



RAPPORT

FÖRBÄTTRAD LJUDISOLERING I MODULBYGGDA KONSTRUKTIONER

DEL 1- FÖRSTUDIE

2006-09-29

Fredrik Ljunggren
Avd. för Ljud och vibrationer
Luleå tekniska universitet
971 87 Luleå

Förord

Denna rapport avser rapportering av projekt *Förbättrad ljudisolering av modulbyggda konstruktioner, del 1- förstudie*. Arbetet har bedrivits av avd för Ljud och vibrationer, Luleå tekniska universitet i samarbete med Lindbäcks Bygg och med finansiellt stöd från Träcentrum Norr.

Luleå 2006-09-29

Anders Ågren, projektledare

Fredrik Ljunggren

Innehåll

Inledning	4
Forskning – litteraturöversikt	4
Ljudisolering – aktuella krav	5
Översyn och beräkning av isolerskikt mellan våningsplan	5
Tidigare utförda mätningar	8
Utförda ljudmätningar	9
Stegljudsnivå efter modifierad våningsisolering	10
Fasadbeklädnadens inverkan på stegljudsnivån	11
Utförda vibrationsmätningar	11
Transmission genom golv och vägg	11
Slutsatser	13
Referenser	14
Bilagor	16

Inledning

Tekniken med att använda modulsystem för att uppföra flerbostadshus innebär ett nytänkande. Modultänkandet bygger på att färdiga hussektioner – moduler – produceras i fabrik till näst intill komplett färdigställandegrad vad gäller inredning, installationer etc. Storleken på en modul, som kan utgöra ett komplett rum, delar av ett rum eller ibland flera rum, är anpassad för att kunna fraktas med lastbil. På byggarbetsplatsen monteras ett flertal moduler ihop till ett komplett hus.

Även om tekniken med att prefabricera hus ingalunda är ny, den är vanlig inte minst inom småhusbranschen, så är idén om modulkonstruktion för flerfamiljshus relativt ny vilket innebär att tekniken på intet sätt är fullbordad och den är också förknippad med karaktäristiska problem som behöver analyseras för att främja systemets fortsatta utveckling. En framträdande egenskap hos modulkonstruktioner – en egenskap som delas med annan lättbyggnadsteknik – är svårigheten att uppnå tillräcklig ljudisolering i lågfrekvensområdet, såväl för luft- som för stegljud. Sedan standarden för några år sedan ändrades från att ha omfattats av frekvenser ner till 100 Hz till att numera gälla ner till 50 Hz, så har problemet förstärkts.

Forskning – litteraturöversikt

Traditionellt är kunnandet inom lättbyggnadstekniken störst i de nordiska länderna tillsammans med Canada. På ljud- och vibrationssidan finns idag mycket erfarenhet framtaget över traditionella regel-, balk- och skivkonstruktioner både vad gäller teoretiska beräkningar och praktiska mätningar.

Brunskog (2003) har presenterat en modell för stegljudsberäkning samt utfört parameterstudie för lättviktsgolvs m a p stegljud. *Braganca (2003)* knyter an till temat genom att ge en generell överblick över hur olika konstruktionslösningar påverkar de akustiska egenskaperna. *Emma (2003)* tar upp problematiken inom lågfrekvensområdet för träkonstruktioner och har liksom *Hagberg (2004)* utvärderat stegljud medan *Gatland (2005)* har studerat innerväggars betydelse. *Hammer (2004)* pekar på en ny golvsstruktur med förbättrad stegljudsisolering, *Johansson (2000)* har tittat på statistiska avvikelser på ljudmätningar utförda för 170 nominellt lika trägolvs och *Parmanen (1999)* har speciellt fokuserat på ljudisolering i flerbostadshus. Inom ljudområdet så har också *Sipari (1998)* studerat trägolvs akustiska egenskaper och *Simmons (2003)* har jämfört lätta bjälklag med betongdito m a p ljudisolering.

I två aktuella doktorsavhandlingar ligger fokus både inom lågfrekvent ljud och vibrationer, *Homb (2006)*, respektive specialiserat på vibrationer, både ur ett tekniskt och mänskligt perspektiv, *Ljunggren (2006)*. Vidare inom vibrationsområdet så har *Ljunggren (2003)* studerat hur små konstruktionsändringar påverkar responsen hos ett lättviktsgolv, *Nightingale (2000)* tar upp knutpunkternas betydelse, *Salmema (2004)* behandlar egenskaperna för trägolv upplagda på stålramverk och även *Smith (2003)* har studerat vibrationer hos träbjälklag. *Hu (2004)*, slutligen, har tittat på möjligheten att utveckla en dimensioneringsmetod för, av människor, alstrade vibrationer.

I stort sett kan läget beträffande ljudegenskaper sammanfattas som så att relativt bra ljudisolering kan uppnås vid högre frekvenser med traditionella lösningar medan det sedan länge är ett känt problem att lätta konstruktioner har svårigheter att uppnå goda ljud- och vibrationsegenskaper vid låga frekvenser. Detta är en många gånger helt avgörande egenskap vid jämförelse med s k tunga konstruktioner, t ex homogena betongbjälklag. För lätta konstruktioner krävs antingen väsentligt ökad styvhet eller att massan ökas t ex med flera gipslager, sand eller ett tunt pågjutet betongskikt för att ljudisoleringen och

vibrationsegenskaperna ska bli bättre i lågfrekvensområdet. Stora osäkerheter och svårigheter finns också vid dimensioneringen av kopplingar mellan vägg och golv.

Om än lättbyggnadstekniken är beprövad i ett flertal länder så är erfarenheten av modulkonstruktioner med hela rumsmoduler i princip obefintlig ur ett internationellt perspektiv. Här ligger Sverige i täten både vad gäller produktion och utveckling. Mätningar utförda av Ingemansson Akustik och av avdelningen för Ljud och vibrationer på LTU finns, men dokumenterad forskning om ljudisolering i modulkonstruktioner saknas. Ny forskning måste fram då tillverkningssättet innebär flera helt nya akustiskt okända konstruktionslösningar.

Ljudisolering – aktuella krav

I Boverkets Byggregler BBR hänvisas för närvarande till svensk standard SS 25267 utgåva 2 för högsta tillåten normaliserad stegljudsnivå i olika klasser enligt Tabell 1, och lägsta tillåtna luftljudsisolering enligt Tabell 2. I lätta konstruktioner är det normalt stegljudsnivån som är det svåraste kravet att uppfylla. Klass A har det högsta kravet följt av klass B, C och D. Klass C anger den miniminivå som uppfyller Boverkets föreskrifter och ger ”tillfredställande ljudförhållanden för en majoritet av de boende”. Klass A och B kan väljas om särskilt goda ljudförhållanden önskas där klass B motsvarar ”betydligt bättre ljudförhållanden än ljudklass C” medan klass A motsvarar ”mycket goda ljudförhållanden”. Klass D avser bl.a. äldre byggnader.

Tabell 1. Högsta tillåtna värden för vägd stegljudsnivå, $L'_{n,w}$ och $L'_{n,w} + C_{50-2500}$, i bostadsrum från utrymme utanför lägenhet. (Från trapphus, korridor eller loftgång tillåts 6 dB högre värden).

