur 17 och Figur 18. Frågor som ansetts besläktade har grupperats tillsammans för att på ett enklare sätt kunna jämföras.

Instruktioner:														
Välj en siffra på skalan 0-10 för hur mycket du besväras, störs eller irriteras av vibrationer eller ljud från golvet:														
Om du lägger märke till lite ljud eller vibrationer, och INTE ALLS störs av detta, svara 0	Om du är OERHÖRT besvärad, störd eller irriterad av detta, svara 10	Om du störs till viss del, svara med en siffra mellan 1 och 9	Om du inte uppfattar några vibrationer eller ljud eller du inte kan svara på frågan, svara "Vet ej"											
Hur mycket har du besvärats, störts eller iriterats i din bostad under de senaste 12 månaderna på grund av				Inte alls Oerhört mycket 								Vet ej		
1. Vibrationer i golv eller från inredning och föremål, i allmänhet				☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Hur mycket har du besvärats, störts eller iriterats i din bostad under de senaste 12 månaderna på grund av				Inte alls Oerhört mycket 								Vet ej		
2. Svikt / nedfjädring i golv när du själv går på det				☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
3. Svikt / nedfjädring i trappor, loftgångar eller balkonger när du själv går på dem, specificera var: _____				☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
4. Vibrationer där du sitter eller ligger ner, när någon annan går på golvet i samma rum				☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
5. Vibrationer när grannar går eller när deras barn leker på deras golv				☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
6. Vibrationer från närbelägen väg- eller järnvägstrafik				☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
7. Rörelser i möbler eller föremål då du eller någon annan går på golvet, t.ex. att bord, TV-datorskärmar, bokhyllor, lampor, dörrar, tavlor etc. börjar att svänga				☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
8. Rörelser i möbler eller föremål när grannar stänger sina dörrar				☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
9. Ljud från ditt golv när du eller någon annan går på det, exempelvis dunsar, knäppningar eller knarr				☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
10. Ljud från inredning eller föremål när du eller någon annan går på golvet, t.ex. skrammel eller skaller från koppar, glas, vitrinskåp och liknande				☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Måste du anpassa ditt sätt att gå i bostaden för att undvika att störa din familj eller dina grannar med				Nej, inte alls Ja, jag är oerhört försiktig										
11. Golvvibrationer, specificera vad: _____				☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Är du tolerant eller känslig med avseende på				Tolerant, inte alls känslig Oerhört känslig										
12. Vibrationer i golven eller i inredning och föremål				☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Är du på det hela taget nöjd eller missnöjd med kvalitén på golv och väggar när det gäller				Nöjd, inte alls missnöjd Oerhört missnöjd										
13. Vibrationer i golven eller i inredning och föremål				☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Kommentarer (vad är det som orsakar vibrationer, vilka effekter upplever du):														

Figur 16. Enkäten om vibrationer.

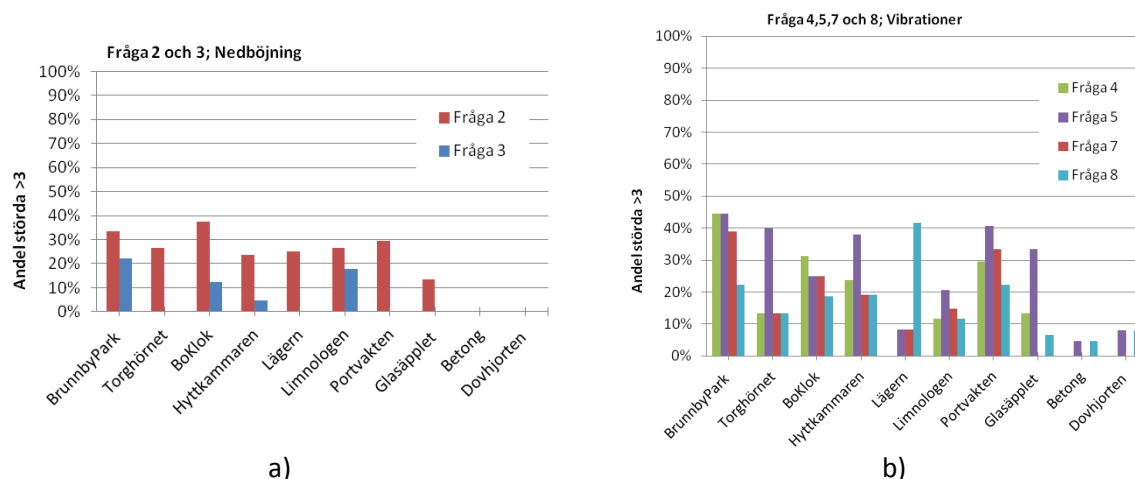
Vibrationer	Fråga	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Parameter	Generellt	Svikt bjlg	Svikt övr.	Samma Rum	Grannar	Trafik	Rörelse Obj.	Dörrar	Golv Ljud	Ljud Obj.	Anpassn.	Tolerans	Nöjdhet
BrunnbyPark	Medelvärde	3.7	2.3	2.2	2.9	3.6	1.4	2.8	2.3	2.7	3.0	3.0	1.9	3.1
	N= 18													
	Std.avvikelse	3.0	2.3	3.2	2.8	3.5	2.0	3.3	3.2	3.0	3.4	3.8	1.8	3.1
	36% ≥ 3 Ngt. störda	50%	33%	22%	44%	44%	28%	39%	22%	33%	44%	28%	33%	39%
Torghörnet	Medelvärde	1.7	1.9	0.1	1.7	2.5	1.5	1.1	1.3	1.0	1.9	0.6	1.0	1.3
	N= 15													
	Std.avvikelse	3.0	3.3	0.3	3.5	3.2	2.2	2.4	2.3	2.9	3.1	1.9	2.7	2.9
	79% ≥ 3 Ngt. störda	20%	27%	0%	13%	40%	13%	13%	13%	7%	27%	7%	7%	13%
BoKlok	Medelvärde	2.4	2.9	0.9	2.4	2.4	1.3	2.3	2.1	2.7	2.5	2.3	2.9	4.2
	N= 16													
	Std.avvikelse	3.7	4.0	2.1	3.3	3.8	2.0	3.7	3.3	3.5	4.0	3.4	2.2	4.1
	57% ≥ 3 Ngt. störda	19%	38%	13%	31%	25%	31%	25%	19%	44%	25%	25%	56%	56%
Hyttkammaren	Medelvärde	2.3	2.0	0.7	1.6	3.5	1.5	1.3	1.8	2.4	1.5	2.1	3.0	2.5
	N= 21													
	Std.avvikelse	3.6	3.2	2.3	3.2	4.2	2.7	2.4	3.6	3.6	2.4	3.4	3.3	3.6
	66% ≥ 3 Ngt. störda	29%	24%	5%	24%	38%	19%	19%	19%	29%	24%	29%	52%	33%
Lägern	Medelvärde	2.9	1.7	0.1	1.0	1.2	1.0	0.8	3.8	1.1	1.7	1.1	3.3	2.9
	N= 12													
	Std.avvikelse	2.5	2.4	0.4	0.8	1.5	2.4	1.0	3.6	1.1	1.9	2.5	2.1	2.1
	33% ≥ 3 Ngt. störda	33%	25%	0%	0%	8%	8%	8%	42%	8%	17%	8%	42%	33%
Limnologen	Medelvärde	2.3	2.5	1.6	1.2	2.3	0.6	1.0	1.0	2.6	1.4	1.1	2.4	2.0
	N= 34													
	Std.avvikelse	2.9	3.1	2.6	2.2	3.4	1.2	1.9	2.4	3.0	2.5	2.0	2.5	2.8
	64% ≥ 3 Ngt. störda	24%	26%	18%	12%	21%	9%	15%	12%	38%	21%	21%	41%	21%
Portvakten	Medelvärde	3.5	2.4	0.1	2.0	3.5	1.5	2.0	1.5	2.3	2.5	2.1	2.9	2.5
	N= 27													
	Std.avvikelse	3.4	2.7	0.2	2.7	4.0	2.6	3.0	2.7	2.9	2.9	3.6	2.5	3.5
	63% ≥ 3 Ngt. störda	44%	30%	0%	30%	41%	19%	33%	22%	33%	37%	22%	44%	30%
Glasäppet	Medelvärde	2.9	0.9	0.2	1.3	2.8	0.2	0.4	0.8	1.1	0.7	3.1	2.3	2.0
	N= 15													
	Std.avvikelse	3.1	1.7	0.4	2.2	3.5	0.4	0.6	2.7	1.4	0.9	3.8	3.0	3.0
	83% ≥ 3 Ngt. störda	33%	13%	0%	13%	33%	0%	0%	7%	7%	7%	40%	33%	20%
Dovhjorten	Medelvärde	0.5	0.1	0.0	0.1	1.1	0.6	0.1	0.8	0.3	0.0	0.1	1.5	0.6
	N= 25													
	Std.avvikelse	1.1	0.4	0.2	0.3	2.5	1.2	0.2	2.3	0.6	0.0	0.3	1.8	2.0
	32% ≥ 3 Ngt. störda	4%	0%	0%	0%	8%	4%	0%	8%	0%	0%	0%	28%	4%
Betong	Medelvärde	2.2	0.9	0.9	0.4	3.4	0.4	0.9	1.0	1.3	0.9	0.4	2.1	2.3
	N= 54													
	Std.avvikelse	2.4	1.2	2.0	1.0	3.3	0.8	1.5	1.9	1.7	1.5	1.1	2.1	2.8
	59% ≥ 3 Ngt. störda	22%	13%	7%	6%	48%	6%	15%	15%	20%	11%	6%	33%	35%
	Medelvärde	2.2	0.9	0.9	0.4	3.4	0.4	0.9	1.0	1.3	0.9	0.4	2.1	2.3
	N= 54													
	Std.avvikelse	2.4	1.2	2.0	1.0	3.3	0.8	1.5	1.9	1.7	1.5	1.1	2.1	2.8
	59% ≥ 3 Ngt. störda	22%	13%	7%	6%	48%	6%	15%	15%	20%	11%	6%	33%	35%
	Medelvärde	2.2	0.9	0.9	0.4	3.4	0.4	0.9	1.0	1.3	0.9	0.4	2.1	2.3
	N= 54													
	Std.avvikelse	2.4	1.2	2.0	1.0	3.3	0.8	1.5	1.9	1.7	1.5	1.1	2.1	2.8
	59% ≥ 3 Ngt. störda	22%	13%	7%	6%	48%	6%	15%	15%	20%	11%	6%	33%	35%
	Medelvärde	2.2	0.9	0.9	0.4	3.4	0.4	0.9	1.0	1.3	0.9	0.4	2.1	2.3
	N= 54													
	Std.avvikelse	2.4	1.2	2.0	1.0	3.3	0.8	1.5	1.9	1.7	1.5	1.1	2.1	2.8
	59% ≥ 3 Ngt. störda	22%	13%	7%	6%	48%	6%	15%	15%	20%	11%	6%	33%	35%
	Medelvärde	2.2	0.9	0.9	0.4	3.4	0.4	0.9	1.0	1.3	0.9	0.4	2.1	2.3
	N= 54													
	Std.avvikelse	2.4	1.2	2.0	1.0	3.3	0.8	1.5	1.9	1.7	1.5	1.1	2.1	2.8
	59% ≥ 3 Ngt. störda	22%	13%	7%	6%	48%	6%	15%	15%	20%	11%	6%	33%	35%
	Medelvärde	2.2	0.9	0.9	0.4	3.4	0.4	0.9	1.0	1.3	0.9	0.4	2.1	2.3
	N= 54													
	Std.avvikelse	2.4	1.2	2.0	1.0	3.3	0.8	1.5	1.9	1.7	1.5	1.1	2.1	2.8
	59% ≥ 3 Ngt. störda	22%	13%	7%	6%	48%	6%	15%	15%	20%	11%	6%	33%	35%
	Medelvärde	2.2	0.9	0.9	0.4	3.4	0.4	0.9	1.0	1.3	0.9	0.4	2.1	2.3
	N= 54													
	Std.avvikelse	2.4	1.2	2.0	1.0	3.3	0.8	1.5	1.9	1.7	1.5	1.1	2.1	2.8
	59% ≥ 3 Ngt. störda	22%	13%	7%	6%	48%	6%	15%	15%	20%	11%	6%	33%	35%
	Medelvärde	2.2	0.9	0.9	0.4	3.4	0.4	0.9	1.0	1.3	0.9	0.4	2.1	2.3
	N= 54													
	Std.avvikelse	2.4	1.2	2.0	1.0	3.3	0.8	1.5	1.9	1.7	1.5	1.1	2.1	2.8
	59% ≥ 3 Ngt. störda	22%	13%	7%	6%	48%	6%	15%	15%	20%	11%	6%	33%	35%
	Medelvärde	2.2	0.9	0.9	0.4	3.4	0.4	0.9	1.0	1.3	0.9	0.4	2.1	2.3
	N= 54													
	Std.avvikelse	2.4	1.2	2.0	1.0	3.3	0.8	1.5	1.9	1.7	1.5	1.1	2.1	2.8
	59% ≥ 3 Ngt. störda	22%	13%	7%	6%	48%	6%	15%	15%	20%	11%	6%	33%	35%
	Medelvärde	2.2	0.9	0.9	0.4	3.4	0.4	0.9	1.0	1.3	0.9	0.4	2.1	2.3
	N= 54													
	Std.avvikelse	2.4	1.2	2.0	1.0	3.3	0.8	1.5	1.9	1.7	1.5	1.1	2.1	2.8
	59% ≥ 3 Ngt. störda	22%	13%	7%	6%	48%	6%	15%	15%	20%	11%	6%	33%	35%
	Medelvärde	2.2	0.9	0.9	0.4	3.4	0.4	0.9	1.0	1.3	0.9	0.4	2.1	2.3
	N= 54													
	Std.avvikelse	2.4	1.2	2.0	1.0	3.3	0.8	1.5	1.9	1.7	1.5	1.1	2.1	2.8
	59% ≥ 3 Ngt. störda	22%	13%	7%	6%	48%	6%	15%	15%	20%	11%	6%	33%	35%
	Medelvärde	2.2	0.9	0.9	0.4	3.4	0.4	0.9	1.0	1.3	0.9	0.4	2.1	2.3
	N= 54													
	Std.avvikelse	2.4	1.2	2.0	1.0	3.3	0.8	1.5	1.9	1.7	1.5	1.1	2.1	2.8
	59% ≥ 3 Ngt. störda	22%	13%	7%	6%	48%	6%	15%	15%	20%	11%	6%	33%	35%
	Medelvärde	2.2	0.9	0.9	0.4	3.4	0.4	0.9	1.0	1.3	0.9	0.4	2.1	2.3
	N= 54													
	Std.avvikelse	2.4	1.2	2.0	1.0	3.3	0.8	1.5	1.9	1.7	1.5	1.1	2.1	2.8
	59% ≥ 3 Ngt. störda	22%	13%	7%	6%	48%	6%	15%	15%	20%	11%	6%	33%	35%
	Medelvärde	2.2	0.9	0.9	0.4	3.4	0.4	0.9	1.0	1.3	0.9	0.4	2.1	2.3
	N= 54													
	Std.avvikelse	2.4	1.2	2.0	1.0	3.3	0.8	1.5	1.9	1.7	1.5	1.1	2.1	2.8
	59% ≥ 3 Ngt. störda	22%	13%	7%	6%	48%	6%	15%	15%	20%	11%	6%	33%	35%
	Medelvärde	2.2	0.9	0.9	0.4	3.4	0.4	0.9	1.0	1.3	0.9	0.4	2.1	2.3
	N= 54													
	Std.avvikelse	2.4	1.2	2.0	1.0	3.3	0.8	1.5	1.9	1.7	1.5	1.1	2.1	2.8
	59% ≥ 3 Ngt. störda	22%	13%	7%	6%	48%	6%	15%	15%	20%	11%	6%	33%	35%
	Medelvärde	2.2	0.9	0.9	0.4	3.4	0.4	0.9	1.0	1.3	0.9	0.4	2.1	2.3
	N= 54													
	Std.avvikelse	2.4	1.2	2.0	1.0	3.3	0.8	1.5	1.9	1.7	1.5	1.1	2.1	2.8
	59% ≥ 3 Ngt. störda	22%	13%	7%	6%	48%	6%	15%	15%	20%	11%	6%	33%	35%
	Medelvärde	2.2	0.9	0.9	0.4	3.4	0.4	0.9	1.0	1.3	0.9	0.4	2.1	2.3
	N= 54													
	Std.avvikelse	2.4	1.2	2.0	1.0	3.3	0.8	1.5	1.9	1.7	1.5	1.1	2.1	2.8
	59% ≥ 3 Ngt. störda	22%	13%	7%	6%	48%	6%	15%	15%	20%	11%	6%	33%	35%
	Medelvärde	2.2	0.9	0.9	0.4	3.4	0.4	0.9	1.0	1.3	0.9	0.4	2.1	2.3
	N= 54													
	Std.avvikelse	2.4	1.2	2.0	1.0	3.3	0.8	1.5	1.9	1.7	1.5	1.1	2.1	2.8

