

Vibrationer i hus med lätta stomsystem – resultat från projektet AkuLite

Det nationella forskningsprojektet AkuLite avslutades 2013 efter mer än tre års intensiv forskning med fokus på akustik i flerfamiljshus med trä- eller stålstomme. Totalt deltog åtta forskningsutövare och cirka 35 industriföretag. Stort fokus låg på att undersöka hur frekvenser under 50 Hz påverkar upplevelsen av ljud i hus med lättbyggnadsstomme, men även upplevelsen av vibrationer som man känner, ser eller hör undersöktes. Målsättningen med vibrationsundersökningen var att fastställa om och i vilken grad boende störs av vibrationer, vilken mätbar parameter som bäst kan förutsäga störningen av vibrationer och hur kriterier för att begränsa störning kan utformas. Arbetet bestod i en enkätundersökning bland boende i ett antal bostadsobjekt, fältmätningar och analyser av sambanden mellan enkätsvaren och olika uppmätta parametrar.

Enkätundersökningar och fältmätningar av både ljud- och vibrationsegenskaper genomfördes i totalt tio bostadsobjekt. Målsättningen vid urvalet av objekt var att involvera flera aktuella stomsystem med fokus på lätta konstruktioner. Ett referensobjekt med betongstomme inkluderades i

undersökningen. De studerade objekten omfattar både nybyggnader och byggnader redan tagna i bruk. *Tabell 1* ger en sammanställning av bostadsobjekten. Numreringen av objekt i undersökningarna av ljud och vibrationer i AkuLite projektet var samma. Objekt 8 ingick inte i undersökningen om vibrationer. Enkätundersökningen om ljud genomfördes dessutom i flera byggnader med betongstomme där det redan fanns tillgång till data från traditionella ljudmätningar [1, 2].

Fältmätning – objektiva data

En specifik mätmall utformades [2] för att samla in objektiva mätbara data för ljud och vibrationer. Mätmallen omfattade ljud- och vibrationsmätningar för att statistiskt kunna säkerställa jämförelser mellan mätningar utförda på olika byggnadsobjekt, vid olika tillfällen och av olika operatörer. Av totalt 26 objektiva parametrar som uppmättes användes tre för att utvärdera vibrationsegenskaper: den statiska nedböjningen d i en punkt på mitten av bjälklaget belastad med en punktlast, den högsta accelerationen A_{max} i bjälklaget exciterad med impulsboll i mitten av bjälklagsytan och den första egenfrekvensen f_1 för bjälklaget utvärderad från mätningen med impulsboll. Resultatet för parametrar från respektive objekt presenteras i *tabell 2 på nästa sida*.

Enligt Eurokod 5 [3] och de nationella valen i Sverige [4] för vibrationer i träbjälklag ska den första egenfrekvensen för ett bjälklag vara större än 8 Hz och största tillåten nedböjning vid belastning med statisk punktlast på mitten av bjälklaget understiga 1,5 mm/kN. Bjälklagen i samtliga av de studerade objekten uppfyllde som förväntat båda kraven.

Enkätundersökning – subjektiva omdömen

För att samla in subjektiva omdömen om störning av ljud och vibrationer från de

boende genomfördes två separata enkätundersökningar, en om ljud och en om vibrationer. Ljudenkäten utvecklades under 2010 av en grupp europeiska forskare inom EU-nätverket COST TU 0901 [5]. Vibrationsenkäten utformades i ett senare skede efter samma principer som ljudenkäten. Frågorna i enkäterna gällde i vilken grad störning upplevts; ”hur besvärad, störd eller irriterad är du i din bostad av buller/vibrationer orsakad av XX” och graden av störning kunde anges på en elvgradig skala från noll ”inte alls störd” till tio ”oerhört mycket störd”. Även ett tolfte alternativ ”vet ej/ej aktuellt” fanns med. Vibrationsenkäten omfattade 13 frågor:

Hur mycket har du besvärats, störts eller irriterats i din bostad under de senaste tolv månaderna på grund av:

1. Vibrationer i golv eller från inredning och föremål, i allmänhet?
2. Svikt/nedfjädring i golvet när du själv går på det?

Tabell 1: Studerade bostadsobjekt med objektnummer, ort, typ av stomme och bärande delar i bjälklaget.

Objekt nr. Ort	Stomme Bjälklag
1 Upplands Väsby	Volymelement, träregelstomme Limträ/plywood
2 Östervåla	Planelement, massivträ CLT, limträ
3 Umeå	Betong Betong
4 Växjö	Planelement, massivträ CLT, limträ
5 Växjö	Planelement, massivträ CLT, limträ
6 Falun	Planelement, massivträ KLH
7 Alingsås	Volymelement, träregelstomme Träreglar
9 Örebro	Platsbyggt Ståregelstomme
10 Varberg	Planelement, träregelstomme LVL Kerto



Artikelförfattare är
Kirsi Jarnerö, SP
Trä, Växjö,
Christian Simmons,
Simmons akustik
och utveckling AB,
Göteborg, och
Delphine Bard,
Lunds tekniska högskola (LTH).