	Klass A	Klass B	Klass C	Klass D
Högsta tillåtna stegljudsnivå $L'_{n,w}$ och $L'_{n,w} + C_{50-2500}$ (dB)	50	54	58	62

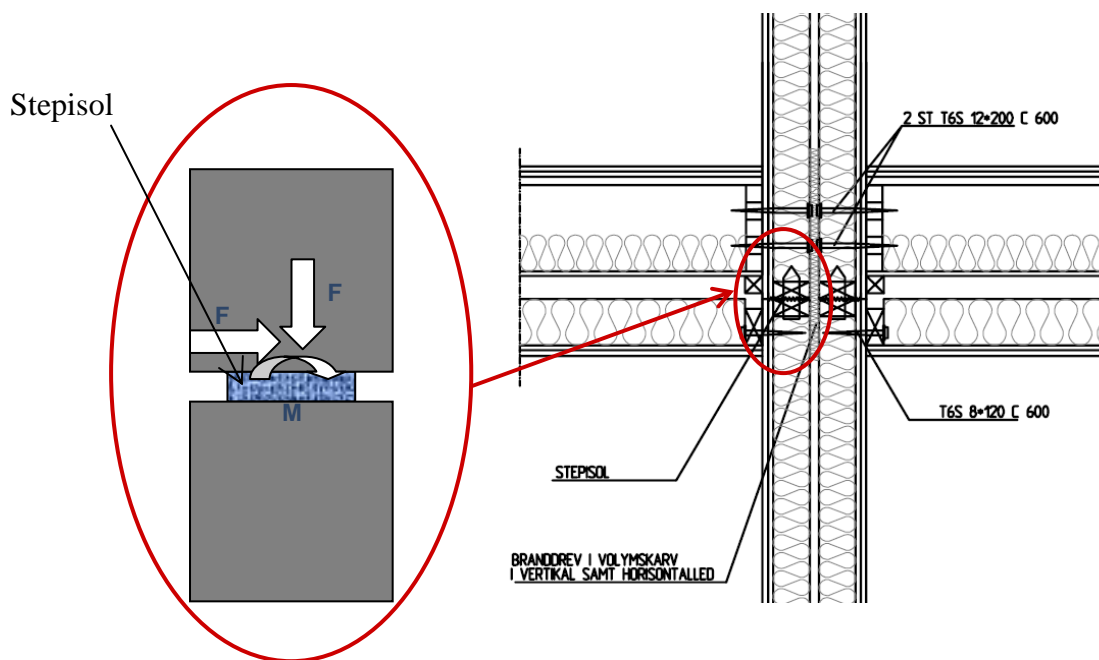
Tabell 2. Lägsta tillåtna värden för vägd luftljudsnivå, $R'_w + C_{50-3150}$ (Klass D: R_w), i bostadsrum från utrymme utanför lägenhet.

	Klass A	Klass B	Klass C	Klass D
Lägsta tillåtna luftljudsisolering $R'_w + C_{50-3150}$ (dB)	60	56	52	48

Den refererade standarden utkom 2004 i en reviderad upplaga, utgåva 3, i vilken en generell sänkning av stegljudsklasserna på 2 dB samt en generell sänkning av luftljudsklasserna på 1 dB presenteras, d v s en allmän skärpning av kraven. Det förväntas att nästkommande version av BBR kommer att hänvisa till SS 24267 utgåva 3 vilket exempelvis innebär att gränsen för att klara lagkravet för nyproducerade bostäder, d v s stegljudsklass C, blir 56 dB medan gränsen för klass B blir 52 dB.

Översyn och beräkning av isolerskikt mellan våningsplan

Vid ihopmontering av byggnadsmodulerna används en mjuk isoleringsremsa (Stepisol) som mellanskikt mellan en övre och nedre modul enligt Figur 1.



Figur 1. Knutpunkt med våningsskiljande isoleringsremsa, Stepisol.

Isoleringsremsans uppgift är att reducera vibrationsövergången mellan olika våningsplan. Tidigare erfarenhet har påvisat att två problem föreligger med nuvarande konstruktion.

- 1) Då Stepsiolen utsätts för statisk last deformerar densamma vilket leder till problem då moduler av olika tyngd monteras intill varandra. En modul innehållande kök är t ex tyngre än en sovrumsmodule. Skillnaden i tyngd, och därmed skillnad i på stepsiolens påförd last, leder till att de olika modultyperna får olika nedsjunkning. Denna nedsjunkning blir som störst för det översta planet eftersom nedsjunkningen successivt ackumuleras genom de olika våningarna. Praktiskt kan man då få en oacceptabel stor permanent golvnivåavvikelse mellan två intilliggande rum.
- 2) Då samma typ av Stepsiol används för samtliga övergångar i ett fyra våningshus kommer komprimeringen att bli som störst för övergången mellan plan 2-1 – där lasten är som störst – medan deformationen blir mindre för övergången mellan plan 4-3 – där lasten är som minst. Tidigare stegljudsmätningar har vid flera tillfällen visat en generell tendens till sämre stegljudsnivå för lägre våningsplan jämfört med högre. Det är troligt att isoleringsremsan här har en avgörande betydelse. Om den görs för mjuk i förhållande till den påförda lasten, blir komprimering för hög varvid dess fjädrande och isolerande verkan reduceras.

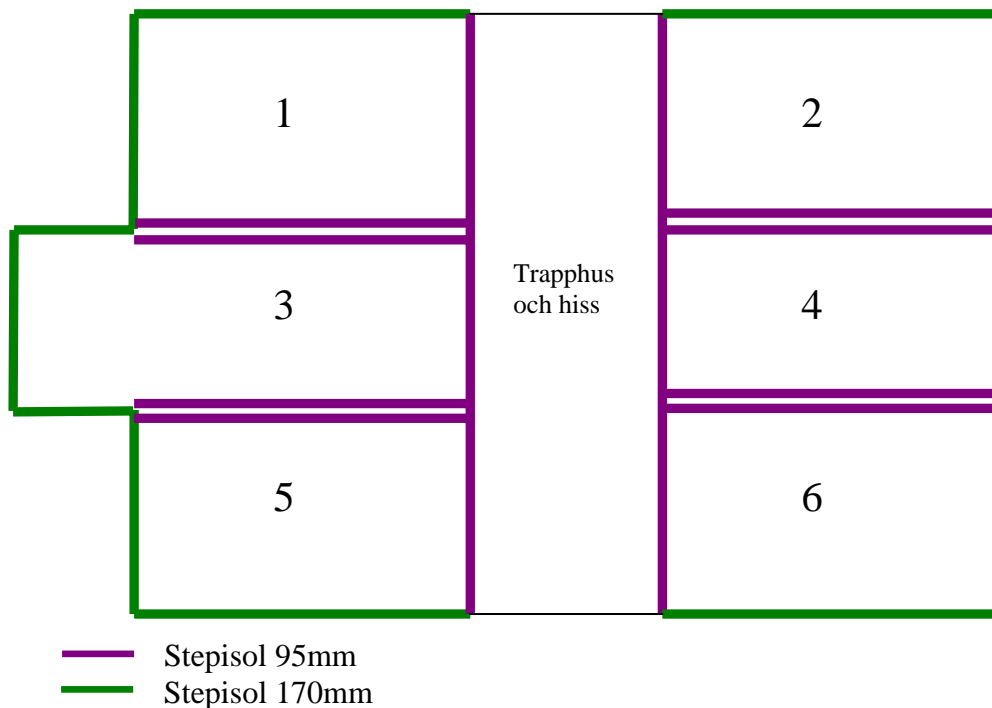
Stepsiolen finns att tillgå i två olika hårdhetsgrader, 195 resp 300 kg/m³. Enligt tidigare erfarenheter så används i dagsläget för den nedersta våningsövergången 2-1, den hårdare typen av Stepsiol, 300 kg/m³ i stället för att genomgående använda en och samma mjukare variant. Åtgärden har medfört en lägre stegljudsnivå för detta plan medan det för plan 3-2 fortfarande gäller att denna är högre än de övriga.

Inom projektet har en översyn, med enkla överslagsberäkningar, gjorts med syfte att få en bild över hur den ackumulerade nedsjunkning kan påverkas med olika val av Stepsiol. Utgångspunkt har varit ett fyra vånings bostadshus med schematiskt planutseende enligt Figur 2.

För beräkningar använda förutsättningar:

- Modulernas vikt antas vara jämt fördelad
- Modulvikt 1-6 respektive: (1: 4900, 2:4900, 3:8100, 4:6700, 5:4400, 6:4400) kg
- Takvikt 1-6 respektive: (1:2200, 2:2200, 3:2700, 4:2200, 5:2200, 6:2200) kg
- Stepisolen ersätts med en ekvivalent fjädergenskap för respektive modul
- Mellan plan 4-3 används Stepisol 195 kg/m³
- Mellan plan 3-2 och 2-1 används Stepisol 300 kg/m³
- För ytterväggar är Stepisolremsan 170mm bred, för innerväggar 95mm, enligt Figur 2
- Stepisolens tjocklek är 20mm i samtliga fall

Resultaten framgår av Tabell 3 där komprimering och ackumulerad nedsjunkning för respektive våningsplan redovisas. Det framgår att de tunga modulerna 3 och 4 leder till markant högre kompression än de övriga lättare modulerna. T ex så erhålls för våning 4-3, mellan modul 4 och 6, en skillnad i golvnivå om ca 6 mm. Om för våning 4-3, Stepisol 195 byts ut mot Stepisol 300 för modul 3 och 4, som visas i Figur 3, fås en kompressionen om 1.4 mm och därmed en minskad golvskillnadsnivå till ca 2 mm. På samma sätt hade det även varit gynnsamt att ha en ännu kraftigare Stepisol för plan 2-1, modul 3 och 4.



