

RAPPORT 10116689 – INDUSTRIELL BEHOVSANALYS – AKUSTISK FORSKNING FÖR FLERBOSTADSHUS MED LÄTTA STOMMAR

Kund

Vinnova

Konsult

WSP Akustik

Box 13033

402 51 Göteborg

Besök: Rullagergatan 4

Tel: +46 31 727 25 00

Fax: +46 31 727 25 01

WSP Sverige AB

Org nr: 556057-4880

Styrelsens säte: Stockholm

www.wspgroup.se

Kontaktpersoner

Klas Hagberg

Förord

Denna rapport ingår som en del i ett underlag för att kunna fatta beslut om forskningsmedel som bedöms viktiga för att utveckla den svenska lättbyggnadsindustrin. Rapporten är beställd av Vinnova och fokuserar på industrins behov och förhoppningen är att den skall väcka intresse för satsningar inom detta område hos tänkbara industriella partners, eftersom det är oerhört centralt för en fortsatt stabil utveckling av flerbostadshus med lätta stomsystem. Som komplement till denna rapport finns också en ”state of the art” rapport från 2008, SP rapport 2008:16.

En stabil utveckling är också viktig för att ytterligare öka mångfalden inom svensk byggindustri där nya produkter och system hela tiden skall kunna utvecklas på ett rättvist sätt. Det ökar konkurrensen mellan olika byggsystem och stimulerar till nytänkande i en bransch som har en lång betongbyggnadshistorik bakom sig. Genom att öka forskningsinsatserna inom akustik och därmed ytterligare utveckla lättbyggnadsindustrin så kan Sverige fortsätta att behålla en mycket stark position inom lättbyggnadskonsten.

Jag vill tacka Vinnova för initiativet till denna behovsanalys och dessutom tacka de som lämnat synpunkter på innehållet i denna rapport. Birgit Östman, SP Trätek, Krister Larsson, SP, Andreas Novak, Ramböll, Christian Simmons, Simmons akustik&utveckling samt Eva Esping, Vinnova. Därtill tack för alla värdefulla synpunkter vid diskussionerna i samband med Workshopen den 10 mars 2009, synpunkter som varit viktiga för att göra denna rapport mer komplett.

Göteborg 2009-03-31

Klas Hagberg

Innehåll

1.	Inledning	12
1.1	Allmänt	12
1.2	Akustik inom en bostad	12
1.3	Akustik – industriell behovsanalys	13
2.	Byggreglernas inverkan på utvecklingen	15
2.1	Bakgrund	15
2.2	Byggreglernas utveckling 1945 – 1994	15
2.3	Byggreglerna 1998 – 2009	19
2.4	Regelverk i andra länder	24
3.	Forskningsläget idag	26
3.1	Bakgrund	26
3.2	Förståelse kring störningsfenomen	26
3.3	Exempel – utvecklingsprojekt	29
3.3.1	Byggekostnadsforum	29
3.3.2	Andra projekt	33
4.	Lättbyggnadsindustrin	35
4.1	Bakgrund	35
4.2	Flanktransmission	36
4.3	Mätresultat	37
4.4	Framtida utmaningar	38
5.	Behov	41
5.1	Akuta behov	41
5.2	Långsiktiga behov	41
6.	Analys	42
6.1	Punkt 1 – kriterium för utvärdering av stegljudsisolering	42
6.2	Punkt 2 – upplevelse av vibrationer	42
6.3	Punkt 3 – långtidseffekter av olika metoder för att minimera flanktransmission	43
6.4	Punkt 4 – Standardisering – handel över gränser	43
6.5	Punkt 5 – Utveckla beräkningsmetoder för lätta konstruktioner	46
7.	Slutligen	47
8.	Referenser	50

Summary in English

From earlier experiences during work with regulations, research, consultancy work, discussions and meetings with authorities and industrial representatives a number of important industrial needs become updated – needs regarding acoustics in multi storey residential buildings with light weight structures. The needs are written in order of priority and exactly this order is important to address correct means of control to the light weight industry to strengthen its power of competition in general but also to consolidate its position compared to the traditional heavy weight (concrete) industry. The most immediate parts below is also important in order to actually be able to fulfil the essential requirement “Protection against noise” of the European Construction Productive Directive (CPD) for buildings with light weight structures

1. Establish a well founded criteria for evaluation of impact sound insulation in order to make various sound classes A, B or C reasonably comparable to the sound classes of heavy building structures
 - Take various types of living accommodations into consideration
 - Connect to the needs of airborne sound insulation (optimizing)
 - Take the source of energy into consideration (impact sound machine and other sources)
2. Connect the criteria to the experience of vibrations or establish separate criteria for vibrations – how will vibrations affect the valuation of sound (including structure borne sound from machines in houses with light weight structures)?
 - Is the human behaviour affected by the structural material?
 - Take common structure borne noise sources in residential houses into consideration (for instance washing machines including rotating units, bubble bath, etc)
3. Study long term effects regarding various methods for reduction of flanking transmission.
 - Consider the material characteristics of the interlayer to minimize flanking transmission and wind anchorages and their influence on sound insulation over time. Secure the fulfilment of BBR [section 2.1](#).
4. Facilitate the trade / export with light weight building system in through increased harmonization of the regulations, which is favourable also for heavy structures (In the long term point 5 is also very important)
 - within the Nordic countries
 - within Europe
 - international
5. Develop calculation methods with well known security margin which might be applied on light weight structures. The development will take place in close cooperation with the working group within CEN TC126 / WG 2 / AHG 3. To achieve this it is needed
 - increased knowledge amongst light weight constructions and its anisotropic characteristics
 - knowledge amongst various joints and their behaviour, flanking transmission

The main reason for this order of priority is of course to address correct means of control in order to develop light weight structures (floors) which will become competitive with regard to impact sound / vibrations. Competitive both in general terms but also to consolidate its position compared to heavy building structures. The sound insulation in light weight structures is normally completely controlled by the sound levels in the lowest frequency bands while sound insulation in heavy structures not exhibit this “unbalance”. As long as the experienced sound insulation from a certain sound class mostly is worse for light weight structures despite it is objectively similar compared to heavy structures, this imply an obvious disadvantage for the light weight industry. Today, there is far too big scope for serious mistakes and shortage with current regulation and standards.

With correct means of control light weight structures might be developed in a manner meaning that the objective valuation accomplished, actually results in a light weight construction which is subjectively comparable to heavy structures. If not starting at this point the development might go too far in wrong direction, creating negative effects to light weight constructions. Even if a number of good examples exist it is those buildings which are bad that might make the reputation gradually worse. And in fact, out of those industrial representatives who have made comments to this work it is those who regularly really are working with the acoustic topics that express the need for revised evaluation principles. Perhaps since their solution becomes more expensive and complicated, compared to those who are taking “the easy way”, fulfilling the minimum requirement without any margin. Still, however they will suffer from bad reputation regarding light weight constructions, created by those who are working close to limit.

Questionnaires to be used for subjective evaluation of sound and vibration impact should be designed at an early stage. During the design of those a number of facts have to be considered, i.e. the included housing units structural characteristics, the habitants (age, working conditions, number of persons in the dwelling etc), the type of residence, the surroundings etc. From the answers it would be proper to group the units with regard to its structural- and impact loading, in order to valuate when and where the need for low frequency sound insulation is needed mostly. The subjective results from each object will be connected to objective measurements, which have to be well documented from an acoustic perspective. All in all, this will constitute basis for the more extensive research programme which in the end will result in a final draft of new evaluation principles.

Poor sound insulation at low frequencies creates both low frequency noise and vibrations, and then in particular (or almost solely), in buildings with light weight structures. When the noise is audible or the vibrations is possible to feel (when the hearing threshold is attained) a very small change is needed to experience increased disturbance. Normally 8-10 dB is used as a template to describe an experienced doubling or halving of the sound. This is not valid at very low frequencies, in those it might be enough with 3-4 dB to experience a doubling or halving of the sound. Besides this there are yet a number of factors influencing the sound levels at very low frequencies.

Vibrations are a very rare problem in heavy weight structures and normally not considered when studying normal housing activities. However, in a light weight structure they often occur, they are felt and they cause shaking of glass cabinets etc. A walking person or a jumping / playing child cause a combination of vibrations and low frequency noise, so do a bubble bath or washing machine. Some studies regarding vibrations and its subjective experience exist, however not the vibrations influence of the noise impact on the habitants at low frequencies, i.e. the combined influence of vibration and noise is an unknown area. The behaviour of the habitants themselves might also be an important task to study. Playing children may perhaps become inspired to play more “heavily”, since a light weight structure is weak compared to a heavy concrete structure and hence does not “hurt” as much during play.

Long term effects regarding different methods to minimize flanking transmission

The reduction of flanking sound is one very important and complex matter during design of a light weight structure. Various manufacturer have different systems, some use volume elements piled above each other, other use plane elements put together on site. Almost all systems normally have some interlayer between the elements aimed to prevent flanking transmission. In many building systems soft resilient interlayer material is used and this small detail is extremely sensitive in order to work as intended. It is sensitive by several reasons, but most important is:

- If calculated wrong (or not calculated at all) it might cause subsidence
- It cannot be replaced once the building is erected, it is built in during the lifetime of the building. The material has to be resistant and must not creep (“punctures” over time)
- In many systems it is exposed for various loading depending on type of module load (kitchen, sleeping room etc.) or which floor level it is mounted. Hence, it is not possible to use the same elastic material for the entire building, on different floor levels. It must have different characteristics adapted to current loading

Naturally, manufacturer of light weight building systems often tries to find cheaper solutions in order to become more competitive, one way is to save money on the inter layers aimed to prevent flanking transmission. Sometimes identical simple resilient soft layers without technical specifications, or very poor technical specifications, are used on every floor level. This means that the lowest floor levels quickly are “punctured”. If using commonplace materials, measurement results indicate approximately 3 dB poorer results fairly quick after building completion, not knowing anything about the long term effects. A more solid study is necessary in order to prove effects and costs in the long term perspective, when short term, cost saving measures is undertaken of this very important part of the structure. This is a typical detail which cannot be replaced when it does not work any longer, and hence if the knowledge is not raised this might detriment the light weight industry even more in the long run.

Standardization – trade over the national borders

2004-2005 a compilation was made [10], presenting the current chaos within Europe, regarding sound insulation evaluation principles in housing units. For heavy structures this is not necessarily a huge problem since it is possible to use the calculation standard EN 12354 to adapt various structures to different countries. Using available software, products can be changed and compiled in an optimized manner for each country.

For the modern light weight industry it is more difficult. Current systems which are normally comprehensive systems, compounded plane elements (walls, floor structures) or volumes piled together, well adapted to the legislation in country in point. It is not possible to simply replace single products since the systems are complex and the European standard EN 12354 is not applicable, and hence calculations are not possible to carry out with the same precision as for heavy weight structures. Hence, light weight building systems adapted to one country requires new adaptations to become competitive in another country and such adaptations cannot be made without extensive tests, perhaps in test buildings of different kinds. The threshold to enter new markets becomes huge. Therefore, the immediate need for more equal legislation / evaluation principles are more important to light weight industry. Of course it would be desirable with quickly improved calculation models, equal to those for heavy weight structures. But this is probably more long term project.

Right now there is an excellent opportunity to participate in the development of new standard evaluation principles. The evaluation standard ISO 717 is decided to become revised and Swedish representatives are pointed out. A quick decision regarding research within the proposed area would give rapid industrial benefits. In this context collaboration synergetic effects with the EU COST Action FP0702 for wooden buildings: “*Net-Acoustics for Timber based Lightweight Buildings end Elements (TBLB)*” might be expected. Furthermore there is a proposal for another COST-action, not

yet resolved, aiming to harmonize the regulations in general "*Integrating and Harmonizing Sound Insulation Aspects in Sustainable Urban Housing Constructions*".

Calculation methods for light weight structures

As far as possible it is important to improve the calculation models and make them more available amongst consultants and manufacturers. The research should aim at develop a standardized calculation method applicable to light weight structures. It is a long term project but nevertheless, very important to become competitive compared to heavy structures in the design stage, and in particular in very early stages. In this manner light weight structures might become more interesting. Today it is far easier to evaluate different alternatives with heavy constructions since it exist reliable European standards for calculation of any concrete structure and various product combinations. The light weight alternative is complete systems not allowing adaptations to various sound classes and hence far less flexible. The development should take place in close cooperation with the group working within standardization, CEN TC126 / WG 2 / AHG 3.

Sammanfattning

Utifrån tidigare erfarenhet från arbete med regelverk, forskning, konsultverksamhet samt diskussioner och möten med myndigheter och industrirepresentanter har ett antal viktiga industriella behov aktualiserats – behov vad gäller akustik i flerbostadshus med lätta stommar. Behoven är nedteknade i prioritetsordning och just denna prioritering är viktig för att så snabbt som möjligt ge lättbyggnadsindustrin de styrmedel som är nödvändiga för att förbättra dess konkurrenskraft i allmänhet, men också för att stärka dess position gentemot den traditionella betongindustrin. Flera av de behov som visas nedan är också angelägna för att faktiskt kunna uppfylla Byggproduktdirektivets väsentliga krav ”Bullerskydd” samt BBR i vissa delar, för byggnader med lätta stomsystem.

1. Fastställ ett väl underbyggt kriterium för utvärdering av stegljudsisolering så att ljudklass A, B eller C är rimligt jämförbar med ljudklasserna för tunga stomsystem
 - beakta olika boendeformer
 - Koppla till behovet av luftljudsisolering (optimering)
 - Ta hänsyn till kraftkällan (stegljudsmaskinen och andra källor)
2. Koppla detta till upplevelsen av vibrationer eller fastställ ett separat kriterium för vibrationer – hur påverkar vibrationer värderingen av ljud (inklusive stomljud från maskiner i hus med lätta stomsystem)?
 - Påverkas beteendet hos människan av stommens material?
 - Beakta vanliga stomljudskällor i bostäder (ex-vis tvättmaskiner med roterande enheter, bubbelbadkar, etc)
3. Studera metoder för stomljudsisolering samt dess långtidseffekter (olika metoder för att reducera flanktransmission)
 - Materialets påverkan på ljudisoleringen, både dess omedelbara funktion samt dess funktion över tiden
 - Optimera vindförankringar för att minimera flanktransmission
 - Säkerställ att BBR avsnitt 2.1 uppfylls.
4. Stimulera handeln / exporten med lätta byggsystem genom ökad harmonisering av regelverket, vilket underlättar även för tunga system. (På lång sikt är dock punkt 5 väl så viktig)
 - inom Norden
 - inom Europa
 - internationellt
5. Utveckla beräkningsmetoder som med känd säkerhetsmarginal kan tillämpas på lätta konstruktioner. Utvecklingen skall ske i nära samarbete med det arbete som sker inom standardiseringen CEN TC126 / WG 2 / AHG 3. För detta fordras
 - ökad förståelse kring lätta konstruktioners anisotropa egenskaper
 - kunskap kring olika knutpunkters funktion, flanktransmission

Huvudorsaken till denna prioritering beror naturligtvis på det som tidigare sagts, att styrningen av utvecklingen måste ske på ett sätt som gör lätta bjälklag konkurrenskraftiga i allmänhet

och gentemot tunga konstruktioner i synnerhet. Upplevd ljudisolering i lätta konstruktioner styrs helt av nivåerna i de lägsta frekvensbanden medan ljudisoleringen i tunga konstruktioner inte har denna ”obalans”. Så länge upplevelsen av en viss ljudklass oftast är sämre för lätta konstruktioner trots att de är objektivt likvärdiga med tunga konstruktioner så innebär detta en tydlig nackdel för lättbyggnadsindustrin. Det finns idag alltför stort utrymme för allvarliga fel och brister med nuvarande regelverk.

Med rätt styrning så kan lättbyggnadskonstruktioner utvecklas på ett sätt som gör att den värdering som åstadkommes faktiskt ger en konstruktion som kan mäta sig med tyngre konstruktioner upplevelsemässigt. Börjar man inte här så är det sannolikt att lätta byggnadskonstruktioner utvecklas på fel grunder mot fel målvärden. Även om det idag finns många goda exempel så är det avarterna som uppfyller alla krav som gör att ryktet så småningom förvärras. Och faktum är, av de industrirepresentanter som uttalat sig i samband med detta arbete så är det just de som verkligen arbetar med ljudfrågorna, som starkast uttrycker behovet av förändrade utvärderingsprinciper. Kanske eftersom de känner att deras lösningar blir dyrare än enklare konstruktioner som precis klarar minimikravet, men de drabbas ändå av ryktet som uppstår kring lätta konstruktioner.

Forskningen bör inledas med att utforma ett modernt frågeformulär (ev. web baserat). Under utformningen måste flera faktorer beaktas såsom, byggnadens egenskaper i stommen, de boende (ålder, arbetsförhållanden, antal boende i lägenheten etc), boendeform, omgivningen, etc. Utifrån svaren är det rimligt att försöka gruppera bostadshusen med hänsyn till dess tekniska egenskaper och stomljudsbelastning så att det också går att värdera var behovet av lågfrekvent ljudisolering är som störst. Resultat från den subjektiva undersökningen i varje objekt skall sedan kopplas till objektiva mätningar som måste vara väl dokumenterade ur ett akustiskt perspektiv. Detta skall sedan utgöra underlag för den fortsatta forskningen vars slutmål skall vara att beskriva moderna utvärderingsprinciper tillämpbara även på lätta konstruktioner.

Dålig ljudisolering vid låga frekvenser kan orsaka både buller och vibrationer, och då särskilt när lätta konstruktioner utsätts för stötar och slag. När väl bullret eller vibrationerna hörs eller känns (när hörtröskeln uppnås) krävs väldigt lite för att uppleva ökad störning. I normala fall brukar 8-10 dB anges som en upplevd halvering eller fördubbling av ljudet. Detta gäller inte vid låga frekvenser, då kan det vara så lite som 3-4 dB. Därtill finns ett antal andra faktorer i byggnader som påverkar ljudnivåerna vid riktigt låga frekvenser.