flera olika sätt och det är möjligt att man inte kan avgöra skillnad mellan upplevt störningssätt om flera olika störningar förekommer samtidigt.



Figur 17. Diagram för andel störda med ≥ 3 i a) för frågor 4, 7 och 10 om olika sätt att uppfatta vibrationer, med känsel-, hörsel- eller synintryck och i b) för frågor 1, 11 och 13 om störning generellt, om man anpassar sitt sätt att gå för att inte störa familj eller grannar samt hur nöjd man är med kvalitén med bjälklag och väggar.

I Figur 17 b) visas svaren för frågorna 1, 11 och 13 om generell störning, anpassning för att inte störa familjen eller grannar, samt nöjdhet med kvalitén på golv och väggar. De boende verkar i stort vara konsekventa i sina svar och graden av störning överensstämmer med hur nöjd man är med kvalitén. Nivån på anpassning av gång följer bedömningen för de två.



Figur 18. Diagram för andel störda med ≥ 3 i a) för frågor 2 och 3 om svikt och nedböjning i bjälklag/golv och i andra delar av huset som loftgångar och trappor och i b) för frågor 4, 7, 8 om störning av vibrationer när någon annan går i rummet, när grannarna går eller deras barn leker, när den boende själv eller någon annan går samt när grannarna stänger dörrar.

I Figur 18 a) visas de boendes omdöme avseendefrågorna 2 och 3 om svikt och nedböjning i golv och andra konstruktionsdelar såsom balkonger och trappor. Det verkar som svikt och nedböjning främst är störande i golv eller bjälklag och inte i andra konstruktionsdelar.

I Figur 18 b) presenteras frågorna 4, 5, 7 och 8 om vibrationer orsakade av de boende själv eller deras grannar, samt vibrationer upplevda med känseln eller som rörelser i möbler och föremål tillsammans. Frågorna 5 och 8 om vibrationer orsakade av grannar och stängning av dörrar är de enda frågorna som fått omdömen i objekten med betongstomme eller lägenheterna med betong i bjälklagen, men

graden av störning är lägre. Högst störning för dörrar som stängs har objektet Lägern som har en stålregelstomme. Samtidigt är störningen av vibrationer exciterad på annat sätt låg, men de boende är generellt ganska störda och missnöjda. Förklaringen kan vara att husen består av studentbostäder med förhållandevis små rum i vilka det är svårt att få upp någon gånghastighet och därmed också excitera vibrationsnivåer som blir störande. En jämförelse med ljudenkäten visar dessutom att de boende här verkar mer störda av ljud än vibrationer. Det kan förklara den höga andelen boende som inte är nöjda med golv och väggkvaliteten och att den generella störningen av vibrationer höjs av störning av ljud.

Enkätformuläret verkar i stort sett fungera bra. Fråga 5 om vibrationer orsakade av grannar som går eller deras barn som leker på golven skulle kanske behöva omvärderas på något sätt eftersom det verkar finnas inblandning av störning av ljud och möjligen annat som generell irritation orsakad av grannarna.

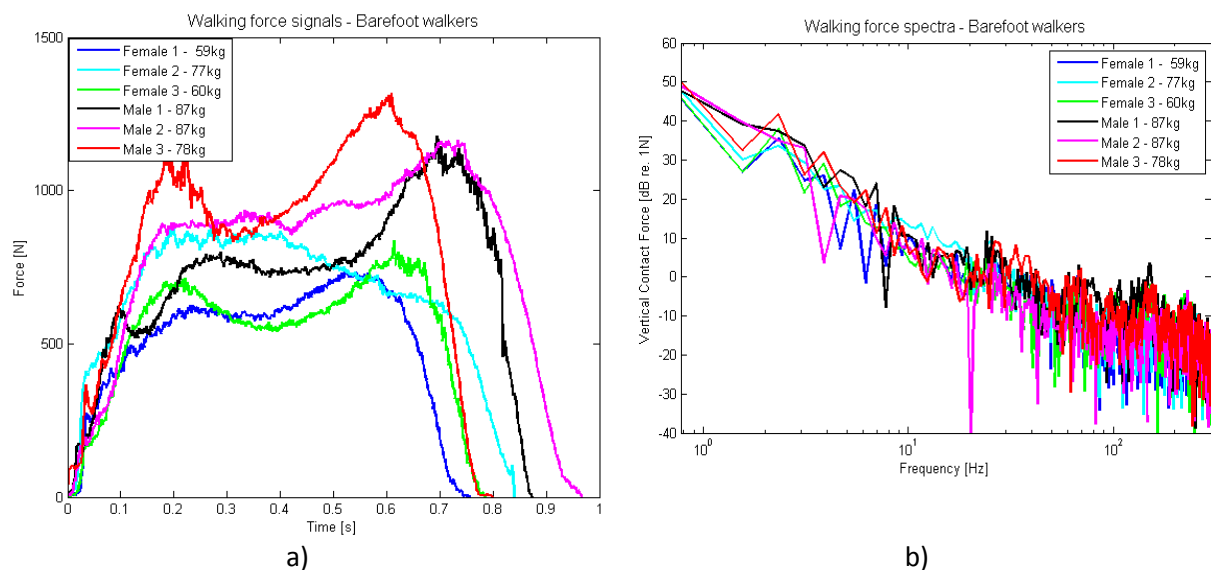
2 Förutse och utvärdera ditt slutresultat – Var står vi?

2.1 Hur kan steg och andra källor hanteras och modelleras?

(Ansvariga: Krister Larsson och Nata Amirahmadi)

För att mäta och utvärdera stomljud i konstruktioner finns standardiserad utrustning i form av hammarapparaten, standardiserade metoder för mätning och analys av mätdata (EN-ISO 10140, EN-ISO 140 och EN-ISO 717). För att kunna förutse ljudnivån för stomljud i en planerad konstruktion med hjälp av modellering behövs detaljerad kunskap om källan som orsakar ljudet som till exempel kraftnivå, varaktighet, frekvensinnehåll och källans interaktion med den belastade strukturen. En modell av hammarapparaten samt av kontakt mellan hammarapparat och bjälklag har tagits fram inom AkuLite. Stegljudsnivå från hammarapparat kan därför idag förutsägas med god noggrannhet förutsatt att bjälklagets egenskaper är kända. För andra, mer verkliga källor, som t.ex. gång är situationen mer komplicerad och man får förlita sig på mätningar i större utsträckning. Därför har en mätmetod för att bestämma impuls krafter från olika källor utvecklats inom AkuLite projektet. Metoder och resultat beskrivs mer utförligt i [14], [15] och [16].

Mätningar med den utvecklade mätmetoden har gjorts för att undersöka kraft och frekvensinnehåll för steg och gång på ett lätt träbjälklag (20 kg/m^2) och ett tyngre specialbjälklag (60 kg/m^2). Hur exciteringen påverkas av gångstil, olika skor och person har studerats och jämförts med den standardiserade hammarapparaten.

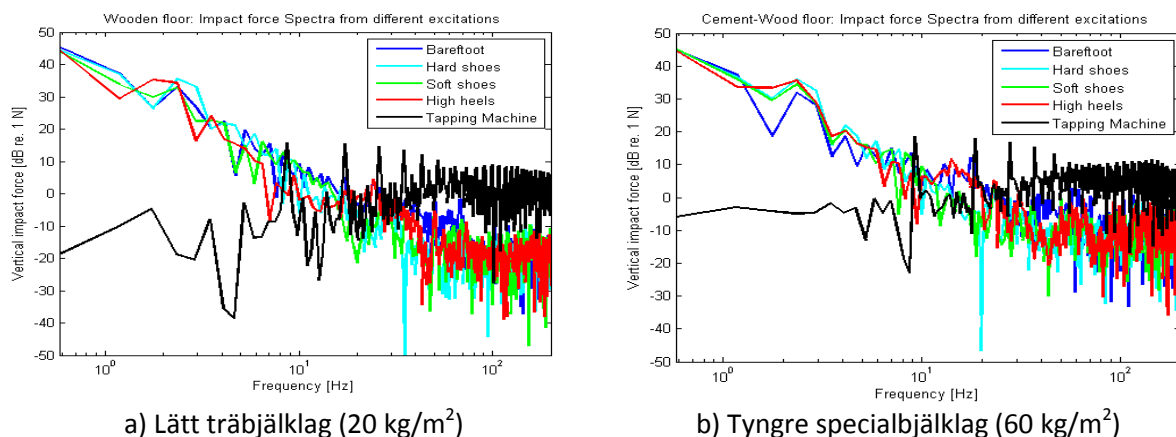


Figur 19. Jämförelse av olika personers gång barfota på det lätta träbjälklaget. I a) visas kraften i tidsplanet och i b) i frekvensplanet.

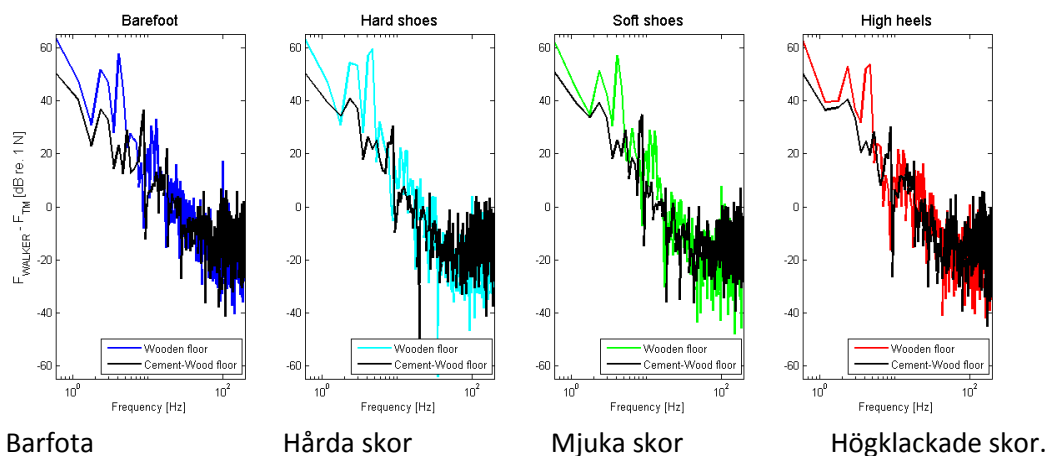
I Figur 19 a) och b) visas hur kraften för barfota steg varierar i tids- och frekvensplanet för personer med olika vikt och kön. Från figuren syns att personens vikt är en viktig parameter, men är inte den enda faktorn som påverkar kraftnivån. Vid mycket låga frekvenser ($<10 \text{ Hz}$) och för den statiska kraften bestäms nivån i stor utsträckning av vikt, medan samma tendens inte nödvändigtvis kan ses vid högre frekvenser. Personlig gångstil med olika steglängd och gånghastighet påverkar kraftnivån i stor utsträckning.

I Figur 20 jämförs kraften från hammarapparaten med en person som går barfota samt med tre olika typer av skor, hårda, mjuka och högklackade skor, på båda typerna av bjälklag. Hårda skor

representeras av kängor och boots, mjuka av skor med mjuk gummisula och högklackade av skor med en hög smal klack. Hammarapparaten genererar hög kraft vid sin grundfrekvens vid 10 Hz samt vid multiplar av den dvs. 20, 30, 40 Hz etc. Normal gång har hög kraftamplitud under 10 Hz, medan kraften från hammarapparaten är låg där. Från 20 Hz och uppåt är kraftnivån från hammarapparat jämförbar eller högre än kraftnivån från gång. Tydligt är också att hammarapparaten inte i tillräckligt hög grad klarar av att exciterar kraft i frekvensområden mellan 10-20 Hz respektive 20-30 Hz, vilket kan vara ett problem om hammarapparaten används för utvärdering och bjälklagen har resonanser med låg dämpning i dessa frekvensområden.