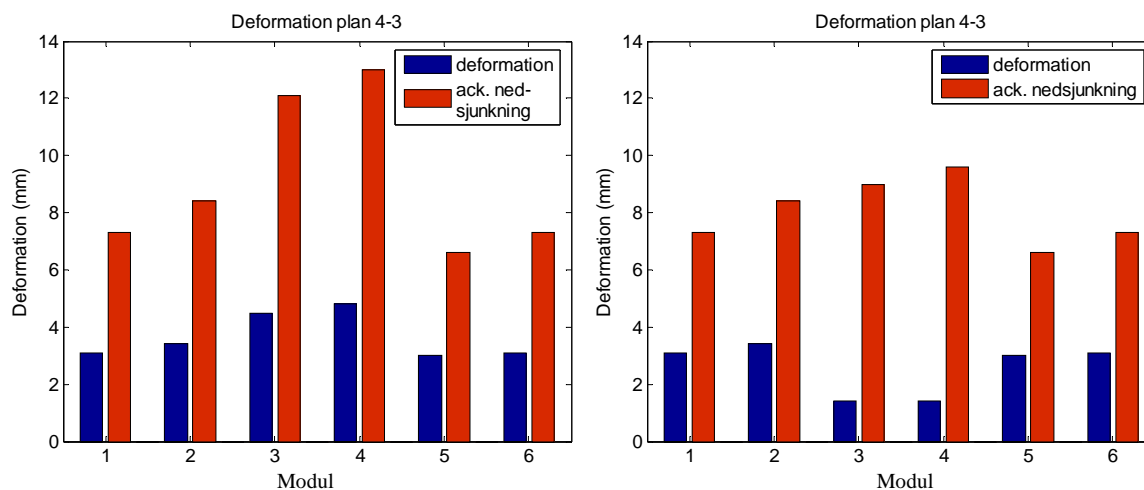
Figur 2. Skiss visande hur Stepisol av olika bredder appliceras.

Tabell 3. Beräknad komprimering och ackumulerad nedsjunkning.

Plan	Modul	Komprimering (mm)	Akkumulerad nedsjunkning (mm)
2-1	1	2.5	
	2	2.9	
	3	4.7	
	4	5.0	
	5	2.3	
	6	2.5	
3-2	1	1.7	4.2
	2	2.1	5.0
	3	2.9	7.6
	4	3.2	8.2
	5	1.3	3.6
	6	1.7	4.2
4-3	1	3.1	7.3
	2	3.4	8.4
	3	4.5*	12.1**
	4	4.8*	13.0**
	5	3.0	6.6
	6	3,1	7.3

*) Extrapolering utifrån kända data för Stepisol 195. Komprimeringen ska därför ses som en uppskattning.

**) Uppskattade värden.



Figur 3. Effekten av att för modul 3 och fyra ändra från ett mjukt isoleringsskikt (Stepisol 195), vänster, till ett hårdare (Stepisol 300), höger.

Tidigare utförda mätningar

Lindbäcks bygg har för ett flertal projekt med modulbyggande låtit genomföra luftljudsmätningar (objekt 1) och stegljudsmätningar (objekt 1-3). Mätningarna är samtliga utförda på objekt om fyra våningar;

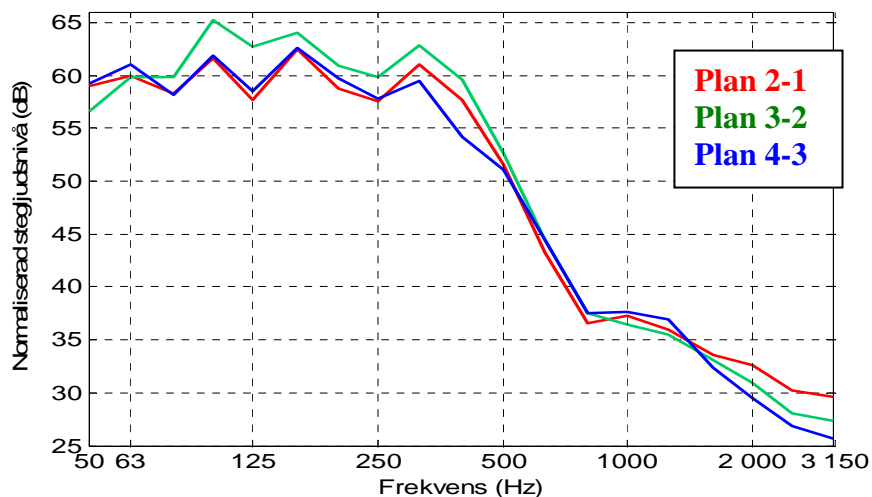
- 1) Studentbostäder på Porsön i Luleå,

- 2) Lägenheter på Kv. Talliden i Nacka, Stockholm
- 3) Lägenheter på Kv. Kanslisilket i Vällingby, Stockholm.

Mätning av objekt 1) redovisade ljudmätningar för totalt sex fall. Luftljudsisolering (vertikalled) var 55-59 dB och stegljudsnivån var 54-58 dB. Mätning av objekt 2) redovisade ljudmätningar för totalt tre fall. Stegljudsnivån för dessa var 55-57 dB. Mätning av objekt 3) redovisade ljudmätningar för totalt sex fall. Stegljudsnivån för dessa var 52-55 dB.

Samtliga ljudmätningar faller därmed inom ramen för klass B eller klass C varvid ett flertal av de individuella mätningarna ligger precis på gränsen mellan klass B och C. Om hänsyn tas till den kommande standarden, utgåva 3, kommer flertalet av mätresultaten vara gångbara för klass C, medan några av stegljudsmätningarna ej uppfyller kraven för klass C. Det ska dock påpekas att även proceduren för analys av stegljud har ändrats något i utgåva tre. Ändringen, som kan påverka slutresultatet, avser en begränsningsregel för mottagarumsvolym och skiljearea som har införts.

I Figur 4 visas hur stegljudsnivån för objekt 2) varierar mellan olika våningsplan. I det aktuella fallet använts den hårda typen av mellanliggande isoleringsremsa för våningsövergång 2-1 medan den mjukare typen återfinns på resterande plan. Det framgår att isoleringsförmågan är sämre för plan 3-2 för låga frekvenser jämfört med övriga våningsövergångar vilket leder till ökad stegljudsnivå. Med hänvisning till ovan nämnda beräkningar, stärks teorin om att ett hårdare isoleringsskikt mellan de aktuella planen skulle ha en positiv effekt på stegljudisoleringen.



Figur 4. Stegljudsnivån för tre olika plan.

Utförda ljudmätningar

Inom ramen för aktuellt projekt har stegljudsmätningar utförts på objekt 3) enligt ovan. Syftet med mätningarna var två;

- 1) Att se effekten i lågfrekvensområdet av en hårdare isoleringsremsa mellan våningsplan 3-2 som användes i det aktuella objektet
- 2) Att studera fasadbeklädnadens inverkan på stegljudsnivån, vilket var möjligt då jämförande ljudmätning var genomförd i ett tidigare stadium under byggtiden.

Det är fullt möjligt att vibrationer som alstras vid gångtrafik fortplantas till närliggande yttervägg och därefter vidare till nederliggande våning i form av ljud. Eftersom ytterväggen i

ett sådant fall utgör en transmissionsväg för vibrationerna kan fasadens utförande påverka resultatet.

