

Dimensionering av lätta bjälklag med avseende på vibrationer

Artikelförfattare är Helena Burstrand, Stålbyggnadsinstitutet, Stockholm och Avdelningen för Stålbyggnad, Luleå Tekniska Universitet

Det blir allt vanligare att använda lätta byggsystem i flerbostadshus. Goda erfarenheter av lätta mellanväggar i stål och slitsade tunnplåtsstommar i ytterväggar gör det intressant att även titta på lätta lägenhetsskiljande bjälklag i stål. Lätta och torra konstruktioner i stål har visat sig ge tidsvinster i produktion och mindre problem med fuktskador. Lätta bjälklag skiljer sig från tunga bjälklag i många avseenden, vibrationsegenskaperna är ett av dessa. För att öka kunskapen om lätta bjälklags vibrationsegenskaper driver Stålbyggnadsinstitutet forskning inom området och samarbetar internationellt för att kunna ge rekommendationer vid dimensionering med avseende på vibrationer. Dimensioneringsförslagen som presenteras i denna artikel är baserade på existerande acceptanskriterier.

Bostadsbyggandet ökar igen efter de senaste årens bottennoteringar. Igångsättningen av nya bostäder bedöms nå upp till 20 000 bostäder under år 2001. Efterfrågan är dock mycket större framförallt i storstadsregionerna. I tillväxtområden, som t ex Stockholm, bromsas utvecklingen av brist på markyta. Centrala och attraktiva lägen är redan hårt exploaterade och därför förutspås även om- och påbyggnader att öka som ett komplement till nyproducerade lägenheter, [1]. Om-, till- och påbyggnad av bostäder på befintliga byggnader öppnar en ny marknad där fördelarna med lätta byggsystem kan nyttjas på ett bra sätt.

Figur 1. Påbyggnader på befintliga byggnader har bl a utförts i Helsingör. Under 1997 byggdes tvåvånings bostadshus ovanpå ett köpcentrum med platt tak. (bild saknas)

Byggnadsdelar och färdiga byggnader med Lättbyggnad har låg egenvikt i jämförelse med traditionella material. Egenvikten är ungefär en femtedel av motsvarande byggnadsdel i betong. Det är bl a därför Lättbyggnad med stål är lämpligt att använda vid t ex påbyggnad på befintliga byggnader. I Lättbyggnad är dessutom risken för fukt och mögelproblem liten eftersom ingående material: stål, gips och mineralull, är oorganiska och torra vid leverans. Med rätt produktionsmetod förblir de torra under byggnadstiden. Industriell tillverkning av byggnadsdelar och snabbt montage ger goda förutsättningar att förkorta byggtiden och därmed minska byggkostnaden samt minska påverkan på befintlig verksamhet, [2].

Lättbyggnad med stål

Bostäder i Lättbyggnad med stål innebär att använda bärande stomsystem av tunnplåt i såväl väggar som bjälklag. I flervåningshus över tre våningar används idag en balk- pelarstomme för primär bäring, kompletterad med lätta utfackningsväggar och bjälklag med tunnplåtsstomme. Väggar och bjälklag kan produceras industriellt, i en fältfabrik eller byggas på plats beroende på objektet i fråga.

Figur 2. I Lättbyggnad med stål används i huvudsak tre material: stål, gips och mineralull. I ytterväggen används stålreglar med slitsat liv. Slitsade stålreglar uppfanns på 1960-talet i Kanada och har sedan drygt tio år funnits på den svenska marknaden. Genom slitsarna i regelns liv reduceras värmeförlusterna genom ytterväggen kraftigt. (bild saknas)