Figur 20. Jämförelse mellan kraft från en person som går barfota eller med olika typer av skor och hammarapparat på det a) lätta träbjälklaget respektive b) det tyngre specialbjälklaget.



Figur 21. Skillnad mellan kraft från en person som går barfota eller med olika typer av skor och hammarapparat ($F_{Gång} - F_{HA}$) på det lätta träbjälklaget respektive (färgad linje) det tyngre specialbjälklaget (svart linje). Gång barfota (blå), med hårda skor (turkos), med mjuka skor (grön) och med högklackade skor (röd).

I Figur 21 visas skillnaden mellan kraft från en person som går barfota eller med olika typer av skor och hammarapparat ($F_{Gång} - F_{HA}$) på det lätta träbjälklaget (färgad linje), respektive det tyngre specialbjälklaget (svart linje). Skillnaden för alla typer av fotbeklädnader är störst för det lätta träbjälklaget jämfört med det tyngre specialbjälklaget. Däremot är skillnaden mellan kraft från hammarapparat och kraft från gång ganska konstant mellan de olika bjälklagen. Detta innebär att en person som går inte kan anses vara en ren kraftkälla på mycket lätta bjälklag. Då träkonstruktioner modelleras bör man därför ta hänsyn till kopplingen mellan källan och den belastade strukturen. Hur kraften från gång i sig varierar är mer beroende av gångstilen än vilka skor han/hon har på sig.

Mätmetoden för att mäta impuls kraft som utvecklats inom projektet kan användas för alla typer av stomljudskällor. Den kan användas för att bestämma inmatad kraft och effekt i en konstruktion och därmed användas för optimering av bjälklag i utvecklingsarbetet, eller för insamling och utveckling av databas för gångkrafter från olika personer på olika typfall av bjälklag.

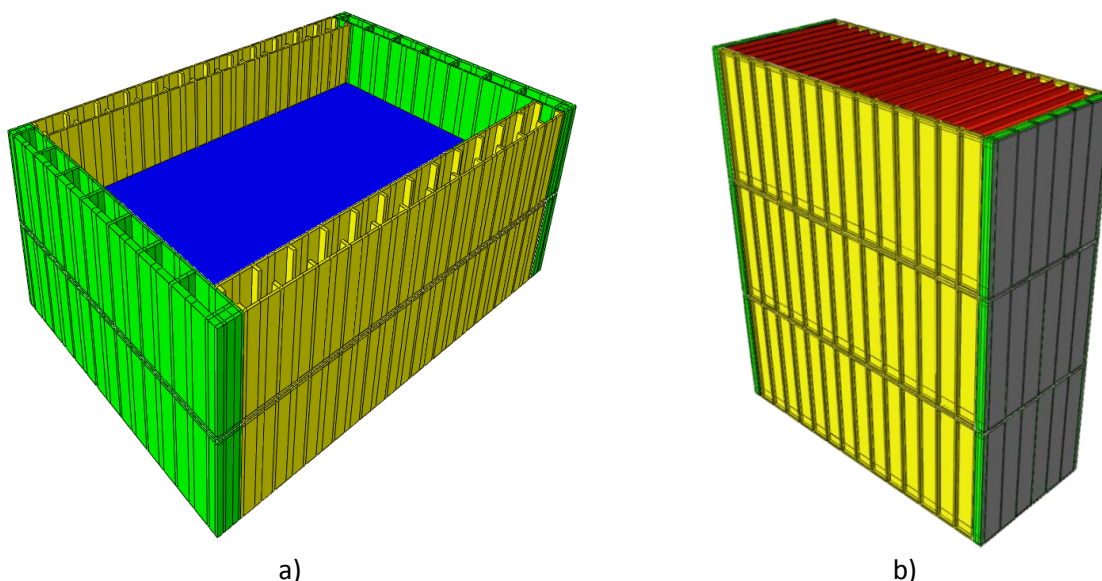
2.2 Förutse flanktransmission i volymelement med trästomme

(Ansvarig: Delphine Bard)

Det är viktigt för industrin att få tillgång till verktyg med vilka det är möjligt att förutsäga den färdiga konstruktionens akustiska egenskaper, både gällande luft och stegljud samt vibrationer. Finit element (FE) modellering kan användas för detta. I WP 3 har en metodik för FE-modellering av volymelement med lättbyggnadsstomme utvecklats. En utförlig beskrivning av genomförda tester och resultat från dessa finns i [17].

För att minimera ljudtransmission mellan ovanför varandra liggande lägenheter i bostadshus med en stomme av volymelement har undertaket i lägenheten nedanför i det nedre volymelementet och bjälklaget i lägenheten ovanför i det övre volymelementet separerats. För att ytterligare minska transmissionen av ljud och vibrationer mellan volymelementen läggs dämpande elastiska mellanlägg på upplagen i skarven mellan volymelementen. Mellanlägg kan vara kontinuerliga yttäckande, bandformade eller mindre blockformade bitar och monteras mellan volymelementen som ställs ovanpå varandra.

Till FE-modellen behövs noggranna data för de ingående materialen och hur de kopplas samman. Här har volymelement med lättbyggnadsstomme och dämpande elastiska mellanlägg bestående av Sylodynblock med storleken $95 \times 100 \text{ mm}^2$ och centrumavståndet 600 mm modellerats. Mellanläggens verkningsätt studerades separat för en knutpunkt och experimentella data användes för att kalibrera FE-modellen. För att fånga det verkliga beteendet för mellanläggen utvecklades en mer detaljerad viskoelastisk materialmodell. De övriga ingående materialen i volymelementen inkluderas i FE-modellen och värden för materialegenskaperna erhöles direkt från tillverkare eller från egna experiment och litteratur. Modelleringen av kopplingar mellan de olika delarna studerades och förbättrades, se Figur 22 a). Inverkan av innesluten luft i hålrum i bjälklag och väggar i FE modellen studerades också och resultaten visar att luften betydelse för lokala effekter mellan bjälklag och undertak. Däremot måste isoleringen (isolering plus luft) också inkluderas i modellen eftersom ljudöverföringen annars överskattas. Men med rätt ingångsdata kan en modell med god överensstämmelse med uppmätta värden åstadkommas. För en FE modell som inkluderar flera volymelement enligt Figur 22 b) krävs dock att modellens storlek reduceras för att minska beräkningstiden, utan att för den skull förlora information. En metodik för hur en sådan FE modell, för en "hel" byggnad, kan reduceras med hjälp av substrukturering har tagits fram. Den utökade FE modellens funktion måste dock ytterligare verifieras och kalibreras med hjälp av experimentella resultat från mätningar på flera sammankopplade verkliga volymelement.



Figur 22. a) FE-modell av två sammankopplade halva volymentelement för att studera knutpunktens verkningsätt och b) FE-modell av tre hela volymentelement som ställts ovanpå varandra.

2.3 Mätningar och utvärdering av vägda sammanfattningsvärden

(Ansvarig: Klas Hagberg)

De statistiska metoder som utgör basen för ljudmätningar och utvärdering av vägda sammanfattningsvärden i dagens standarder har brister när frekvensband utanför det statistiska området kommer att bestämma det utvärderade entalsvärdet. I [18] beskrivs en undersökning av detta och nedan ges en förenklad bild av innehållet i artikeln med vissa resultat.

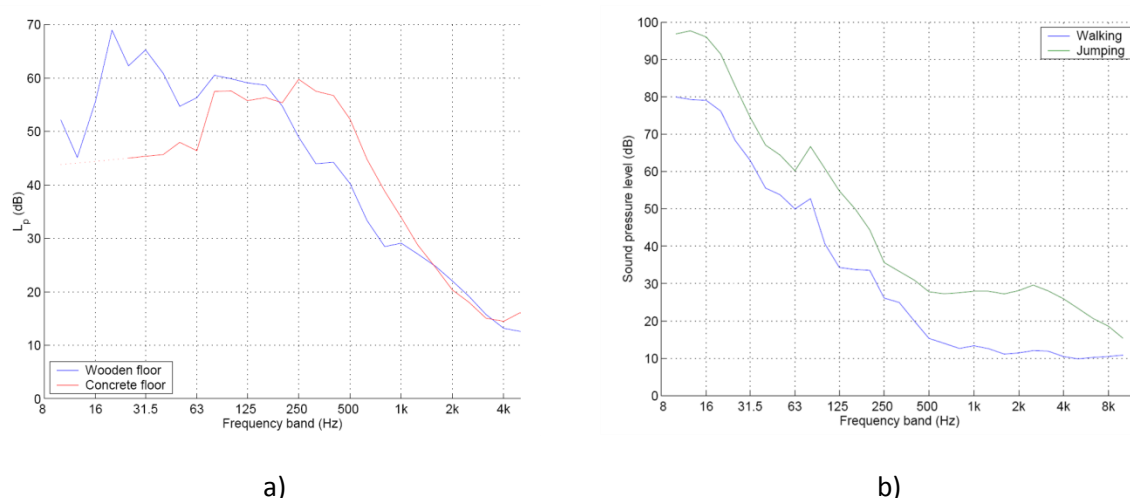
Vid mätning av efterklangstid i rum i byggnader med lätta konstruktioner blir den statistiska fördelningen för frekvenser under 100 Hz "bredare" än för högre frekvenser, vilket innebär betydligt större osäkerhet än för de högre frekvenserna. Större osäkerhet i efterklangstidsmätningen innebär också att slutliga värden kan ge väldigt felaktig bild i enskilda frekvenser, dock inte nödvändigtvis för entalsvärden. Eftersom låga frekvenser är viktiga i lätta konstruktioner är det emellertid känsligt hur mätning och utvärdering sker, i synnerhet om dessa dominerar ljudnivån.

Volymen i mottagarrummet är ännu en viktig faktor som påverkar det slutliga resultatet. Mottagarrum är det rum i vilket man mäter den ljudnivå som uppstår till följd av ljudalstring i ett annat rum. Ljudet alstras i sändarrummet och består av ljud från antingen en högtalare (luftljud) eller en stegljudsmaskin (stegljud). Det har visat sig att spridningen ökar med ökat. Det uppstår oväntade fenomen i låga frekvenser som är svåra att förutsäga och därmed är det i dagsläget också svårt att värdera rumsvolymens betydelse. Rumsformen och fördelning av rumsabsorption torde också spela en avgörande roll.

Placeringen av ljudkällan vid mätning av stegljud (stegljudsmaskinen) har stor betydelse vid mätningar av stegljud i anisotropa bjälklag (exempelvis balkkonstruktioner) eftersom deras eftergivlighet varierar beroende på om maskinen råkar hamna på en balk eller mellan två balkar. Detta faktum ökar osäkerheten ytterligare eftersom maskinen kan hamna på balkar ena gången och mellan balk en annan gång. Alla positioner kan också hamna i ungefär samma läge i förhållande till en

balk. Vilket som är rätt är svårt att värdera och osäkerheten blir stor även om man helt följer den standardiserade metoden för mätning.

Osäkerheterna i låga frekvenser är viktigt att studera vidare i lätta konstruktioner. Vid mätning av stegljudsnivå på två olika bjälklag i laboratorium (ett betongbjälklag och ett träbjälklag) med exakt samma entalsvärde $L'_{nw} + C_{1,50-2500} = 52$ dB, kan man se att spektrum (stegljudskurvorna) ser väldigt olika ut, se Figur 23 a). Detta alltså trots att dessa två mätningar ger exakt samma värde enligt olika standarder och byggregler. Träbjälklaget uppvisar höga nivåer i låga frekvenser och betongbjälklaget något högre i höga frekvenser. Figuren intill, b), visar verkliga stegljud på ett liknande träbjälklag beroende på gång respektive hopp och det blir väldigt tydligt hur låga frekvenser verkligen dominerar.



Figur 23. a) Träbjälklag (blå linje) och betongbjälklag (röd linje) med likvärdiga egenskaper för stegljudsnivå uppmätt enligt standardiserad mätning. b) Uppmätt ljudtrycksnivå för gång (blå linje) och hopp (röd linje) på träbjälklag.

Vid väldigt låga frekvenser finns indikationer på att den subjektiva upplevelsen av ljud påtagligt förändras. Upplevelsen av tonhöjd försvinner och rena toner uppfattas mer som ett "brummande". Vid låga frekvenser kan väldigt små skillnader i ljudnivå ge väldigt stor skillnad i subjektiv upplevelse. De lätta bjälklagens egenskaper att ge höga stegljudsnivåer under 50 Hz från gångtrafik samt hörselns egenskaper att vara mer känslig för ökning i ljudnivå (över hörtröskeln) i dessa frekvenser samverkar olyckligt, vilket naturligtvis ökar risken för att störande ljudnivåer snabbt kan uppträda över vissa nivåer. Med tanke på de nivåer man kan antyda i väldigt låga frekvenser är det osäkert om det standardiserade frekvensområdet är tillräckligt.

Frågeställningar att beakta:

- Om normaliserad ljudtrycksnivå för stegljud används är det då lämpligt att använda 10 m^2 som referens ekvivalent för ljudabsorptionsarea vid låga frekvenser?
- Om standardiserad ljudtrycksnivå för stegljud används är det då lämpligt att använda efterklangstiden 0.5 s som referens efterklangstid vid låga frekvenser?
- Är det alls lämpligt att mäta efterklangstid vid låga frekvenser eller är det bättre att fastställa någon slags förlustfaktor för olika slags stomsystem?

2.4 Mätmetodik för att medelvärdesbilda ljudtrycksnivå

(Ansvarig: Christian Simmons)

En central del i alla byggakustiska mätmetoder är hur man ska bilda medelvärden av ljudtrycksnivån i ett rum. De idag föreslagna metoderna för medelvärdesbildning av ljudtrycksnivå baserar sig på olika rumsliga insamlingstekniker där en mikrofon förflyttas kontinuerligt eller är placerad i bestämda positioner i varje rum. Osäkerheten för en metod är i stor utsträckning relaterad till dess förmåga att mäta ljudtrycksnivåer enhetligt från alla delar av rummet.