Vibrationer är mycket sällan ett problem i tunga konstruktioner och behöver därför inte tas i beaktande i samband med vanliga ”hushållsaktiviteter”. I en lätt konstruktion förekommer det däremot ofta, de känns och de orsakar skakningar i glasskåp etc. En gående person eller hoppande / lekande barn orsakar en kombination av vibrationer och lågfrekvent buller, ett bubbelbadkar eller tvättmaskin likaså. Det har gjorts några studier vad avser vibrationer och hur dessa upplevs subjektivt, dock inte hur vibrationer påverkar de boendes värdering av lågfrekvent buller, det vill säga samtidig påverkan av ljud och vibrationer. Beteendemönstret kan också behöva studeras. Lekande barn kan möjligen inspireras till mer hopp eftersom det gör mindre ”ont” att hoppa på ett träbjälklag än på ett betongbjälklag.

Långtidseffekter av olika metoder för att minimera flanktransmission

Flanktransmission är en viktig faktor som gör att ljud kan fortplantas i en lätt stomme. Olika leverantörer har olika system, vissa använder volymelent som staplas på varandra, andra använder plana element som byggs ihop på plats. Nästan alla system har något material mellan elementen som är avsedda att bryta flanktransmissionen. I flera system används elastiska mellanlägg och just denna detalj är en oerhört känslig byggdel i ett lätt byggsystem. Den är känslig av flera olika skäl:

- Fel dimensionerad (eller inte dimensionerad alls) kan den orsaka sättningar

- Den kan inte bytas ut, den skall sitta hela byggnadens livslängd. Materialet får inte krypa (punkteras över tiden)
- I många system utsätts den för olika belastning beroende på vilken våning den monteras. Materialet måste därmed kunna väljas / dimensioneras med hänsyn till aktuell last. Det går inte att använda samma material på olika våningsplan.

Av naturliga skäl testar tillverkare av byggsystem, av kostnadsskäl ofta olika material som mellanlägg, avsedda att förhindra flanktransmission. Ibland används ett och samma material för hela byggnaden som ofta helt saknar dokumenterade egenskaper. Detta gör att de nedersta våningarna mycket snabbt punkteras. Mätresultat indikerar ca 3 dB sämre resultat ganska omgående, långtidseffekterna vet man dock mycket lite om. Här fordras en djupare studie som kan visa effekter och kostnader i det långa perspektivet när besparingar görs på denna mycket känsliga byggdel. Detta är en typisk detalj som inte kan ersättas när den slutat fungera och därmed riskerar att skada lättbyggandet över tiden om inte kunskapsnivån höjs och riskmedvetenheten ökar.

Standardisering – handel över gränser

2004-2005 gjordes en sammanställning [12] över det kaos som råder inom Europa när det gäller olika länders sätt att värdera ljudisolering i byggnader. För tunga system behöver detta egentligen inte vara något stort bekymmer eftersom det går att använda beräkningsstandarden EN 12354 för att anpassa konstruktionen till de olika länderna. Produkter kan med hjälp av mjukvara bytas ut och optimeras för varje land.

För lättbyggnadsindustrin blir det dock svårare. De system som fungerar väl i Sverige idag är helt kompletta system, plana element (väggar bjälklag) som sammanfogas eller volymer som staplas på varandra. Inga ”delprodukter” kan bytas ut på ett enkelt sätt eftersom systemen är komplexa och det inte går att tillämpa EN 12354 och göra beräkningar med samma precision som för tunga stomsystem. De lättbyggnadssystem som finns i ett land kräver därmed lokala anpassningar för att kunna bli konkurrenskraftiga i ett annat land och sådana anpassningar kan inte göras utan omfattande provningar, kanske i provhus av olika slag. Tröskeln blir därmed stor att ta sig in på nya marknader. Därför är det akuta behovet av mer likvärdiga värderingsprinciper mellan länder mer viktigt för lättbyggnadsindustrin. Naturligtvis vore det fördelaktigt om beräkningsmodellerna snabbt förbättrades så att beräkningar kunde ske på lika villkor som för tunga konstruktioner. Detta är dock sannolikt ett projekt på mycket längre sikt.

Just nu är ett utmärkt tillfälle att aktivt delta i utvecklingen av nya standardiserade utvärderingsprinciper. Beslut om revidering av ISO 717 har fattats och svenska representanter är utsedda. Snabbt beslut om forskning skulle kunna ge stora fördelar för svensk industri ganska omgående. I detta sammanhang kan också samverkans effekter utnyttjas med COST Action FP0702: *“Net-Acoustics for Timber based Lightweight Buildings and Elements (TBLB)”*, som pågår inom EU för träbyggandet samt den som kan bli beslutad för harmonisering av regelverk / värderingsmått *“Integrating and Harmonizing Sound Insulation Aspects in Sustainable Urban Housing Constructions”*.

Beräkningsmetoder för lätta konstruktioner

I den mån det är möjligt så är det viktigt att förbättra beräkningsmodellerna och göra dessa tillgängliga bland konsulter och övrig industri. Forskningen bör syfta till att utveckla standardiserade beräkningsmetoder för både ljud och vibrationer, tillämpbara på lätta konstruktioner. Det är ett långsiktigt arbete men icke desto mindre mycket viktigt för att kunna bli ett konkurrensfylligt alternativ i projekteringsskede / tidiga skeden. På detta sätt kan lätta konstruktioner bli intressantare för projektutvecklare och byggherrar. Idag är det lättare att värdera olika alternativ med tunga konstruktioner eftersom dessa kan beräknas oavsett om stommen består av HD/F, plattbärlag, homogena element, pelardäck, etc. Olika produktkombinationer kan prövas och jämföras

med varandra. Lättbyggnadsindustrin kan bidra med färdiga system som inte enkelt kan varieras med hänsyn till ljudklass och därmed ger betydligt mindre flexibilitet. Utvecklingen bör ske i nära samarbete med det arbete som sker inom standardiseringen CEN TC126 / WG 2 / AHG 3

1. Inledning

1.1 Allmänt

Denna rapport har tillkommit för att beskriva industrins forskningsbehov vad gäller akustik i flerbostadshus med lätta stomsystem. Lätta stomsystem skiljer sig mycket från traditionella system och i samband med ett ökat intresse för alternativa byggmetoder ökar också behoven av forskning inom området.

Akustik är ”läran om ljud”. Ljud i byggnader uppstår till följd av en hel rad olika ljudkällor. Det kan vara

- ljud utifrån på grund av trafik,
- ljud utifrån på grund av industrier, hamnar eller liknande,
- ljud från installationer,
- besvärande ”efterklang” eller
- ljud från grannar (luftljud, exempelvis stereo, eller stomljud, exempelvis stegljud)

Det är väl känt att trafikbuller är en av de största störkällorna i våra tätorter idag och för att klara rimliga ljudnivåer inomhus så måste bostadsområden och lägenheter planeras på ett sätt som gör att ljudmiljön blir bra och uppfyller gällande föreskrifter. Till hjälp i den regionala och kommunala planeringen av nya bostadsområden finns idag ett allmänt råd från Boverket, ”Buller i planeringen” som kom ut 2008.

I samband med planeringen ställs krav på utomhusbuller och utifrån detta skall byggnader orienteras så att dimensionerade utomhusnivåer kan fastställas. När detta är gjort kan fasader inklusive fönster dimensioneras. För skydd mot trafikbuller och flera andra ljudkällor utomhus kan såväl lätta som tunga konstruktioner användas som stomme i fasad utan att någon boende upplever mer eller mindre störning. Normalt sett är en fasad (exklusive fönster) mycket bättre än motsvarande fönsterkonstruktion och fönster och ventiler sitter i alla typer av stomsystem och det är detta som ”bestämmer” ljudisoleringen. Därtill kan fasadkonstruktionen dimensioneras så att trafikbuller minimeras oavsett om denna är lätt eller tung. Här fungerar således styrning med hjälp av krav och det går utifrån dessa att beräkna och prova alla olika typer av produkter.

1.2 Akustik inom en bostad

Inom bostaden, det vill säga för ljud mellan grannar eller för ljud från maskin-installationer, är det inte lika enkelt. Idag är många bostäder utrustade med egna ”bioanläggningar” samt andra maskiner och utrustning som inte fanns för några decennier sedan. Men det som är mest allvarligt är att det idag går att bygga ”våldigt lätta” byggnader och fortfarande uppfylla krav på stegljudsisolering och vibrationer. Bra, tycker många, men vad säger den som skall bo i byggnaden? Lätta stomsystem sätts lätt i rörelse genom gångtrafik eller genom roterande maskiner och är mycket utförandekänsliga. Roterande maskiner är emellertid en ”installation” och för dessa finns visst skydd i regelverket, åtminstone i utrymmen för sömn och vila. Krav och värderingsmetoder när det gäller ljud och vibrationer från steg (gångtrafik) är dock inte anpassad till alla stomsystem och missgynnar i allmänhet lätta stomsystem jämfört med tunga stomsystem. Det går idag att bygga riktigt dåliga lätta system och fortfarande uppfylla en hög ljudklass. Om man inte kommer tillrätta med detta finns en påtaglig risk att efterfrågan på flerbostadshus med lätta stomsystem inte kommer att öka så som kanske är önskvärt. En industrigren som alla i de nordiska länderna gärna ser som ett fullgott alternativ vid produktion av flerbostadshus eftersom den bidrar till miljövänligt och starkt industrialiserat

byggande, två mycket viktiga framgångsfaktorer för den framtida byggindustrin. Lätt byggteknik har naturligtvis också många andra tekniska fördelar framför tunga betongkonstruktioner.

Den exploatör som skall handla upp ett byggsystem för att bygga flerbostadshus har ofta ambitionen att uppfylla ljudklass B enligt SS 25267. Byggsystem väljs ofta efter tidigare referenser men också naturligtvis efter priset. Entreprenörer som har i uppdrag att uppföra en bostadsbyggnad ger sig alltid ut på marknaden för att leta efter konkurrenskraftiga system som kan uppfylla alla de krav som finns, bland annat för att bättra på sina egna marginaler. Det är idag inget ovanligt att man letar efter billiga alternativ, kanske från utlandet. Alternativ som på pappret ser ut att vara objektivt helt likvärdiga med vilket svenskt alternativ som helst. Det kan emellertid vara väldigt stora skillnader mellan olika byggsystem även om de uppfyller aktuella minimikrav, men hur förklarar man detta? Minimikrav såväl som ljudklass B kan ganska lätt uppfyllas utan att byggnaden upplevelsemässigt uppfyller de förväntningar man har på en modern bostad.

1.3 Akustik – industriell behovsanalys

Med hänsyn tagen till den immission av alla typer av buller som flerbostadshus utsätts för i våra tätorter redovisas i denna rapport en fördjupad industriell behovsanalys vad gäller forskning avseende akustik för lätta moderna stomsystem i flerbostadshus. Med ”lätta” avses i denna rapport exempelvis

1. lättbalkssystem i stål
2. byggsystem i trä
3. kombinationer av lätta och tunga material
4. andra nya lätta konstruktioner som kan tänkas utvecklas i ett modernt samhälle

Redan i ett tidigare arbete, presenterat i State of the art – rapport, SP rapport 2008:16 [1], gjordes en prioritering av forskningsbehov för bostadsbyggnader med lätta stomsystem och då primärt i trä. Rapporten togs fram av ett konsortium av forskare och industrirepresentanter som bildades 2007 på initiativ av SP Träteknik och den finns sammanfattad i en artikel i Bygg&Teknik 2008 [21]. Under hösten 2008 togs initiativ till en forskningsansökan och under denna tid önskade Vinnova som en av anslagsgivarna att ansökan föregås av en oberoende analys koncentrerad på industrins behov av forskning inom området.

Resultaten av denna oberoende analys presenteras i denna rapport. Utöver de behov som beskrivs finns naturligtvis allmänna forskningsbehov som är helt oberoende av byggsystem. Dessa allmänna forskningsbehov har beaktats men ”sorterats bort” och ingår därmed inte i de mest akuta behoven för svensk lättbyggnadsindustri. Några av utgångspunkterna för analysen har varit kunskapsläget idag samt nuvarande regelverk och hur detta påverkar utvecklingen av de system och de byggmetoder som utvecklas på marknaden idag och utifrån detta beskrivs problematiken och behoven. Tanken är att den forskningsansökan som just nu utarbetas parallellt med denna analys verkligen fokuserar på industrins behov för att uppmuntra och stimulera till en bred industriell medverkan. Forskningen skall genomföras för att skapa en stark och konkurrenskraftig framtida industrigen. Denna rapport kan innehålla tillägg och preciseringar till den beskrivning som tidigare utarbetats av konsortiet.

Att det är stor skillnad mellan en tung stomme och en lätt stomme i fråga om allehanda tekniska egenskaper, dimensioner, montagesätt, och inte minst upplevelse (”känsla”), känner de flesta till. Det är en skillnad som ibland väger över till lättbyggnadsteknikens fördel och ibland till byggnader med tyngre stomsystem. Att det är skillnader mellan byggsätten är ju egentligen inget problem utan detta skall ju istället utnyttjas för att använda rätt system på rätt plats. Däremot får det inte förekomma allvarliga skillnader i upplevt ljudklimat när objektiv värdering är densamma. Vad gäller ljud och vibrationer är ett lätt och ett tungt system fundamentalt olika, naturligtvis på en glidande skala. Skillnaderna mellan ytterligheterna är dock mycket stor. Om kunskapen kring dessa störningsfenomen i bostäder inte är tillräcklig samt om de risker som är direkt förenat med dessa

egenskaper inte är kända så kan detta skada lättbyggnadstekniken i flerbostadshus i framtiden. Nuvarande branschkunskande och regelverk gynnar nämligen typiskt tunga konstruktioner. För att förstå helheten inleds denna analys med en tillbakablick på byggreglerna genom åren. Därefter ges en beskrivning av forskningsläget idag samt en översiktlig beskrivning av de olika system som dominerar marknaden. Rapporten avslutas med en beskrivning av de forskningsbehov som bör prioriteras högst sett ur ett industriellt perspektiv.

2. Byggreglernas inverkan på utvecklingen

2.1 Bakgrund

I början på 90 – talet gjordes en genomgripande förändring av Boverkets föreskrifter och allmänna råd med det nya namnet Boverkets Bygg Regler, BBR 94. BBR 94 trädde i kraft fullt ut 1 januari 1995, vilket satte fart på lättbyggnadstekniken. Huvudorsaken till detta var att man efter decennier (≈ ett sekel) av totalförbud mot flerbostadshus i trä (i fler än två våningar) i samband med regelförändringen släppte kravet på obrännbarhet. Därmed blev det plötsligt möjligt att utnyttja trä för helt nya tillämpningar. För Sverige såväl som andra nordiska länder är trä ett material som är attraktivt att använda eftersom det är en förnybar och miljövänlig resurs, tillgången på skog är stor.

Förändringarna i regelverket i slutet av 80-talet och början av 90-talet präglades av stor ”förenklingsiver”, det skulle vara funktionskrav. Förenklarna möjliggjorde en rivstart för lättbyggnadsindustrin som äntligen kunde börja utnyttja trä för höga flerbostadshus. Emellertid har kravet på obrännbarhet under decennier gjort det ganska ointressant att utveckla alternativa regelverk inom andra tekniska områden, däribland ljud. Denna ”stilleståndperiod” gör nu att delar av regelverket riskerar att begränsa konkurrenskraften för tillverkningen av flerbostadshus i lätta moderna byggsystem. Om inget görs ganska snart vill säga! En viktig orsak till en sannolik försämring av konkurrenskraften är utformningen av nuvarande ljudkrav.

I början på 2000 talet tillkom en nationell strategi [2] för att ytterligare främja användning av trä i byggandet. Avsikten med strategin var bland annat att stimulera användningen av nya alternativa byggtekniker vid produktion av byggandsverk. Boverkets Byggregler som möjliggjorde ökat intresse för lätt byggande i trä innehöll (och innehåller fortfarande) nya och delvis okända risker. För att förstå hur regelverket har utformats ges här en återblick från det första statliga regelverket, till det vi har idag. Detta utgör en viktig del i denna behovsanalys eftersom byggindustrin har en lång historik av statlig styrning och delar av regelverket har inte följt med den utveckling som skett inom byggtekniken de senaste 15 åren.

2.2 Byggreglernas utveckling 1945 – 1994

Första svenska statliga regelverket trädde i kraft 1945 (Anvisningar till byggnadsstadgan 1945). Redan vid denna tidpunkt lades grunden till anpassning av ljudkrav till flerbostadshus i betong / sten eftersom det ändå inte var tillåtet att bygga fler än två våningar i trä. Det var visserligen fortfarande vanligt och även tillåtet med lätta konstruktioner / träkonstruktioner i tvåvånings flerbostadshus i vissa skiljekonstruktioner. Nedan redovisas ett utdrag ur byggnadsstadgan som angav vilka lätta skiljekonstruktioner som kunde godtas.

4. Träväggar med puts.

Nr	Konstruktion	Vikt kg/m ²	Luftljudisolering		
			D _l	D _m	D _h
1	1" rörning och puts + 1" spräckpanel + 2" spåntad plank + 1" spräckpanel + 1" rörning och puts	130	38	43	48
2	Dubbel vägg, varje väggskiva bestående av 1" rörning och puts + 1" spräckpanel på fristående 2" × 4" reglar. Mellan väggskivorna 15 cm mellanrum mellan panelerna och fritt upphängd isoleringsmatta	110	42	49	56
3	Dubbel vägg, varje väggskiva bestående av 1" rörning och puts på två diagonalspikade 1" paneler. Mellan väggskivorna 6 cm mellanrum med fritt upphängd isoleringsmatta	135	50	54	58
4	1" rörning och puts + 1 1/2" spåntad plank + 5 cm mellanrum med isoleringsmatta + 1 1/2" spåntad plank + 1" rörning och puts	120	48	56	63

Konstruktionerna nr 2—4 må godtagas som lägenhetsskiljande väggar i bostadshus.