Lätta bjälklag med stål

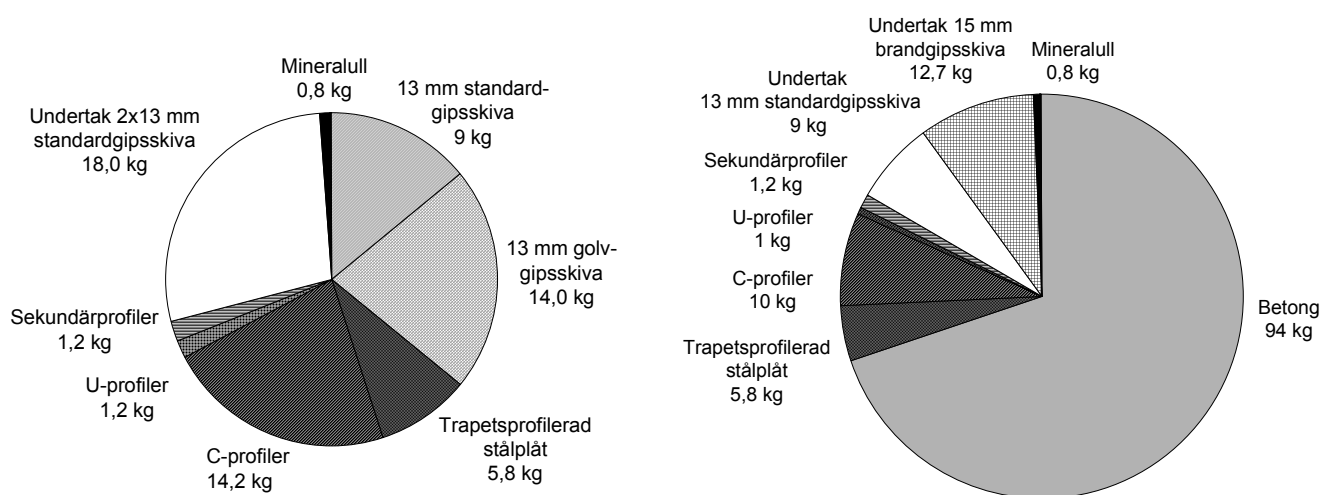
Principerna för bjälklagets uppbyggnad är ett bärande balksystem av vanligtvis 200-250 mm höga C-profiler. På ovansidan skruvas trapetsprofilerad stålplåt och skivmaterial. Undertaket hängs upp med akustikprofil eller ljudbygel. Lägenhetsskiljande bjälklag med spännvidder upp till 4-5 meter används idag och bjälklagets totala tjocklek blir då ca 350 mm.

Figur 3. Bjälklaget i figuren är TCA bjälklag enligt Gyproc [3]. Det finns några olika alternativa lätta stålbjälklag som används mellan lägenheter i bostadshus. Principerna på bjälklagens uppbyggnad är dock desamma. Till bärande balkar används tunnplåtsp profiler med C- eller Z- profil, vanligtvis med centrumavstånd på 600 mm. Lastfördelande trapetsprofilerad stålplåt eller t ex OSB- skiva skruvas eller skruvlimmas till balkarna. Bjälklaget kompletteras med övergolv och undertak. Upphängning av undertak görs med hjälp av en akustikprofil eller ljudbygel. (bild saknas)

Figur 4. Ncc byggde flerbostadshus på Nybodahöjden i Stockholm till bostadsutställningen Bygga Bo 98. I en fältfabrik på byggarbetsplatsen tillverkades bjälklagselement, enligt Lindab [4], bestående av balk och trapetsprofilerad stålplåt. Vidare komplettering av bjälklaget gjordes på plats, [5]. (bild saknas).

Fördelar med lätta stålbjälklag är bl a:

- Hög styvhet i förhållande till låg egenvikt.
- Ingående material är torra och oorganiska, vilket minskar risken för fuktproblem och minskar behovet av torktid i tidsplanen
- I hålrummet i bjälklaget finns plats för förläggning av installationer som enkelt kan separeras från den bärande stommen.
- God ljudisolering kan fås genom speciellt utvecklade produkter för upphängning av undertak, akustikprofil och ljudbygel
- Tillåter hög prefabriceringsgrad.



Figur 5. Ett lätt stålbjälklag väger ca 65 kg/m² med övergolv av dubbla gipsskivor. Med betongövertyta väger bjälklaget ca 135 kg/m².

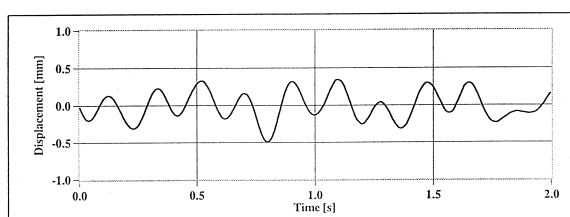
När lätta bjälklag används som lägenhetsskiljande är det dock viktigt att ta hänsyn till svikt och vibrationsegenskaper. Ett tungt bjälklag som väger ca 250 kg/m² är svårt att sätta i svängning. Ett

lätt bjälklag som väger 65kg/m^2 kan sättas i svängning av en människa i rörelse om det inte utformas på rätt sätt. Eftersom det tidigare inte har varit vanligt att använda lätta lägenhetsskiljande bjälklag har vi inte heller så mycket erfarenheter av deras vibrationsegenskaper. Internationellt samarbetar SBI, inom ramarna för Internationella järn och stålinstitutets arbetsgrupp för Lättbyggnad, med att utvärdera om existerande acceptanskriterier kan användas för lätta bjälklag.