Tabell 2: Uppmätta värden för nedböjning d , första egenfrekvensen f_1 och den högsta accelerationen A_{max} från de olika bostadsobjekten.

Objekt nr.	d (mm)	f_1 (Hz)	A_{max} (m/s ²)
1	1,4	19,0	7,1
2	0,4	9,0	3,2
3	0,1	38,0	3,0
4	0,9	25,0	21,5
5	-	16,7	9,3
6	-	13,0	3,3
7	0,7	16,0	30,8
9	0,7	13,5	18,7
10	0,8	12,0	4,3

3. Svikt/nedfjädring i trappor, loftgångar eller balkonger när du själv går på dem, specificera var?

4. Vibrationer där du sitter eller ligger ner, när någon annan går på golvet i samma rum?

5. Vibrationer när grannar går eller när deras barn leker på deras golv?

6. Vibrationer från närbelägen väg- eller järnvägstrafik?

7. Rörelser i möbler eller föremål då du eller någon annan går på golvet, till exempel att bord, TV/datorskärmar, bokhyllor, lampor, dörrar, tavlor etcetera börjar svänga?

8. Rörelser i möbler eller föremål när grannar stänger sina dörrar?

9. Ljud från ditt golv när du eller någon annan går på det, exempelvis dunsar, knäppningar eller knarr?

10. Ljud från inredning eller föremål när du eller någon annan går på golvet, till exempel skrammel eller skaller från koppar, glas, vitrinskåp och liknande?

11. Måste du anpassa ditt sätt att gå i bostaden för att undvika att störa din familj eller dina grannar med golvvibrationer, specificera vad?

12. Är du tolerant eller känslig med avseende på vibrationer i golven eller i inredning och föremål?

13. Är du på det hela taget nöjd eller missnöjd med kvaliteten på golv och väggar när det gäller vibrationer i golven eller i inredning och föremål?

Då syftet med vibrationsenkäten var att undersöka upplevelsen av vibrationer i lätta stomsystem delades bostäderna in i de som har lättbyggnadsstomme i bjälklaget och de som har betongstomme, betongbjälklag eller platta på mark. Bostäderna med betong slogs sedan samman till en enda grupp, objekt 11. I tabell 3 presenteras resultaten för samtliga frågor och objekt, andelen störda som svarat med betyg ≥ 3 , ≥ 5 och ≥ 8 visas tillsammans med medelvärdet och standardavvikelse för svaren. Antalet svar N och andelen svarande av alla boende per objekt ges i samma kolumn som objektets nummer. Andelen som uppfattar sig vara stör-

da ≥ 3 kan anses vara de som är "något störda, störda eller mycket störda" vilket indikerar att någon typ av brist i vibrationsegenskaperna förekommer hos konstruktionen. De som uppfattar sig störda och sätter betyg ≥ 5 kan anses vara de som är "störda eller mycket störda" vilket indikerar på tydligt bristfällig funktion med avseende på vibrationer. De som sätter betyg ≥ 8 är de som är "mycket störda", vilket indikerar ett allvarligt funktionsfel i konstruktionen med avseende på vibrationsegenskaper.

Ljudkvalitet för byggnader definieras med ljudklasserna A, B, C och D i standarden SS 25267 [6], men motsvarande klassificering för vibrationer finns inte. I Boverkets handbok [7] motsvarar ljudklass C minimikrav i nybyggnad och ändring i byggnad. Den är utformad för att ge till-

fredsställande förhållanden där en stor andel (fler än 80 procent) av boende och brukare inte ska känna sig störda av ljud. Skillnaden i ljudkrav mellan ljudklasserna har satts så att de ska ge tydliga kvalitetskillnader. En generalisering som ibland använts är att en höjning av kvalitetsklass bör ge en halvering av antalet missnöjda.

För att utvärdera möjligheten att utveckla kvalitetsklasser för vibrationer vidareutvecklas resonemanget och tillämpas på den genomförda enkätundersökningen om vibrationer. Utgångspunkten är att mer än 80 procent av de boende är nöjda eller omvänt att mindre än 20 procent av de boende skulle vara missnöjda i kvalitetsklass C och att det motsvarar andelen boende som är störda ≥ 5 . Om man sedan antar att antalet missnöjda halveras i de högre kvalitetsklasserna, skulle ande-