Redan 1950 reviderades byggnadsstadgan, skillnaden var dock inte särskilt stor jämfört med föregångaren. Viss varning för lägenhetsskiljande lätta konstruktioner smög sig in i texten, se utdrag ur 1950 års byggnadsstadga nedan.

**:242 Inverkan av den bärande konstruktionen
Isolering hos träbjälklag**

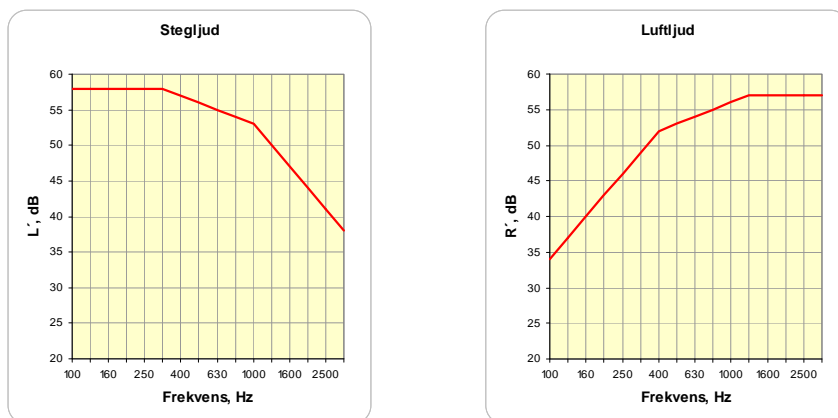
Stegljudsisoleringen ökar med vikten och styvheten hos den bärande konstruktionen; massivbjälklag av betong ger därför bättre isolering än lättbetong- eller hålkroppsbjälklag av samma tjocklek. De senare typerna fordrar mera komplicerade övergolvskonstruktioner och ett speciellt undertak för att ljudisoleringsskruven skall kunna uppfyllas.

I praktiken är den isoleringsökning som fås när tjockleken hos ett betongbjälklag ökas över ca 16 cm mycket obetydlig på grund av flanktransmission längs väggarna. Hög stegljudsisolering kan därför icke nås enbart genom tjocka betongbjälklag utan man måste använda speciella övergolvskonstruktioner (se :244).

Träbjälklag har låg isolering på grund av den låga vikten. Vid lägenhetsskiljande träbjälklag måste man därför använda specialkonstruktioner eller undertak för att ljudisoleringsskruven skall kunna uppfyllas (se :245).

1960 var det återigen dags för en revision av byggreglerna. Då fanns inte träkonstruktioner längre med i regelverket såsom godtagbara konstruktioner samtidigt som luftljud- och stegljud började utvärderas med hjälp av en utvärderingskurva som påminner starkt om den som fortfarande används, se figur 1. En utvärderingskurva som helt bygger på, och förutsätter att, den konstruktion

som skall fungera som lägenhetsskiljande konstruktion har en i grunden god lågfrekvent ljudisolering. Det som först och främst behöver förbättras jämfört med en ”rå” stomme är endast möjliga störningar i mellan- och högfrekvensområdet och det tar man enkelt bort genom att föreslå olika tekniska lösningar som redovisas i nedanstående tabell, som är ett utdrag ur BABS 1960.



Figur 1. Utvärdering av stegljudsnivå ($L'_{n,w}$ och $L'_{nT,w}$) och luftljudsisolering (R'_w och $D_{nT,w}$) sker med hjälp av så kallade referenskurvor som gäller inom frekvensområdet 100 – 3150 Hz. Dessa jämförs med en beräknad eller uppmätt kurva och på det sättet erhålls ett sammanvägt värde inom detta frekvensområde. Man godtar sämre ljudisolering vid låga frekvenser eftersom örat inte är lika känsligt vid låga frekvenser (jämför A-kurvan)

Tabell 23:6. Exempel på bjälklagskonstruktioner som ger godtagbar rumsisolering mot stegljud

A. Bjälklagskonstruktioner godtagbara efter fordringarna enligt krav 1 i tabell 23:2 (boningsrum, ålderdomshem m. m.).

Nr	Bärande konstruktion	Överkonstruktion
1	Massivbjälklag av betong, minst 12 cm, med eller utan puts.	Isoleringsmatta, väl hopskarvad och uppviktt längs väggarna. 5 cm överplatta av betong eller lättbetong samt golvbeläggning.
2	Massivbjälklag av betong, minst 16 cm, med eller utan puts.	Tung fyllning av koksaska, sand etc., 8–10 cm tjock. 5 cm överplatta av betong samt golvbeläggning. (Alt. trågvolt direkt på fyllningen.)
3	Do	Korksmulepapp eller liknande och 15–19 mm parkett.
4	Lättbetong, minst 20 cm, med eller utan puts.	Överkonstruktion som i nr 1 ovan.
Nr	Bärande konstruktion	Överkonstruktion
5	Hålkroppsbjälklag, minst 20 cm, av tegel eller betong, med eller utan puts.	Överkonstruktion som i nr 1 ovan.
6	AH-balkar.	Överkonstruktion samt utförande i övrigt som i nr 5 i tabell 23:5 A.
7	Erge-balkar, typ B med överplatta.	Överkonstruktion samt utförande i övrigt som i nr 6 i tabell 23:5 A.

1967 kom första utgåvan av Svensk Byggnorm SBN, SBN 1967. Detaljstyrningen blev mer och mer påtaglig och det var i samband med att SBN trädde i kraft som utvärderingsprinciperna för ljudisoleringen cementerades (i alla avseenden). Från och med detta år har utvärderingsprinciperna i stort sett legat fast, helt oförändrade. Detta innebär 42 år, och då har vi inte räknat in ”uppbyggnadsperioden” från 1945 och framåt. All utveckling av bostäder och dess byggnadsstommar har förutsatt betong och styrningen har egentligen gjort det ganska ointressant att titta på alternativ. Byggnadsindustrin har därmed vidareutvecklat material och byggmetoder utefter dessa kriterier under många, många decennier. Detta innebär också djupt rotade traditioner och väl inarbetade ”standardmått” i tidiga skeden för bygghöjder, väggfjocklekar etc som kanske inte alls är tillämpbara för lätta konstruktioner. Under denna period i utvecklingen av byggsystem fanns heller inte någon vidare ambition att förbättra konstruktioner utöver vad som absolut var nödvändigt, utan det har hela tiden varit minimikrav som skulle uppnås, varken mer eller mindre. Byggbranschen följde snällt

statens anvisningar. Ett sådant förfarande har naturligtvis också präglat byggindustrin såsom mindre ”forskningsintensiv”. Detta är absolut inte bra när nya byggtekniker plötsligt skall börja användas.

Ytterligare två omgångar av SBN kom ut, SBN 1975 och SBN 1980. Det som skiljer inom avsnittet om ljud är främst att detaljeringsgraden successivt ökade. Tiderna förändrades emellertid under 80-talet. Statens Planverk lades ner och en ny myndighet bildades, Boverket. Uppdraget för Statens Planverks sista år som myndighet innan Boverket bildades handlade mycket om att bidra till förenklingar av regelverket. Och det gjordes! På bara några år kom en ny regelsamling ut, Nybyggnadsreglerna, vilket efter nedbantningen blev Boverkets första föreskrifter. På kort tid ströks många delar ur den tidigare regelsamlingen, SBN 80. Kapitlet om ljud stod inte att känna igen men fortfarande gällde faktiskt samma ”ljudisoleringstal” för bostäder. Många av de förenklingar som gjordes gick väldigt snabbt men i någon mening måste det ändå sägas vara bra då det tvingade fram en hel del nytänkande i den statliga regleringen.

När Boverket hade etablerat sig i sin nya kostym efter flytten från Stockholm till Karlskrona började arbetet med en helt ny regelsamling som skulle präglas av funktionskrav och en mer ”öppen” attityd mot olika tekniska lösningar och möjligen vara lite mer genomarbetat än föregångaren. Regelverket kom att kallas BBR och den första utgåvan kom 1994, BBR94. BBR trädde i kraft fullt ut 1 januari 1995 och det var just i samband med denna som det plötsligt blev tillåtet att bygga bostäder i flera våningar (> 2 våningar) i trä. Som tidigare nämnts berodde denna nyvunna möjlighet på att kravet på obrännbarhet ändrades så att det återigen blev tillåtet att bygga trähus i flera våningar. Troligen släpptes detta krav eftersom myndigheterna kände sig ganska säkra på att det gick att klara brandsäkerheten och hållfastheten med olika hjälpmedel och nya material. Ljudkraven var dock helt oförändrade och gick det då verkligen att bygga ”lätt” med samma krav som gällt tidigare?

Naturligtvis inte, men det innebar ändå startskottet på en intressant utveckling där tunga betongkonstruktioner nu skulle kunna ersättas med lättare träkonstruktioner i bostadshus i flera våningar. Men som sagt, byggreglernas avsnitt om buller var (och är fortfarande) dåligt anpassade till att möta den snabba utveckling som nu skulle ske inom lättbyggnadstekniken.

2.3 Byggreglerna 1998 – 2009

Ganska snart efter första utgåvan av BBR påbörjades en ny revision. Enkla verifierbara funktionskrav var budskapet samtidigt som det skedde förändringar och anpassningar till eventuella krav som ställdes genom Sveriges inträde i EU. Boverket hade vid tiden en stor andel nyanställda vilket säkert var bra på många sätt men också i viss mån ett problem eftersom förändringarna innebar att man öppnade för helt nya byggtekniker som inte använts på 100 år och möjligen hade erfarna ”regelutvecklare” reagerat mer vaksamt på de ändringar som gjordes. Kraven för ljud var, och är, fortfarande starkt anpassade efter ”traditionellt byggande”.

BBR baseras på byggproduktdirektivet som utarbetats av Europeiska kommissionen. Byggproduktdirektivet innehåller bland annat sex väsentliga krav som skall uppfyllas i det färdiga byggnadsverket:

- Bärförmåga
- Säkerhet i händelse av brand
- Skydd med hänsyn till hygien, hälsa och miljö
- Säkerhet vid användning
- **Skydd mot buller**
- Energihushållning och värmeisolering

Syftet med direktivet är att underlätta handel med byggprodukter som förutsätts ingå varaktigt i byggnader eller anläggningar. Det är ytterst tveksamt om dagens ljudkrav inom Europa faktiskt underlättar handeln med byggprodukter, i synnerhet om dessa produkter utgör en del av en lätt

byggnadsstomme, se avsnitt 2.4 och 4.4. De produkter som ingår i byggnadsverket ska ha sådana egenskaper att de bidrar till att uppfylla de väsentliga kraven när byggnadsverket är färdigt. Avsikten med byggproduktdirektivet är inte att harmonisera de nationella byggreglerna utan här kan varje medlemsland själva bestämma en rimlig nivå.

Sveriges tolkning av byggproduktdirektivets väsentliga krav ”skydd mot buller” finns i en föreskrift i BBR,

- * Byggnader och deras installationer ska utformas så att ljud från byggnadens installationer, från angränsande utrymmen likväl som ljud utifrån dämpas. **Detta ska ske i den omfattning som den avsedda användningen kräver och så att de som vistas i byggnaden inte besväras av ljudet.** Om bullrande verksamhet gränsar till bostäder, skall särskilt ljudisolerande åtgärder vidtas. I lokaler ska efterklangstiden väljas efter vad ändamålet med utrymmet kräver. (BFS 2006:12)

Till detta finns ett allmänt råd som anger hur man kan uppfylla föreskriften som innehåller en hänvisning till två svenska ljudklassningsstandarder [3, 4]. Om ljudklass C uppfylls bedöms föreskriftens krav vara uppfyllt.

När det gäller material och produkter som ingår i ett byggnadsverk så skall de ha kända egenskaper så att man säkert vet att de kan uppfylla föreskrifterna i BBR. Avsnitt 2.1 säger

- * **2:1 Material och produkter** - De byggmaterial och byggprodukter som används ska ha kända egenskaper i de avseenden som har betydelse för byggnadens förmåga att uppfylla kraven i dessa föreskrifter och allmänna råd. (BFS 2006:12).
 - *Allmänt råd:* Relevanta krav anges i respektive avsnitt 3–9. Egenskaperna bör vara dokumenterade. (BFS 2006:12).

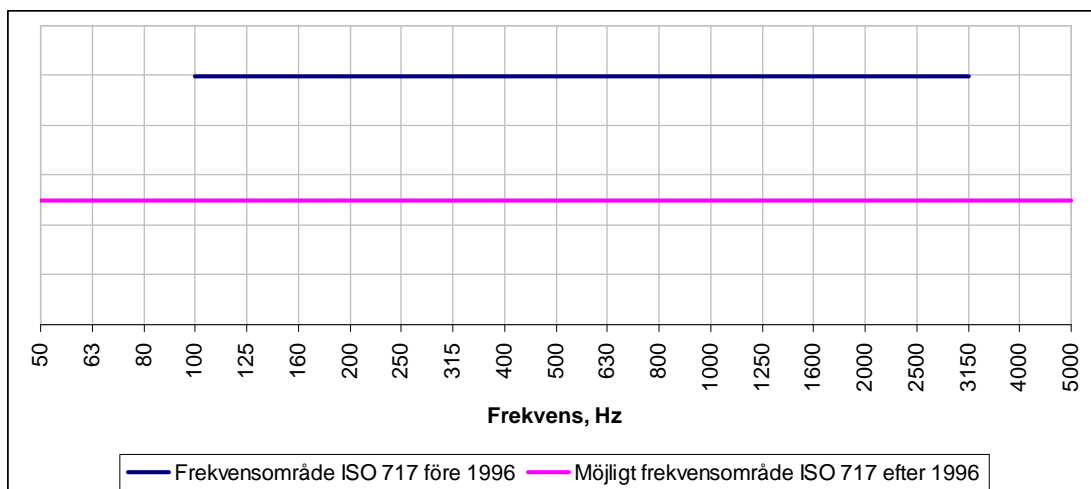
Det finns också en föreskrift i Boverkets konstruktionsregler som kräver viss kontroll av bjälklagets sviktegenskaper:

- * **5:323 Svikt** – För träbjälklag skall risken för besvärande svängningar beaktas.
 - Råd: Svängningsbenägenheten hos ett bjälklag kan bedömas i enlighet med vad som anges i Boverkets handbok Svängningar, deformationspåverkan och olyckslast. För bostadsbjälklag med massiva träbjälkar i huvudbärriktningen kan följande förenklade beräkningsmetod användas för att bedöma bjälklagets vängningsbenägenhet. Nedböjningen hos en enskild bjälke i ett träbjälklag bör inte överstiga 1,5 mm under inverkan av en kortvarig punktlast ($\kappa_s = 1$) vars dimensioneringsvärde är 1,0 kN. Bjälken förutsätts vid beräkningen vara fritt upplagd och belastad i sin mittpunkt. Eventuell lastfördelning till angränsande bjälkar får tillgodoräknas. (BFS 1995:18) Om samverkan mellan bjälkar och golvskena utnyttjas vid beräkningen bör utförandet av fogningen omfattas av tilläggskontroll enligt avsnitt 2:6. (BFS 1995:18)

Här finns en brist i regelverket eftersom det endast föreskriver att det är för träbjälklag som besvärande svängningar skall beaktas. Föreskriften borde skrivas om så att det även täcker in andra lätta konstruktioner. Här finns naturligtvis i övrigt stort utrymme för fri tolkning eftersom det bara står att besvärande svängningar skall beaktas – inga rekommendationer om gränser. Dock finns vissa enkla kriterier (med ganska stora begränsningar på bland annat spännvidd) angivna i Boverkets Handbok om Svängningar, deformationspåverkan och olyckslast när ett bjälklag kan förväntas vara hyggligt bra.

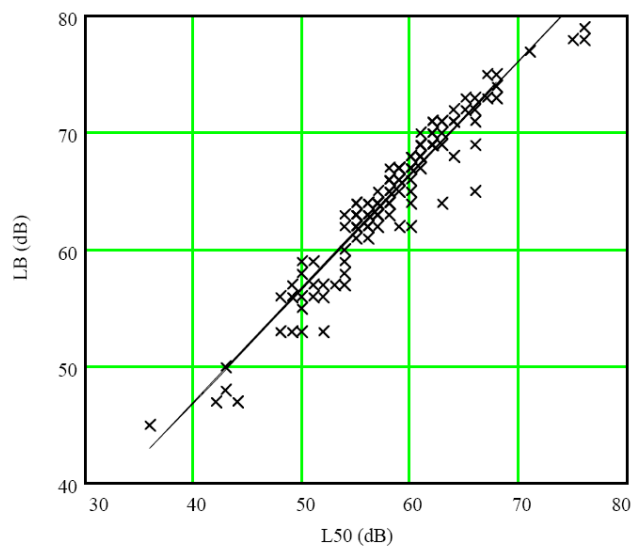
Idag byggs många lätta konstruktioner utan att man riktigt vet vilka egenskaper de har med avseende på ljud, det saknas dokumentation. Det går inte att beräkna, utan det baseras i viss mån på erfarenhet, men ibland på tyckande och ”chansning”. Därmed är det ofta som den föreskrift i BBR som kräver kända egenskaper hos ingående byggdelar, faktiskt inte uppfylls, vilket är en risk i sig.