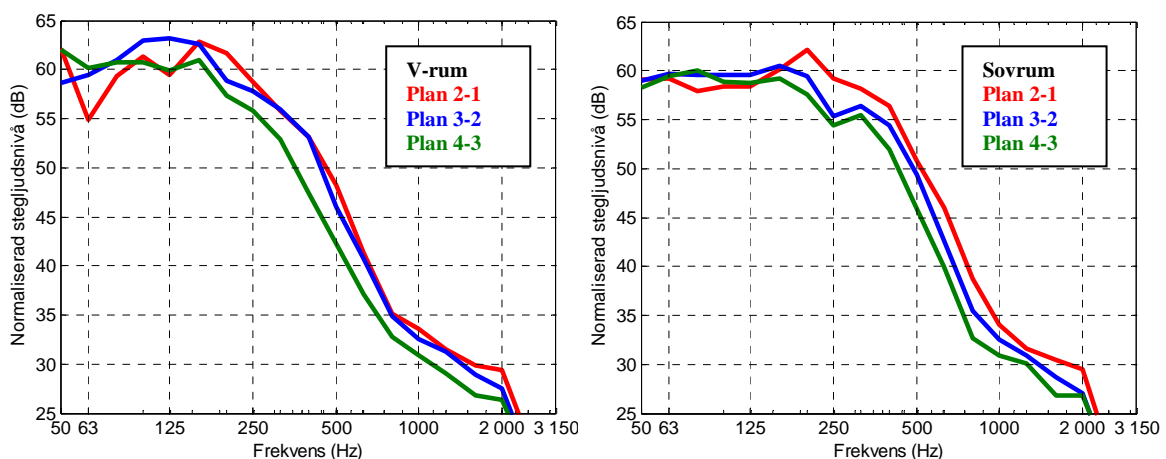
Stegljudsnivån mättes för två olika rum, ett mindre sovrum samt ett större vardagsrum, och för tre olika våningsövergångar, totalt sex fall. En standardiserad stegljudsapparat enligt Figur 5 användes för samtliga test. För respektive mätning användes fem positioner av stegljudsapparaten i kombination med fyra positioner för mätmikrofonerna, d v s 20 individuella mätningar ligger till grund för varje redovisat resultat av stegljudsnivån.



Figur 5. Standardiserad stegljudsapparat.

Stegljudsnivå efter modifierad våningsisolering

Resultaten visar att stegljudsnivån uppvisar små variationer för de uppmätta rummen, nivån ligger i samtliga rum inom 53-55 dB, se Figur 6. Det framgår också, i jämförelse med Figur 4, att stegljudsnivån varierar mindre från en våningsövergång till en annan och att inget plan direkt utmärker sig i att vara bättre eller sämre. Effekten av att använda ett hårdare isoleringsskikt för plan 3-2, med ökat bibehållande av dess fjädrande effekt, tycks ha en positiv inverkan på stegljudsnivån.



Figur 6. Stegljudsnivå, vardagsrum och sovrum. Sammanfattningsvärden vardagsrum: $L'_{n,w} + C_{i,50,2500} = 55 \text{ dB}$ (Plan 2-1), 55 dB (Plan 3-2) samt 54 dB (Plan 4-3). Sammanfattningsvärden vardagsrum: $L'_{n,w} + C_{i,50,2500} = 54 \text{ dB}$ (Plan 2-1), 54 dB (Plan 3-2) samt 53 dB (Plan 4-3).

Fasadbeklädnadens inverkan på stegljudsnivån

I den tidigare mätningen, som används som jämförelsematerial, utgjordes det yttersta fasadskiktet av utegipsskivor medan den aktuella mätningen utfördes med komplett fasad, putsbeklädd stenull. Variationen i stegljudsnivå mellan de sex fallen är i princip densamma som för tidigare mätning vilken gav 52-55 dB. I tre av de uppmätta fallen är skillnaden 1 dB medan stegljudsnivån är identiskt lika för de tre övriga fallen. Skillnaden måste anses som obetydlig och ligger inom gränsen hur en mycket en nominellt lika mätning kan skilja sig mot en annan. Det kan därmed konstateras att den använda fasadbeklädnaden inte påverkar stegljudsisoleringen. Tabell 4 visar en sammanställning av de uppmätte stegljudsnivåerna, med och utan fullständig fasadbeklädnad.

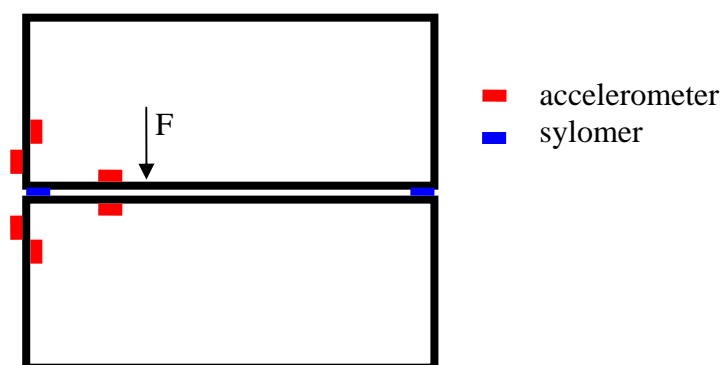
Tabell 4. Uppmätt stegljudsnivå med- och utan komplett fasadbeklädnad.

	Vardagsrum						Sovrum					
	Plan 2-1		Plan3-2		Plan 4-3		Plan 2-1		Plan3-2		Plan 4-3	
	Med	Utan	Med	Utan	Med	Utan	Med	Utan	Med	Utan	Med	Utan
$L'_{n,w}$	53	53	53	53	51	52	53	53	52	53	51	51
$C_{i,50-2500}$	2	1	2	2	3	1	1	1	2	1	2	1
$L'+C_i$	55	54	55	55	54	53	54	54	54	54	53	52
Differens	+1		±0		+1		±0		±0		+1	

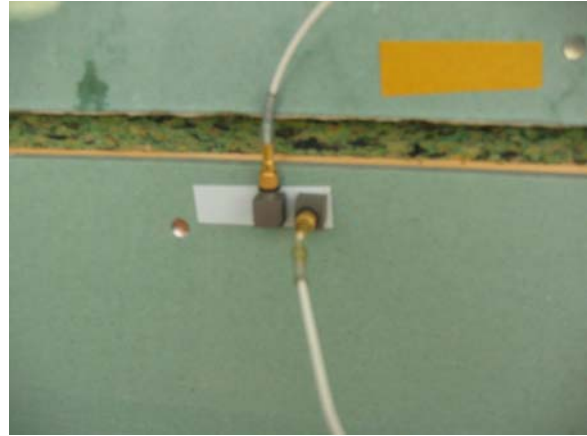
Utförda vibrationsmätningar

Transmission genom golv och vägg

En serie vibrationsmätningar har utförts på objekt 3) för att öka förståelsen för hur vibrationer, och därmed även stömljud, fortplantas från en ovanliggande modul till en undre. Med en stegljudsapparat som vibrationskälla mättes responsen för sovrummet och dessa angränsade yttervägg. Vibrationer uppmättes för samtliga våningsövergångar med totalt 12 mätningar per övergång. I sex punkter placerades två vibrationsgivare – accelerometrar – som mätte vibrationer i två riktningar, vertikalt och horisontellt. Mätpunkterna var placerade 20 cm från yttervägg/tak/golv på övre golv, övre innervägg, nedre innervägg samt nedre tak. Dessutom mättes vibrationerna på ytterväggen på övre och nedre plan. Arrangemanget visas i Figur 7-8.