Vibrationer	Fråga	Betyg												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Parameter	Generell	Svikt bjt	Svikt övr.	Samma	Grannar	Trafik	Obj.	Dörrar	Ljud golv	Ljud obj.	Anpassn.	Tolerans	Nöjdh
1	Medelvärde	3,7	2,3	2,2	2,9	3,6	1,4	2,8	2,3	2,7	3,0	3,0	1,9	3,1
	Std.avvikelse	1,4	1,1	1,5	1,3	1,6	0,9	1,5	1,5	1,4	1,6	1,8	0,8	1,4
	≥ 3 Ngt. störda	50%	33%	22%	44%	44%	28%	39%	22%	33%	44%	28%	33%	39%
	≥ 5 Störda	39%	22%	11%	22%	28%	6%	22%	17%	22%	22%	28%	11%	28%
2	Medelvärde	1,7	1,9	0,1	1,7	2,5	1,5	1,1	1,3	1,0	1,9	0,6	1,0	1,3
	Std.avvikelse	1,5	1,7	0,2	1,8	1,6	1,1	1,2	1,1	1,5	1,6	1,0	1,4	1,5
	≥ 3 Ngt. störda	20%	27%	0%	13%	40%	13%	13%	13%	7%	27%	7%	7%	13%
	≥ 5 Störda	20%	20%	0%	13%	13%	7%	7%	13%	7%	20%	7%	7%	7%
3	Medelvärde	0,5	0,1	0,0	0,1	1,1	0,6	0,1	0,8	0,3	0,0	0,1	1,5	0,6
	Std.avvikelse	0,4	0,1	0,1	0,1	1,0	0,5	0,1	0,9	0,2	-	0,1	0,7	0,8
	≥ 3 Ngt. störda	4%	0%	0%	0%	8%	4%	0%	8%	0%	0%	0%	28%	4%
	≥ 5 Störda	0%	0%	0%	0%	8%	4%	0%	4%	0%	0%	0%	4%	4%
4	Medelvärde	2,3	2,5	1,6	1,2	2,3	0,6	1,0	1,0	2,6	1,4	1,1	2,4	2,0
	Std.avvikelse	1,0	1,0	0,9	0,8	1,1	0,4	0,6	0,8	1,0	0,8	0,7	0,8	0,9
	≥ 3 Ngt. störda	24%	26%	18%	12%	21%	9%	15%	12%	38%	21%	21%	41%	21%
	≥ 5 Störda	21%	21%	12%	12%	21%	0%	6%	9%	24%	15%	12%	21%	18%
5	Medelvärde	3,5	2,4	0,1	2,0	3,5	1,5	2,0	1,5	2,3	2,5	2,1	2,9	2,5
	Std.avvikelse	1,3	1,0	0,1	1,0	1,5	1,0	1,1	1,0	1,1	1,1	1,3	0,9	1,3
	≥ 3 Ngt. störda	44%	30%	0%	30%	41%	19%	33%	22%	33%	37%	22%	44%	30%
	≥ 5 Störda	37%	26%	0%	19%	30%	11%	22%	15%	22%	26%	22%	30%	26%
6	Medelvärde	2,3	2,0	0,7	1,6	3,5	1,5	1,3	1,8	2,4	1,5	2,1	3,0	1,5
	Std.avvikelse	1,6	1,4	1,0	1,4	1,8	1,1	1,0	1,5	1,5	1,0	1,5	1,4	1,5
	≥ 3 Ngt. störda	29%	24%	5%	24%	38%	19%	19%	19%	29%	24%	29%	52%	33%
	≥ 5 Störda	19%	24%	5%	14%	38%	10%	14%	19%	14%	14%	14%	33%	24%
7	Medelvärde	2,4	2,9	0,9	2,4	2,4	1,3	2,3	2,1	2,7	2,5	2,3	2,9	4,2
	Std.avvikelse	1,8	2,0	1,0	1,6	1,8	1,0	1,8	1,6	1,7	1,9	1,7	1,1	2,0
	≥ 3 Ngt. störda	19%	38%	13%	31%	25%	31%	25%	19%	44%	25%	25%	56%	56%
	≥ 5 Störda	19%	25%	6%	25%	19%	13%	25%	19%	19%	25%	19%	38%	50%
9	Medelvärde	2,9	1,7	0,1	1,0	1,2	1,0	0,8	3,8	1,1	1,7	1,1	3,3	2,9
	Std.avvikelse	1,4	1,4	0,2	0,5	0,8	1,4	0,6	2,0	0,6	1,1	1,4	1,2	1,2
	≥ 3 Ngt. störda	33%	25%	0%	0%	8%	8%	8%	42%	8%	17%	8%	42%	33%
	≥ 5 Störda	17%	17%	0%	0%	0%	0%	0%	17%	0%	17%	8%	25%	8%
10	Medelvärde	2,9	0,9	0,2	1,3	2,8	0,2	0,4	0,8	1,1	0,7	3,1	2,3	2,0
	Std.avvikelse	1,6	0,9	0,2	1,1	1,8	0,2	0,3	1,3	0,7	0,5	1,9	1,5	1,5
	≥ 3 Ngt. störda	33%	13%	0%	13%	33%	0%	0%	7%	7%	7%	40%	33%	20%
	≥ 5 Störda	27%	7%	0%	7%	27%	0%	0%	7%	7%	0%	27%	13%	13%
11	Medelvärde	2,2	0,9	0,9	0,4	3,4	0,4	0,9	1,0	1,3	0,9	0,4	2,1	2,3
	Std.avvikelse	0,6	0,3	0,5	0,3	0,9	0,2	0,4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,6	0,7
	≥ 3 Ngt. störda	22%	13%	7%	6%	48%	6%	15%	15%	20%	11%	6%	33%	35%
	≥ 5 Störda	15%	2%	6%	2%	33%	0%	4%	7%	7%	2%	2%	17%	19%
12	Medelvärde	2,2	0,9	0,9	0,4	3,4	0,4	0,9	1,0	1,3	0,9	0,4	2,1	2,3
	Std.avvikelse	0,6	0,3	0,5	0,3	0,9	0,2	0,4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,6	0,7
	≥ 3 Ngt. störda	22%	13%	7%	6%	48%	6%	15%	15%	20%	11%	6%	33%	35%
	≥ 5 Störda	15%	2%	6%	2%	33%	0%	4%	7%	7%	2%	2%	17%	19%