Vid arbetet med förändringar av BBR, under andra hälften av 1990 – talet skedde en viss anpassning av ljudkraven så att dessa skulle fungera något bättre oberoende av vilken konstruktions typ som dessa tillämpades på. Anpassningen baserades på de forskningsresultat som fanns tillgängliga vid tidpunkten, men också med hänsyn till de nya möjligheter som skapades i och med att den viktiga ISO standarden, ISO 717 [5,6] för utvärdering av ljudisolering förändrades. I samband med att denna standard blev fastslagen kunde frekvensområdet utvidgas ner till 50 Hz (och uppåt till 5000 Hz) jämfört med den tidigare utgåvan som begränsades nedåt vid 100 Hz, se figur 2. Frekvensområdet kunde utvidgas genom att lägga till en så kallad anpassningsterm (av en hel rad olika anpassningstermer vilka i sig kan skapa en kaotisk situation) till det traditionella reduktionstalet eller vägda stegljudsnivån, se vidare avsnitt 6.4. Därmed kunde större hänsyn tas till modern HIFI – utrustning och de låga frekvenser som uppstår på grund av stegljud /stomljud i flerbostadshus med lätta stomsystem.



Figur 2. Traditionellt frekvensområde och möjligt frekvensområde vid utvärdering enligt den nya ISO 717 (1996)

I ett projekt med stöd av NKB (Nordiska Kommittén för Byggbestämmelser) gjordes jämförande analyser för att säkerställa att den nya ISO 717 verkligen kunde tillämpas ”fullt ut” (det vill säga utvidgas åtminstone nedåt i frekvens) på Nordiska konstruktioner med hänsyn till det kunskapsläge som fanns tillgängligt [7]. En stor mängd konstruktioner räknades igenom och resultaten visade att anpassningstermen $C_{50-3150}$ för luftljudsisolering blev ett bra ”filter” för att jämställa tunga och lätta konstruktioner. Därtill ersatte den en tidigare för akustiker välkänd begränsningsregel (”8-dB-regeln”) på ett bra sätt. För stegljud blev det egentligen bara en bekräftelse på att korrelationen mellan det som föreslogs av Bodlund 1985 [8] och nya ISO 717 inklusive den nya anpassningstermen $C_{1,50-2500}$ var god, se figur 3 nedan. Bodlunds forskningsresultat hade nämligen redan utgjort en del av underlaget till den nya reviderade ISO 717. Allt som allt innebar detta att det faktiskt blev lite tuffare för lättbyggnadsindustrin, men också aningen mer rättvisande, medan betongindustrin kunde fortsätta ungefär på vanligt sätt, tämligen opåverkad.



Figur 3. Korrelation mellan $L'_{nw}+C_{1,50-2500}$ (L50) och Bodlunds index L_B , $r = 96\%$. Varje kryss svarar mot en konstruktion. Motsvarande korrelation för det traditionella stegljudsindexet, L'_{nw} , är, $r = 76\%$

Den reviderade utgåvan av BBR började gälla 1999 och det är i princip samma krav som gäller fortfarande även om vissa förfiningar och detaljförändringar gjorts. Sverige var det djärvaste landet och är än idag det enda landet i Europa som utnyttjar nya ISO 717 för att faktiskt anpassa kravet så långt möjligt också till lätta konstruktioner. Anpassningen blev en första liten hjälp för att få lättbyggnadstekniken att börja utvecklas i rätt riktning.

Kraven för ljudklass C i Sverige är idag utformade enligt Tabell 1 nedan (utdrag ur SS 25267 [3]). De viktigaste och mest centrala kraven i aktuell standard, som diskuteras och analyseras i denna rapport är de krav som är gulmarkerade, det vill säga de krav som gäller mellan ”normala” lägenheter.

Tabell 1. Utdrag ur svensk Standard SS 25267, krav ljudklass C

Tabell C1 – Lägsta tillåtna luftljudsisolering respektive högsta tillåtna stegljudsnivå och ljudtrycksnivå från installationer

Utrymme	Lägsta luftljudsisolering (dB)			Högsta stegljudsnivå (dB)		Högsta ljudtrycksnivå från installationer (dB)	
	$R'_{w,10m^2}$	R'_w	$R'_w + C_{50-3150}$	$L'_{n,w}$	$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	L_{pA}	L_{pAFmax}
Från utrymme utanför bostad till utrymme i bostad	–	–	53	56	56	–	–
— dock från utrymme för närings- och serviceverksamhet samt gemensamhetsgarage till bostad	–	–	57	52	52	–	–
— dock från utrymme inom särskilda boendeformer för äldre till bostad inom särskilda boendeformer för äldre	–	53	–	62	62	–	–
	–	57 ^d	–	–	–	–	–
— dock från loftgång och trapphus/korridor eller gemensam balkong/altan/ terrass till bostad	45 ^a	–	53	62	62	–	–
	40 ^b	–	–	–	–	–	–
	50 ^c	–	–	–	–	–	–
— dock från hygienrum och förråd till bostad	–	53	–	56 ^f	–	–	–
I utrymme för sömn, vila och daglig samvaro	–	–	–	–	–	30 ^e	35
I övriga utrymmen	–	–	–	–	–	35	40

^a Kravet gäller för vägg med dörr i normala fall, med undantag enligt noterna b och c, och kan uppfyllas med dörr i klass R'_w 40 dB enligt bilaga A.

^b Kravet gäller för vägg med dörr mot en gemensam och från övriga utrymmen avskild korridor till bostäder inom särskilda boendeformer (till exempel enligt avsnitt 3:211 och 3:212 i BBR), samt till en med dörr avskiljbar hall inom bostad.

^c Kravet gäller för vägg med dörr mot utrymme för sömn, vila och daglig samvaro i direkt anslutning till bostadsdörr, där dörrens ljudisolering väsentligt påverkar möjligheten till avskildhet, exempelvis i entréplan, vid postfack eller hiss eller i andra utrymmen där det förekommer betydande persontrafik utanför bostadsdörren.

^d Gäller vissa typer av boendeformer, t.ex. LSS-boende, där det finns risk för skrik och höga ljud.

^e I utrymme för sömn och vila gäller dessutom $L_{pC} \leq 50$ dB. Avsteg från detta godtas dock om ljudtrycksnivåer i tabell C2 inte överskrids.

^f Kravet kan frångås om man kan verifiera att stomljud från tvättmaskins-, vatten- och sanitetsinstallationer isoleras och inte överstiger de värden som anges för ljud från installationer. Ljudtrycksnivå från WC-stol skall innehålla samma krav minskade med 5 dB.

I ett bidrag till Forum Acousticum 2005, baserat på en undersökning av 24 länders ljudisoleringskrav, gjordes en sammanställning av de olika möjligheter som finns enligt nuvarande ISO 717 [5], att formulera krav samt vilka val de olika länderna gjort. Mängden alternativ är enorm och häpnadsväckande, men i slutsatsen av den undersökningen som konferensbidraget beskrev, blev rekommendation att faktiskt tillämpa exakt de begrepp som används i Sverige idag och som gällt sedan 1999.

Skillnaden är dock den att Sverige aldrig godtar negativa värden på anpassningstermen $C_{1,50-2500}$. Orsaken till detta har dock huvudsakligen med betongkonstruktioner att göra.

Med dessa ”tuffa” och väl underbyggda tag från Sverige kanske många tycker att det borde räcka med detta. De möjligheter som finns har utnyttjats och utgångspunkten har varit relativt modern forskning. Ja, så är det visserligen men det är dessvärre långt ifrån tillräckligt för att långsiktigt skapa konkurrenskraftiga konstruktioner. Och, en fortsatt anpassning av kravet är nödvändig för att säkerställa en långsiktig hållbar utveckling och tillväxt för nya framtida lätta byggsystem av bland annat trä, avsedda för bostäder. Dagens krav beaktar vare sig vibrationer eller ljud i de lägsta frekvenserna i tillräcklig omfattning vilket konstateras i senare undersökningar [10].

Försprånget för betong är fortfarande stort och traditionen gör att de inblandade aktörernas angreppssätt är djupt rotat genom den långa historiken som beskrivits här. Vad gäller ljud- och vibrationsegenskaper gäller följande för tunga konstruktioner (som lättbyggnadsindustrin måste slåss mot i många projekt):

- Vibrationer är normalt inga problem för vanliga ”hushållsaktiviteter”,
- Upplevd ljudisolering stämmer bra med objektiv ljudisolering,
- det är relativt enkelt att med god precision ”sätta ihop” / beräkna en byggnad genom att kombinera olika produkter och på det sättet i förväg konstatera om den uppfyller en viss ljudklass, eller minimikrav enligt byggregler,
- Tunga byggdelar kan snabbt optimeras och kombineras med rätt produkter för att anpassa till andra länders krav – underlättar handel över gränser,
- det finns en tradition som gör att de som är inblandade i ett byggprojekt ”tänker betong”.

Just traditionen spelar ganska stor roll i tidiga skeden. Vägg – och bjälklagstjocklekar beslutas utefter ”betonghus”, bygglov fastställs och en uthyrbar yta kalkyleras. Men, det fordras normalt helt andra tjocklekar när man jobbar med lätta system [9]. Eftersom dessa faktorer påverkar bygghöjd och uthyrbar yta måste lättbyggnadssystemen finnas med i projektens inledande skeden som en möjlig lösning och värderas både med hänsyn till dess för- och nackdelar. Ju längre processen gått desto svårare blir det att använda ett lätt system. Eftersom det är just ljudegenskaperna som faktiskt styr en stor del av dessa faktorer så får man inte i ett läge där man kommer in sent i processen frestas att göra irrationella val för att möta krav på vissa dimensioner med en lätt stomme, det vill säga börja minska på de redan snäva marginalerna. Istället måste kunskapen stärkas för att öka lättbyggnadsteknikens konkurrenskraft så att alla dess fördelar kommer till sin rätt och diskuteras redan i tidiga skeden.

2.4 Regelverk i andra länder

De nordiska länderna har idag förhållandevis höga ljudisoleringskrav när det gäller flerbostadshus. Det finns dock inget Nordiskt land som har identiskt krav med något annat nordiskt land. Under 1990-talet gjordes försök inom INSTA-B (Inter Nordisk STANDARDisering – Bygg) att skapa en gemensam standard för samtliga Nordiska länder. Dessvärre lyckades inte harmoniseringen fullt ut utan standardförslaget som utarbetades blev endast underlag för att skapa egna nationella standarder. Det som därmed lyckades var att få alla Nordiska länder att faktiskt anta ett nationellt ljudklassningssystem med fyra ”ljudklasser” för bostäder. Dessvärre har alla respektive standarder olika klassgränser och olika mått för värdering av ljudisolering. Detta gör att handel över gränser till våra allra närmaste grannar knappast underlättas, i synnerhet inte för hela byggsystem som helt anpassats för att klara krav i det egna landet.

Även övriga Europa avviker från andra länder, varje land på sitt ”invanda” vis. Österrike som också har kommit en bra bit på väg vad gäller flerbostadshus i trä har nyligen initierat ett projektförslag där regelverket skall ses över för att anpassa det till modern byggteknik med lätta stommar. Om pengar beviljas under våren 2009 deltar Sverige och Finland i detta utvecklingsarbete.

I Storbritannien (England och Wales) infördes 2004 krav på omfattande kontrollmätningar innan en ny byggnad får tas i bruk. Som alternativ till detta kan man förbinda sig att följa ett detaljerat kvalitetssystem som kallas Robust Details (www.RobustDetails.com). Åtgärderna

infördes för att komma till rätta med de ljudproblem i bostäder som blivit alltför besvärande. Alternativet med Robust Details tillkom bland annat för att man insåg det omöjliga i att faktiskt kunna genomföra alla mätningar som skulle krävas, antalet mätinstanser / konsulter var långt ifrån tillräcklig.

” Robust Details Limited (RDL) provides a route to compliance for Part E of the Building Regulations... It may be used as an alternative to on-site pre-completion sound testing ... We assess and approve new Part E Robust Details and provide a registration service that enables builders to use them in the construction of their new homes and avoid the delays and uncertainties of pre-completion sound testing. Registering and building in accordance with Robust Details avoids the risk and uncertainty of remedial action being required on completed floor or wall constructions, with the potential delays in completing the property.”

Idag är mer än 60 % av byggandet av flerbostadshus i England och Wales underställt kvalitetssystemet enligt Robust Details. Det har alltså på mycket kort tid fått en enorm genomslagskraft.

I Norge finns ett system ”Byggforskserien” som underhålls av Sintef Byggforsk.

”Byggforsk kunnskapssystemer er et elektronisk oppslagsverk som inneholder Byggforskserien, Byggebransjens våtromsnorm og de offentlige byggereglene. Byggforskserien gir anvisninger, løsninger og anbefalinger for prosjektering, bygging og forvaltning av bygninger.”

Det pågår således många bra aktiviteter nationellt i varje land inom Europa. Dessa aktiviteter behöver samordnas inom EU. Om Sverige och andra Nordiska länder på sikt skall kunna bli en stor exportör av flerbostadshus i trä så måste man börja engagera sig i standardiseringsfrågor samt öka kunskapen om andra länders regelverk och därmed arbeta aktivt för att underlätta handeln över gränser.

3. Forskningsläget idag

3.1 Bakgrund

Forskningen inom byggakustikområdet har varit ordentligt eftersatt under många år. Detta är olyckligt eftersom det funnits en tydlig vilja från statsmakterna [2] att marknadsföra lättbyggandet (och då i synnerhet trä) som ett mycket bra alternativ till traditionellt byggande. Denna marknadsföringskampanj är lovvärd och skogen är en fantastisk resurs som Sverige och andra Nordiska länder sitter på **men** det hade varit logiskt om denna marknadsföring hade gått hand i hand med ökad satsning på forskning och utveckling inom de områden som är viktiga för den framtida utvecklingen.

Den begränsade forskningen på senare år påverkar även utbildningen som naturligtvis också blir eftersatt. Tillväxten med nya kunniga civilingenjörer med intresse för byggnadsakustik är därmed inte tillräcklig. Idag råder stor brist på kunniga byggnadsakustiker, och det är inte bra för den framtida fortsatta utvecklingen av den mycket komplexa lättbyggnadstekniken.

Sammantaget gör allt detta att det finns stora kunskapsluckor inom flera områden vad gäller byggnadsakustik och lätta konstruktioner. Det kan gälla möjligheten att beräkna slutlig ljudisolering i en byggnad, utformningen av knutpunkter, förståelse kring energitransport i lätta konstruktioner som är typiskt anisotropa, mättekniska problem vid låga frekvenser, etc. Allt kan dock inte lösas i ett och samma forskningsprogram. Behoven måste prioriteras och då är förståelsen kring störningsfenomenet det som är allra viktigast att fokusera på. När detta är mer känt kan insatserna inom andra områden öka.

3.2 Förståelse kring störningsfenomenet

De forskningsresultat som utgjorde en del av underlagsmaterialet för nya ISO 717 [5, 6] var i stora delar ett svenskt arbete och arbetet / undersökningarna utfördes i verkliga boendemiljöer. Dessa resultat har återanvänts och på senare år utvecklats och nya rön presenterades i en licuppsats 2005 [10]. En slutsats av detta arbete var att det är rimligt att för lätta konstruktioner primärt fokusera på de problem som uppstår av steg- och stomljud samt vibrationer på bjälklag. Vidare är det troligt att luftljudsisoleringen kan optimeras bättre med hänsyn till skiljekonstruktion, men det är ändå sekundärt jämfört med det förra. Forskningsintensiteten framdeles behöver därför främst handla om steg- och stomljud samt vibrationer. Inom konsortiet [1] har man kommit fram till liknande slutsatser sett ur forskarperspektiv.

I licuppsatsen [10] noterades bland annat att de objekt som ingick i det forskningsmaterial som legat till grund för nya ISO 717, Bodlund [8], inkluderar stegljudsisolering både horisontellt och vertikalt. Problemet var bara att samtliga ”horisontella” resultat ingick i en grupp med låga stegljudsnivåer och de vertikala mätningarna ingick i en annan tydligt avgränsad grupp med höga stegljudsnivåer. Denna tydliga gräns mellan ljudtransmission horisontellt (via väggar) jämfört med vertikalt (via bjälklag) gjorde att det nya forskningsarbetet inriktades på att göra förnyade beräkningar och intervjuundersökningar med bara vertikala konstruktioner / bjälklag. Samtliga horisontella konstruktioner togs bort ur materialet och istället tillkom ett antal nya objekt och i dessa studerades bara stegljudsisolering vertikalt. Genom detta angreppssätt kunde det senare konstateras att helt andra åtgärder kommer att krävas för att långsiktigt skapa konkurrenskraftiga lätta bjälklag.

Utgångspunkten i tidigare forskningsarbeten har varit att den befintliga hammarapparaten används som referensljudkälla / kraftkälla, se figur 4. När denna verkar på ett bjälklag så matar den in energi i bjälklaget. Eftersom hammarapparaten är ganska lätt så ger den inte samma energi in i bjälklaget som fotsteg eller hopp gör. Därmed är inte verklig energi och den som används för att värdera bjälklaget densamma. Men det gör normalt ingenting eftersom ljudnivåerna som uppstår av hammarapparaten oftast är tillräckligt höga. Det är däremot nödvändigt att kompensera för den lägre tillförda energin när man utvärderar stegljudsnivåerna. I Japan och Korea används ibland

en tyngre ljudkälla, en gummiboll eller ett bildäck på en speciell maskin för att säkert mata in tillräckligt med energi i låga frekvenser i lätta stommar. Det är lämpligt att försöka göra en systematisk kartläggning av de erfarenheter som finns i dessa länder för att ytterligare förbättra underlaget och kunskapen i Norden och Europa för ljudkällans inverkan på stommen. Detta är en evig fråga men bör på något sätt inkluderas för en fullständig bild över mätmetodernas inverkan på störningsupplevelsen. Sannolikt är detta särskilt viktigt för att kunna skapa en riktig bild över vibrationers inverkan på störningsupplevelsen.