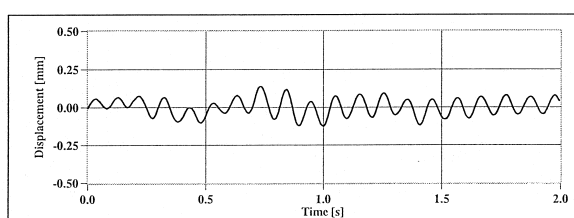
Vibrationsegenskaper

Människans upplevelse av vibrationer beror till största delen på storleken på vibrationerna, lägsta egenfrekvensen och hur snabbt vibrationerna dämpas. Gränsen är dock individuell och beror ofta också på mottagarens sinnesstämning, aktivitet (vila eller rörelse), levnadssätt eller kultur. Ljud som associeras till vibrationer t ex skallrande porslin ökar obehaget. De rekommendationer som omskrivs här baseras på vibrationer orsakade av människor i rörelse.

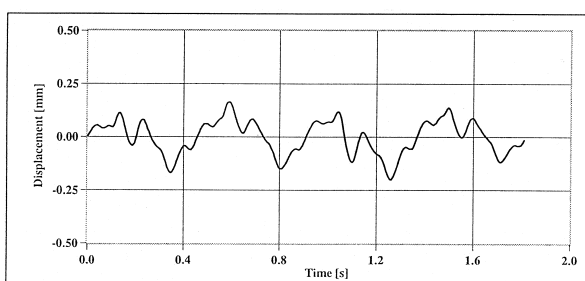
När människor går på ett bjälklag sätts det i svängning. Egenskaperna för den responderade svängningen beror främst på bjälklagets massa och lägsta egenfrekvens. Figuren 6 visar några exempel på olika bjälklags resulterande svängning beroende på spännvidd och massa. När egenvikten är hög och lägsta egenfrekvensen låg dominerar naturliga vibrationer, men vid låg massa och hög egenfrekvens är det nedböjningen av fotsteg som dominerar. Därför indelas bjälklag ofta in i låg- och högfrekventa bjälklag, där gränshänsyn är 8 Hz.



$$\begin{aligned} m &= 220 \text{ kg/m}^2 \\ f &= 5 \text{ Hz} \\ l &= 8,4 \text{ m} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} m &= 200 \text{ kg/m}^2 \\ f &= 10 \text{ Hz} \\ l &= 6 \text{ m} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} m &= 110 \text{ kg/m}^2 \\ f &= 9 \text{ Hz} \\ l &= 9 \text{ m} \end{aligned}$$

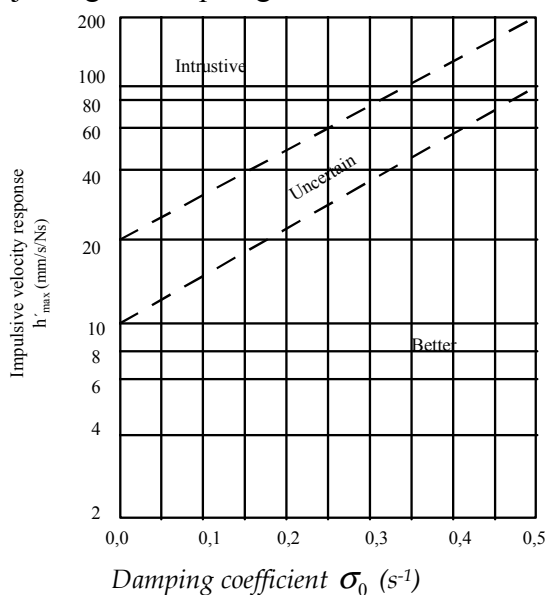
Figur 6. Figurerna visar uppmätt bjälklagsrörelse vid normal gång. Bjälklagen har olika massa, lägsta egenfrekvens och spännvidd. [6]