Osäkerheten hos de olika metoderna har undersökts empiriskt genom att utföra mätningar i fem rum med olika akustiska förhållanden. Resultatet för de olika metoderna jämförs mot ett medelvärde för ljudtryck uppmätta med mikrofonpositioner i ett tätt rutnät inom det tillåtna mätutrymmet i samma rum. I korthet visar försöken:

- att standardavvikelserna faktiskt kan vara högre över 100 Hz än vid lägre frekvenser. 160 och 200 Hz tredje oktavbanden kan innehålla de mest osäkra resultaten
- att metoden med fasta mikrofonpositioner är praktisk och kan användas i alla typer av rum
- den speciella hörnmetoden gav högre genomsnittliga ljudtrycksnivåer och lägre slumpmässiga skillnader jämfört med andra metoder
- metoder med svepande mikrofon är svåra att tillämpa i små möblerade rum där det inte finns tillräckligt utrymme för att utföra flera oberoende mikrofonbanor – man tenderar att mäta i mitten av rummet vilket ger systematiska fel
- metoder med manuell svepning av mikrofonen kan vara känsliga för att operatören själv genererar störande bakgrundsljud
- mikrofonpunkter bör spridas över hela rummets volym

Undersökningen i sin helhet presenteras i rapporten [19] och i artikeln [20] samt i [21], som också inkluderats i [19].

3 Mål att nå - Optimera din konstruktion

3.1 Kvalitetssäkring för ljud i byggprocessen

(Ansvarig: Klas Hagberg)

Hur den slutliga ljudisoleringen mellan lägenheter påverkas under byggprocessen av ritningsunderlag, beskrivningar, utförande och kontroll på byggarbetsplatsen har undersökts i två olika byggnadsprojekt med lätta stommar av trä. Hela undersökningen och resultaten presenteras i [22], och nedan sammanfattas de viktigaste resultaten.

För flera konstruktioner är det viktigt att beakta såväl design som utförande under byggtid. Det kan vara mer eller mindre känsligt beroende på om det är helt prefabricerat eller byggt "balk för balk". För det sistnämnda fallet är själva byggprocessen mer viktig eftersom det byggs helt på plats, medan helt prefabricerade konstruktioner är kompletta från fabrik (exempelvis volymelement). Sämre stegljudsisolering än förväntad på grund av fel utförande under uppförande av stommen och stomkomplettering kan bero på följande:

- Otydliga ritningsunderlag
- Otydliga skriftliga anvisningar för känsliga detaljer som exempelvis knutpunktsförankringar
- Brist på information på byggarbetsplatsen
- Detaljer som ska kontrolleras under uppförandet saknas i checklistor
- Otydliga anvisningar för stomkompletteringsdetaljer, som till exempel icke bärande innerväggar
- Potentiella kortslutningar mellan stomdelar på grund av installationer
- Badrumsgolv med pågjutet betonggolv
- Besparingsåtgärder i form av ogenomtänkta materialbyten

För att säkerställa förväntad kvalitet behöver momenten under uppförande och stomkomplettering med ingående detaljer tydligt beskrivas i en processmanual. Endast en hög prefabriceringsgrad kan inte säkerställa en god kvalitet om inte kunskap om byggsystemet och de tillhörande viktiga detaljbeskrivningarna överförs till byggaren. Bristande kunskap leder till fel under uppförandet och stomkomplettering. I lätta konstruktioner blir sådana fel ofta inbyggda i konstruktionen och svåra att rätta till i efterhand, vilket borde mana lättbyggnadsindustrin till eftertanke.

3.2 Fältmätningar av ljud och vibrationer

(Ansvarig: Fredrik Ljunggren)

För att genomföra fältmätningar av ljud och vibrationer utformades en specifik mätmall för hur fältmätningarna inom projektet skulle utföras. Mätmallen omfattar en serie av ljud- och vibrationsmätningar med möjlighet till statistiskt säkerställda jämförelser mellan mätningar utförda på olika byggnadsobjekt, vid olika tillfällen och med olika operatörer. Mätmallen består av två delar, den första delen – *Massmätning* – gäller för alla rum som uppmäts inom ett objekt och den andra delen – *Precisionsmätning* – utförs i ett fall, mellan två lägenheter, för varje byggnadsobjekt. Antal uppmätta rum, eller lägenheter, har typiskt varierat mellan 2-10 för byggnadsobjekten. Mätmallen och utförda mätningar med resultat finns samlade i [23].

Massmätning omfattar mätning av stegljudsnivå och luftljudsisolering enligt aktuella standarder, men med utökat frekvensområde 20-5000 Hz. Även mätningar av ljud och vibrationer från impulsboll (s.k. Japanboll), som är en källa med dokumenterad energi för låga frekvenser, utförs i frekvensområdet 20-500 Hz respektive 1-500 Hz.

Precisionsmätningarna omfattar mätningar av flankvibrationer och ytvibrationer med impulsboll och stegljudsapparat som exciteringskälla inom frekvensområdena 1-500 Hz respektive 10-3150 Hz mellan två ovanför varandra liggande rum/lägenheter. Syftet med mätning av flankvibrationer är att kartlägga hur vibrationer sprider sig över knutpunkter och för ytvibrationer hur vibrationer sprids och dämpas med avseende på avstånd till exciteringskällan. Dessutom utförs en mätning av vibrationsrespons i väggarna för att bestämma väggarnas lägsta egenfrekvens, excitering utförs med gummiklubba. Bjälklagets svikt- och vibrationsegenskaper kartläggs genom att nedböjning med 1 kN statisk punktlast och punktmobiliteten i frekvensområdet 1-50 Hz mäts i bjälklagets centrum.

Fältmätningar enligt mätmallen har utförts i totalt 11 byggnadsobjekt. Målsättningen vid urvalet har varit att involvera en mångfald av aktuella byggnadstekniker, men med fokus på lätta konstruktioner. Objekten omfattar både nybyggnation och byggnader redan tagna i bruk av hyresgäster. För 10 av objekten har också subjektiva enkätundersökningar genomförts. I Tabell 7 finns en sammanställning av de inkluderade bostadsobjekten med information om typen av stomme, antal våningar och om byggnaden vid mätningstillfället var nybyggd utan hyresgäster eller om det var en befintlig byggnad med inflyttade hyresgäster.

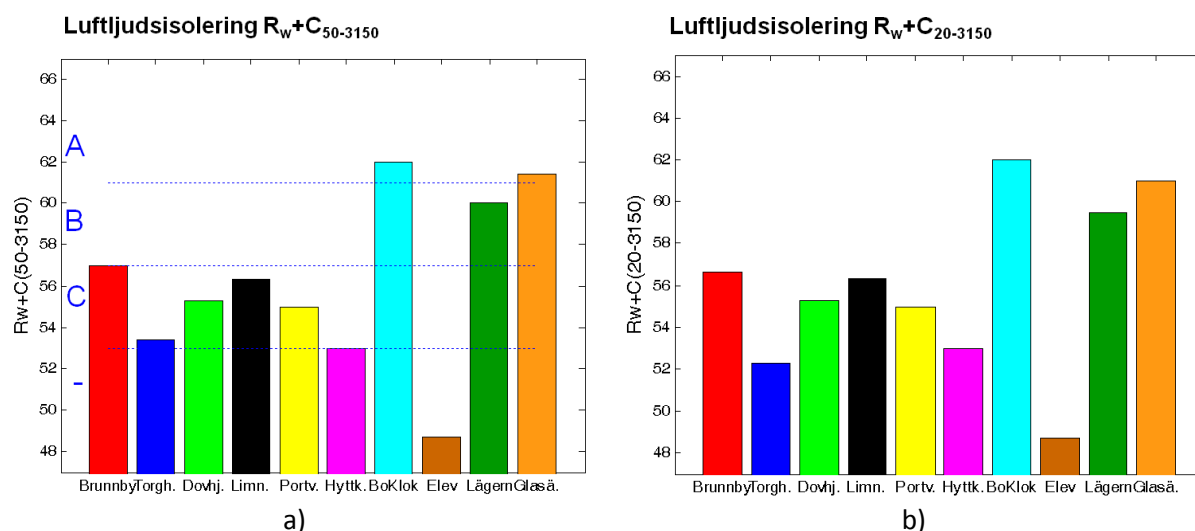
Bostadsområde Ort	Stomme och bjälklag	Antal våningar	Nybyggt	Bef. byggnad
Brunnby Park Upplands Väsby	Volymelement, träregelstomme Limträ/plywood	6	X	
Torghörnet Östervåla	Planelement, massivträ CLT , limträ	4	X	
BoKlok Alingsås	Volymelement, träregelstomme Träreglar	1-2		X
Hyttkammaren Falun	Planelement, massivträ KLH	4-5 Ovanpå p-hus		X
Lägern, Örebro	Platsbyggt, Ståregelstomme	2		X
Limnologen Växjö	Planelement, massivträ CLT , limträ	6-7 Ovanpå bottenvån. i btg.		X
Portvakten Växjö	Planelement, massivträ CLT , limträ	7 Ovanpå bottenvån. i btg.		X
Glasäpplet Varberg	Planelement, träregelstomme LVL Kerto	4	X	
Elevhem ¹⁾ Lindesberg	Planelement, träregelstomme Lättbalkar	2		X
Dovhjorten Umeå	Betong	5-8		X

¹⁾ Endast enkätundersökning om ljud har genomförts.

Tabell 7. Sammanställning av bostadsobjekt där mätningar av ljud och vibrationer enligt AkuLite mätmall har genomförts och de objekt som ingått i enkätundersökningen om ljud- och vibrationsstörning.

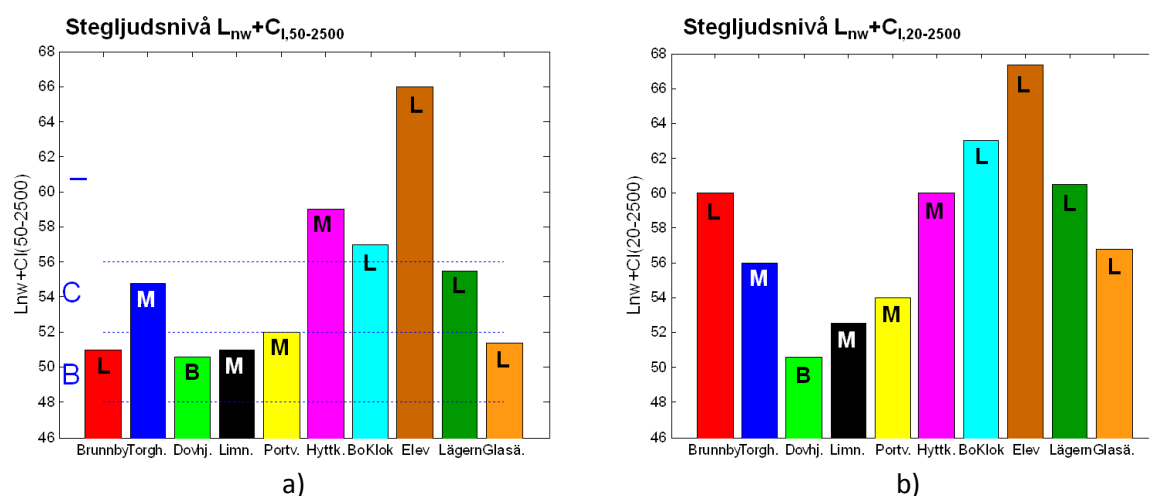
I [20] redovisas samtliga mätningar och resultat för samtliga objekt. I de följande figurerna presenteras en sammanställning för några av de uppmätta parametrarna. De olika bostadsobjekten

motsvaras av staplarna och staplarnas höjd motsvarar uppmätt värde från fältmätningarna. I Figur 24 a) visas luftljudsisolering med korrektion för frekvenser ner till 50 Hz och i b) för frekvenser ner till 20 Hz, $R'_w+C_{50-3150}$ respektive $R'_w+C_{20-3150}$. Man ser att det inte är någon större skillnad i de uppmätta nivåerna för respektive bostadsobjekt, vilket antyder att för luftljudsisolering verkar den nuvarande metoden fungera även för stommar i lättbyggnadsteknik.



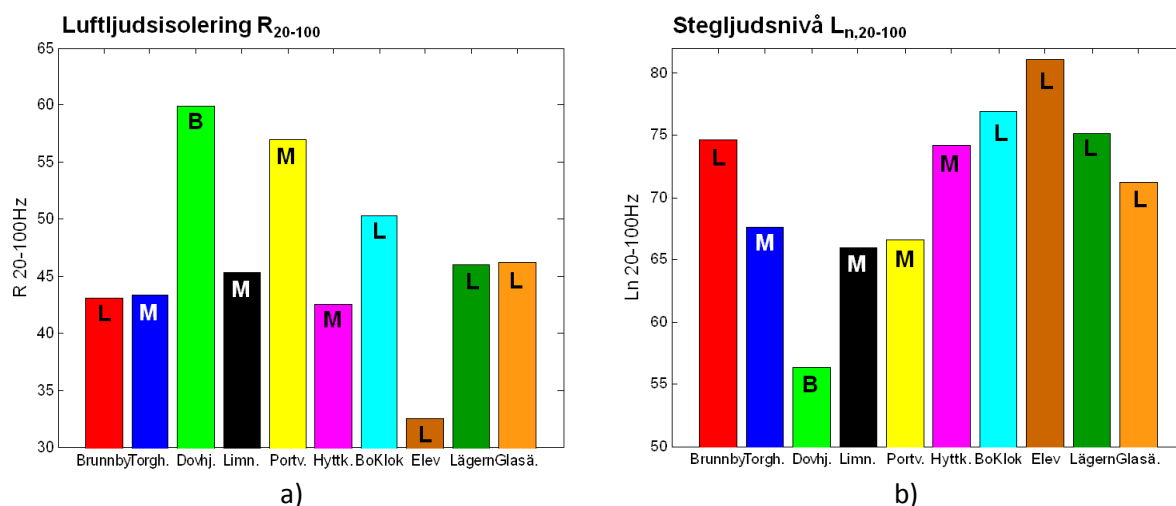
Figur 24. Luftljudsisolering med korrektion för frekvenser a) ner till 50 Hz, $R'_w+C_{50-3150}$ och b) ner till 20 Hz, $R'_w+C_{20-3150}$. Ljudklasser enligt nuvarande mät- och utvärderingsförfarande ingår i a).