Tabell 3: Sammanställning av resultat för vibrationsenkäten. Färgmarkeringar: För andel störda ≥ 3 motsvarar gult ≥ 20 procent störda och rött ≥ 40 procent. För andel störda ≥ 5 motsvarar gult ≥ 10 procent störda och rött ≥ 20 procent. För andel störda ≥ 8 motsvarar gult ≥ 5 procent störda och rött ≥ 10 procent.

Tabell 4: Hypotetiska gränsvärden för kvalitetsklasser (A, B, C) för vibrationer och andelen boende störda med fler eller lika med 3, fler eller lika med 5 eller fler eller lika med 8.

Kvalitetsklass	Fraktion ≥ 3	Fraktion ≥ 5	Fraktion ≥ 8
A	$\leq 10\%$	$\leq 5\%$	$\leq 2,5\%$
B	$\leq 20\%$	$\leq 10\%$	$\leq 5\%$
C	$\leq 40\%$	$\leq 20\%$	$\leq 10\%$

len missnöjda i klass B minimeras till tio procent och i klass A till fem procent. Om sedan andelen störda får fördubblas till 40 procent för de som anser sig vara störda ≥ 3 och halveras till tio procent för de som anser sig vara störda ≥ 8 erhålls hypotetiska gränsvärden för kvalitetsklasserna och fraktionerna enligt tabell 4.

I tabell 3 har gränsvärdena för kvalitetsklass B och C tillämpats på resultaten från vibrationsenkäten. Tabellvärden utan färgmarkering motsvarar kvalitetsklass B

eller bättre. De gula markeringarna för gruppen av boende störda ≥ 3 anger att 20 till 40 procent av dem är störda, vilket skulle svara mot kvalitetsklass C, som är minimikrav för nybyggnad. För boende störda ≥ 5 betyder en gul markering att 10 till 20 procent av de boende är störda och fem till tio procent för störda ≥ 8 . Röd färg anger för alla fraktioner att kvalitetsklass C inte uppnåtts.

Det är tydligt att graden av subjektiv störning är olika för objektet med be-

tongstomme, objekt 3, och de grupperade bostäderna med betongbjälklag, objekt 11, jämfört med de övriga objekten med bjälklag i lättbyggnadsteknik. De boende i objekt 3, med hel betongstomme, verkar inte vara störda av vibrationer eller svikt i bjälklagen, medan de boende i objekten med lättbyggnadsstomme är mer störda än vad som skulle kunna anses som ett minimikrav för prestanda, motsvarande klass C. Frågorna 5 och 8 om vibrationer orsakade av grannar och stängning av dörrar är de enda frågor som fått omdömet att vara störande i objekt 11 och graden av störning är lägre än i de andra objekten med lättbyggnadsstomme. Att objektet med hel betongstomme har lägre andel störda kunde förväntas eftersom varken svikt eller vibrationer bör vara något problem i den typen av stommar. Det generella intrycket från tabell 3 är att det är mycket färgmarkeringar för några av objekten med lättbyggnadsstomme, vilket antyder att de boende störs av vibrationer från flera typer av störning som uppfattas på flera olika sätt med känsel, hörsel och syn. Den bärande stommen skiljer sig åt mellan de olika objekten. I objekt 1 och objekt 7, som har många färgmarkeringar, består bjälklagen av mer traditionella lätta typer av bjälklagskonstruktioner medan bjälklagen i de övriga objekten i större utsträckning inkluderar förädlade produkter som LVL, CLT, limträ eller stålreglar.

För jämförelsens skull presenteras i tabell 5 resultaten från ljudenkäten för samtliga frågor och objekt. Resultaten har analyserats på samma sätt som vibrationsenkäten och färgmarkeringarna med gult och rött för kvalitetsklass B och C kan tolkas likadant förutom för fraktion ≥ 8 där gränsvärdet i båda klasserna bör vara fem procent på grund av hygienkrav. Ingen tolkning av kvalitetsklass A kan göras för ljud eftersom de hypotetiska gränsvärdena i tabell 4 inte är tillämpbara för den klassen. Ljudenkäten bestod av 15 frågor enligt följande:

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

Hur mycket har du störts i din bostad under de senaste tolv månaderna på grund av följande bullerkällor (gäller frågorna 2 till 13)...

2. ...grannar; vardagliga ljud från samtal, telefon, radio, TV genom väg-garna?

3. ...grannar; vardagliga ljud från samtal, telefon, radio, TV genom tak eller golv?