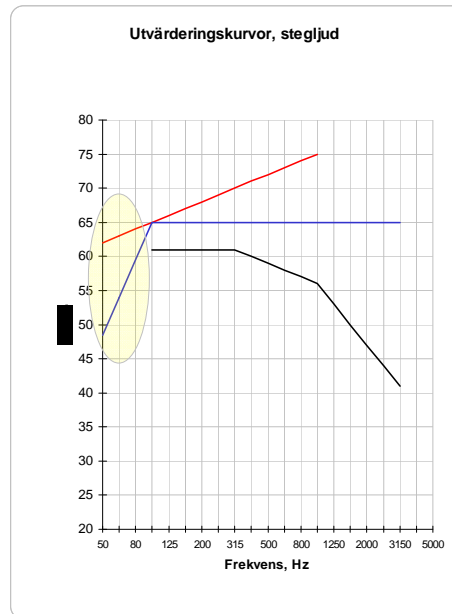
Figur 4. Hammarapparat från Norsonic för simulering av stegljud på bjälklag

Hur kan man då göra för att kompensera för den förhållandevis låga energi som hammarapparatens matar in i bjälklaget? Detta åstadkommes genom att vikta uppmätta stegljudsnivåer vid olika frekvenser beroende på dess störning när man tar fram ett entalsvärde. Under senare års forskning har just det framkommit, att det fordras en påtagligt reviderad så kallad utvärderingskurva / vägningskurva för att kunna kompensera för den energiskillnad som uppstår mellan fotsteg och hammarapparat vid låga frekvenser (under 100 Hz) och som är så känsligt i lätta konstruktioner, se figur 5. En vägningskurva används för att bestämma ett entalsvärde, exempelvis $L'_{n,w}$, utifrån uppmätta stegljudsnivåer eller reduktionstal i tersband. Läget för vägningskurvan beror på uppmätta 1/3 dels oktavbandsvärden och bestäms enligt regler som beskrivs i ISO 717. I forskningsarbetet användes samma regler för att bestämma läget för olika vägningskurvor (och därmed entalsvärdet) oberoende av dess form. I samtliga fall är sedan entalsvärdet det värde som avläses vid 1/3 dels oktavbandet 500 Hz. Röd kurva i figur 5 är den som Bodlund föreslog [8] och blå kurva är efter uppdateringen och kompletteringen av materialet [10]. Svart kurva är den som ligger till grund för det traditionella ”vägda stegljudsmåttet som fortfarande används i de flesta länder, $L'_{n,w}$ [6]. Oavsett vad man vet om utvärdering av stegljud så är det lätt, att med blotta ögat, se att skillnaden är enorm på den traditionella ”betong”- kurvan (svart) och den som föreslås för att få en rimligt jämförbar värdering för ett lätt bjälklag (blå). Ju brantare positiv lutning kurvan har i de låga frekvenserna desto tuffare krav. Slutsatsen blir att väsentligt större vikt måste läggas vid de riktigt låga frekvenserna för att kunna skapa ett bjälklag som ger rimliga steg- och stomljudsegenskaper. Resultaten baseras på en stor mängd objektiva mätningar parat med frågeformulär och intervjuer hos boende i ”normala” bostäder.

Som i alla vetenskapliga studier finns naturligtvis en rad begränsningar även i dessa undersökningar. Förutom att materialet bör detaljstuderas mycket mer samt inkludera svikt och vibrationer så bör det också fyllas på med fler konstruktioner som är typiska för modernt byggande med lätta stommar. Man kan heller inte generalisera resultaten och säga att de gäller för alla olika typer av boendeformer. Typiska boendeformer som inte kan inkluderas, och på vilka forskningsresultaten därmed skall tillämpas med stor försiktighet, är:

- Studentbostäder
- Äldreboende
- Seniorboende

Kanske finns det fler boendeformer men de studier som finns inskränker sig således till traditionella bostäder för en ”normal” familj. Vad som är normalt idag kan ju emellertid diskuteras eftersom vi har en population som inte enbart består av en normal familj med två barn och detta är kanske något som lättbyggnadsindustrin kan använda till sin fördel.



Figur 5. Tre olika vägningskurvor framtagna vid olika tidpunkter. Svart kurva är den traditionella vägningskurvan enligt ISO 717 anpassad efter betongkonstruktioner och där man inte särskilt behöver titta på hur konstruktionen uppträder vid låga frekvenser. Röd kurva är den som föreslogs av Bodlund på 80-talet för att bättre kompensera för låga frekvenser. blå kurva är den som bygger på vidare bearbetning av bodlunds material och komplettering av densamma, Hagberg 2005.

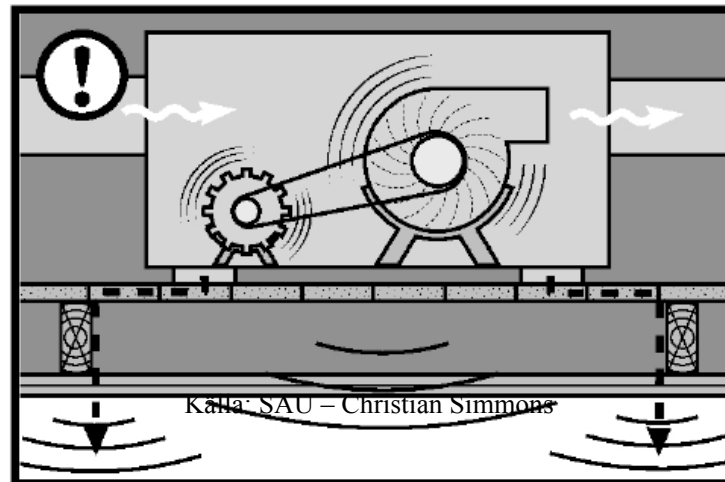
Olika konstruktioner har också undersökts subjektivt i laboratorium, bland annat vid Lunds Tekniska högskola i början på 2000 – talet [20]. I detta arbete konstaterades att det traditionella $L_{n,w}$ måttet korrelerar klart sämst med subjektiv upplevelse medan loudness enligt ISO 532 B ger den högsta korrelationen. I detta arbete provades både lätta och tunga bjälklag.

Maskiner som stomljudskälla

Allt fler maskiner installeras i våra byggnader. Av samma skäl som för stegljud påverkas lätta konstruktioner i mycket högre grad än tunga då nya exklusiva installationer skall in i lägenheterna. Om lättbyggnadstekniken på sikt vill vara med och bygga bostadsrätter och lägenheter med tillval utöver det vanliga, då gäller det att ha mycket bättre kontroll på de fenomen som handlar om stomljud och vibrationer. Typiska ganska vanliga installationer idag som kan orsaka svårösta lågfrekventa bekymmer är:

- Stomljud från bubbelbadbaljor för utomhusbruk på verandor (lägenhet under
- Stomljud från bubbelbadkar inomhus
- Felplacerade tvättmaskiner / torktumlare

- Fläktaggregat på vindar
- Etc



Figur 7. Maskiner på träbjälklag orsakar ofta vibrationer och kraftiga lågfrekventa ljud beroende på att bjälklagen är eftergivliga

3.3 Exempel – utvecklingsprojekt

3.3.1 Byggekostnadsforum

I ett projekt för Byggekostnadsforum 2006-2007 [11] gjordes en noggrann analys i 7 olika bostadsobjekt som visar vad verklig ljudklass blev i dessa olika objekt, se tabell 2 nedan. I sex av dessa objekt var ambitionen ljudklass B men detta uppfylldes endast i ett fall när den senaste utgåvan av SS 25267 tillämpades, i övriga fall uppfylldes enbart ljudklass C (minimikrav). I det sjunde objektet var ambitionen bara att klara ljudklass C och det uppfylldes också.

Tabell 2. Verklig uppnådd ljudklass i de 7 objekt som ingick i undersökningen [11]*Ljudklassning av respektive byggnadsobjekt, enl. utgåva 2 och 3*

	<i>Luftljudsisolering</i>	<i>Stegljudsisolering¹</i>	<i>Totalt</i>
Objekt 01 (btg)			
- utgåva 2	C	B	C
- utgåva 3	C	A (B)	C
Objekt 02 (btg)			
- utgåva 2	C	B	C
- utgåva 3	C	A (B)	C
Objekt 03 (btg)			
- utgåva 2	C	B	C
- utgåva 3	C	A (B)	C
Objekt 04 (btg)			
- utgåva 2	C	B	C
- utgåva 3	B	B (B)	B
Objekt 05 (btg)			
- utgåva 2	C	B	C
- utgåva 3	C	B (B)	C
Objekt 06 (trä)			
- utgåva 2	B	C	C
- utgåva 3	B	C (C)	C
Objekt 07 (trä)			
- utgåva 2	B	C	C
- utgåva 3	A	C (C)	C

¹ Värden inom parentes avser ljudklass då stegljud har medelvärdesbildats separat för vertikala och horisontella mätningar.

I projektet för byggkostnadsforum blev det uppenbart att det gäller att alltid ifrågasätta påståenden om uppfylld ljudklass, både för tunga och lätta konstruktioner. Vidare, genom att studera tabellvärdena så kan en viktig aspekt noteras som kan påverka hus med lätta stommar negativt. Visserligen är just detta ett litet urval men det styrker den känsla (baserad på många års samlad erfarenhet) som finns om hur det faktiskt kan se ut. Som framgår av tabellen så är ljudklassen densamma för samtliga projekt men det som styr uppnådd ljudklass för lätta konstruktioner är stegljudsisoleringen medan det kan vara (och ofta är) tvärtom för tunga konstruktioner. Låt oss anta att detta är sant, då har ju en byggnad med lätt stomme,

1. ett bjälklag som har sämre stegljudsegenskaper objektivt än ett betonghus i motsvarande ljudklass!
2. men också ett bjälklag som har sämre subjektiva stegljudsegenskaper än vad motsvarande betongbjälklag med samma entalsvärde skulle ha haft

Detta är naturligtvis inte bra och om byggandet fortsätter utan att något görs så riskerar man att ganska snabbt försvagas konkurrensmässigt.

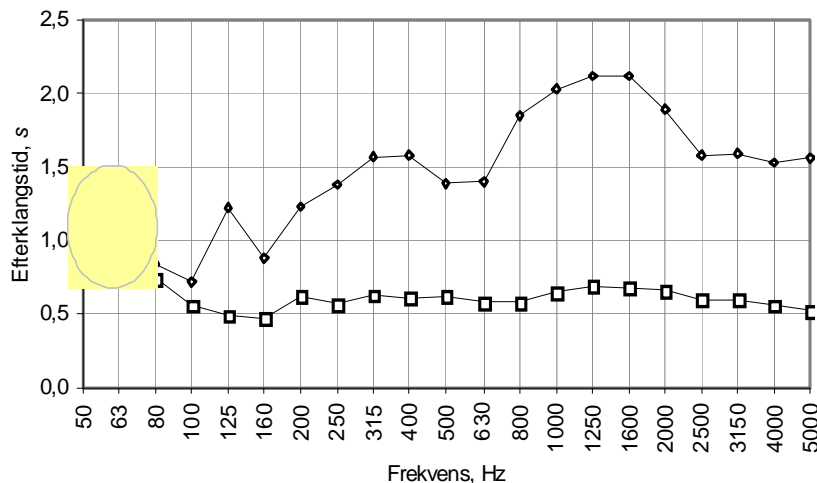
I de flesta hus med lätta stomsystem är luftljudsisoleringen riktigt bra. Detta kan möjligen vara ett problem eftersom riktigt bra luftljudsisolering horisontellt jämfört med ljudisoleringen vertikalt skulle kunna göra att stegljuden framträder än tydligare? Detta är naturligtvis

bara en hypotes men väl värd att beakta eftersom det skulle finnas utrymme till viss besparingspotential genom att faktiskt minska på ljudisoleringskvaliteten på de väggar som är lägenhetsskiljande.

Dessvärre finns ännu några viktiga faktorer att ta hänsyn till:

1. Vid utvärderingen av standardiserad stegljudsnivå normaliseras till en efterklangstid som skall råda vid full möblering. Den är nästan alltid 0,5 s i en normalmöblerad lägenhet. Genom en sådan normalisering kan mätning ske i olika tillstånd och korrigeringen sker genom en matematisk formel. Men vid låga frekvenser blir inte alltid efterklangstiden 0,5 s efter möblering – möbler fungerar olika bra som absorber i olika frekvenser och långt ner i frekvens är de normalt inga bra absorber. Därmed är det inte självklart att normaliseringen / korrigeringen skall gälla i de lägsta frekvenserna, se figur 6. Och anta att man inte skulle få korrigera i de lägsta frekvenserna, ja då är ju upplevd nivå än högre, och naturligtvis blir en eventuell effekt av detta särskilt påtaglig i byggnader där upplevd ljudisolering helt styrs av nivåerna i de lägsta frekvenserna.
2. Störning i lätta bjälklag skiljer sig från tunga också såtillvida att det många gånger går att höra var ”ljudkällan” befinner sig på bjälklaget över, det vill säga, det är möjligt att följa förflyttningen. Studier kring detta inleddes på Lunds Tekniska Högskola på 90-talet men det finns inget publicerat.

Visst, allt detta kan låta som väldigt mycket ”finlir” men när alla faktorer sammantaget läggs ihop så är det ändå lättare att förstå varför det kan bli så oerhört fel i vissa byggnader trots att alla krav är uppfyllda.



Figur 6. Exempel på efterklangstid före och efter möblering i en ”normal” lägenhet. Efterklangstiden minskar inte efter möblering på samma sätt i de lägsta frekvensbanden som för de högre frekvensbanden □ möblerad; ◇ inte möblerad

En lätt konstruktion ger störningar långt ner i frekvens, en bra bit under 50 Hz där gränsen för nuvarande krav är satt. Någonstans runt 20 Hz övergår ljud / buller i vibrationer. Denna gräns är flytande. För en lätt konstruktion åstadkommes vibrationer mycket enkelt genom hopp och tunga steg. Men vad är buller och vad är vibrationer – detta är långtifrån självklart? Och hur detta

påverkar de som bor i husen och hur vibrationer i kombination med buller i låga frekvenser påverkar oss, det vet vi inte och det finns endast begränsad kunskap inom området (Ljunggren [17], Homb [14] och Toratti [19]). Därmed kan i dagsläget heller inga leverantörer av träbyggnadssystem ge tydliga besked på detta. I en tung betongkonstruktion behöver man aldrig fundera på lågfrekventa vibrationer eftersom det inte uppstår av vanliga fotsteg, eller andra hushållsaktiviteter. Dessa osäkerheter är en viktig faktor varför flera av Sveriges största byggbolag, ofta väljer att bygga med homogena tjocka betongkonstruktioner. Risknivån är mångfalt lägre. Och så länge lättbyggnadsindustrin inte har den kunskap som krävs för att förstå hur risknivån skall minskas så är sannolikheten stor att den tillväxt som rimligen borde vara möjlig, begränsas rejält. Allt sammantaget en utmaning för lättbyggnadsindustrin som kräver mycket mer kunskaper

I arbetet för Byggkostnadsforum [11] gav boendeundersökningen indikationer på att andelen betyg lägre än 4 var betydligt större i byggnader med lätta stommsystem, se tabell 3. Betygsskalan var 7 gradig precis som i tidigare forskningsarbeten [8, 10] där 1 är sämst och 7 är bäst. Att andelen väldigt låga betyg var fler för lätta stommsystem kan förklaras av att i de fall störning uppstår (på grund av spring eller hopp) så blir störningen oerhört mer påtaglig i ett hus med lätt stomme.

Tabell 3. Andelen svarande i % som gav betyget 4 eller lägre

Tung stomme	Tung stomme	Tung stomme	Tung stomme	Tung stomme	Lätt stomme	Lätt stomme
20	18	18	16	(43) *	37	39

* Hög andel på grund av allmänt missnöje med andra faktorer

Om detta beror på höga ljudnivåer eller att byggnaden vibrerar, eller en kombination av dessa två fenomen, är inte alldeles klart. Tidigare studier har inte kunnat ge svar på detta, då de objektiva mätningar som utgjort underlag endast beaktat ljud inom det standardiserade frekvensområdet.

Trots alla osäkerheter har byggandet av flerbostadshus med lätta stommsystem ökat och utgör i Sverige idag mer än 15 % av den totala produktionen. Bostäder med stommar av trä är helt dominerande. Ökningen beror till stor del på den satsning som statsmakterna genomfört genom underlaget för en nationell strategi [2] för mer trä i byggandet som bland annat kom till för att få till ökad konkurrens i bostadsbyggandet i Sverige. I förhandlingsuppdraget finns en rad direktiv, bland annat följande

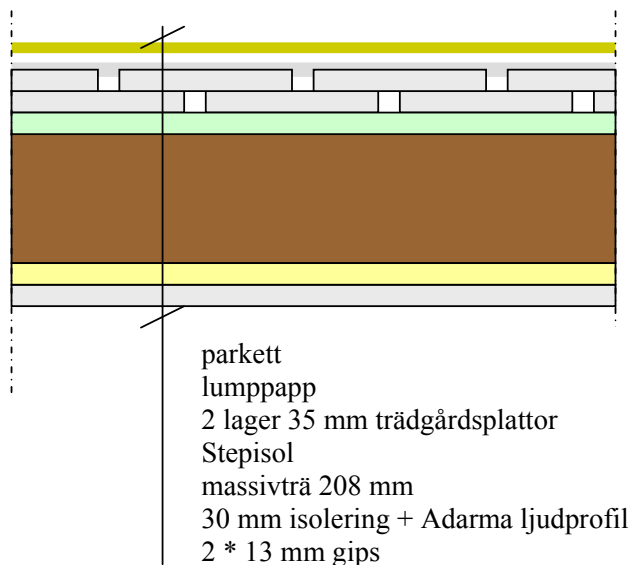
I förhandlingsuppdraget skall beaktas de insatser som för närvarande görs för att främja tillväxten inom näringen och då särskilt frågan hur **inträdet av nya aktörer** på marknaden kan underlättas. I strategin skall vägas in **miljöaspekter** och hur dessa, **långsiktigt hållbart**, skall hanteras på marknaden. Utgångspunkten skall vara att arbetet bidrar till **regional** utveckling och **hållbar** tillväxt.