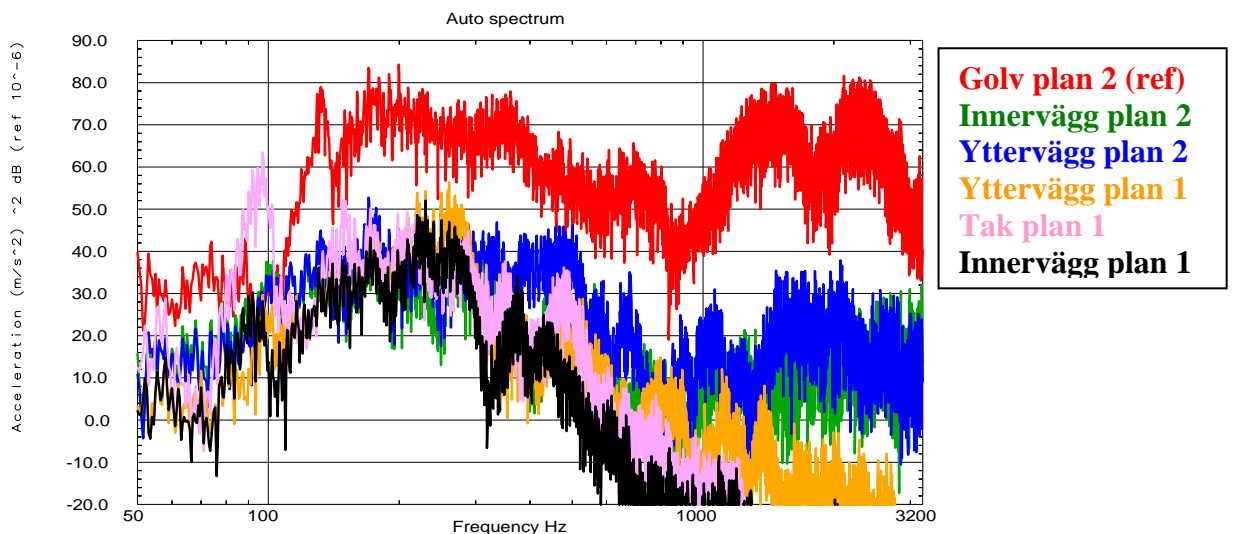
Figur 7. Mätuppställning mellan två lägenheter. Stegljudsapparat på övre golvet och mätning på väggar, tak och golv.



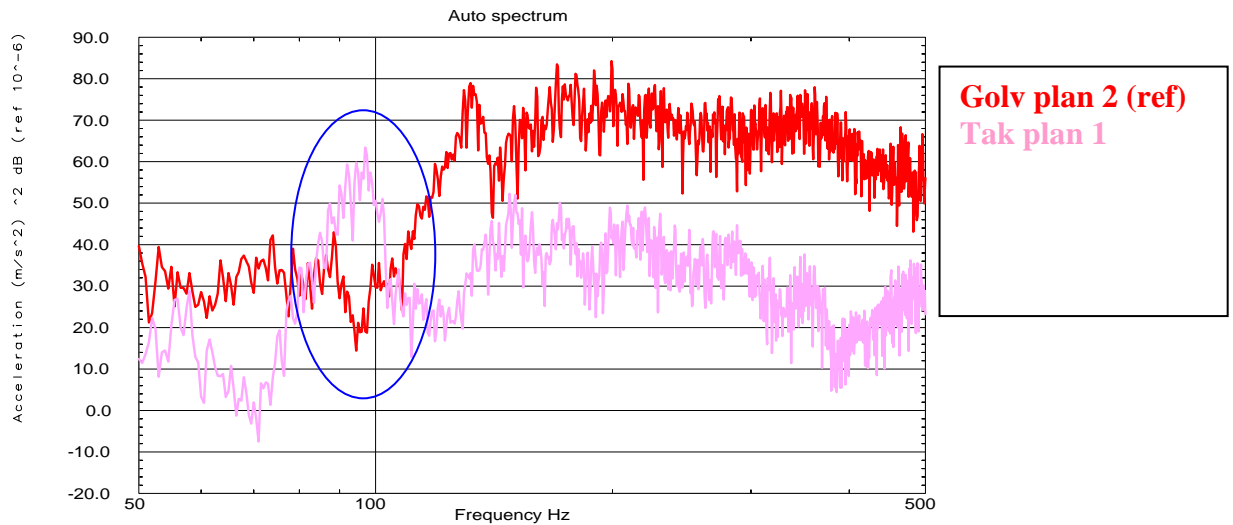
Figur 8. Mätning av vibrationer med accelerometrar.

Resultaterande vibrationsnivåer i vertikalriktning visas i Figur 9. Nivån på golvytan (röd kurva) förväntas vara avsevärt högre än övriga ytor då denna vibrationsgivare sitter närmst källan, stegljudsapparaten. Vid en första överblick är det också det dominerande intrycket, golvnivån ligger ensam på en hög nivå medan nivån för övriga mätpositioner ligger på en inbördes ungefärligt lika, men i jämförelse med golvet, klart lägre nivå. Vid närmare anblick går det emellertid att urskilja ett antal intressanta iakttagelser. Vid omkring 100 Hz är vibrationstransmissionen till taket mycket hög, Figur 10.. Det sker här en förstärkning av vibrationerna innebärande att det underliggande taket vibrerar med högre amplitud än ovanliggande golv! Vidare så framgår det att vibrationsnivån inom ett brett frekvensområde är ungefär lika hög för taket som för innerväggarna, det sker här en betydande flanktransmission. Med början från ca 500 Hz ses att vibrationsnivåerna, golvet undantaget, börjar separera med en högre nivå för väggen på ovanliggande plan. Från denna frekvens finns alltså en effekt av vibrationsisolering mellan de två planen, en effekt som i den här mätningen inte går att påvisa för lägre frekvenser.

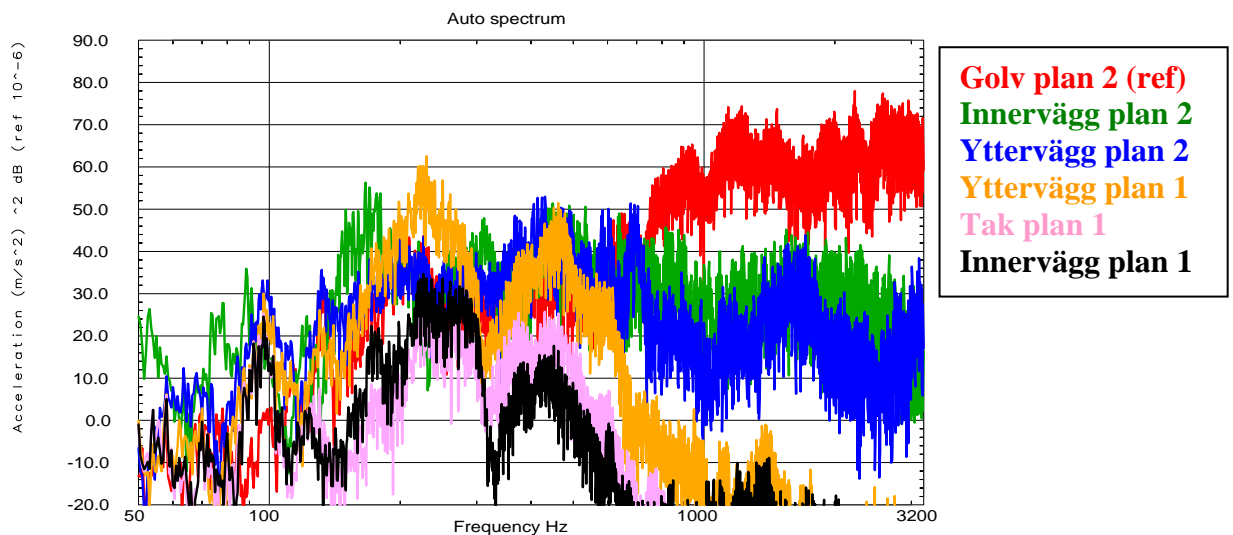
Resultaterande vibrationsnivåer i horisontalriktning visas i Figur 11. Nivån på golvytan ligger naturligt nu på en lägre nivå vid frekvenser lägre än ca 1 kHz, naturligt eftersom stegljudsapparaten verkar i vertikalled. Mycket av tendenserna från vertikalmätningarna gäller även horisontellt och det kan bl a ses en isolerande verkan från ca 500 Hz. Den tidigare så markanta nivån för taket kring 100 Hz är dock mindre påtaglig.



Figur 9. Vibrationsnivå, vertikalt, plan 2-1.



Figur 10. Förstärkning av vibrationsnivån kring 100 Hz vid transmission från golv till tak.



Figur 11. Vibrationsnivå, horisontellt, plan 2-1.