4. ...grannar; musik med bas och trummor?

5. ...grannar; stegljud, det vill säga du hör när de går på golvet?

6. ...grannar; det skallrar eller klingar i dina möbler när folk rör sig i lägenheten ovanför?

Ljud	Fråga	Parameter														
		Generell	Väggar	Golv	Bas	Steg	Klirr	Trapphus	Trappor	Vatten Sanitet	Värme	Utrustning	Verks. Lokaler	Trafik	Betydelse	Känslig
1	Medelvärde	3,1	0,8	1,9	1,4	4,3	2,0	3,1	2,0	0,5	2,3	2,3	0,3	2,8	7,5	5,0
	N= 24															
	Std.avvikelse	2,9	1,4	2,4	1,8	4,1	2,5	3,8	2,6	0,8	3,0	2,5	0,8	3,1	2,6	2,7
	≥ 3 Ngt. störda	50%	13%	29%	21%	52%	35%	39%	29%	4%	30%	33%	5%	42%	96%	83%
	≥ 5 Störda	32%	4%	21%	13%	43%	18%	30%	17%	0%	26%	17%	0%	25%	88%	71%
≥ 8 Mkt. Störda	14%	0%	0%	0%	30%	5%	17%	4%	0%	9%	8%	0%	17%	58%	17%	
2	Medelvärde	0,6	0,0	0,1	0,2	1,3	0,4	0,5	0,4	0,2	0,9	0,1	0,3	1,4	4,2	2,1
	N= 19															
	Std.avvikelse	1,3	0,0	0,3	0,8	2,1	0,9	1,1	1,1	0,4	1,8	0,3	0,8	1,5	3,7	2,1
	≥ 3 Ngt. störda	14%	0%	0%	6%	18%	8%	6%	6%	0%	13%	0%	7%	20%	50%	33%
	≥ 5 Störda	0%	0%	0%	0%	6%	0%	0%	0%	0%	7%	0%	0%	7%	50%	22%
≥ 8 Mkt. Störda	0%	0%	0%	0%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	28%	0%	
3	Medelvärde	2,8	0,8	1,2	1,7	1,2	0,4	1,4	1,3	1,1	1,4	1,8	0,1	1,1	6,2	3,2
	N= 79															
	Std.avvikelse	2,7	1,6	2,2	2,6	2,1	0,9	1,9	2,2	1,8	2,2	2,8	0,6	1,5	3,2	2,6
	≥ 3 Ngt. störda	45%	9%	18%	24%	14%	1%	19%	18%	17%	20%	27%	1%	12%	81%	52%
	≥ 5 Störda	25%	5%	10%	13%	9%	1%	6%	11%	5%	16%	17%	0%	5%	72%	35%
≥ 8 Mkt. Störda	8%	1%	3%	5%	4%	0%	3%	3%	1%	1%	6%	0%	0%	45%	6%	
4	Medelvärde	1,6	0,3	0,6	1,4	2,4	0,6	1,0	0,8	1,2	1,8	1,4	0,2	1,2	6,9	4,3
	N= 75															
	Std.avvikelse	2,3	0,7	1,2	2,4	2,8	1,3	1,5	1,4	2,2	2,3	1,9	0,5	1,8	3,1	2,7
	≥ 3 Ngt. störda	19%	2%	8%	16%	32%	7%	14%	11%	8%	26%	20%	0%	19%	84%	70%
	≥ 5 Störda	11%	0%	2%	11%	22%	2%	6%	5%	8%	9%	9%	0%	6%	78%	55%
≥ 8 Mkt. Störda	5%	0%	0%	5%	9%	0%	0%	0%	0%	6%	5%	3%	0%	3%	59%	12%
5	Medelvärde	2,0	0,2	1,1	1,5	2,9	0,6	1,0	0,6	1,4	0,4	1,4	0,2	1,4	7,9	5,1
	N= 23															
	Std.avvikelse	2,2	0,5	2,2	2,8	2,8	1,4	1,5	1,2	2,2	0,7	1,8	0,4	2,1	1,8	2,8
	≥ 3 Ngt. störda	35%	0%	19%	20%	45%	5%	13%	14%	23%	0%	17%	0%	17%	100%	78%
	≥ 5 Störda	20%	0%	10%	20%	23%	5%	9%	0%	14%	0%	4%	0%	9%	96%	57%
≥ 8 Mkt. Störda	0%	0%	0%	5%	9%	0%	0%	0%	5%	0%	0%	0%	4%	65%	22%	
6	Medelvärde	2,9	0,9	2,3	2,0	3,3	1,9	1,3	1,1	1,5	1,9	1,0	0,7	2,0	7,1	4,4
	N= 30															
	Std.avvikelse	3,3	1,9	3,3	2,8	4,0	3,3	2,5	2,5	2,9	2,4	1,7	2,3	3,0	3,0	3,0
	≥ 3 Ngt. störda	41%	7%	32%	25%	39%	25%	18%	18%	21%	25%	10%	11%	30%	87%	70%
	≥ 5 Störda	22%	7%	25%	11%	32%	19%	11%	11%	11%	18%	7%	4%	13%	80%	50%
≥ 8 Mkt. Störda	11%	4%	18%	7%	25%	15%	7%	7%	7%	7%	7%	0%	3%	60%	20%	
7	Medelvärde	1,4	0,4	0,5	0,2	2,2	2,7	2,3	2,1	0,9	1,6	1,5	0,1	1,8	7,5	3,1
	N= 19															
	Std.avvikelse	2,5	0,9	1,3	0,8	3,5	4,3	3,0	3,0	2,3	1,9	1,9	0,5	2,1	2,3	2,8
	≥ 3 Ngt. störda	22%	6%	6%	6%	28%	29%	28%	33%	11%	22%	28%	0%	32%	100%	42%
	≥ 5 Störda	6%	0%	6%	0%	22%	29%	17%	17%	6%	17%	11%	0%	16%	95%	26%
≥ 8 Mkt. Störda	6%	0%	0%	0%	11%	29%	11%	11%	6%	0%	0%	0%	0%	58%	11%	
9	Medelvärde	3,6	0,8	3,0	3,9	4,7	1,7	3,4	3,0	2,4	1,3	0,4	0,1	1,3	6,2	3,0
	N= 28															
	Std.avvikelse	2,8	1,0	3,1	2,9	3,4	2,6	3,1	3,5	2,2	1,9	1,0	0,3	2,1	2,7	1,9
	≥ 3 Ngt. störda	57%	5%	43%	63%	62%	18%	50%	38%	35%	23%	6%	0%	16%	86%	57%
	≥ 5 Störda	35%	0%	26%	32%	52%	9%	29%	27%	22%	9%	0%	0%	8%	79%	14%
≥ 8 Mkt. Störda	9%	0%	13%	15%	29%	9%	18%	23%	0%	0%	0%	0%	4%	32%	0%	
10	Medelvärde	2,3	0,8	0,8	0,9	3,4	1,3	0,7	0,7	2,6	2,6	1,8	0,1	0,1	6,7	2,9
	N= 20															
	Std.avvikelse	2,6	2,4	2,4	2,6	3,4	3,0	1,0	1,0	2,8	2,7	2,2	0,3	0,2	2,5	3,0
	≥ 3 Ngt. störda	26%	6%	6%	13%	50%	15%	11%	11%	44%	37%	22%	0%	0%	95%	42%
	≥ 5 Störda	16%	6%	6%	6%	28%	15%	0%	0%	22%	16%	11%	0%	0%	89%	21%
≥ 8 Mkt. Störda	5%	5%	6%	6%	22%	8%	0%	0%	6%	11%	6%	0%	0%	37%	11%	