Det är osäkert om avsikten är att de akustiska förhållandena i bostadsbyggnader skall ingå som en miljöaspekt i detta avseende. Oavsett vilket, så är ljud, svikt och vibrationer i lätta byggsystem dock en miljöaspekt som inte får försummas, samtidigt som buller är ett av de sex väsentliga kraven i EU:s byggproduktdirektiv. Därmed måste framtida byggare kunna svara på hur dessa miljöaspekter kan beaktas i lättbyggnadstekniken och hur detta kan bidra till att göra den långsiktigt hållbar så att en sund tillväxt säkras inom området. Detta kan bara säkras genom att öka kunskapen om hur människan upplever buller och vibrationer i byggnader med lätta stommsystem samt hur detta skall verifieras och dokumenteras.

3.3.2 Andra projekt

I den mån det förekommit utvecklingsprojekt inom lättbyggnadsindustrin så har dessa ofta styrts mot de mål som gäller i standarder och regelverk, många gånger ljudklass B enligt SS 25267 [3]. Helt naturligt förutsätts att konstruktionen blir tillfredsställande, när och om detta uppnås. Det gäller att försöka skapa bjälklag som klarar höga ljudklasser men om klasserna inte stämmer med subjektiv störning så är det fel satsade utvecklingspengar.

Ekologibyggnarna AB drev ett utvecklingsprojekt som färdigställdes 2003, med stöd av bland annat SBUF. Där konstaterades att det går att bygga massivträhus i flera våningar med bjälklag i ljudklass B. Bjälklaget som provades i ett provhus i skala 1:1 i två våningar visas i figur 8. I projektet gjordes ganska omfattande åtgärder för att öka massan och på detta sätt förbättra ljudegenskaperna. Dessutom gjordes stora ansträngningar för att inte missa detaljer i utförandet, bland annat tejpades mellan elementen troligen för att minimera risken för ljudläckage. Med hänsyn till bjälklagets uppbyggnad så kan man diskutera behovet av dessa detaljer (åtminstone med hänsyn till akustiska krav) eftersom flera av dessa åtgärder enbart påverkar högt i frekvens och dessutom elimineras av betongplattor och undertak.



Figur 8. Bjälklagskonstruktion som byggdes upp för att klara ljudklass B enligt SS 02 52 67 (utgåva 2) i ett utvecklingsprojekt som drevs av Ekologibyggnarna AB

I tabell 4 redovisas mätresultat från aktuellt utvecklingsprojekt med sammanfattningsvärden enligt nuvarande BBR och den klass som uppnås samt motsvarande resultat om man använder det mått som bättre korrelerar med subjektiv störning. De olika måtten har beräknats och gränsvärden för olika ljudklasser har bedömts genom att använda formler angivna i [10]. Klass C med nuvarande ISO mått inklusive $C_{1,50-2500}$ innebär att följande krav skall uppfyllas

- $L'_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 56$ dB (svarar mot BBR)

Skulle entalsvärdet enligt [10] tillämpas så kan motsvarande gränsvärde beräknas till

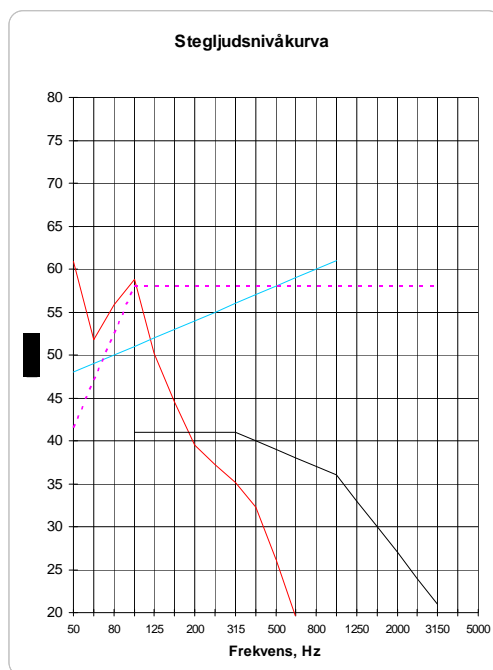
- $L'_{ny} \leq 61$ dB (enligt en "framtida" BBR)

På samma sätt gäller gränsen 52 dB respektive 57 dB för klass B samt gränsen 48 dB respektive 53 dB för klass A. Med utvärdering enligt [10] skulle enbart ljudklass C uppfyllas, se tabell

4 och figur 9. Alltså, med den forskning som finns framme idag och som delvis faktiskt var känd redan 2003 så har man inte nått riktigt ända fram i detta projekt. Upplevelsen av stegljudsnivåerna i en sådan här byggnad är sannolikt inget annat än ”subjektiv” minimistandard.

Tabell 4. Traditionell utvärdering enligt ISO ($L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$) och uppnådd ljudklass samt utvärdering enligt [10] och uppnådd jämförbar ljudklass.

Ekologibyggnarna SBUF		
	Värde	Ljudklass
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	49	B (A med 2 dB regel)
$L'_{n,new,03}$	58	C



Figur 9. Resultat från mätningar i ovan angivna utvecklingsprojekt som drevs av Ekologibyggnarna AB. Med Stepisol och betongplattor ökar vikten och man klarar ljudkraven enbart på grund av att de högre frekvenserna ”trycks ner i botten”

Det är lovvärt att initiativ tas till denna typ av projekt men detta är ett verkligt projekt som visar hur nuvarande regelverk gör att pengar, kraft och energi läggs på något som inte med säkerhet blir riktigt bra i slutänden. Vidare bör man också fråga sig är om det är en betongkonstruktion eller en träkonstruktion? Bara betongplattorna väger rimligtvis ca 150 kg / m² så totalt sett är detta ingen riktigt lätt konstruktion längre med de viktiga konkurrensfördelar en sådan har. Vidare så har det varit känt väldigt länge att ett tungt övergolv är ett mycket enkelt sätt att klara höga krav enligt ISO men det löser inte lätta konstruktioners verkliga bekymmer – lågfrekvensen.

Med ett mått som styr åt rätt håll kommer också utvecklingen att drivas åt rätt håll både när industri utvecklar nya system och när nya värderingsmått tas fram.

4. Lättbyggnadsindustrin

4.1 Bakgrund

Byggandet av flerbostadshus med lätta stomsystem i Sverige domineras av ett antal industrier som i mer eller mindre omfattning dokumenterar deras resultat vad avser ljudisolering i färdigställda byggnader. Trästommar dominerar lättbyggnadsindustrin idag. Generellt kan sägas att flertalet kan uppvisa godkända värden (ljudklass C) enligt BBR och några kan dessutom med gott samvete säga att de klarar ljudklass B, åtminstone för vissa egenskaper. Osäkerheterna och den stora spridningen i resultat som är känd sedan länge [18], gör det dock svårt att med säkerhet säga att byggnaderna i sin helhet verkligen klarar den ljudklass som var avsedd.

Industrierna samarbetar ofta med någon byggentreprenör som låter uppföra deras system i olika byggprojekt. De industrier som idag är framgångsrika har ofta väl utvecklade system som provats i ett antal projekt. Vissa tillverkare har valt att prefabricera hela volymer (kompleta rum) som staplas ovanpå varandra medan andra har valt platta element som bas vilka sammanfogas på arbetsplatsen. Varje system har sina för och nackdelar. Vissa av aktörerna lägger ut elementtillverkningen på lokala tillverkare. Nedan räknas ett antal av huvudaktörerna i Sverige upp. Det kan naturligtvis finnas ytterligare aktörer.

- Masonite (Platta element)
- Setra Group / Plusshus (Volymelement)
- Martinsons (Platta element)
- Lindbäcks bygg (Volymelement)
- Moelven Byggmodul (Volymelement)
- Moelven – semibjälklaget (Platta element)
- Lelånghus (Volymelement)
- Derome (Platta element)
- Huskomponent i Fågelfors AB (Platta element)
- BoKlok (Volymelement)
- etc

Det finns också ett antal tillverkare som visar stort intresse för att starta tillverkning av flerbostadshus i trä.

- Götenehus
- MHM Scandinavia (Platta element)

Det finns också ett antal utländska aktörer som bygger mycket i Norden och övriga Europa.

- KLH Scandinavia AB
- Kodumaja, Estland (Volymelement)
- Matek, Estland
- JP Haus, Litauen (Volymelement)
- etc

Dessutom finns ett antal lättbyggnadssystem med stomme av lättbalkar i stål

-
- Gyproc
 - Lindab
 - Isover

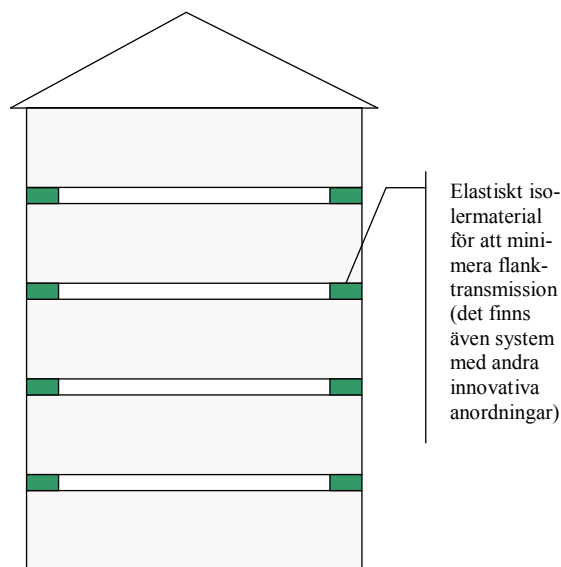
Utöver detta finns naturligtvis lätta system bestående av ”lösvirkesbyggen” i parhus och radhus samt ett antal olika sammansatta konstruktioner.

Även om det av olika skäl är svårt att få en klar och tydlig bild av de kostnader som finns i nya lättbyggnadsprojekt så finns det aktörer som lyckats bra med att göra kommersiellt gångbara konstruktioner med tillräckligt bra kvalitet för att klara minimikraven utan att olyckliga ”lättbyggnadsfenomen” blir alltför påtagliga. De har en långt driven prefabricering, begränsade valmöjligheter vad gäller rumsutformning, en hård styrning av tillverkningen och inte krånglat till det mer än nödvändigt för att klara en hygglig standard. Vid en utvärdering med alternativa mått (se tabell 5) uppfylls dock inte det som rimligen borde vara dagens gräns för ljudklass C och detta är på sikt ett problem och en trolig långsiktig konkurrensnackdel gentemot betongindustrin.

4.2 Flanktransmission

Flera av systemen är förhållandevis komplexa med många olika material som skall samverka. I många av ovanstående system används elastiska mellanlägg för att förhindra flanktransmission, se figur 10 nedan. Materialen skall således förhindra akustisk koppling mellan element så långt möjligt. Just denna detalj är en oerhört känslig byggdel i ett lätt byggsystem, och bör därför väljas och dimensioneras med stor omsorg. Enstaka tillverkare använder mycket enkla produkter mellan elementen som helt saknar teknisk specifikation och därmed är undermåliga som vibrationsisolatorer i en byggnad. Detta gör att vare sig dess omedelbara funktion eller dess långtidsegenskaper kan säkerställas. Om dimensionering inte görs och materialen är alltför ”enkla” med dåligt dokumenterade egenskaper är risken mycket stor att ljudisoleringen redan från början blir sämre än nödvändigt, och dessutom finns risk för ytterligare försämring över tiden när materialen kryper. Ännu en ”riskparameter” som inte finns för tunga konstruktioner och som är särskilt känslig eftersom

- materialet inte kan bytas ut, det skall sitta hela byggnadens livslängd. Materialet får därmed inte krypa (punkteras över tiden)
- materialet utsätts för olika belastning i flera av systemen beroende på vilken våning och under vilket element (kök / sovrum etc) det monteras. Materialet måste därmed kunna väljas / dimensioneras med hänsyn till aktuell last så att ljudisoleringen blir likvärdig på olika våningar och mellan olika element. Det går inte att använda samma material överallt. Det gör systemen utförandekänsliga och kräver stor noggrannhet på arbetsplatsen (om inte isolatorerna monteras i fabrik).



Figur 10. Elementbyggnad (volymelement eller plana element) med elastiska mellanlägg för att minimera flanktransmission. Vad händer över tiden?

Detta är en detalj där lättbyggnadsindustrin inte bör experimentera alltför mycket. I några objekt indikeras sämre resultat ganska omgående (ca 3 dB) när billiga material får ersätta mer påkostade material som faktiskt kan dimensioneras med hänsyn till den last det utsätts för, se också förstudie gjord av LuTH [17]. Hur sedan långtidseffekterna påverkas vet man mycket lite om, och hur åtgärdar man ett hus med lätt stomme efter 20 år när och om det elastiska skiktet helt slutat fungera? Här fordras en djupare studie som kan visa effekter och kostnader i det långa perspektivet i händelse av besparingar på denna mycket känsliga byggdel. Detta är en detalj som i princip är praktiskt omöjlig att ersätta när den slutat fungera och därmed riskerar den att skada lättbyggnadstekniken över tiden om inte kunskapsnivån höjs och riskmedvetenheten ökar. Och inte minst, fel material i denna del innebär rimligen att sådana byggnader inte uppfyller Sveriges föreskrifter enligt avsnitt 2.1 i BBR.

4.3 Mätresultat

I nedanstående tabell 5 redovisas mätresultat där stegljudsvärdet räknades om på samma sätt som ovan (i tabell 4), dels med nuvarande ISO mått inklusive $C_{1,50-2500}$, och dels med det som föreslogs i [9]. Resultaten är hämtade från ett antal olika lättbyggnadsprojekt som samtliga klarat minimikravet enligt BBR. De är alla stickprov ur verkligheten och väl optimerade för att klara minimikrav och det är sannolikt väldigt vanliga konstruktioner.

Tabell 5. Typiska förändringar av ljudklass för typiska lätta konstruktioner som precis uppnått BBR, dock inte om man tillämpar ett modernare värderingsmått [9]

	Obj. 1		Obj. 2		Obj. 3		Obj. 4		Obj. 5	
Mått	BBR	New	BBR	New	BBR	New	BBR	New	BBR	New
Värde	56	64	56	63	56	63	56	65	56	65
Klass	C	--	C	--	C	--	C	--	C	--

Anm: Ny kurva skall egentligen utvärderas med hänsyn till ”korrekta” mottagarumsvolymer (utgåva 2 av SS 02 52 67).

Tabell 5 visar att om BBR och nuvarande standarder skulle tillämpa ett modernare entalsvärde som bygger på känd forskning från 2000 – talet så skulle det som idag är ljudklass C (= minimikrav) bli underkänt. Dessa fall bygger inte på några uttalade klagomål men visar ändå vilken liten marginal och hög risknivå lättbyggnadsindustrin jobbar utefter. Resultaten i tabell 6 däremot härstammar från ett antal fall med lätta stomsystem där mycket allvarliga klagomål förekommit och som i samtliga fall lett fram till tvist mellan brukare / ägare och byggherre, med stora kostnadskonsekvenser och lidande som följd.

Tabell 6. Traditionell utvärdering enligt ISO ($L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$) och uppnådd ljudklass samt utvärdering enligt [9] ($L'_{n,new,03}$) och uppnådd jämförbar ljudklass.

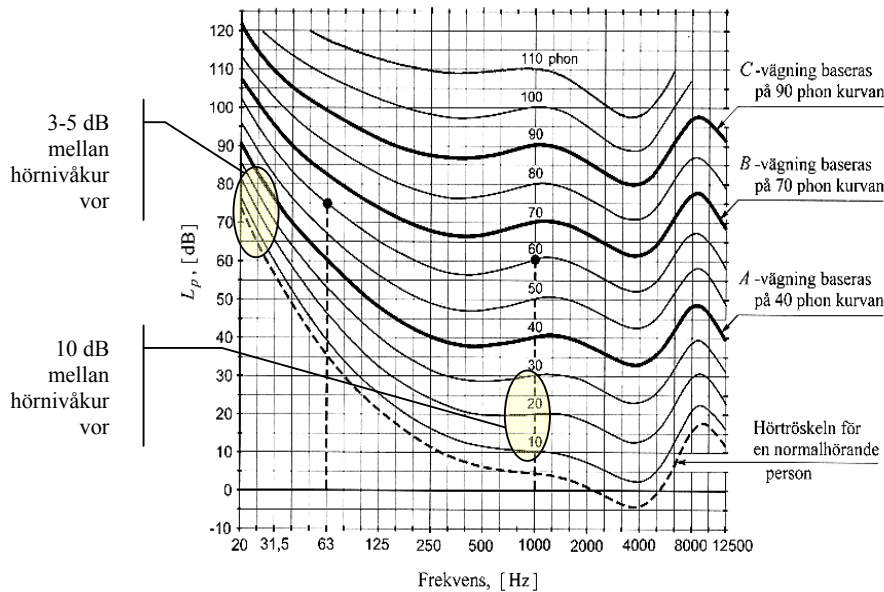
	Pojekt 01 –mättn 01		Pojekt 01 –mättn 02		Pojekt 02 –mättn 01	
	Värde	Ljudklass	Värde	Ljudklass	Värde	Ljudklass
$BBR; L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	48	A	49	B (A med 2 dB regel) ¹	48	A
$L'_{n,new,03}$	57	B	57	B	57	B

¹⁾ En regel som säger att avvikelsen för enstaka mätningar får vara 2 dB såvida medelvärdet från flera mätningar inte överstiger gränsvärdet.