Acceptanskriteria

Bjälklagets *lägsta egenfrekvens* och *dämpningen* är två viktiga parametrar som påverkar bjälklagets svängning. Egenfrekvensen kan bestämmas analytiskt samt genom provning. Dämpningen eller rättare sagt moddämpningen, som är ett mått på hur snabbt vibrationerna för en viss egenmod klingar av, kan normalt inte förutsägas med analytiska metoder. Moddämpningen kan däremot bestämmas genom provning, men det skulle vara önskvärt att kunna bestämma bjälklagets dämpning redan i dimensioneringsstadiet eftersom dämpningen har gynnsam inverkan på bjälklagets vibrationsegenskaper. För att kunna ta hänsyn till vibrationsegenskaper vid dimensionering av bjälklag, har man på olika håll runt om i världen försökt ta fram dimensioneringshjälpmedel för lätta bjälklag. Två av dessa acceptanskriterier kommer jag att beskriva mycket kortfattat här, nämligen acceptanskriterier utvecklade av Sven Ohlsson, Göteborg [7] och Donald M. Onysko, Ontario, Kanada.[8]

Acceptanskriterier enligt Sven Ohlsson

Sven Ohlssons teori gäller för lätta bjälklag med en lägsta egenfrekvens över 8 Hz. Det finns två kriterier: ett statiskt kriterium och ett dynamiskt kriterium. Det statiska kriteriet begränsar vertikal nedböjning orsakad av en kortvarig koncentrerad statisk last på 1 kN. Rekommendationen är att begränsa den statiska nedböjningen i den mest flexibla punkten av en punktlast på 1 kN till 1,5 mm. Det dynamiska kriteriet är begränsat av den initiala vibrationshastigheten för en impulslast på 1 Ns. För att utvärdera bjälklaget med avseende på det dynamiska kriteriet uppskattas bjälklagets dämpningsfaktor.

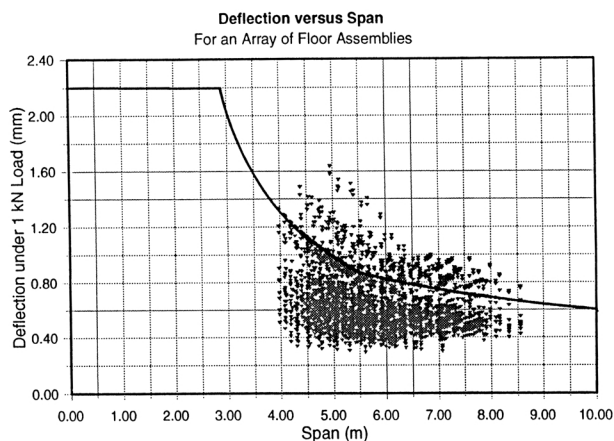


Figur 7. Dynamiskt kriterium enligt Sven Ohlsson. Huruvida bjälklaget upplevs acceptabelt eller ej beror på bjälklagets dämpningskoefficient och impulshastighetsrespons [7].

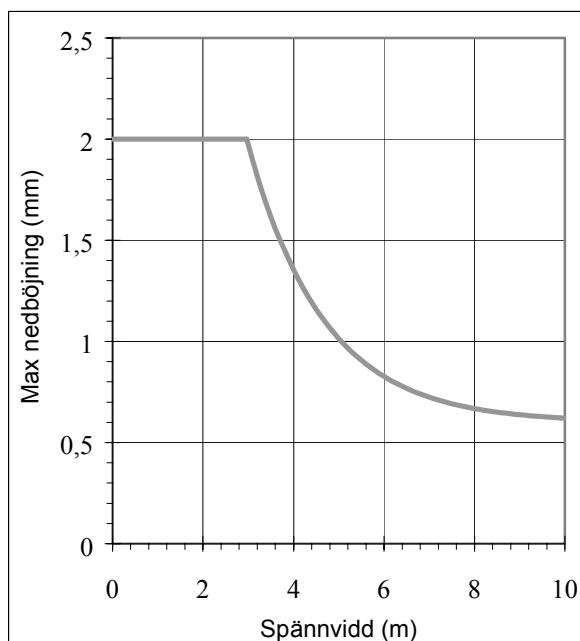
Acceptanskriterier enligt Donald M. Onysko

Onysko har begränsat acceptanskriteriet till att omfatta statisk nedböjning. En studie på ett stort antal träbjälklag ligger till grund för kriteriet. Människor som bor i hus med lätta träbjälklag har tillfrågats om de accepterar bjälklagets vibrationsnivå eller inte. Bjälklagets spännvidd och statiska nedböjning i den mest flexibla punkten av en punktlast på 1 kN tillsammans med resultatet på enkätundersökningen sammanställdes i ett diagram, se figur 8. Detta resultat används som ett hjälpmedel vid dimensionering av lätta bjälklag i Kanada. Utvärdering av mätresultat på lätta stålbjälklag i Finland har visat att kriteriet stämmer bra överens med

subjektiva undersökningar, [9]. I skandinavien har vi dock något högre krav på bjälklagets flexibilitet i jämförelse med Kanada och därför bör maximal nedböjning vid kortare spännvidd begränsas till 1,5 mm under 1,0 kN punktlast.