Tabell 5: Sammanställning av svar på ljudenkäten. Färgmarkeringar: För andel störda ≥ 3 motsvarar gult ≥ 20 procent störda och rött ≥ 40 procent. För andel störda ≥ 5 motsvarar gult \geq tio procent störda och rött ≥ 20 procent. För andel störda ≥ 8 motsvarar gult \geq fem procent störda och rött \geq tio procent.

7. ...trapphus, loftgångar; samtal, dörrar som stängs?

8. ...trapphus, loftgångar; stegljud, slag mot trappträcke?

9. ...vatten- och avloppsrör; användande eller spolning i WC, dusch?

10. ...värme, kyla och luftbehandling; radiatorer, luftkonditionering, till- och frånluftsdon?

11. ...maskiner; hissar, tvättmaskiner, värmepumpar, fläktar?

12. ...lokaler; garage, affärer, kontor, pubar, restauranger, tvättstugor och dylikt, som hörs inomhus med stängda fönster?

13. ...trafik; bilar, bussar, lastbilar, tåg eller flyg, som hörs inomhus med stängda fönster?

14. Innan du flyttade till din nuvarande bostad, hur viktig ansåg du då att ljudisoleringen var mot buller från grannar, tekniska installationer med mera?

15. Hur känslig anser du dig vara mot buller från grannar, tekniska installationer med mera?

Fråga 5 i båda enkäterna behandlar således vibrationer orsakade av grannar i vibrationsenkäten och stegljud orsakade av grannar i ljudenkäten. Om man sedan jämför med resultatet för fråga 5 i ljudenkäten kan man konstatera att störningen är lika hög eller högre för samma objekt som i vibrationsenkäten, vilket kan vara en indikation att man i vibrationsenkäten

har inblandning av ljud i svaren. Fråga 6 i ljudenkäten handlar om vibrationer, närmare bestämt om klirrande från föremål orsakat av vibrationer. Om man jämför resultatet med störningen överlag i vibrationsenkäten ser man att det ganska väl speglar resultatet i ljudenkäten. Vibrationer orsakade av trafik verkar inte vara något problem, men det är svårt att dra några säkra slutsatser eftersom trafikbelastningens omfattning inte är känd. Resultatet för objekt 9 är intressant eftersom de boende så tydligt är mer störda av ljud än vibrationer. Den största störningen av vibrationer orsakas av grannar som stänger sina dörrar. En förklaring kan vara att just detta boende är ett studentboende med förhållandevis små rum i vilka det är svårt att få upp någon gånghastighet och därmed också excitera vibrationsnivåer som blir störande.