I Figur 25 a) visas stegljudsnivå med korrektion för frekvenser ner till 50 Hz, $L'_{nw}+C_{1,50-2500}$, och i b) stegljudsnivå för frekvenser ner till 20 Hz, $L'_{nw}+C_{1,20-2500}$. För stegljudsnivåer med korrektion ner till 50 Hz är det fem bostadsobjekt som klarar ljudklass B och två som klarar ljudklass C, medan tre har sämre värden än ljudklass C. I Figur 25 b) ser man att en utökning av frekvensområdet ner till 20 Hz ger högre värden än de i Figur 25 a). Den största höjningen ser man för de objekt som byggts med traditionell lättbyggnadsteknik, markerade med L ovanför stapeln, medan höjningen är mindre för trästommar med massiva korslimmade skivmaterial (CLT) i bjälklagen, markerade med M ovanför stapeln. Den i vissa fall kraftiga höjningen av nivåer då frekvenser ned till 20 Hz inkluderas betyder att frekvensområdet mellan 20 och 50 Hz är viktigt att ta hänsyn till i lättbyggnadsstommar för att inte exkludera viktig information om konstruktionens verkningsätt med avseende på stegljud.

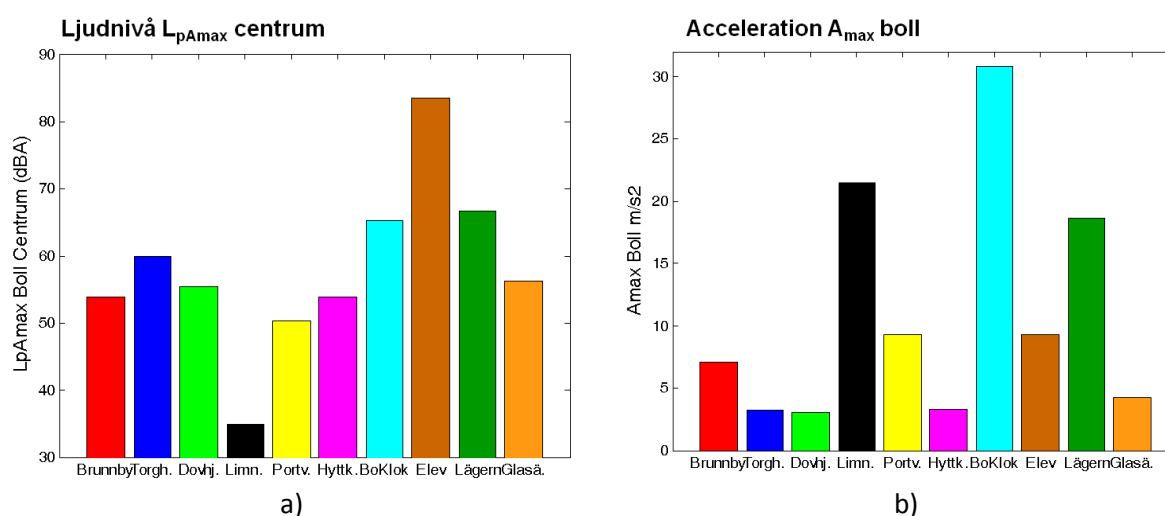


Figur 25. Stegljudsnivå med korrektion för frekvenser a) ner till 50 Hz, $L'_{nw}+C_{1,50-2500}$ och b) ner till 20 Hz, $L'_{nw}+C_{1,20-2500}$. Ljudklasser enligt nuvarande mät- och utvärderingsförfarande ingår i a).

I Figur 26 a) visas uppmätt luftljudsisolering och i b) stegljudsnivå för frekvenser mellan 20 till 100 Hz, R_{20-100} respektive $L'_{n,20-100}$. Stegljudsnivåerna i b) förstärker ytterligare det faktum att låga frekvenser, 20 till 100 Hz, är viktiga för lätta byggnader. Nivåerna är betydligt högre än i betonghuset. Liknande tendens, om än inte fullt lika tydlig, kan ses för luftljudsisolering, vilket betyder att betonghus har bättre luftljudsisolering för låga frekvenser jämfört med lätta byggnader.



Figur 26. a) Luftljudsisolering för frekvenser från 20 till 100 Hz, R_{20-100} och b) stegljudsnivå för frekvenser från 20 till 100 Hz, $L'_{n,20-100}$.



Figur 27. a) A-vägd ljudnivå vid excitering med impulsboll i centrum av rummet, L'_{pAmax} och b) maximal acceleration i bjälklaget exciterad med impulsboll, A_{max} .

I Figur 27 a) visas A-vägd ljudnivå vid excitering med impulsboll i centrum av sändarrummet och mikrofonposition i centrum av mottagarrummet i våningen nedanför, L'_{pAmax} , och i b) maximal acceleration i sändarrumets golv exciterad med impulsboll i samma exciteringspunkt som i a), A_{max} . Mätningarna visar bland annat att accelerationsnivåerna i golvets yta inte är jämförbara med den alstrade ljudnivån i rummet nedanför.

3.3 Korreleringar av enkätsvar och mätningar av ljud

(Ansvariga: Fredrik Ljunggren, Christian Simmons och Klas Hagberg)

De erhållna resultaten av korrelationsanalyserna måste tolkas med hänsyn till de ingående byggnadstyperna och att endast ett fåtal bostadsobjekt har kartlagts, vilket betyder att urvalet av byggnader och boende inte varit slumpmässigt och att de flesta skillnader inte blir statistiskt signifikanta. Det gäller både för bostadsobjekten med tidigare utförda mätningar och de där fältmätningar enligt AkuLite mätmall utförts. Andra källor till osäkerhet för de objekt där fältmätningar enligt AkuLite mätmall utförts är att i vissa bostadsobjekt har mätningar utförts endast i ett fåtal rum och att det finns problem med mätnoggrannheten vid låga frekvenser. I artikeln [21] beskrivs korrelationsanalyserna och resultaten från denna mer utförligt.

Byggnader där AkuLite fältmätningar genomförts

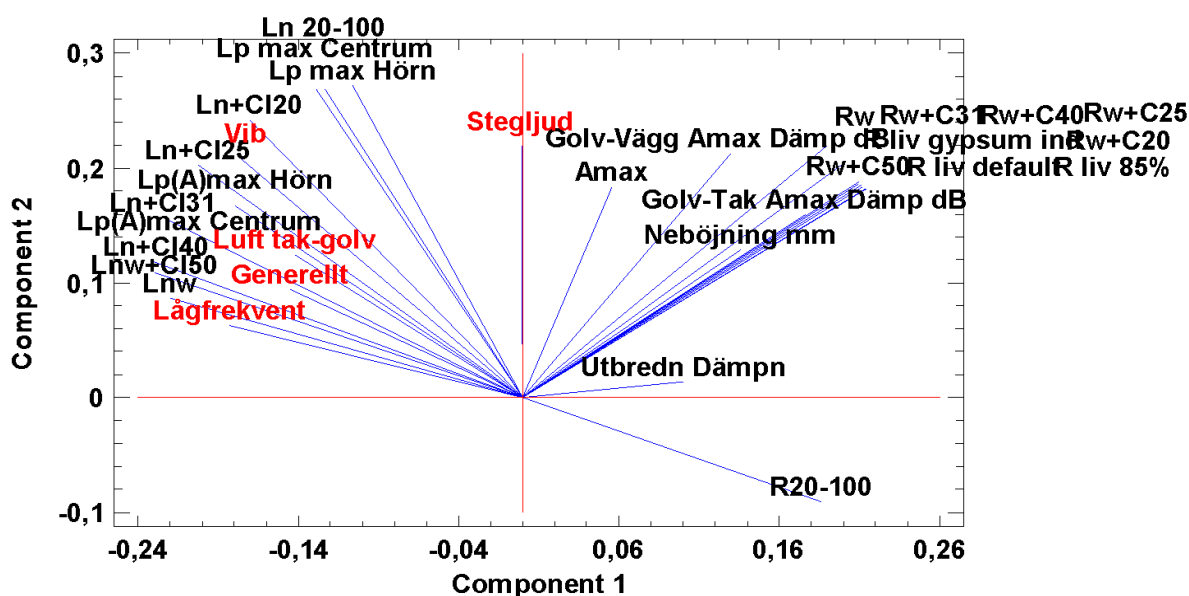
För att hitta samband mellan de boendes subjektiva upplevelse av ljudmiljön och de faktiska uppmätta resultaten för olika akustiska mått från fältmätningarna har korrelationsanalyser på insamlade data för de tio inkluderade bostadsobjekten utförts. Från enkätundersökningen inkluderades fem subjektiva parametrar, fyra frågor om upplevd störning från grannar beträffande luftljud, lågfrekvent ljud, stegljud och vibrationer och en allmän fråga om störning av ljud. Det är samma frågor för vilka resultaten redovisas i stapeldiagram i Figur 14 och Figur 15. Från fältmätningarna enligt AkuLite mätmall inkluderades sammanlagt 26 objektiva parametrar enligt Tabell 8. Det är olika akustiska mått för luftljudsisolering, stegljudsnivå exciterad med hammarapparat, ljud och vibrationer exciterade med impulsboll samt statisk nedböjning i bjälklagen.

Stegljudsnivå (excitering med hammarapparat)	Ljudnivå (frekvensområde 20-500 Hz) (excitering med impulsboll)
1. $L'_{n,w}$	18. $L'_{\max}$ (centrum)
2. $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	19. $L'_{A,\max}$ (centrum)
3. $L'_{n,w} + C_{1,40-2500}$	20. $L'_{\max}$ (hörn)
4. $L'_{n,w} + C_{1,31-2500}$	21. $L'_{A,\max}$ (hörn)
5. $L'_{n,w} + C_{1,25-2500}$	Vibrationer (frekvensområde 1-500 Hz) (excitering med impulsboll)
6. $L'_{n,w} + C_{1,20-2500}$	22. $A_{\max}$ (medel av de två mätpunkterna)
7. $L'_{n,20-100}$	Flankvibrationer (frekvensområde 1-500 Hz) (excitering med impulsboll)
Luftljudsisolering (excitering med högtalare)	23. $A_{\max}$, dämpning golv-tak (dB)
8. R'_w	24. $A_{\max}$, dämpning golv-vägg (dB)
9. $R'_w + C_{50-3150}$	Ytvibrationer på golv (frekvensområde 1-500 Hz) (excitering med impulsboll)
10. $R'_w + C_{40-3150}$	25. Dämpning/meter
11. $R'_w + C_{31-3150}$	Statisk nedböjning
12. $R'_w + C_{25-3150}$	26. Nedböjning (mm)
13. $R'_w + C_{20-3150}$	
14. R'_{20-100}	
15. R'_{living}	
16. $R'_{\text{living}85\%}$	
17. $R'_{\text{livingGypsumInd}}$	

Tabell 8. Objektiva parametrar enligt AkuLite mätmall från fältmätningarna som inkluderades i korrelationsanalysen.

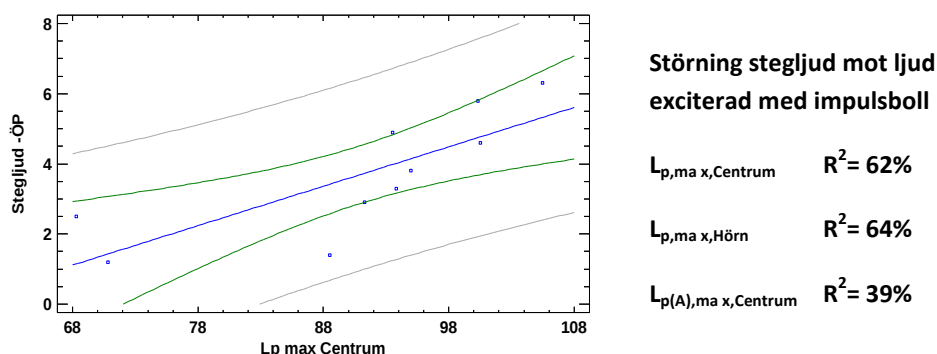
För att se hur alla parametrar förhåller sig till varandra och för att göra ett urval av kombinationer av parametrar för vilka en fördjupad analys utfördes en principalkomponent analys (PCA). Resultat presenteras i Figur 28. I korthet kan ett sådant diagram tolkas som att parametrar som befinner sig

nära varandra (t.ex. i samma kvadrant) uppvisar sinsemellan positiv korrelation medan det för parametrar som befinner sig i motsatt del av diagrammet (t.ex. i diagonalt motstående kvadrant) är negativ korrelation. Frågorna från enkäten har angivits med röd text och de akustiska måtten med svart text.



Figur 28. Principalkomponent analys, PCA, för alla parametrar och frågor som inkluderats i korrelationsanalyserna.