Det är tydligt hur aktuell ljudklass förskjuts om utvärdering av stegljudsnivå görs med föreslagen utvärderingskurva enligt [10], istället för på traditionellt sätt enligt ISO. Hänsyn har då inte tagits till vibrationsegenskaperna även om detta säkert påverkar svaren från boende i den subjektiva värderingen. Intervjusvar är ofta kombinerat med klagomål på att glasskåp skallrar eller takkronan gungar. Dessvärre skulle ovanstående fall inte bli underkända även om ny utvärdering skulle tillämpas med de krav på störnivå som godtas idag (det är extremfall), men det visar ändå att de inte blir riktigt så högt rankade som standardens entalsvärden ger sken av och att det därmed kan finnas okända faktorer som påverkar störningsupplevelsen. Klagomålen är i dessa fall så allvarliga att konstruktionerna inte borde bli godkända med hänsyn till föreskriftens krav i BBR.

4.4 Framtida utmaningar

De industrirepresentanter som kontaktats i samband med detta uppdrag är alla överens – de målvärden som skall eftersträvas måste innebära att en lätt konstruktion i en viss ljudklass får en likvärdig akustisk värdering som en betongkonstruktion i motsvarande ljudklass. De som uttalat detta behov tydligast är de som allra mest verkligen arbetar med ljudfrågorna i sin utveckling. Det är också viktigt att minska risknivån vid dimensionering. För en lätt konstruktion innebär detta att precisionen egentligen måste vara högre än för motsvarande betongkonstruktion eftersom ett misstag ofta får allvarliga och ödesdigra konsekvenser då väldigt små förändringar över hörtröskeln snabbt orsakar en förhöjd störning. Örat är nämligen inte linjärt. De flesta känner till schablonen att ”8-10 dB upplevs som en fördubbling av ljudnivån”. Vid riktigt låga frekvenser behövs dock inte 8-10 dB för att uppleva en fördubbling utan snarare 3-5 dB, se figur 10.



Figur 10. Hörnivåkurvor: Ett steg i diagrammet (mellan linjerna) innebär en upplevd dubbling av ljudnivån. Det behövs mindre ökning för att den upplevda ljudnivån skall dubblas i låga frekvenser när väl hörröskeln är uppnådd

Många lätta konstruktioner ligger idag nära gränsen för ljudklass C, det är naturligt att konstruktioner optimeras för detta. Däremot är ljudklass C inte riktigt bra för lätta konstruktioner vilket framgår av tabell 5 och med kännedom att små förändringar i ljudnivå vid låga frekvenser (som styr entalsvärdet) snabbt orsakar ökad störning gör att dimensioneringsmarginalerna måste ökas. Ett problem i sig när det inte finns någon riktigt bra möjlighet att beräkna ljudisoleringen i hus med lätta stommar. Allt detta försämrar konkurrenskraften gentemot tunga konstruktioner eftersom problemet faktiskt inte finns där.

I direktiven till förhandlingsuppdraget [2] står också (se avsnitt 2.5) att det skall underlättas för nya aktörer att komma in på marknaden. Här utgör ljudkrav och ljuddimensioneringen ett mycket stort hinder. Lättbyggnadsindustrin får idag viss draghjälp genom politiska beslut såsom att exempelvis mark upplåts enbart för flerbostadshus i trä. Vad händer om denna politiska vilja försvinner, det vill säga när man måste konkurrera på lika villkor om den mest attraktiva marken?

För i stort sett alla egenskaper utom ljudisolering och stomljud går det idag göra beräkningar och därmed förutse slutresultatet, man kan beräkna om stommen håller eller om den skall brinna upp. Annars är det inte troligt att man hade fått bygga. Det byggs aldrig ett hus i många våningar med stickprov i tidigt skede för att konstatera om det står kvar statiskt eller om det brinner ner i rimlig takt? Nej, hållfastheten och brand skall baseras på beräkningar.

När det gäller ljudisolering är det annorlunda. Beräkningar avseende ljudisolering är komplicerat för sammansatta lätta stomsystem och det finns ingen allmän beräkningsstandard. Istället provas det och byggs färdiga hus och ibland visar det sig inte förrän man flyttar in om det är godtagbart. För de som sedan skall bo i husen kan detta förfarande bara beklagas – ljudisolering och vibrationer är normalt de enda egenskaperna som man faktiskt verkligen upplever under vardagen i sin bostad. Ingen går omkring och känner att det föreligger risk för att huset skall rasa eller brinna upp men ljudet, det finns där hela tiden – med lite otur, dygnet runt. Trots att det är den enda egenskapen som säkert påverkar människan under hela byggnadens livslängd godtas

1. att det inte går att säga säkert vilken ljudisolering som kommer att uppnås.

2. att ljudisoleringen riskerar att försämrats över tiden på grund av felaktiga materialval och om man uppnår en hög klass är det risk att det ändå inte bra.

Det blir fler och fler som bygger flerbostadshus i lätta stommsystem delvis påhejade av stadsmakterna – idag är det mer än 15 % av flerbostadshusen. Det är vanligast att lätta stommar används i förtätningssmiljöer, exempelvis påbyggnad av befintliga betongstommar där tunga stommsystem inte kan konkurrera på grund av att befintlig grundläggning inte klarar lasten. Just nu påverkas byggherrar och entreprenörer av den försämrade konjunkturen som gör att man söker alternativ (ofta billigare) till traditionellt byggande. Speciellt intressant är lättbyggnadsindustrins höga prefabriceringsgrad och den korta byggtiden. Det verkar som allt fler ganska snabbt nu letar sig fram till den miljövänliga och industrialiserade träbyggnadsindustrin. Detta gör naturligtvis att de akuta behoven är än mer akuta för att det på sikt skall kunna skapas en tillväxt på lika villkor.

Den framtida byggindustrin kan komma att lida av att ljudkraven i viss mån sätter hinder för den fria handeln. För betongindustrin går det att med hjälp av beräkningar göra anpassningar för varje land eftersom beräkningar kan göras enligt EN 12354 [11]. För varje land som en vara skall exporteras till måste dock göras omräkningar vilket är fullt genomförbart. Flerbostadshus med lätta stommar är dock kompletta system som inte enkelt kan förändras och de är därmed antingen överdimensionerade eller underdimensionerade när dessa skall exporteras till ett annat land, och det finns inte utrymme för lokala produktanpassningar. Varje gång som en ny marknad skall testas krävs fullskaleförsök vilket är oerhört kostsamt. Detta är naturligtvis inte bra för konkurrensen gentemot tunga system och det stämmer heller inte med det syfte att underlätta handeln med byggvaror som finns i byggproduktdirektivet. Det rimliga är naturligtvis att åtminstone krav och synen på störning vore desamma, åtminstone inom Europa. Dessvärre är det nog svårt att nå ända fram på grund av traditioner i byggsätt och kulturella skillnader. Lättbyggnadsindustrin i Sverige bör dock ta tillfället i akt att ta ett initiativ i det pågående revideringsarbetet inom Europa. En del energi bör i inledningsskedet läggas på att få en samsyn hos våra närmaste marknader, de Nordiska länderna och några andra länder med stor verksamhet inom lättbyggnadsindustrin / träindustrin (exempelvis Österrike). På detta sätt kan man skapa en stark enhet i det Europeiska arbetet som kan driva de viktigaste frågorna för lättbyggnadsindustrin.

5. Behov

5.1 Akuta behov

Utifrån det som beskrivits i tidigare avsnitt så kan ett antal viktiga forskningsbehov aktualiseras. Behoven är nedtecknade i prioritetsordning och denna prioritering är viktig för att så snabbt som möjligt ge lättbyggnadsindustrin de styrmedel som är nödvändiga för att stärka dess konkurrenskraft i allmänhet, men också gentemot den traditionella betongindustrin. Flera av de behov som visas nedan är också angelägna för att faktiskt kunna uppfylla Byggproduktdirektivets väsentliga krav ”Bullerskydd” samt BBR I vissa delar, för byggnader med lätta stomsystem.

1. Fastställ ett väl underbyggt kriterium för utvärdering av stegljudsisolering så att ljudklass A, B eller C är rimligt jämförbar med ljudklasserna för tunga stomsystem
 - Beakta olika boendeformer
 - Koppla till behovet av luftljudsisolering (optimering)
 - Ta hänsyn till kraftkällan (stegljudsmaskinen)
2. Koppla detta till upplevelsen av vibrationer eller fastställ ett separat kriterium för vibrationer – hur påverkar vibrationer värderingen av ljud (inklusive stomljud från maskiner i hus med lätta stomsystem)?
 - Påverkas beteendet hos människan av stommens material?
 - Beakta vanliga stomljudskällor i bostäder (ex-vis tvättmaskiner med roterande enheter, bubbelbadkar, etc)
3. Studera metoder för stomljudsisolering samt dess långtidseffekter (olika metoder för att reducera flanktransmission)
 - Materialets påverkan på ljudisoleringen, både dess omedelbara funktion samt dess funktion över tiden
 - Optimera vindförankringar för att minimera flanktransmission
 - Säkerställ att BBR avsnitt 2.1 uppfylls.
4. Stimulera handeln / exporten med lätta byggsystem genom ökad harmonisering av regelverket, vilket underlättar även för tunga system. (På lång sikt är dock punkt 5 väl så viktig)
 - inom Norden
 - inom Europa
 - internationellt

5.2 Långsiktiga behov

5. Utveckla beräkningsmetoder som med känd säkerhetsmarginal kan tillämpas på lätta konstruktioner. Utvecklingen skall ske i nära samarbete med det arbete som sker inom standardiseringen CEN TC126 / WG 2 / AHG 3
 - ökad förståelse kring lätta konstruktioners anisotropa egenskaper
 - kunskap kring olika knutpunkters funktion, flanktransmission

6. Analys

6.1 Punkt 1 – kriterium för utvärdering av stegljudsisolering

Huvudorsaken till denna prioritering beror naturligtvis på det som tidigare sagts, att styrningen av utvecklingen måste ske på ett sätt som gör lätta bjälklag konkurrenskraftiga i allmänhet och i jämförelse med tunga konstruktioner i synnerhet. Upplevd ljudisolering i lätta konstruktioner styrs helt av nivåerna i de lägsta frekvensbanden medan ljudisoleringen i tunga konstruktioner inte har denna ”obalans”. Så länge upplevelsen av en viss ljudklass *oftast* är sämre för lätta konstruktioner trots att de är objektivt likvärdiga med tunga konstruktioner så innebär detta en tydlig nackdel för lättbyggnadsindustrin. Det finns idag alltför stort utrymme för allvarliga fel och brister med nuvarande regelverk.

Med rätt styrning så kan lättbyggnadskonstruktioner utvecklas på ett sätt som gör att den värdering som åstadkommes faktiskt ger en konstruktion som upplevelsemässigt likvärdig med motsvarande tunga konstruktion. Börjar man inte här så är det sannolikt att lätta byggnads-konstruktioner utvecklas på fel grunder mot fel målvärden. Även om det finns många goda exempel så är det avarterna som gör att anseendet så småningom kan förvärras. Och faktum är, av de industrirepresentanter som uttalat sig i samband med detta arbete så är det just de som verkligen arbetar med ljudfrågorna, som uttrycker behovet av förändrade utvärderingsprinciper. Kanske eftersom de känner att deras lösningar blir dyrare än de enklare konstruktioner som precis klarar minimikravet. Oförskyllt riskerar de ändå att drabbas av det rykte som kan uppstå kring lätta konstruktioner.

Forskningen bör inledas med att utforma ett modernt frågeformulär som skall användas för en intervjuundersökning (ev. web baserat). Under utformningen måste flera faktorer beaktas såsom olika byggnadens egenskaper i stommen, de boende (ålder, arbetsförhållanden, antal boende i lägenheten etc), boendeform, omgivningen, etc. Utifrån svaren är det rimligt att försöka gruppera bostadshusen med hänsyn till dess tekniska egenskaper och stomljudsbelastning så att det också går att värdera när behovet av vibrationsisolering och lågfrekvent ljudisolering är som störst. Resultat från den subjektiva undersökningen i varje objekt skall sedan kopplas till objektiva mätningar som måste vara väl dokumenterade ur ett akustiskt perspektiv. Detta skall sedan utgöra underlag för den fortsatta forskningen vars slutliga mål skall vara att beskriva moderna utvärderingsprinciper tillämpbara även på lätta konstruktioner. Undersökningen skall omfatta många olika moderna byggsystem – det finns idag en stor mängd användbara data bara industrin vill vara delaktiga.

6.2 Punkt 2 – upplevelse av vibrationer

Dålig ljudisolering vid låga frekvenser kan orsaka både buller och vibrationer, och då särskilt när lätta konstruktioner utsätts för stötar och slag. När väl bullret eller vibrationerna hörs eller känns (när hörtröskeln uppnås) krävs väldigt lite för att uppleva ökad störning. I normala fall brukar 8-10 dB anges som en upplevd halvering eller fördubbling av ljudet. Detta gäller inte vid låga frekvenser, då kan det vara så lite som 3-5 dB. Därtill finns ett antal andra faktorer i byggnader som påverkar ljudnivåerna vid riktigt låga frekvenser.

Vibrationer är mycket sällan ett problem i tunga konstruktioner och behöver därför inte tas i beaktande i samband med vanliga ”hushållsaktiviteter”. I en lätt konstruktion förekommer det däremot ofta, de känns och de orsakar skakningar i glasskåp etc. En gående person eller hoppande / lekande barn orsakar en kombination av vibrationer och lågfrekvent buller, ett bubbelbadkar eller tvättmaskin likaså. Det har gjorts några studier vad avser vibrationer och hur dessa upplevs subjektivt, dock inte hur vibrationer kan inverka på de boendes värdering av lågfrekvent buller, det vill säga samtidig påverkan av ljud och vibrationer. Beteendemönstret kan också behöva studeras. Lekande barn kan möjligen inspireras till mer hopp eftersom det gör mindre ont att hoppa på ett träbjälklag än på ett betongbjälklag.

6.3 Punkt 3 – långtidseffekter av olika metoder för att minimera flanktransmission

Flanktransmission är en viktig faktor som gör att ljud fortplantas i en lätt stomme. Olika leverantörer har olika system, vissa använder volymelent som staplas på varandra, andra använder plana element som byggs ihop på plats. Många system har något material mellan elementen som är avsedda att bryta flanktransmissionen. I flera system används elastiska mellanlägg och just denna detalj är en oerhört känslig byggdel i ett lätt byggsystem. Den är känslig av flera olika skäl:

- Materialet kan inte bytas ut, det skall sitta hela byggnadens livslängd. Materialet får därmed inte krypa (punkteras över tiden)
- I de flesta systemen utsätts materialet för olika belastning beroende på vilken våning och under vilket element (kök / sovrum etc) det monteras. Materialet måste därmed kunna väljas / dimensioneras med hänsyn till aktuell last så att ljudisoleringen blir likvärdig mellan olika våningsplan och mellan olika element. Det går inte att använda samma material överallt. Det gör systemen utförandekänsliga och kräver stor noggrannhet på arbetsplatsen (om inte isolatorerna monteras i fabrik)

Tillverkare av byggsystem testar av kostnadsskäl ofta olika material som mellanlägg. Ibland används ett och samma material för hela byggnaden som ofta helt saknar dokumenterade egenskaper. Detta gör att de nedersta våningarna mycket snabbt kan ”punkteras” eller kortsluta mellan våningarna. Mätresultat indikerar ca 3 dB sämre resultat ganska omgående, långtidseffekterna vet man dock mycket lite om. Här fordras en djupare studie som kan visa effekter och kostnader i det långa perspektivet när besparingar görs på denna mycket känsliga byggdel. Detta är en typisk detalj som inte kan ersättas när den slutat fungera och därmed riskerar att skada lättbygandet över tiden om inte kunskapsnivån höjs och riskmedvetenheten ökar.

6.4 Punkt 4 – Standardisering – handel över gränser

2004-2005 gjordes en sammanställning [13] över det kaos som råder inom Europa när det gäller värdering av ljudisolering, se tabell 7. För tunga system behöver detta egentligen inte vara något stort bekymmer eftersom det går att använda beräkningsstandardEN 12354 för att anpassa konstruktionen till de olika länderna. Produkter kan med hjälp av mjukvara bytas ut och optimeras för varje land.

För lättbyggnadsindustrin blir det dock svårare. De system som fungerar väl i Sverige idag är helt kompletta system, plana element (väggar bjälklag) som sammanfogas eller volymer som staplas på varandra. Inga ”delprodukter” i systemen kan bytas ut på ett enkelt sätt eftersom det inte går att tillämpa beräkningar enligt standardserien EN 12354 [12] och göra beräkningar med samma precision som för tunga stomsystem. De lättbyggnadssystem som finns i ett land kräver därmed anpassningar för att kunna bli konkurrenskraftiga i ett annat land och sådana anpassningar kan inte göras utan omfattande provningar, kanske i provhus av olika slag. Tröskeln blir stor att ta sig in på nya marknader. Därmed är det akuta behovet av mer likvärdiga värderingsprinciper mellan länder betydligt viktigare för lättbyggnadsindustrin än för den traditionella betongindustrin. Naturligtvis vore det allra mest fördelaktigt om beräkningsmodellerna snabbt utvecklas så att beräkningar kan ske på lika villkor som för tunga konstruktioner. Detta kräver dock mer omfattande forskningsinsatser och medverkan i standardiseringen och är en utveckling vars resultat vi kan se först på betydligt längre sikt, se nästa punkt.