Om man skulle jämföra antalet färgmarkeringar i de båda enkäterna har objekten 1, 2, 4, 5 och 7 fler färgmarkeringar i vibrationsenkäten. I objekten 2, 4, och 5 är skillnaden i antal markeringar fler än tio. Ljudenkäten har flest färgmarkeringar i objekten 6, 9 och 10 där skillnaden i antal markeringar är fler än tio för objekt 9 som diskuterats tidigare. Eftersom frågeställningarna varit likartade och utvärderingen genomförts på samma sätt tyder resultatet på att störning av vibrationer i hus med lättbyggnadsstomme är nå-

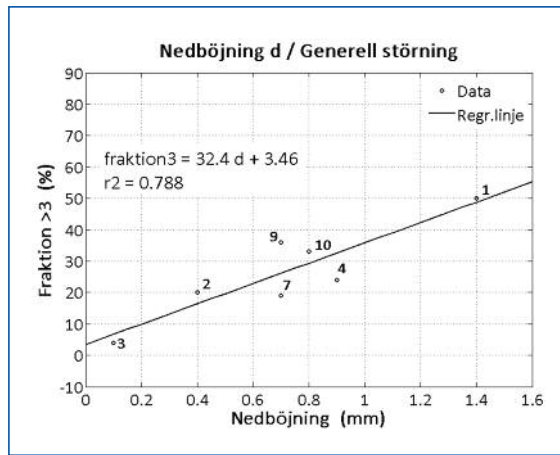
got som bör beaktas i samma grad som ljud. Antagandet stärks av att fråga 1 om generell störning ger i stort sett samma svar i både vibrations- och ljudenkäten.

Samband mellan objektiva data och subjektiva omdömen

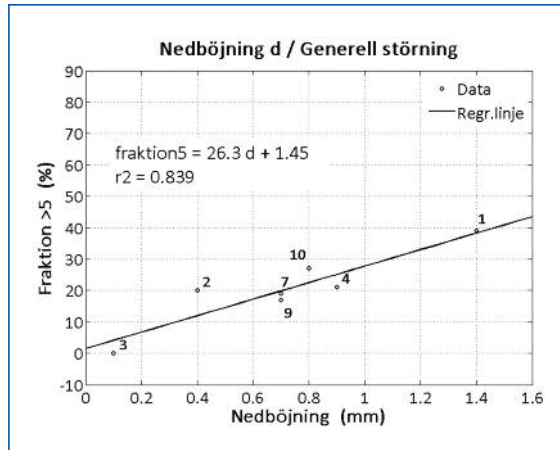
För att hitta samband mellan de boendes subjektiva upplevelse av svikt och vibrationer i bostaden och de faktiska uppmätta värdena för olika objektiva parametrar från fältmätningarna genomfördes regressionsanalyser på insamlade data. Från enkätundersökningen inkluderades alla frågor om upplevd störning utom frågan om hur känslig man anser sig vara för vibrationer. Som mått på de boendes upplevda störning användes andelen boende som angett 3 eller högre som störningsgrad i enkäten. Från fältmätningarna inkluderades första egenfrekvensen f_1 , nedböjningen d , och högsta accelerationen A_{max} för bjälklagen. En linjär regressionsanalys utfördes för alla kombinationer av frågor och uppmätta värden. Den största förklaringsgraden för regressionsanalysen, 79 procent R^2 -värde, hade den uppmätta nedböjningen d kombinerad med fråga 1 om generell störning av vibrationer, se *figur 1 på nästa sida*. På den vertikala axeln visas andelen störda ≥ 3 för frågan 1 och på den horisontella axeln visas det uppmätta värdet för nedböjningen d . Resultatet för de olika bostadsobjekten har mar-

kerats med cirklar och numererats, den heldragna linjen anger det linjära sambandet mellan frågan och den objektiva parametern, det vill säga regressionslinjen för nedböjning d och fråga 1 om generell störning. I diagrammet ges ekvationen för regressionslinjen tillsammans med förklaringsgraden, R^2 -värdet. Regressionsanalysen för samma kombination av uppmätt värde och fråga, det vill säga nedböjning och generell störning, men med upplevd störningsgrad angiven med andelen boende som angett 5 eller högre värden och 8 eller högre värden, presenteras i figur 2 och figur 3. Förklaringsgraden R^2 för fraktion ≥ 5 blev något högre 84 procent än för fraktion ≥ 3 , men mycket lägre 25 procent för fraktion ≥ 8 .