Figur 8. Acceptanskriterium enligt Onysko [8] baseras på uppmätt statisk nedböjning för 3200 bjälklag. Resultaten från mätningarna och subjektiv undersökning är sammanförda i diagrammet och innefattar 40 olika sektioner, 4 olika centrumavstånd mellan balkar, 4 olika tjocklekar på skivmaterial och 5 olika kortlingssystem.



Figur 9. Dimensioneringsanvisning för lätta bjälklag i Kanadensisk standard baseras på acceptanskriterier enligt Onysko. [8]

Ohlssons statiska kriterium och Onysko's kriterium kan ses som en riktlinje vid dimensionering av lätta bjälklag med avseende på vibrationer. I och med att dämpningen inte är inkluderad kan man förvänta att resultatet vid gynnsamma upplagsförhållanden och konstruktionslösningar blir något bättre. Kriterierna gäller för lägehetsskiljande bjälklag i bostadshus.

Dimensionering med avseende på vibrationer

Följande rekommendationer gäller för bjälklag i bostadshus med en lägsta egenfrekvens större än 8 Hz och för vibrationer orsakade av människor i rörelse. De dimensioneringsrekommendationer som anges här baseras på acceptanskriterium enligt Ohlsson och Onysko.

Eigenfrekvens

Beräkna först bjälklagets lägsta egenfrekvens f_0 och kontrollera att kriteriet är tillämpligt för konstruktionen i fråga, dvs om $f_0 > 8 \text{ Hz}$.

Eigenfrekvensen för ett fritt upplagt rektangulärt bjälklag kan beräknas enligt:

$$f_0 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \cdot \sqrt{1 + \left[2\left(\frac{l}{b}\right)^2 + \left(\frac{l}{b}\right)^4 \right] \frac{(EI)_b}{(EI)_l}} \quad (1)$$

Ofta kan randegenskaperna i balkriktningen försummas och ekvationen förenklas till:

$$f_0 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \quad (2)$$

Förklaringar

b	[m]	bredd
f ₀	[Hz]	lägsta egenfrekvens
g	[m/s ²]	tyngdacceleration
l	[m]	spännvidd
m	[kg/m ²]	massa per areaenhet 30 kg/m ²
E _l	[N/m ²]	Elasticitetsmodul i balkriktning
E _b	[N/m ²]	Elasticitetsmodul tvärs balkriktning
I _l	[m ⁴ /m]	Tröghetsmoment, korresponderande mot E _l
I _b	[m ⁴ /m]	Tröghetsmoment korresponderande mot E _b
(EI) _b	[Nm ² /m]	Böjstyvhets per enhetsbredd
(EI) _l	[Nm ² /m]	Böjstyvhets hos bjälklagsbalk (full samverkan)
δ _{max}	[mm]	Maximal nedböjning av punktlast
δ _{lim}	[mm]	Gränsvärde nedböjning under punktlast på 1 kN

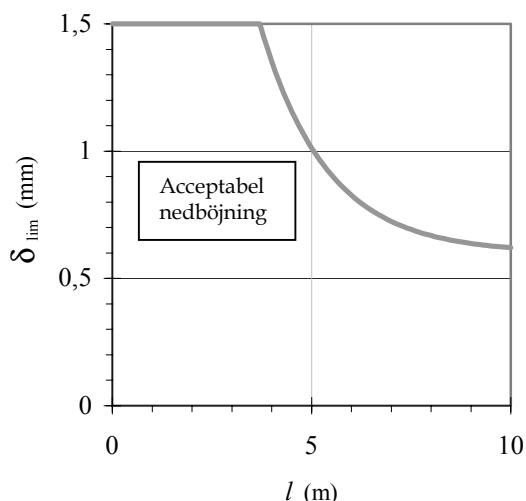
Statisk nedböjning

Nästa steg i beräkningsgången är att bestämma bjälklagets statiska nedböjning under en punktlast på 1 kN. Nedböjningen i den mest flexibla punkten ska vara mindre än δ_{lim}. Vid spännvidder mellan 0-3,5 m bör maximal nedböjning ej överstiga 1,5 mm. För längre spännvidder avtar rekommenderad maximal nedböjningen exponentiellt. Vid 10 m spännvidd är maximal nedböjning ca 0,6 mm. Nedböjningen beräknas med hjälp av ekvation (3) och (4).

$$\delta_{\max} \leq \delta_{\text{lim}} \quad (3)$$

$$\delta_{\text{lim}} = 0.6 + 2.5 \cdot e^{-0.6 \cdot (l-2)}, \max \delta_{\text{lim}} = 1.5 \text{ mm} . \quad (4)$$

Gränsvärdena för nedböjning för aktuell spännvidd visas grafiskt av kurvan i figur 9.