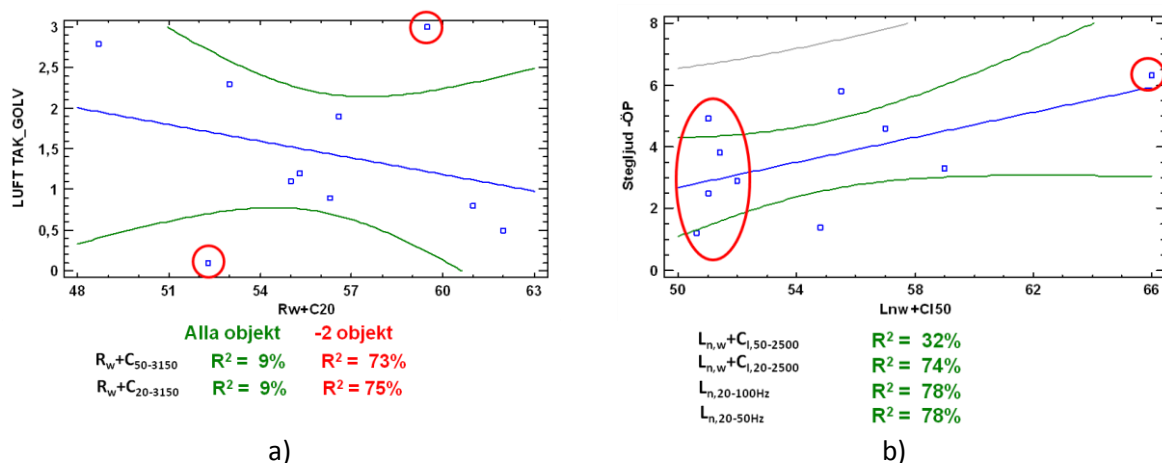
För intressanta kombinationer av parametrar utfördes en linjär regressionsanalys. Figur 29 visar regressionsanalysen mellan stegljud och ljudnivå exciterad med impulsboll. På den vertikala axeln visas den störningsgrad som boende i medeltal angett för den aktuella frågan och på den horisontella axeln visas det uppmätta värdet för det aktuella akustiska måttet. De olika bostadsobjekten har markerats med rektanglar, där den blå linjen anger det linjära sambandet mellan frågan och den akustiska parametern och de gröna linjerna markerar gränsen för 95 % konfidensintervall. Regressionsanalysens förklaringsgrad visas med R^2 -värdet som anger i vilken grad som den subjektiva upplevelsen hos de boende kan förklaras med den objektiva parametern. I figuren presenteras R^2 -värden för olika positioner för mätning av max linjär och A-vägd ljudnivå, i centrum av rummet eller i hörn. Position för mätningen har inte så stor betydelse, medan däremot ljudnivå utan vägning ger bäst korrelation mot upplevd störning av stegljud.



Figur 29. Regressionsanalys för parameterkombinationen störning stegljud mot ljud exciterad ned impulsboll. R^2 -värden för olika positioner för mätning av max linjär och A-vägd ljudnivå, i centrum av rummet eller i hörn.

Figur 30 a) visar regressionsanalyser för upplevd störningsgrad för luftljud i förhållande till uppmätt luftljudsisolering med korrektion ner till 50 respektive 20 Hz. Figur 22 b) visar motsvarande för

upplevd störningsgrad för stegljud i förhållande till stegljudsnivå med korrektion ner till 50 Hz respektive 20 Hz. Förklaringsgraden R^2 mellan upplevd störning av luftljud och uppmätta värden för luftljudsisolering med korrektion ner till 50 Hz i Figur 30 a) är endast 9 %. Två av bostadsobjekten, markerade med röda cirklar, ligger utanför gränserna för 95 % konfidensintervall. Det är Torghörnet, där det bor mest äldre personer, och Lägern, som är studentboende där alla boende är yngre. Dessa objekt valdes att exkluderas från analysen enligt resonemanget att de äldre inte störs eftersom de inte lever på ett sådant sätt att de alstrar speciellt mycket ljud och kanske också hör dåligt. De yngre däremot alstrar sannolikt mer störande ljud varvid grannarna också blir mer störda. En ny regressionsanalys höjde förklaringsgraden R^2 till 73 %. För luftljudsisolering med korrektion ner till 20 Hz blev förklaringsgraden R^2 bara 9 % med samtliga bostadsobjekt inkluderade i analysen, men 75 % efter att Torghörnet och Lägern exkluderats. Eftersom förklaringsgraden blir lika stor med båda korrektionstermerna betyder det att en lägsta frekvens om 50 Hz för luftljudsisolering fungerar relativt bra och att undersökningen inte ger något stöd för att utöka frekvensområdet nedanför 50 Hz.



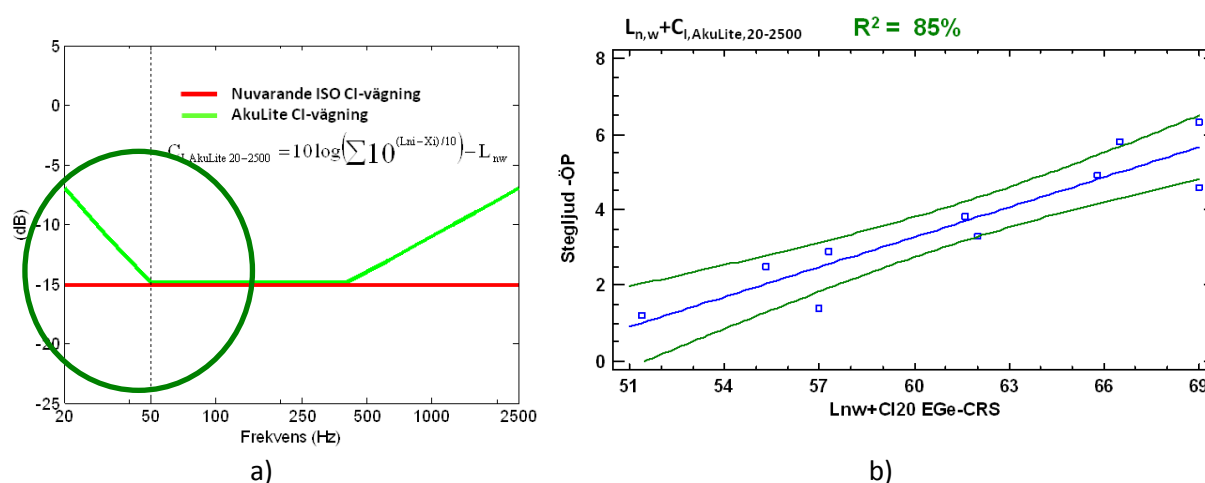
Figur 30. Regressionsanalys för parameterkombinationerna a) luftljud och b) stegljud. R^2 -värden för regressioner med olika korrektionsfaktorer har inkluderats under diagrammen.

I Figur 30 b) visas resultaten för regressionsanalysen för upplevd störningsgrad för stegljud i förhållande till uppmätt stegljudsnivå exciterad med hammarapparat. I analyserna för stegljud har samtliga enkätsvar från boende på översta våningen tagits bort då dessa inte har någon granne ovanför. För stegljudsnivå med korrektion ner till 50 Hz blir förklaringsgraden R^2 32 %. Värdet bestäms i hög grad av det bostadsobjektet som har det högsta värdet för stegljudsnivå, markerad med röd cirkel längst upp till höger i diagrammet. Osäkerheten ökar också av att det är liten spridning på nivåerna för objekten med lägre stegljudsnivåer, se resultat inom den röda ellipsen i figuren. Förklaringsgraden är lägre än för excitering av stegljud med impulsboll. Om en korrektion ner till 20 Hz utförs blir förklaringsgraden 74 %, vilket är en avsevärd förbättring jämfört med stegljud med korrektion ned till 50 Hz. Det är tydligt att frekvensområdet ner till 20 Hz är viktigt för upplevelsen av stegljudsnivå. För att ytterligare betona de låga frekvensernas betydelse utfördes en regressionsanalys för stegljudsnivå enbart för frekvenser 20-100 Hz, men också bara för 20-50 Hz. I båda fallen blev förklaringsgraden R^2 78 %, vilket betyder att för stegljudsnivå tycks det viktigaste frekvensområdet för upplevd störning i lätta konstruktioner finnas inom 20-100 Hz eller t.o.m. inom 20-50 Hz. Dessutom visar analysen att om en korrektion längre ned i frekvens utförs för excitering med hammarapparat blir förklaringsgraden högre än för excitering med impulsboll, vilket också stärks av resultaten från lyssningsförsök utförda i laboratorium presenterade tidigare i avsnitt 1.1.2.

För korrektion $C_{I,50-2500}$ i AkuLite utförs viktningen av frekvenser ned till 50 Hz efter den horisontella röda linjen i Figur 31 och viktningen ned till 20 Hz har utförts utefter samma horisontella linje. Eftersom frekvensområdet 20-50 Hz har så stor betydelse för upplevelsen av stegljud kunde en skärpt viktning av det frekvensområdet vara aktuell. Ett förslag på en sådan viktning med korrektionstermen $C_{I,AkuLite20-2500}$ enligt:

$$C_{I,AkuLite20-2500} = 10 \log \left(\sum 10^{(L_{ni}-X_i)/10} \right) - L_{nw} \quad (1)$$

visas med den lutande gröna linjen mellan 20 och 50 Hz. En regressionsanalys mot upplevd stegljudsstörning ger en förklaringsgrad på 85 %, vilket visas i Figur 31 b). Resultaten stärks också av resultaten från lyssningsförsök utförda i laboratorium presenterade tidigare i avsnitt 1.1.1.



Figur 31. a) Viktning av frekvenser med $C_{I,50-2500}$ enligt nuvarande metod ned till 50 Hz och som alternativ ned till 20 Hz (röd linje) och enligt skärpt förslag för viktning med $C_{I,AkuLite20-2500}$ (grön linje). b) Regressionsanalys för stegljud viktad enligt skärpt förslag för frekvenser mellan 20 och 50 Hz.

Om stegljud från 20 Hz skulle inkluderas i regelverket för ljudkrav berörs inte betonghus eftersom dagens krav på mätningar från 50 Hz täcker in de frekvenser som är viktiga för stegljud i betongkonstruktioner. Massivträkonstruktioner skulle inte heller påverkas av en sådan sänkning av frekvensområdet, medan däremot byggsystem med traditionell lättbyggnadsteknik i det scenariot står inför en betydande utmaning.

3.4 Korreleringar av enkätsvar och mätningar av vibrationer

(Ansvariga Kirsi Jarnerö, Delphine Bard och Christian Simmons)

På samma sätt som för korreleringarna av enkätsvar och mätningar av ljud måste de erhållna resultaten av korrelationsanalyserna för vibrationer tolkas med hänsyn till de ingående byggnadstyperna och att endast ett fåtal bostadsobjekt har kartlagts. Andra källor till osäkerhet, förutom att i vissa bostadsobjekt har mätningar utförts endast i ett fåtal rum eller endast i ett rum per objekt, är att mätmetoderna för mätning av vibrationsegenskaper och svikt inte är standardiserade. Det innebär att de uppmätta värdena kanske inte alltid är helt jämförbara när de utförts och utvärderats av olika personer. Dessutom innebär avsaknaden av standardiserade metoder att några av de objektiva parametrar som används i korrelationerna inte är uppmätta med en metodik som är avsedd för att utvärdera något annat än bjälklagets vibrationsegenskaper, vilket

gör att osäkerheten hos parametern är större än den skulle varit om en anpassad metodik skulle använts.

Byggnader där AkuLite fältmätningar genomförts

För att hitta samband mellan de boendes subjektiva upplevelse av svikt och vibrationer i sin bostad och de faktiska uppmätta värdena för olika mått från fältmätningarna utfördes korrelationsanalyser och en principal komponent analys (PCA) på insamlade data för nio av de aktuella bostadsobjekten. Mer utförliga resultat och beskrivning finns presenterade i [11]. Från enkätundersökningen inkluderades alla frågor om upplevd störning och från fältmätningarna enligt AkuLite mätmall, den statiska nedböjningen d i en punkt på mitten av bjälklaget belastad med en punktlast, och den totalt högsta accelerationen A_{max} i bjälklaget exciterad med impulsboll i mitten av bjälklaget, parametrarna 26 respektive 22 i Tabell 8 ovan. Från mätningen med impulsboll extraherades också den första egenfrekvensen f_1 för det exciterade bjälklaget.

Då nedböjningen d och den första egenfrekvensen f_1 motsvarar värden i bara ett rum i varje område, kombinerades de med bjälklagens spännvidd L till styvhetsvärden representativa för fler bjälklag i objekten. Nedböjningen kombinerad med spännvidd d_L bestämdes ur uttrycket för att beräkna nedböjningen för en fritt upplagd balk belastad med en punktlast i mitten genom att dividera nedböjningen med spännvidden upphöjt till tre enligt:

$$\frac{d}{L^3} = \frac{P}{48 EI} \quad (2)$$

På samma sätt bestämdes första egenfrekvensen kombinerad med spännvidd $f_1 L$ ur uttrycket för beräkning av egenfrekvensen för en fritt upplagd balk genom att multiplicera frekvensen med spännvidden upphöjt till två enligt:

$$f_1 L^2 = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{EI}{m}} \quad (3)$$

Även spännvidden L inkluderades som objektiv parameter i analyserna.

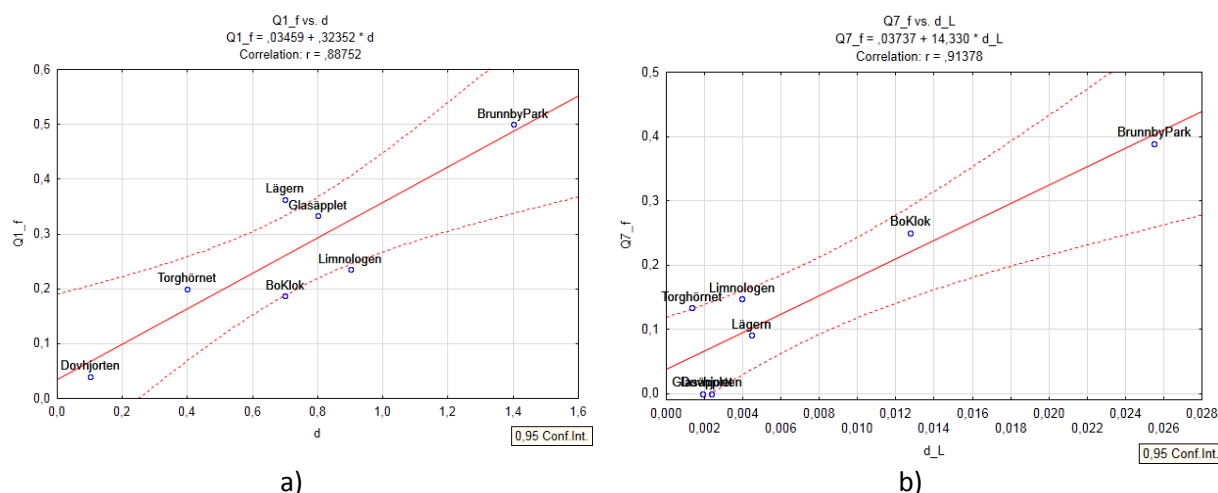
Som mått på de boendes upplevda störning användes andelen boende som angett 3 eller högre som störningsgrad i enkäten, fraktion ≥ 3 . Alla frågor i enkäten analyserades utom frågan om hur känslig man anser sig vara för vibrationer. En linjär regressionsanalys utfördes för alla kombinationer av frågor och objektiva parametrar. I Tabell 9 presenteras regressionsanalysens förklaringsgrad, R^2 -värdet för samtliga kombinationer. Därefter följer en presentation av de viktigaste resultaten, analyser och resultat presenteras i sin helhet i AkuLite rapport 6 [13].