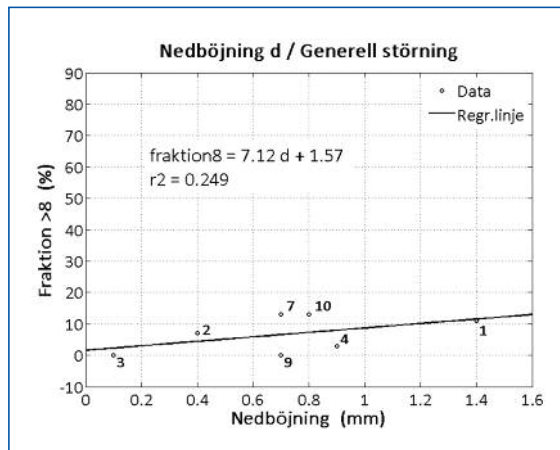
Regressionslinjen i diagrammen kan användas för att beräkna andelen störda för de olika fraktionerna för en viss nedböjning. Det aktuella gränsvärdet, högst 1,5 mm nedböjning för en punktlast på 1 kN skulle ge 52 procent störda ≥ 3 , 41 procent störda ≥ 5 och 12 procent störda ≥ 8 , vilket för alla fraktioner är mer än föreslagna minimikrav för kvalitetsklass C. För att uppnå kvalitetsklass C, med mindre än 20 procent missnöjda i fraktion ≥ 5 krävs en avsevärd skärpning av dagens kriterium. Med utgångspunkt från de hypotetiska gränsvärdena för andelen störda enligt i tabell 4 har värden för nedböjningen d uppskattats med hjälp av regressionslinjerna. Resultatet presenteras i tabell 6 och visar att de erhållna gränsvärdena för nedböjningen i kvalitetsklass C är lägre än dagens krav på 1,5 mm. För fraktion ≥ 5 skulle en skärpning med mer än hälften behöva göras och för fraktionerna ≥ 3 och ≥ 8 ungefär en tredjedel. Resultatet kan kanske diskuteras med avseende på om man ska eftersträva samma andel nöjda boende med avseende på vibrationsmiljö som ljudmiljö, men jämförelsen är ändå intressant eftersom undersökningarna är utförda i samma bostadsobjekt med samma boende. Dessutom visar undersökningen att dagens krav på statisk nedböjning för att begränsa svikt och vibrationer i träbjälklag måste betraktas som ett absolut minimikrav motsvarande kvalitetsklass D för



Figur 1: Regression för nedböjning d och generell störning för andel boende störda ≥ 3 .



Figur 2: Regression för nedböjning d och generell störning för andel boende störda ≥ 5 .



Figur 3: Regression för nedböjning d och generell störning för andel boende störda ≥ 8 .

ljud. Att dagens krav för nedböjning behöver skäras och anpassas till dagens byggnader är inte förvånande eftersom de metoder och gränsvärden utvecklades vid en tidpunkt då träbjälklag mest användes i

enbostadshus. Den aktuella undersökningen har gjorts i flerbostadshus och den visar att toleransen för störande vibrationer är lägre hos de boende, även om det inte är klart om störningen orsakas av grannar.

Fortsatt arbete

För att kunna vidareutveckla och säkert fastställa gränser för kvalitetsklasser med avseende på bjälklagsvibrationer behöver gränsvärdena baseras på ett större dataunderlag än hittills. Fler parametrar av betydelse för vibrationsegenskaper måste inkluderas. Både fler mätningar och enkätundersökningar behöver genomföras i fler byggnader. Dessutom måste en gemensam metodik för mätning och utvärdering av nedböjning, egenfrekvenser och accelerationsnivåer utvecklas och helst standardiseras. För att uppnå detta krävs att industrin är villig att ställa byggprojekt till förfogande där enkätundersökningar och andra tester kan utföras.

Referenser

- [1] Simmons, C., Hagberg, K. & Backman, E., *Acoustical Performance of Apartment Buildings – Resident's Survey and Field Measurements*, AkuLite Report 2, SP Report 2011:58.
- [2] Ljunggren, F. & Backman, E., *Data från byggakustiska fältmätningar och enkätundersökningar i flerfamiljshus*, AkuLite Rapport 8, LTU Rapport 2013, SP Rapport 2013:10.
- [3] EN 1995-1-1:2004: *Eurocode 5, Design of timber structures Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings*, European Committee for Standardization, Brussels, 2004.
- [4] BFS 2011:10 – EKS 8: *Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder)*, Boverket, 2011.
- [5] Simmons, C. & Hagberg, K., *A questionnaire for correlation of subjective evaluation of dwellings with their objective building acoustic parameters*, Proc. Forum Acusticum, Aalborg, Denmark, 2011.
- [6] SS 25267:2004, *Byggakustik – Ljudklassning av utrymmen i byggnader – Bostäder*, SIS, Stockholm, 2004.
- [7] Boverket, *Handbok, Bullerskydd i bostäder och lokaler*, 2008.
- [8] K., Jarnerö, D., Bard & C., Simmons, *Vibration Performance of Apartments Buildings with Lightweight Framework – Residents' Survey and Field Measurements*, AkuLite Report 6, SP Report 2013:17.

Tabell 6: Uppskattad nedböjning d (mm) med utgångspunkt från andelen störda enligt gränsvärden i tabell 4.

Kvalitetsklass	Fraktion ≥ 3	Fraktion ≥ 5	Fraktion ≥ 8
A	0,20	0,14	0,13
B	0,51	0,33	0,48
C	1,13	0,71	1,18