Figur 9. Kombinationen av statistiskt acceptanskriterium enligt Onysko [8] och Ohlsson [7] kan tillämpas som riktlinje vid dimensionering av lätta bjälklag. För korta spännvidder (0-3,5 m) är det lämpligt att begränsa statisk nedböjning av 1 kN punktlast till 1,5 mm. Vid längre spännvidder begränsas nedböjningen enligt ekvation (4).

Pågående forskning

Syftet med Stålbyggnadsinstitutets forskningsprojekt är att öka kunskapen om lätta bjälklags vibrationsegenskaper. Tidigare utförda vibrationsmätningar på lätta bjälklag har visat att den lägsta egenfrekvensen är högre än 8 Hz samt att moddämpningen för lägsta egenfrekvensen (mod 1) är hög. I och med att lätta stålbjälklag byggs upp med flera olika skikt sker gynnsamma vibrationsförluster mellan skikten. Mätningar har dock visat att bjälklagens upplagsförhållanden och koppling till övriga byggnadsdelar har störst inverkan på dämpningen. [10] [11]

För att öka kunskapen om upplagsförhållanden och åtgärder i konstruktionen som kan inverka gynnsamt på dämpningen har vibrationsmätningar gjorts vid fem olika skeden i ett bjälklags uppbyggnad:

1. Bjälklaget ligger fritt upplagt längs två kanter.
2. Längsgående väggar har monterats och bjälklaget kan nu ses som mer fast inspänt.
3. Innerväggar är monterade på bjälklaget.
4. Bjälklaget kompletterat med ett flytande golv.
5. Möblerat bjälklag.

Utvärdering av mätdata pågår och resultaten kommer att utvärderas och jämföras med en datormodell av bjälklaget. Resultatet pekar i samma riktning som tidigare mätningar. Moddämpningen är hög för lägsta egenfrekvensen och ökar betydligt när upplagsförhållandena förändras från fritt upplagt till mer fast inspänt. Resultatet kommer bland annat att publiceras på Stålbyggnadsinstitutets webbplats om Lättbyggnad.

Sammanfattning

Forskningsresultat visar att det idag är lämpligt att använda lätta bjälklag i bostadshus med spännvidder på 4-5 m, med avseende på vibrationsegenskaper. Lätta bjälklag är därmed ett bra alternativ vid såväl nyproduktion som ombyggnader. Påbyggnader på befintlig bebyggelse förväntas öka framöver, därmed också behovet av lätta bjälklag med goda tekniska egenskaper.

Referenser

- [1] *Byggkonjunturen 1/2000*, Sveriges Byggindustrier, Stockholm, 2000
- [2] Burstrand, H., *Lättbyggnad med stål*, Publikation 164, Stålbyggnadsinstitutet, Stockholm, 1998
- [3] BPB Gyproc Nordic East, *Gyproc TCA Bjälklag*, Mars -99, Nr 99-16
- [4] *Tak och Väggekatalogen '98*, Lindab Profil AB, 97-11, 1998
- [5] Söderström, H., *Torrbyggnad*, Ncc Bostad Stockholm Norr, 1998
- [6] Talja, A och Burstrand, H., *Design guide for light steel floors*, To be published in October 2000
- [7] Ohlsson, S., *Springiness and human induced floor vibrations – A design guide.*, Swedish Council for building Research, Stockholm, 1988
- [8] Canadian Wood Council et al., *Development of design procedures for vibration controlled spans using engineered wood members*, Kanada, September 1997
- [9] Kulla, J., Talja, A., *Vibration performance tests for light-weight steel joist floors*. Proc of Light-weight steel and aluminium structures, Helsinki, 1999.
- [10] Burstrand, H., *Human induced vibrations in light weight steel floors*, Stålbyggnadsinstitutet rapport 190:2, Stockholm, 1997.
- [11] Samuelsson, M. och Sandberg, J., *Vibrations in light weight steel floors*, Stålbyggnadsinstitutet Rapport 190:4, Stockholm, 1998