Det rimliga är således att försöka få en samsyn vad gäller krav och att dessa krav kan tillämpas på lätta konstruktioner. Dessvärre är det nog svårt att nå ända fram och komma överens inom hela Europa på grund av traditioner i byggsätt och kulturella skillnader. Lättbyggnadsindustrin i Sverige bör dock ta tillfället i akt att ta ett initiativ i det pågående revideringsarbetet inom Europa. Beslut om revidering av ISO 717 har fattats och svenska representanter är utsedda. Snabbt beslut om forskning skulle kunna ge stora fördelar för svensk industri ganska omgående. I detta sammanhang kan också samverkans effekter utnyttjas med COST Action FP0702: “*Net-Acoustics for Timber based*

Lightweight Buildings end Elements (TBLB)”, som pågår inom EU för träbyggandet samt den som kan bli beslutad för harmonisering av regelverk / värderingsmått *"Integrating and Harmonizing Sound Insulation Aspects in Sustainable Urban Housing Constructions"*. En del energi bör i inledningsskedet läggas på att få en samsyn hos våra närmaste marknader, de Nordiska länderna och några andra länder med stor träindustri (exempelvis Österrike). På detta sätt kan man skapa en stark enhet i det Europeiska arbetet som effektivt kan driva de viktigaste frågorna för lättbyggnadsindustrin.

– akustisk forskning för flerbostadshus med lätta stommar

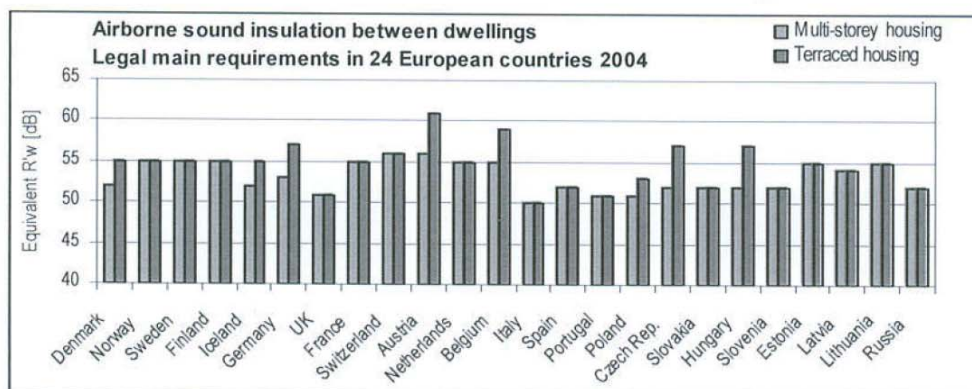
Tabell 7. Olika sätt att utvärdera luftljudsisolering i olika länder i Europa. Observera att samtliga länder följer ISO standarden ISO 717.

Airborne sound insulation between dwellings					
Main requirements in 24 European countries 2004					
Country with indication of concept for formulation of requirements		Multi-storey housing		Terraced housing	
		Req. [dB]	Eq. R'_w ^{(1), (2)} [dB]	Req. [dB]	Eq. R'_w ^{(1), (2)} [dB]
Denmark	R'_w ⁽⁶⁾	≥ 52 ⁽⁵⁾	52 ⁽⁵⁾	≥ 55	55
Norway	R'_w ⁽⁶⁾	≥ 55 ⁽⁶⁾	55 ⁽⁶⁾	≥ 55 ⁽⁶⁾	55 ⁽⁶⁾
Sweden	$R'_w + C_{50-3150}$	≥ 53	~ 55 ⁽⁷⁾	≥ 53	~ 55 ⁽⁷⁾
Finland	R'_w	≥ 55	55	≥ 55	55
Iceland	R'_w ⁽²⁾	≥ 52 ⁽⁴⁾	~ 52 ⁽⁴⁾	≥ 55	~ 55
Germany	R'_w	≥ 53 ⁽⁵⁾	53	≥ 57	57
UK	$D_{nT,w} + C_{tr}$	≥ 45	$\sim 49-52$ ⁽⁷⁾	≥ 45	$\sim 49-52$ ⁽⁷⁾
France	$D_{nT,w} + C$	≥ 53	$\sim 53-56$	≥ 53	$\sim 53-56$
Switzerland	$D_{nT,w} + C$	≥ 54	$\sim 54-57$	≥ 54	$\sim 54-57$
Austria	$D_{nT,w}$	≥ 55	$\sim 54-57$	≥ 60	$\sim 59-62$
Netherlands	$I_{u;k}$	≥ 0	~ 55	≥ 0	~ 55
Belgium ⁽⁹⁾	$D_{nT,w}$	≥ 54	$\sim 53-56$	≥ 58	$\sim 57-60$
Italy	R'_w	≥ 50	50	≥ 50	50
Spain ⁽⁹⁾	$D_{nT,w} + C_{100-5000}$	≥ 50	$\sim 50-53$	≥ 50	$\sim 50-53$
Portugal	$D_{n,w}$	≥ 50	$\sim 50-52$	≥ 50	$\sim 50-52$
Poland	$R'_w + C$	≥ 50 ⁽⁵⁾	~ 51	≥ 52	~ 53
Czech Rep.	R'_w	≥ 52	52	≥ 57	57
Slovakia	R'_w	≥ 52	52	≥ 52	52
Hungary	R'_w	≥ 52	52	≥ 57	57
Slovenia	R'_w	≥ 52	52	≥ 52	52
Estonia	R'_w	≥ 55	55	≥ 55	55
Latvia	R'_w	≥ 54	54	≥ 54	54
Lithuania	$D_{nT,w}$ or R'_w	≥ 55	~ 55	≥ 55	~ 55
Russia	I_b	≥ 50	52	(8)	(8)

Notes

- (1) Warning: The equivalent values are rough estimates only as no exact conversion is possible.
- (2) The equivalent minimum values of R'_w are - except the conversions of $I_{u;k}$ and I_b - estimated applying the guidelines in [11] and the C data in [12].
- (3) The maximum unfavourable deviation from the reference curve shall be limited to 8 dB.
- (4) 55 dB recommended.
- (5) Horizontal, requirement for vertical is 1 dB higher.
- (6) It is recommended that the same criteria are fulfilled by $R'_w + C_{50-3150}$.
- (7) Assuming heavy constructions, stricter requirement for light-weight constructions
- (8) No requirements. Probably the requirements for multi-storey housing are used.
- (9) Proposed new requirements.

Table 1: Overview airborne sound insulation requirements in 24 European countries



6.5 Punkt 5 – Utveckla beräkningsmetoder för lätta konstruktioner

I den mån det är möjligt så är det viktigt att förbättra beräkningsmodellerna och göra dessa tillgängliga bland konsulter och övrig industri. Forskningen bör syfta till att utveckla standardiserade beräkningsmetoder för både ljud och vibrationer, tillämpbara på lätta konstruktioner. Det är ett långsiktigt arbete men icke desto mindre mycket viktigt för att kunna bli ett konkurrensmässigt alternativ i projekteringsskede / tidiga skeden. På detta sätt kan lätta konstruktioner bli intressantare för projektutvecklare och byggherrar. Idag är det lättare att värdera olika alternativ med tunga konstruktioner eftersom dessa kan beräknas oavsett om stommen består av HD/F, plattbärlag, homogena element, pelardäck, etc. Olika produktkombinationer kan prövas, kostnadsberäknas och jämföras med varandra. Lättbyggnadsindustrin däremot kan idag endast bidra med färdiga system som inte enkelt kan varieras med hänsyn till ljudklass och därmed ger betydligt mindre flexibilitet. Utvecklingen av nya beräkningsmetoder bör ske i nära samarbete med det arbete som sker inom standardiseringen CEN TC 126/ WG 2/AHG 3.

7. Slutligen

Med alla dessa utvecklingsbehov kring lättbyggnadstekniken - går det överhuvudtaget att bygga ett lätt konstruktion som klarar höga krav och som är rimligt likvärdigt med en tung betongkonstruktion till samma eller lägre kostnad?

Mitt svar på den frågan är JA, det går!

Det finns en rad fördelar med lätta material framför betong och detta kan utnyttjas bara inte enstaka egenskaper riskerar att stjälpa allt det som är positivt. Typiska positiva egenskaper framför betong är:

- Vikten
- Torra byggmetoder
- Starkt industrialiserat byggande, effektiva processer.
- Miljövänligt

MEN för att lyckas fordras bland annat.....

- Att utvecklingen sker mot rätt akustiska värderingsmått
- Att lätta byggnader optimeras bättre (bjälklag, väggar etc)
- Att eventuella besparingar inte sker på de mest känsliga detaljerna
- Att byggherren (bland annat i samband med upphandling) är engagerad och förstår hur viktigt det är med varje liten detalj samt att denne omger sig med en bra leverantör, byggtreprenör och konsulter (kvalitetsansvarig och sakkunniga) som förstår problematiken. Väl sammansvetsade ”team” som ständigt jobbar med förbättringar.
- Öppenhet om fakta kring ljud- och vibrationsegenskaper för att kunna genomföra ständiga förbättringar
- Öppenhet kring kostnader för olika produktionsmetoder för att kunna förbättra och effektivisera
- Alltså: Forskning och utveckling inom det område som med säkerhet påverkar de som skall bo i husen

Det fordrar också att lätta konstruktioner / trä används i sådana projekt där risknivån står i paritet med det kunnande man har för närvarande. Välj byggsystem med omsorg, studera referensprojekt och ställ krav på att få alla fakta ”på bordet”. När spännvidder, lägenhetsstorlekar / ytor och våningsantal ökar så ökar också belastningen och de tekniska svårigheterna. I Boverkets nya handbok [16] finns anvisningar för att bedöma risknivå för olika konstruktionslösningar.

Åtminstone ett av de system som finns uppräknade tidigare används just nu i ett projekt där:

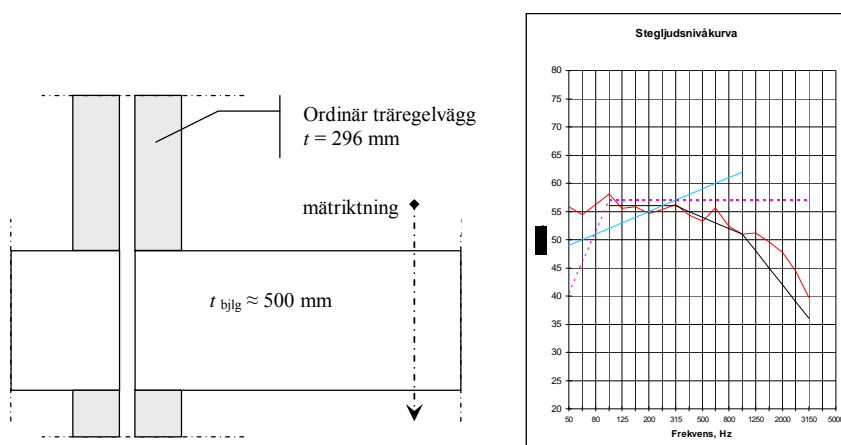
- betong inte kan konkurrera på grund av dess höga vikt,
- lägenheterna är förhållandevis små med rimliga spännvidder och liten risk för allvarlig stegljudsstörning / vibrationer (små ytor att springa på)
- Effektiv byggmetod med prefabricering för snabbt montage

Höga krav från byggherren gör att man varit mycket noggrann i projektering och tagit till marginaler i väsentliga delar och färdigställt lägenheter för provning i tidigt skede. Sannolikt kan förfiningar göras i ett nytt liknande projekt. I detta projekt har man lyckats skapa en bra slutprodukt med utrymme för framtida förfiningar och förbättringar. Konstruktionen klarar ljudklass B enligt SS 25267 men konstruktionen skulle klara ljudklass B även om den tuffare utvärderingskurvan enligt [9] tillämpas. Observera dock att det fordras ganska tjocka bjälklag och normalt också tjockare väggar. Detta påverkar bygghöjd och uthyrbar yta. När det gäller bjälklagets tjocklek är det sannolikt svårt att göra det tunnare, åtminstone om det skall finnas utrymme för viss flexibilitet (exempelvis öppna planlösningar som kräver större spännvidder).

Platta element

$$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 52 \text{ (ljudklass B)} \quad \text{(gräns 52 dB)}$$

$$L_{NY} = 57 \text{ (ljudklass B)} \quad \text{(gräns 57 dB)}$$

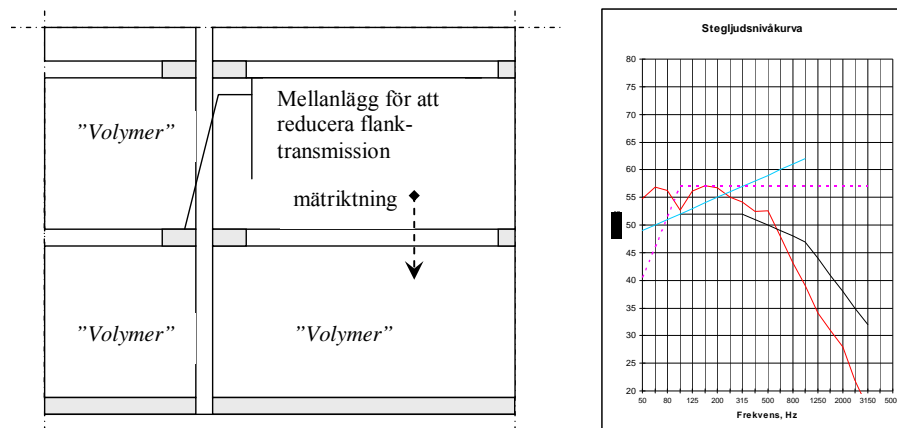


I ett annat projekt med lyckat resultat användes volymer med bland annat intressanta tekniska lösningar för att förhindra flanktransmission. Även denna konstruktion klarar ljudklass B oavsett vilket värderingsmått som tillämpas.

Volymer

$$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 51 \text{ (ljudklass B)} \quad \text{(gräns 52 dB)}$$

$$L_{NY} = 57 \text{ (ljudklass B)} \quad \text{(gräns 57 dB)}$$



Det råder mycket stor samstämmighet hos dem som tillfrågats i denna studie, forskning måste fokuseras på att hitta en väg att jämställa en lätt konstruktion med en tung betongkonstruktion upplevelsemässigt och då fokusera på lågfrekvent ljud och vibrationer. Åtminstone skall måttet vara sådant att det inte finns utrymme för mycket allvarliga brister i konstruktioner som ändå blir godkända. Kontakter med representanter i övriga Nordiska länder samt Kanada och Österrike menar också att behoven är liknande.

8. Referenser

1. SP Träteknik, *Acoustics in wooden buildings – state of the art 2008*, Vinnova projekt 2007-01653, SP rapport 2008:16 (2008)
2. Departementsserien Ds 2004:1; Mer trä i Byggandet - *Underlag för en nationell strategi för att främja användning av trä i byggandet* (2004)
3. SIS, SS 25267 (utgåva 3), *Ljudklassning av utrymmen i byggnader – bostäder*. (2004)
4. SIS, SS 25268 (utgåva 2), *Ljudklassning av utrymmen i byggnader – Vårdlokaler, undervisningslokaler, dag- och fritidshem, kontor och hotell* (2007)
5. EN-ISO 717 part 1, *Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation* (1996)
6. EN-ISO 717 part 2, *Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 2: Impact sound insulation* (1996)
7. Hagberg, K., *Ljudkrav med stöd av ISO/DIS 717*, NKB report 1996:02, Nordic Committee on building regulations (1996)
8. Bodlund, K., *Alternative reference curve for the evaluation of impact sound between dwellings*, Journal of sound and vibration 102 (3), 381-402 (1985)
9. Simmons, C., *Kan lätta bjälklag ge lika bra ljudisolering som betongbjälklag?*, Artikel Bygg&Teknik (2003)
10. Hagberg, K., *Evaluation of sound insulation in the field*, Engineering Acoustics, LTH, TVBA-3127 (2005)
11. Boverkets byggkostnadsforum, *Bostäder och nya ljudkrav*, Boverket, ISBN 978-91-85751-43-3 (2007)
12. EN 12354 part 1-6, *Building acoustics. Estimation of acoustic performance in buildings from the performance of elements*
13. Rasmussen, B, Rindel, J H, *Concepts for evaluation of sound insulation of dwellings – From chaos to consensus?*, Conference paper, Forum Acousticum (2005)
14. Homb, A., *Low frequency Sound and Vibrations From Impacts on Timber Floor Constructions. PhD thesis*, NTNU Trondheim, Norge, aug (2006)
15. Hagberg, K., *Regelverk för lätta konstruktioner*, Artikel Bygg & Teknik nr 3 (2008)
16. Boverket, *Bullerskydd i bostäder och lokaler*, Handbok, Boverket, ISBN 978-91-86045-48-1 (PDF), ISSN: 1400-1012 (2008)
17. Ljunggren, F., *Förbättrad ljudisolering i modulbyggda konstruktioner del 1 – förstudie*, Luleå Tekniska Universitet (2006)
18. Johansson, C., *Field Measurements of 170 Nominally Identical Timber Floors - A Statistical Analysis*. Inter Noise 2000, Nice, France (2000)
19. Toratti, T., Talja, A., *Classification of human induced floor vibrations, 9th world conference on timber engineering*, Oregon State University, Portland, OR, USA (2006)
20. Nilsson, E., Hammer, P. *Subjective evaluation of impact sound transmission through floor structures*. ICA 2001, Rome, Italy (2001)
21. Östman, B. *Akustik i träbyggnader*, Bygg & teknik nr 4 (2008)