Slutsatser

Modulbyggande som teknik besitter, i likhet med mer traditionellt lättviktsbyggande, vissa grundläggande egenskaper som innebär betydande svårigheter i att skapa goda ljud- och vibrationsegenskaper för låga frekvenser. Utförda stegljudsmätningar visar att Lindbäcks Bygg's konstruktion med nuvarande regler uppfyller myndighetskraven, d v s ljudklass C. Några resultat gör också gällande att ljudklass B skulle finnas inom räckhåll även om marginalen med befintlig konstruktion är för osäker. Med de skärpta krav som är i antågande för BBR, krävs förbättringar för att med säkerhet befästa att konstruktionen uppfyller ljudklass C. För att erhålla en variant som uppfyller kommande ljudklass B, är bedömningen att betydande konstruktionsändringar krävs. En sådan målsättning är dock inte orealistisk, då modulbyggnadstekniken är, relativt sett, ganska oprövad och befinner sig i början av en möjlig stark utvecklingsfas. Med enkla överslagsberäkningar gällande den

våningsseparerande isoleringsremsan kunde icke oväsentliga förbättringar erhållas vilket visar på att tekniken med insats av forskning och utveckling har potential till betydande förbättringar. Med en utvecklad, mer komplett, beräkningsmodell för isolerremsans funktion, där bl a hänsyn till den mer exakta lastfördelningen tas, finns möjlighet att på ett helt annat sätt än tidigare optimera vibrationsisoleringens funktion.

Några specifika egenskaper beträffande vibrationstransmission och fasadens inverkan på stegljudsisolering har kunnat konstateras. I ett begränsat frekvensintervall kring 100 Hz, överförs vertikala vibrationer från golv till underliggande tak mycket effektivt. Taket vibrerar här med samma eller t o m högre amplitud än ovanliggande golv. Även om fenomenet inte framgår med samma tydlighet vad gäller stegljudsisoleringen bör det beaktas i kommande studier och bakomliggande orsaker undersökas närmare. Med transmitterade vibrationer föreligger inte enbart risken att direkta konstruktionsdelar avger hörbart ljud utan vibrationerna kan mycket väl sätta igång sekundära svängningar – och i förlängningen ljud – i inredningsdetaljer, t ex taklampor.

Den aktuella fasaden bestående av putsad stenull, kan inte påvisas ha någon effekt när det gäller stegljudsnivån. I sex mätfall var skillnaden med kontra utan putsad fasad 0-1 dB, en skillnad som är för liten för att belägga en signifikant skillnad.

Referenser

Brunskog J., Hammer P.(2003) Prediction model for the impact sound level of lightweight floors. *Acta Acustica*, v 89, n 2, March-April 2003, pp 309-22.

Brunskog J., Hammer P. (2003) Design possibilities for impact noise insulation in lightweight floors - A parameter study *Acta Acustica*, v 89, May/June, 2003, p S36.

Braganca L., Almeida M., Silva S., Silva, A., Mendonca P. (2003) Acoustic performance of lightweight construction solutions. *Acta Acustica*, v 89, May/June, 2003, p S46.

Emma G. (2003) Keeping the neighbours happy. *Inwood International*, v 53, October/November, 2003, p 19.

Gatland I., Stanley D. (2005) Lightweight partition design for residential and commercial buildings. *Sound and Vibration*, v 39, n 12, December, 2005, p 12-17.

Hagberg K. (2004) Utvärdering av stegljud i färdig byggnad. *Bygg och teknik* 3/04, p. 15-16.

Hammer P., Alsmarker T. (2004) Södra Semi – A new flooring structure in wood with improved footstep sound insulation. In proc. of the 8th World Conference on Timber Engineering, Lahti, Finland, June 14-17 2004.

Homb A. (2006) Low frequency Sound and Vibrations From Impacts on Timber Floor Constructions. PhD thesis, NTNU Trondheim, Norge, aug 2006.

Hu L.J., Chui Y.H., (2004). Development of a Design Method to Control Vibrations Induced by Normal Walking Action in Wood-Based Floors. *Proceedings of WCTE 2004; 8th World Conference on Timber Engineering*, p. 1001-1006.

Johansson C. (2000) Field Measurements of 170 Nominally Identical Timber Floors - A Statistical Analysis. *Inter Noise 2000*, Nice, France.

Ljunggren, F., Ågren, A. (2003) Minor construction measures that influence vibrations in lightweight floors. ICSV - International Congress on Sound and Vibration, 2003, Stockholm, Sweden.

Ljunggren F. (2006), Floor vibration; Dynamic properties and subjective perception. Doctoral Thesis, Lulea University of Technology 2006.

Nightingale T., Bosmans I. (2000) Estimation junction attenuation in lightweight constructions. Proceedings Inter-Noise 2000, p. 2437-2442.

Parmanen, J., Sipari P., Uosukainen S. (1999) Sound insulation of multi-storey houses: Summary of impact sound insulation VTT Publications, n 377, 1999, p 1-22.

Salmela K., Petersson H., Källsner B. (2004) Vibrations of timber floors on supporting steel framework. In proc. of the 8th World Conference on Timber Engineering, Lahti, Finland, June 14-17 2004.

Simmons C. Kan lätta bjälklag ge lika bra ljudisolering som betongbjälklag? Bygg & teknik, 2/03, p. 38-43.

Sipari, P., Heinonen, R., Parmanen J. (1998) Acoustic properties of wooden floor slabs VTT Publications, n 345, 1998, p X-46

Smith I. (2003) Vibrations of timber floors. Timber Engineering. Thelandersson S. and Larsen H.J. eds. Wiley & Sons.

Bilagor

Stegljudsprotokoll, Kv Kanslisilket, Vardagsrum Plan 4-3

Stegljudsprotokoll, Kv Kanslisilket, Vardagsrum Plan 3-2

Stegljudsprotokoll, Kv Kanslisilket, Vardagsrum Plan 2-1

Stegljudsprotokoll, Kv Kanslisilket, Sovrum Plan 4-3

Stegljudsprotokoll, Kv Kanslisilket, Sovrum Plan 3-2

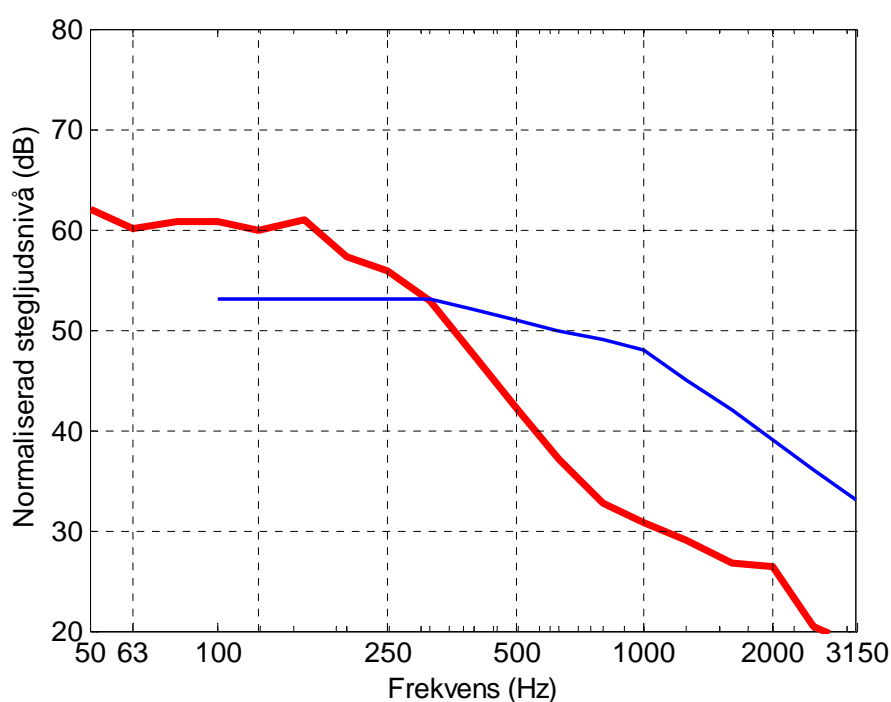
Stegljudsprotokoll, Kv Kanslisilket, Sovrum Plan 2-1

Normaliserad stegljudsnivå enligt ISO 140-7

Fältmätning av stegljudsisolering

Mätobjekt: Lindbäcks Bygg, Kv. Kanslisilket, Vällingby, Vardagsrum, **Plan 4-3**
Mätoperatör: Fredrik Ljunggren
Datum för mätning: 2006-05-30
Volym, mottagarum: 61 m³