Frakt ≥ 3	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q13
d	78.8%	40.1%	59.7%	54.3%	30.3%	22.0%	53.5%	10.5%	35.4%	50.4%	40.9%	33.5%
f_1	24.7%	27.7%	2.4%	8.1%	32.3%	5.7%	4.9%	12.3%	0.4%	12.3%	13.2%	15.6%
A_{max}	0.4%	24.1%	17.4%	0.7%	14.2%	15.1%	4.2%	11.9%	25.8%	0.3%	0.02%	37.8%
L	9.2%	0.1%	17.6%	3.0%	8.4%	20.7%	2.5%	1.9%	2.7%	0.01%	4.2%	9.8%
d_L	37.5%	37.2%	61.4%	79.7%	22.8%	65.5%	83.5%	12.1%	37.2%	63.2%	13.5%	47.4%
$f_1 L$	0.4%	0.5%	0.1%	0.5%	1.1%	15.4%	0.2%	20.6%	3.9%	0.1%	5.5%	13.3%

Tabell 9. Regressionsanalysens förklaringsgrad, R^2 -värdet, för alla kombinationer av frågor och objektiva parametrar.

Både med ledning av R^2 -värden och en närmare analys av respektive regressionsdiagram kunde inte de undersökta parametrarna L , A_{max} , f_1 eller $f_1 L$ bedömas förutsäga de boendes störning av vibrationer eller svikt. Med ledning av beräknad förklaringsgrad R^2 har både nedböjningen d och

nedböjning i kombination med spännvidd d_L höga värden. I Figur 32 presenteras regressionsdiagram för d och d_L . På den vertikala axeln visas andelen störda mer än 3 för den aktuella frågan och på den horisontella axeln visas det uppmätta värdet för den aktuella objektiva parametern. De olika bostadsobjekten har markerats med cirklar, den röda heldragna linjen anger det linjära sambandet mellan frågan och den objektiva parametern och de streckade röda linjerna markerar gränsen för 95 % konfidensintervall. I diagrammet anges också korrelationskoefficienten r mellan den aktuella frågan och den aktuella objektiva parametern, vilket motsvarar kvadratroten av förklaringsgraden R^2 .



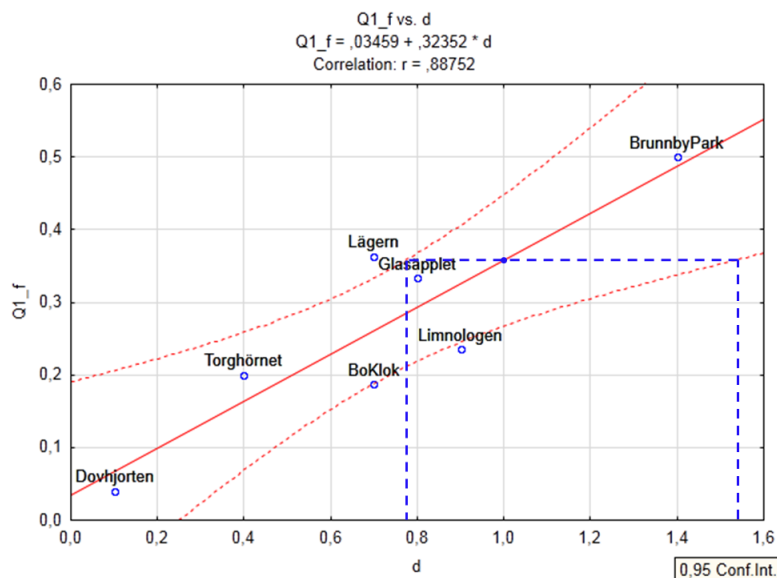
Figur 32. a) Regressionsdiagram för andelen boende störda mer än 3 för fråga 1 och nedböjning d ($Q1_f$ vs. d) och b) Regressionsdiagram för andelen boende störda mer än 3 för fråga 7 och nedböjning d kombinerad med spännvidd d_L ($Q7_f$ vs. d_L).

I Figur 32 a) presenteras regressionsdiagram för d och fråga 1 om generell störning av vibrationer. För kombinationen av fråga 1 med de olika parametrarna har d det högsta R^2 -värdet på 78.8 %, vilket också är det högsta för parametern d totalt sett. Värdena för d i de olika bostadsobjekten och de boendes störningsgrad ligger väl spridda i diagrammet vilket tyder på att nedböjningen kan bedömas förutsäga de boendes störning för vibrationer ganska väl. I Figur 32 b) presenteras regressionsdiagrammet för d_L och fråga 7 om rörelser i möbler eller föremål då den boende själv eller någon annan går på bjälklaget. Värdena för bostadsobjekten Brunby Park och BoKlok bestämmer i hög grad regressionslinjens lutning och bidrar också till det höga R^2 -värdet. De övriga bostadsobjekten är samlade i det nedre vänstra hörnet, vilket inte är bra med avseende på regressionens eller R^2 -värdets tillförlitlighet. Med hänsyn till detta är d en bättre parameter än d_L på att förutsäga boendes störning för vibrationer.

Om man jämför Figur 32 b) och de sammanställda resultaten från enkätundersökningen i Tabell 6 har bostadsobjekten Brunby Park och BoKlok mycket röda och gula markeringar, vilket betyder att de boende är mer störda med avseende på vibrationer. Den bärande stommen i bjälklagen skiljer sig åt mellan de olika objekten, i Brunby Park och BoKlok består bjälklagen av mer traditionella lätta typer av bjälklagskonstruktioner med golvreglar och spånskivor, medan bjälklagen i de övriga objekten i större utsträckning inkluderar mer förädlade produkter som LVL, CLT och limträ eller stålreglar.

Den viktigaste slutsatsen från korrelationsanalyserna är att deformationen d orsakad av en koncentrerad punktlast på mitten av bjälklaget är den parameter som bäst kan förutsäga störning av vibrationer. Alla bjälklagen i undersökningen uppfyller deformationskravet för träbjälklag i de

svenska bygg- och konstruktionsreglerna. Kravet är en största tillåten nedböjning på 1,5 mm vid belastning med 1 kN punktlast på mitten av bjälklaget.



Figur 33. Regressionsdiagram för fråga 1 och nedböjning d med gränser för 0.95 konfidensintervall markerade för olika nedböjningsvärden.

Med utgångspunkt från regressionslinjen för de boendes omdömen av allmän störning av vibrationer och nedböjningen d ser man i Figur 33 att 1,5 mm nedböjning resulterar i att 52 % av de boende är "något störda, störda eller mycket störda". Det är en stor andel och pekar på att det gällande deformationskravet borde skärpas. Om ambitionen är att 20 % av de boende blir "något störda, störda eller mycket störda" skulle nedböjningen behöva begränsas till 0.5 mm. Det i sin tur skulle kräva en ökning av styvhet i bjälklaget med 44 % med hänsyn till punktlastkriteriet. Ett gränsvärde på 1.0 mm för nedböjning skulle innebära att 36 % av de boende skulle vara "något störda, störda eller mycket störda" och då motsvara en ökning av styvheten i bjälklaget med 14 %. En rimlig avvägning kanske ligger någonstans däremellan.

Resultatet kanske inte är förvånande eftersom de metoder och gränsvärden som används idag utvecklades vid en tidpunkt då träbjälklag mest användes i enbostadshus. Denna undersökning har genomförts i flerbostadshus och det är uppenbart att toleransen för störande vibrationer är lägre hos de boende, även om det inte är klart om störningen orsakas av grannar. För att kunna föreslå tillförlitliga nya gränsvärden för vibrationer behövs mer data, vilket innebär att både fler mätningar och undersökningar måste utföras i fler byggnader. För att få mer tillförlitliga mätvärden för bjälklagens vibrationsegenskaper måste en gemensam metod för mätning och utvärdering av egenfrekvenser och accelerationsnivåer utvecklas och helst standardiseras.

4 Vad kommer resultaten att innebära för ekonomi, design och kundtillfredsställelse?

(Ansvariga: Matilda Höök och Kirsi Jarnerö)

I samband med projektets slutseminarium, med presentationer av framkomna resultat, hölls en workshop med temat "Vad tror ni att detta kommer att innebära med avseende på ekonomi, design och kundtillfredsställelse?". Industriparter och forskningsutförare delades in i fem grupper som fritt diskuterade kring temat. Övningen avslutades med en gemensam sammanfattning av gruppernas synpunkter. Under rubrikerna "Ekonomi", "Design" och "Kundtillfredsställelse" nedan ges en sammanfattning av de olika synpunkter som kom upp under diskussionerna.

4.1 Ekonomi

Resultaten i Akuliteprojektet visar på konkreta resultat på frågeställningar som ofta kommer upp i samband med att lättbyggande jämförs med konstruktioner i betong. Kunskapen om att frekvensområdet ner till 20 Hz är viktigt för ljudisoleringen i hus byggda med lättbyggnadsteknik kan innebära att konkurrenterna får vatten på sin kvarn i argumentationen om att stommar i lättbyggnadsteknik med trä inte är lika bra akustiskt sett. Samtidigt innebär kunskapen att det är möjligt för tillverkande företag att förbättra och utveckla sina produkter och därmed höja kvaliteten. Kvalitetshöjningen innebär sannolikt dyrare produkter, men den ökar samtidigt konkurrenskraften. Även om kostnaden för den enskilda produkten blir högre minskar en ökad kunskap risken för misstag. Konstruktionerna blir säkrare och mer kostnader, såsom laboratorietester i utvecklingsskedet, utredning i byggskedet samt korrigerande åtgärder av felaktiga konstruktioner, minskar. Trots risken för ökade kostnader, finns det därmed även potential till att branschen mer eller mindre blir tvingade till att ta fram lösningar och kvalitetsförbättrande åtgärder, som även de boende bör kunna se ett positivt utfall utifrån.

Sverige var föregångsland i frågan om ljudkrav när anpassningen ned till 50 Hz genomfördes. Erfarenheten från den skärpningen av ljudkrav var att konstruktionerna förbättrades och industrin stärktes i och med en ökad konkurrenskraft. Att ta hänsyn till frekvensområdet ned till 20 Hz skulle kunna ge samma effekt och på sikt också innebära fördelar för exporten av lättbyggnadssystem.

De aktörer som väljer att inte anpassa sina produkter till effekterna i frekvensområdet mellan 20 och 50 Hz riskerar att försvinna från marknaden då deras produkter har sämre prestanda. Eftersom dessa produkter troligtvis är billigare kan det i ett övergångsskede, i kombination med ett ökat byggande i trä, finnas en risk för att förtroendet för träkonstruktioner skadas om det byggs för många projekt där ljudisoleringen misslyckas. För att minimera den risken behöver hela industrin, även de som inte deltagit i Akulite-projektet, informeras om hur betydelsefullt det låga frekvensområdet är för stegljudskvaliteten. Även byggherrar, entreprenörer och projektörer behöver informeras för att de ska kunna förstå fördelarna med och begära produkter som tar hänsyn till frekvensområdet ner till 20 Hz. Det innebär att den framkomna forskningen måste göras begriplig och de akustiska egenskaperna för en stomme i trä beskrivas på ett sätt som är lätt att förstå även för de som inte är akustiker. Till exempel skulle befintliga tabeller med beskrivning av ljudisolering kunna anpassas till resultaten från Akulite-projektet.

En viktig aspekt vid marknadsföring av träbyggande är att fokusera mindre på de dåliga ljudegenskaperna hos träkonstruktioner och mer på fördelarna med hänsyn till miljöaspekter, snabbt montage, lätt stomsystem vid förtätning av områden och ekonomi, om det är aktuellt. Då en jämförelse med betong görs bör de båda systemens för- och nackdelar med avseende på ljud sakligt presenteras för att inte inge några falska förhoppningar gällande prestanda. Eftersom olika kunder har olika krav (t.ex. äldreboenden och studentboenden skiljer sig från bostadsrätter i flerfamiljshus), skiljer sig också argumenten för vad kunden grundar sitt val av stomme på. Det finns också de som redan bestämt sig för en trästomme om t.ex. miljöaspekten är ett viktigt argument.

4.2 Design

Projektet har bl.a. gett en klar bild av hammarapparatens funktion för stommar av trä jämfört med stommar av betong. Kunskapen om hur det är möjligt att mäta för att verifiera funktionen för produkter gör att det kan bli lättare att utveckla produkterna samtidigt som de färdiga konstruktionerna blir bättre och säkrare med avseende på ljudegenskaper.

Med hjälp av den ökade kunskapen om träkonstruktioners verkningssätt med avseende på stegljud får projektörer ett tydligare dimensioneringsunderlag vilket gör det enklare att projektera fungerande konstruktioner. Det i sin tur kan ge mer kostnadseffektiva produkter eftersom utredningskostnaderna i utvecklingsskedet i form av laboratorieförsök minskar.

Att det är viktigt att ta hänsyn till frekvensområdet ner till 20 Hz i hus byggda med lättbyggnadsteknik, innebär att de befintliga byggsystemen på marknaden antagligen måste förbättras mer eller mindre. Det finns inte bara en lösning utan lösningarna måste anpassas till de enskilda byggsystemen då förutsättningarna är olika för olika system. Potential för nya innovationer finns, såsom nya materialkombinationer, samverkanskonstruktioner, kanske tyngre konstruktioner, samt nya lösningar för knutpunkter/anslutningar mellan byggnadselement. Nya innovativa lösningar kan dessutom stärka konkurrenskraften på marknaden.

Det kan ta lång tid att påverka Boverket till att ändra ljudkraven. Boverkets krav är dessutom minimikrav för komfort. Eftersom kunskapen finns skulle den föreslagna viktningen för stegljud i lågfrekvensområdet kunna börja användas av de som vill eller som en branschgemensam överenskommelse, parallellt med att ett eventuellt arbete för att påverka Boverket och standardiseringskommittéer genomförs. För att kompensera för en dyrare produkt och förbättra konkurrenskraften på marknaden för de som tar hänsyn till och uppfyller överenskomna krav i lågfrekvensområdet, skulle en kvalitetsmärkning av produkten kunna vara ett alternativ.

Resultat framkomna i Akulite-projektet skulle kunna bidra till att mer fördelaktiga tekniska lösningar väljs, med avseende på akustik och att gamla misstag inte upprepas. Det finns ett behov av hjälpmedel och anvisningar för egenkontroll av akustiska egenskaper för exempelvis entreprenörer, men också ett behov av tydliga tillverkningsanvisningar för detaljer som påverkar den slutliga akustiska kvaliteten.

4.3 Kundtillfredsställelse

När det gäller byggande med trä är det tydligt att entreprenörer och byggherrar på marknaden framförallt efterfrågar eller oroar sig över väderskydd under byggtiden och om ljudisoleringen i den färdiga byggnaden blir tillräckligt bra. Med kunskap om att frekvensområdet ner till 20 Hz är viktigt för ljudisoleringen i hus byggda med lättbyggnadsteknik, kan byggnader med bättre akustiska egenskaper byggas och de boendes upplevelse av ljudkvaliteten höjas vilket därmed också skulle kunna höja kundtillfredsställelsen. Om produkterna får säkrare akustiska egenskaper och tilliten till produkterna ökar kan kanske fokuseringen på ljud som ett problem i diskussioner om stomval med beställare, entreprenörer och projektörer, till och med förändras till att ses som positiva mervärden. Entreprenörer skulle kunna begå färre misstag med avseende på akustiska egenskaper, fastighetsägare skulle kunna erhålla mer pålitliga och driftsäkra byggnader och de boende skulle kunna få en ökad boendestandard. För fastighetsägare och bostadsrättsinnehavare blir en investering i en bostad med stomme av trä därmed ett säkrare alternativ, eftersom en bättre akustisk kvalitet kan höja andrahandsvärdet vid försäljning.

Fortsättningsvis behöver ytterligare undersökningar utföras för att få mer kunskap och underlag inom akustik och vibrationer för konstruktioner i lättbyggnadsteknik. För att uppnå detta krävs att industrin är villig att stå till förfogande med byggprojekt där t.ex. enkätundersökningar och andra tester kan utföras.

Referenser

- [1] Thorsson, P., Subjective evaluation of footstep noise on lightweight structures – Design of a laboratory experiment, Proceedings of Forum Acusticum 2011, Aalborg, 2011
- [2] Thorsson, P., Resultat från lyssningsförsök i laboratoriemiljö, AkuLite Report 7, Chalmers Report S13:01, SP Rapport 2012:35
- [3] Sjökvist, L-G., Jarnerö, K., Olsson, A., Subjective response to vibrations in timber floors, Proceedings of Forum Acusticum 2011, Aalborg, Danmark
- [4] Bard, D., Jarnerö, K., Montero, J. N., Sjökvist, L-G., Trollé, A., Physical and psycho-vibratory testing of wooden floors, AkuLite Rapport 4, SP Rapport 2012:29
- [5] Montero, J. N., Jarnerö, K., Trollé, A., Bard, D., Sjökvist, L-G., Psycho-Vibratory Evaluation of Timber Floors - Part I: Existing Criteria, Measurement Protocol and Analysis of Objective Data, Submitted to Acta Acoustica
- [6] Bard, D., Jarnerö, K., Montero, J. N., Sjökvist, L-G., Trollé, A., Physical and psycho-vibratory testing of wooden floors – Merged tests SP and LU, AkuLite Rapport 5, SP Rapport 2013:25
- [7] Trollé, Sjökvist, L-G., Jarnerö, K., A., Montero, J. N., Bard, D., Psycho-Vibratory Evaluation of Timber Floors - Part II: Towards the determination of an indicator of vibration acceptability / annoyance, Acta Acoustica 2013
- [8] EN 1995-1-1:2004: Eurocode 5, Design of timber structures Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings, European Committee for Standardization, Brussels, 2004

- [9] L. J. Hu, Y. H. Chui, Development of a design method to control vibrations induced by normal walking action in wood-based floors. Proceedings of the 8th 1027 World Conference on Timber Engineering, Lahti, Finland, 2004
- [10] J. D. Dolan, T. M. Murray, J. R. Johnsson, D. Runte, B. C. Shue, Preventing annoying wood floor vibrations. Journal of Structural Engineering 125(1) (1999) 19–24.
- [11] C., Simmons, K., Hagberg, E., Backman, Acoustical Performance of Apartment Buildings – Resident’s Survey and Field Measurements, AkuLite Report 2, SP Report 2011:58
- [12] Ljunggren, F., Backman, E., Data från byggakustiska fältmätningar och enkätundersökningar i flerfamiljshus, AkuLite Rapport 8, LTU Rapport 2013, SP Rapport 2013:10
- [13] K., Jarnerö, D., Bard, C., Simmons, Vibration Performance of Apartments Buildings with Lightweight Framework – Residents’ Survey and Field Measurements, AkuLite Rapport 6, SP Rapport 2013: 17, ISBN 978-91-87461-02-6
- [14] Amirarahmadi, N., Kropp, W., Bard, D., Larsson, K., Time-domain model of a tapping machine, Proceedings of Forum Acusticum 2011, Aalborg, 2011
- [15] Amirarahmadi, N., Kropp, W., Larsson, K., Low-frequency floor vibrations induced by footsteps, Submitted to Acta Acustica
- [16] Amirarahmadi, N., Kropp, W., Larsson, K., Application of LMS algorithm to measure low frequency transient forces from human walking, Submitted to Acta Acustica
- [17] Bard, D., Negreira, JM., Finite element modeling of a Timber Volume Element based building with elastic layer isolators, AkuLite Report 11, SP Rapport 2013:27
- [18] Hagberg, K., Thorsson, P., Uncertainties in standard impact sound measurement and evaluation procedure applied to light weight structures, Proceedings of the 20th International Congress on Acoustics, ICA 2010, Sydney, Australia
- [19] Simmons, C., Uncertainties of room average sound pressure levels measured in the field according to the draft standard ISO 16283-1, AkuLite Report 3, SP Report 2012:28
- [20] Simmons, C., Uncertainties of room average sound pressure levels measured in the field according to the draft standard ISO 16283-1, Noise Control Engr. J. 60 (4), July-August 2012
- [21] Simmons, C., Nya fältmättningsmetoder från ISO, Bygg & teknik, nr 3 April 2012
- [22] Hagberg, K., Rofail, M., Bard, D., Acoustically robust light weight constructions require controlled building process, Proceedings of Inter Noise 2011, Osaka, Japan
- [23] Ljunggren, F., Backman, E., Data från byggakustiska fältmätningar och enkätundersökningar i flerfamiljshus, AkuLite Report 8, SP Report 2013:10
- [24] Ljunggren, F., Simmons, C., Hagberg, K., Findings from the AkuLite project: Correlation between measured vibro-acoustic parameters and subjective perception in lightweight buildings, Proceedings of Internoise 2013, Innsbruck, Austria

AkuLite rapporter

Det nationella projektet AkuLite – Akustik och vibrationer i lätta byggnader har redovisats i en särskild rapportserie, se nedanstående lista

Rapport nummer			Rapportrubrik	Författare	Digital version
Aku Lite	SP Rapport	Annan institution			
1	2011:10	-	Ljudisolering i trähus – en handbok för konstruktörer	Sten Ljunggren	Only paper version, to be ordered at www.sp.se/sv/publications/Sidor/Publikationer.aspx?PublId=12043
2	2011:58	-	Acoustical Performance of Apartment Buildings – Resident's Survey and Field Measurements	Christian Simmons Klas Hagberg Erik Backman	www.sp.se/en/publications/Sidor/Publikationer.aspx?PublId=12866
3	2012:28	-	Uncertainties of room average sound pressure levels measured in the field according to the draft standard ISO 16283-1	Christian Simmons	www.sp.se/en/publications/Sidor/Publikationer.aspx?PublId=13734
4	2012:29	-	Physical and psycho-vibratory testing of wooden floors	Delphine Bard Kirsi Jarnerö Juan Negreira L-G Sjökvist Arnaud Trollé	www.sp.se/en/publications/Sidor/Publikationer.aspx?PublId=13757
5	2013:25	-	Psycho-vibratory evaluation of timber floors – Existent criteria, measurement protocols, analysis of objective data and determination of design indicators of vibration acceptability and vibration annoyance	Juan Negreira Arnaud Trollé Kirsi Jarnerö L-G Sjökvist Delphine Bard	www.sp.se/en/publications/Sidor/Publikationer.aspx?PublId=15075
6	2013:17	-	Vibration Performance of Apartment Buildings with Wooden Lightweight Frame-work – Residents Survey and Field Measurements	Kirsi Jarnerö Delphine Bard Christian Simmons	www.sp.se/en/publications/Sidor/Publikationer.aspx?PublId=15031
7	2013:35	Chalmers Report 2013:5	Laboratory Listening Tests	Pontus Thorsson	www.sp.se/en/publications/Sidor/Publikationer.aspx?PublId=15190
8	2013:10	LTU Rapport 2013	Data från byggakustiska fältmätningar och enkätundersökningar i flerfamiljshus	Fredrik Ljunggren Erik Backman	www.sp.se/sv/publications/Sidor/Publikationer.aspx?RapportId=14975
9		-	Nytt entalsvärde för stegljud – Rapport till standardiseringen för ISO 16717 och COST TU 0901	Klas Hagberg Christian Simmons	Not available yet
10	2013:41	-	Tre exempel på akustiklösningar i träbyggande	Klas Hagberg	www.sp.se/sv/publications/Sidor/Publikationer.aspx?PublId=15475
11	2013:27	-	Finite Element Modelling of a Timber Volume Element Based Building with Elastic Layer Isolators	Juan Negreira Delphine Bard	www.sp.se/en/publications/Sidor/Publikationer.aspx?PublId=15083
12	2013:26	-	AkuLite – Sammanställning av resultat för industrin	Kirsi Jarnerö Matilda Höök Klas Hagberg	www.sp.se/sv/publications/Sidor/Publikationer.aspx?PublId=15076

AkuLite – Deltagare och kort information

Projektet AkuLite pågick från december 2009 till början av 2013. Bakgrunden till projektet är att flervåningshus med lätt stomme blir allt vanligare. Drivkrafter är hållbarhet, industrialisering och kostnadseffektivitet inom byggsektorn. Ljud- och vibrationsstörningar hos de boende kan dock förekomma, trots att kraven i byggreglerna uppfylls. Regelverken är utformade för att passa tunga byggsystem och därmed blir dimensioneringsförutsättningarna inte rättvisa när de tillämpas på lätta konstruktioner.

AkuLites huvudfokus har varit att ta fram till nya värderingsmått för ljudisolering så att lättbyggnadsindustrin har rätt utgångspunkter när de utvecklar nya byggsystem.

Målen för AkuLite

Nya objektiva mått Målet är att utveckla objektiva mått för ljudisolering, stegljudsnivå, vibrationer och svikt oberoende av vilken typ av stommsystem som används i byggnaden. Med nya mått för utvärdering av ljudisolering, vibrationer och svikt, kommer olika konstruktioner inom en och samma ljudklass (A, B eller C) att uppvisa någorlunda lika värdering av subjektiv upplevelse.	Kompetensutveckling Målet är att upprätthålla och vidareutveckla kompetensen inom området byggnadsakustik (särskilt för lätta konstruktioner) vid de deltagande forskningsorganisationerna på lång sikt Utökat samarbete Målet är att öka samarbetet mellan aktörer i innovationssystemet, universitet, institut, konsulter och näringsliv.	Kunskap för ökad konkurrenskraft Målet är att öka kunskapsbasen inom industrin och bland konsulter för framtida utveckling och ökad konkurrenskraft för lätta konstruktioner Ny kunskap i standarder Målet är att den nya kunskapen ska komma in i nationella och internationella standarder för att stärka lättbyggnadsindustrins konkurrenskraft och underlätta handel över nationsgränser.
---	--	---

Projektdeltagare

Industriföretag CBBT, Centrum för Byggnad och Boende med Trä TCN, TräCentrum Norr TMF, Trä- och möbelföretagen Christian Berner Derome Hus EuroProfil Gyproc Götenehus Knauf Danogips Lindab Lindbäcks Bygg Martinsons Byggsystem Masonite Beams Lättelelement MHM Scandinavia Moelven Töreboda NCC via SBUF Saint – Gobain Isover SoundCon Stora Enso Timber Vidéum	Konsulter Akustikforum Akustikverkstan Björking Gårdhagen akustik Ramböhl Sverige Simmons akustik & utveckling Tyréns WSP Akustik ÅF Ljud och vibrationer Forskningsorganisationer Chalmers Linnéuniversitetet Luleå tekniska universitet Lunds tekniska högskola SP Akustik SP Trä Offentliga finansiärer FORMAS VINNOVA	Projektledning AkuLite har koordinerats av SP Sveriges tekniska forskningsinstitut Projektledare Klas Hagberg, SP Trä och WSP Industriella rådet Bengt Adolphi, ordf. Vetenskaplig rådgivare Sten Ljunggren, Prof emeritus KTH Senior advisor AkuLite Birgit Östman, SP Trä
--	---	---



Forskningsrådet för miljö, areella näringar och samhällsbyggande, Formas

AkuLite – Sammanställning av resultat för industrin

Denna rapport sammanfattar resultat från det nationella projektet AkuLite – Akustik och vibrationer i lätta byggnader.

Upplevelsen av bjälklagsvibrationer och stegljud har undersökts i både fält och laboratorium. Samband mellan uppmätta egenskaper hos undersökta byggnader/ konstruktioner och upplevd störning hos boende/ försökspersoner har analyserats. Standardiserade metoder för mätning av stegljud har utvärderats med hänsyn till lätta stomsystem.

Resultaten visar bl a att det finns en stor potential att utveckla bättre tekniska lösningar samt behov av utvidgade studier i fler byggnader.



Forskningsrådet för miljö, areella näringar
och samhällsbyggande, Formas



Stockholm • Borås • Skellefteå • Växjö
Tel: +46 10 516 50 00 • www.sp.se