F (Hz)	L'n (dB)
50	62.0
63	60.1
80	60.7
100	60.7
125	59.9
160	60.9
200	57.4
250	55.9
315	52.9
400	47.4
500	42.2
630	37.2
800	32.8
1000	30.9
1250	29.1
1600	26.8
2000	26.4
2500	20.5
3150	18.7



Utvärdering enligt SS-EN ISO 717-2

$$L'_{n,w}(C_i) = 51 \text{ dB} \quad C_{i,50-2500} = 3$$

$$L'_{n,w} + C_{i,50-2500} = 54 \text{ dB}$$

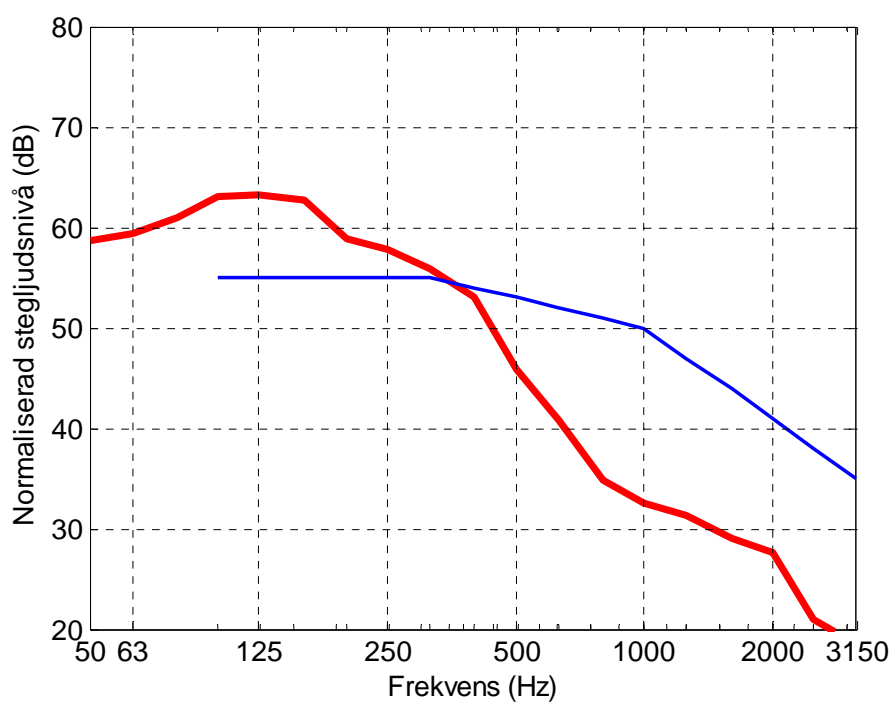
Testrapport: lab.: Luleå tekniska universitet
Datum: 2006-06-01 Sign:

Normaliserad stegljudsnivå enligt ISO 140-7

Fältmätning av stegljudsisolering

Mätobjekt: Lindbäcks Bygg, Kv. Kanslisilket, Vällingby, Vardagsrum, **Plan 3-2**
Mätoperatör: Fredrik Ljunggren
Datum för mätning: 2006-05-30
Volym, mottagarum: 61 m³

F (Hz)	L'n (dB)
50	58.6
63	59.4
80	61.0
100	63.0
125	63.2
160	62.6
200	58.9
250	57.8
315	56.0
400	53.2
500	46.0
630	40.8
800	34.9
1000	32.6
1250	31.3
1600	29.0
2000	27.6
2500	21.0
3150	18.6



Utvärdering enligt SS-EN ISO 717-2

$$L'_{n,w}(C_i) = 53 \text{ dB}$$

$$C_{i,50-2500} = 2$$

$$L'_{n,w} + C_{i,50-2500} = 55 \text{ dB}$$

Testrapport:

lab.: Luleå tekniska universitet

Datum: 2006-06-01

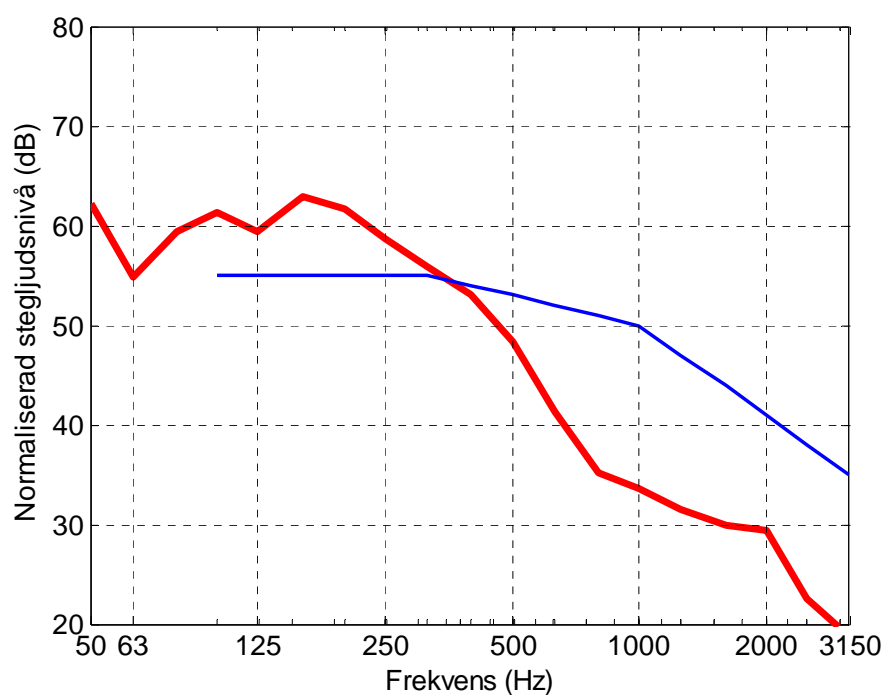
Sign:

Normaliserad stegljudsnivå enligt ISO 140-7

Fältmätning av stegljudsisolering

Mätobjekt: Lindbäcks Bygg, Kv. Kanslisilket, Vällingby, Vardagsrum, **Plan 2-1**
Mätoperatör: Fredrik Ljunggren
Datum för mätning: 2006-05-30
Volym, mottagarum: 61 m³

F (Hz)	L'n (dB)
50	62.1
63	54.9
80	59.3
100	61.3
125	59.4
160	62.8
200	61.6
250	58.8
315	55.9
400	53.2
500	48.3
630	41.3
800	35.2
1000	33.6
1250	31.5
1600	29.9
2000	29.4
2500	22.6
3150	18.9



Utvärdering enligt SS-EN ISO 717-2

$$L'_{n,w}(C_i) = 53 \text{ dB}$$

$$C_{i,50-2500} = 2$$

$$L'_{n,w} + C_{i,50-2500} = 55 \text{ dB}$$

Testrapport:

lab.: Luleå tekniska universitet

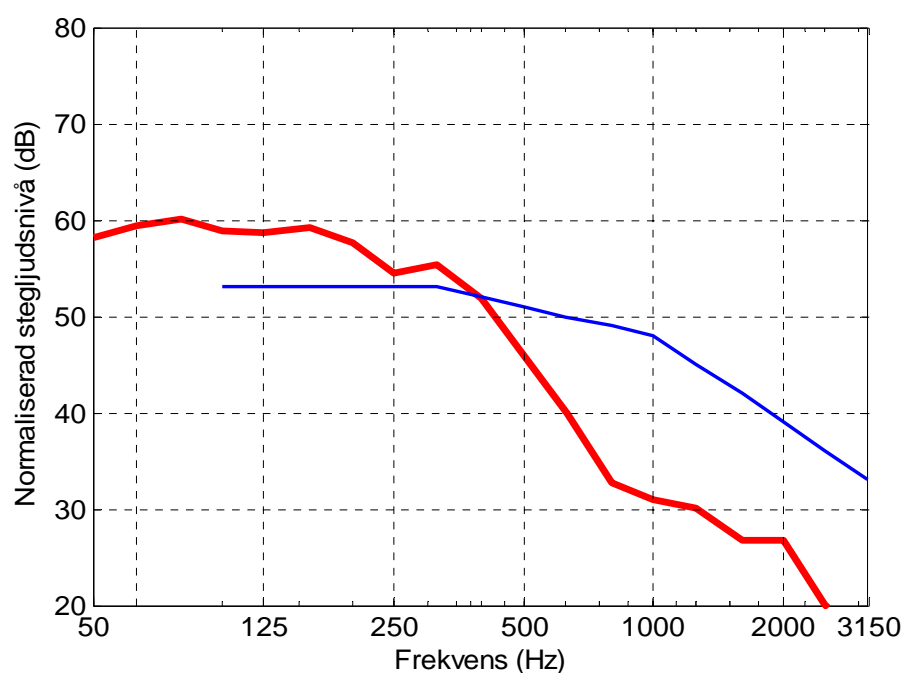
Datum: 2006-06-01

Sign:

Normaliserad stegljudsnivå enligt ISO 140-7 Fältmätning av stegljudsisolering

Mätobjekt: Lindbäcks Bygg, Kv. Kanslisilket, Vällingby, Sovrum, **Plan 4-3**
Mätoperatör: Fredrik Ljunggren
Datum för mätning: 2006-05-30
Volym, mottagarrum: 27 m³

F (Hz)	L'n (dB)
50	58.2
63	59.4
80	60.0
100	58.8
125	58.7
160	59.2
200	57.6
250	54.4
315	55.4
400	51.9
500	45.9
630	40.0
800	32.6
1000	30.9
1250	30.1
1600	26.8
2000	26.8
2500	20.0
3150	17.5



Utvärdering enligt SS-EN ISO 717-2

$$L'_{n,w}(C_i) = 51 \text{ dB} \quad C_{i,50-2500} = 2$$

$$L'_{n,w} + C_{i,50-2500} = 53 \text{ dB}$$

Testrapport:

lab.: Luleå tekniska universitet

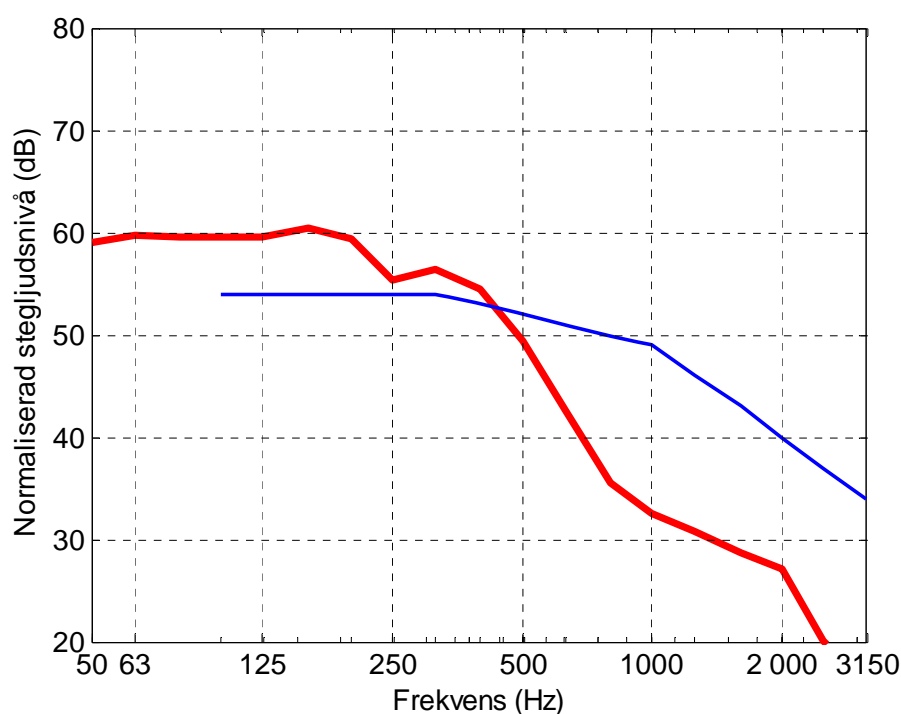
Datum: 2006-06-01

Sign:

Normaliserad stegljudsnivå enligt ISO 140-7 Fältmätning av stegljudsisolering

Mätobjekt: Lindbäcks Bygg, Kv. Kanslisilket, Vällingby, Sovrum, **Plan 3-2**
Mätoperatör: Fredrik Ljunggren
Datum för mätning: 2006-05-30
Volym, mottagarrum: 27 m³

F (Hz)	L'n (dB)
50	59.0
63	59.7
80	59.5
100	59.6
125	59.5
160	60.5
200	59.4
250	55.4
315	56.4
400	54.4
500	49.4
630	42.6
800	35.4
1000	32.6
1250	30.9
1600	28.7
2000	27.1
2500	20.1
3150	16.6



Utvärdering enligt SS-EN ISO 717-2

$$L'_{n,w}(C_i) = 52 \text{ dB} \quad C_{i,50-2500} = 2$$

$$L'_{n,w} + C_{i,50-2500} = 54 \text{ dB}$$

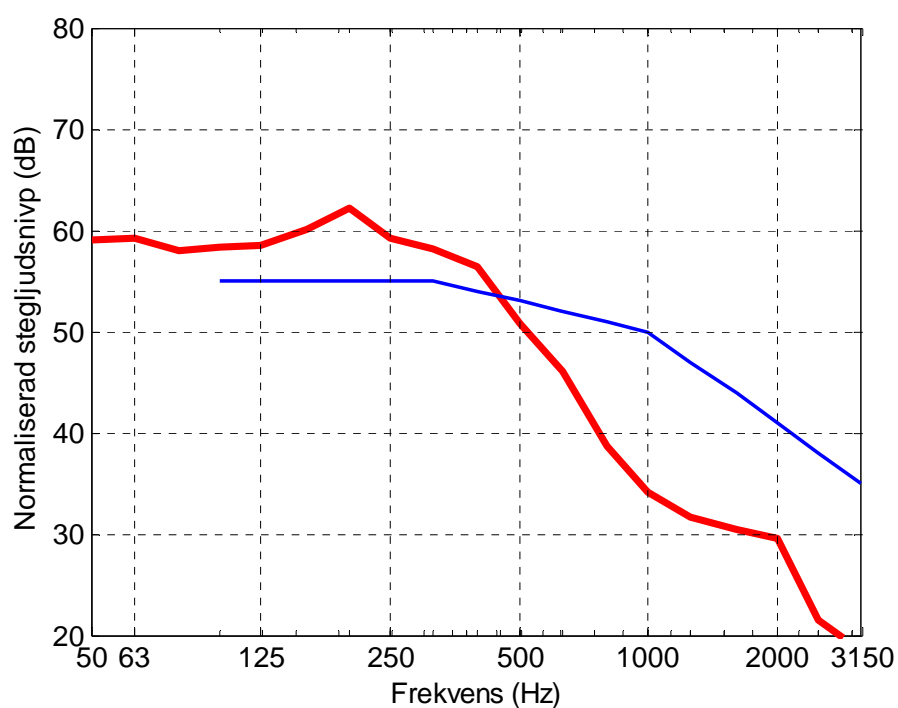
Testrapport: lab.: Luleå tekniska universitet
Datum: 2006-06-01 Sign:

Normaliserad stegljudsnivå enligt ISO 140-7

Fältmätning av stegljudsisolering

Mätobjekt: Lindbäcks Bygg, Kv. Kanslisilket, Vällingby, Sovrum, **Plan 2-1**
Mätoperatör: Fredrik Ljunggren
Datum för mätning: 2006-05-30
Volym, mottagarrum: 27 m³

F (Hz)	L'n (dB)
50	59.1
63	59.2
80	57.9
100	58.4
125	58.4
160	60.1
200	62.1
250	59.2
315	58.1
400	56.4
500	50.8
630	46.0
800	38.7
1000	34.1
1250	31.6
1600	30.5
2000	29.5
2500	21.5
3150	18.6



Utvärdering enligt SS-EN ISO 717-2

$$L'_{n,w}(C_i) = 53 \text{ dB} \quad C_{i,50-2500} = 1$$

$$L'_{n,w} + C_{i,50-2500} = 54 \text{ dB}$$

Testrapport:

lab.: Luleå tekniska universitet

Datum: 2006-06-01

Sign: