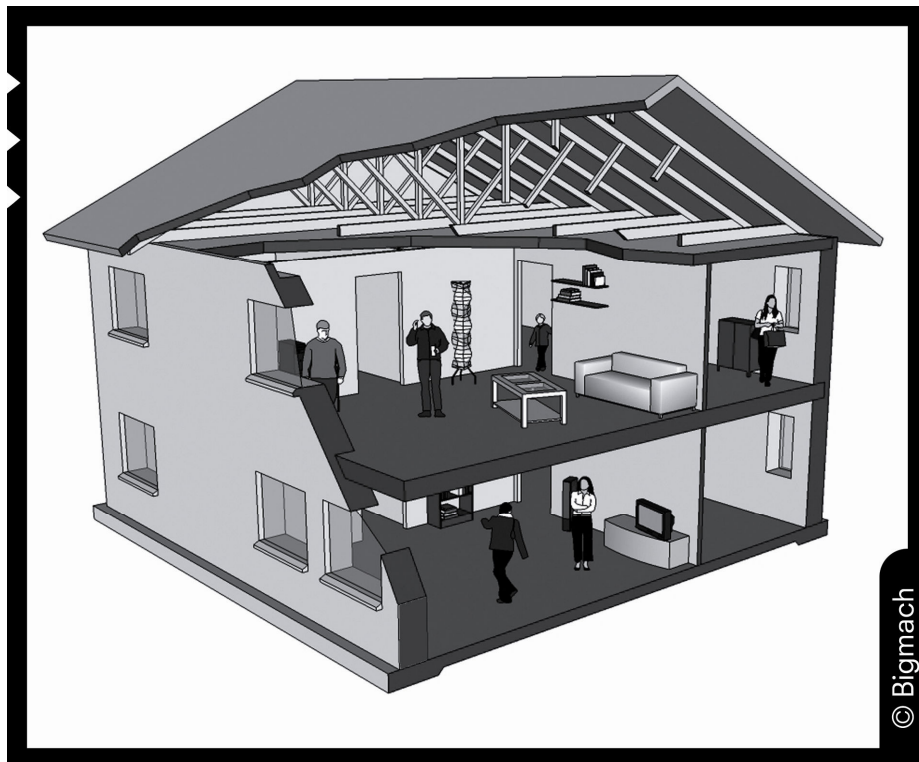




© Bigmach

Lägenhetsskiljande massivträbjälklag

Projektering av bjälklag med förbättrade ljudisolerande egenskaper

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Byggingenjör

CHARLOTTA BJERKBORN
CHRISTOPHE MARLIOT

Institutionen för bygg- och miljöteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2006
Examensarbete 2006:45

Lägenhetsskiljande massivträbjälklag

Projektering av bjälklag med förbättrade ljudisolerande egenskaper

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Byggingenjör

CHARLOTTA BJERKBORN, CHRISTOPHE MARLIOT

Tier of beams and joists in timber house constructions
Reduction of inconvenient sound transportation between flats
CHARLOTTA BJERKBORN, 1981
CHRISTOPHE MARLIOT, 1971

© CHARLOTTA BJERKBORN, CHRISTOPHE MARLIOT

Diploma thesis 2006:45
Department of Civil and Environmental Engineering
Chalmers University of Technology
SE-412 96 Göteborg
Sweden
Telephone + 46 (0)31-772 1000

Omslag:
Sprängskiss visande flerbostadshus

Chalmers
Göteborg, Sweden 2006

Sammandrag

Ekologibyggnaderna i Vadstena projekterar byggnader i massivträ, men har under konstruktionen av flerbostadshus insett att tillåtna ljudnivåer överstigs i byggnaderna, till följd av alltför lätta mellanbjälklag.

För att ge massivträ förutsättningar att kunna konkurrera med mer utbredda material krävs det att den som väljer massivträ inte ska tvingas till alltför omfattande kompromisser arkitektoniskt, tekniskt eller ekonomiskt. Det finns inte någon bjälklagskonstruktion på den nordiska marknaden som uppfyller rådande krav med avseende på ljudisolering och ändå kan svara mot rimliga krav på ekonomi, tjocklek och effektivitetssträvan i byggprocessen. Syftet är således att ta fram förslag på ett mer lämpligt bjälklag. Det har inte getts möjlighet att testa bjälklaget praktiskt, utan förslagen är av i högsta grad teoretisk natur. Arbetet har bedrivits genom litteraturstudier och analyser av existerande konstruktioner, med utgångspunkt i den kunskap som har insamlats under utbildningens gång.

Tre bjälklagsförslag har tagits fram och redovisas i ritning och text. Inget av de tre förslagen uppfyller alla krav, delvis därför att eftergifter fick göras i valet av tyngdgivande element – platsgjuten betong valdes, eftersom alternativet sand ansågs vara alltför obeprövat för att kunna användas i ett så teoretiskt förslag. Det visade sig även att balkdeformationen blev avgörande och de tre olika konstruktionerna skiljer sig åt genom sina olika balkar – limträ, stålförstärkt limträ och stål. Resultatet bör ses snarare som ett led i arbetet med att ta fram ett bättre fungerande bjälklag än som en färdigutvecklad lösning.

Nyckelord: massivträ, bjälklag och ljudisolering

Abstract

The purpose of the thesis is to develop a tier of beams and joists that better corresponds to the demands made on the acoustic conditions of buildings, such as they are defined in the Swedish regulations, combined with a number of other factors, such as economical aspects.

There is no possibility to test the construction, meaning that the propositions are analyzed purely from theories and existing constructions. Thus, the thesis is based on literature studies and knowledge assimilated during previous studies.

Three constructions are presented, mostly differing in the different types of beams, i.e. timber, steel enforced timber and steel, the result of difficulties limiting deformations. Not all demands on the construction are complied with, but the thesis should be seen as a stage in the process of developing a more functional construction, rather than as a definite solution.

Keywords: timber construction, joists and acoustics

Förord

Vi önskar framföra våra tack till Ekologibyggbarna AB i Vadstena för att de erbjöd såväl ett intressant ämne som sakkunskaper och entusiasm. Vidare vill vi tacka Hanne Weiss Lindencrona, HWL Arkitekt AB, Stockholm och Einar Lundmark, Moelven Byggmodul AB för deras hjälp samt, sist men inte minst, vår handledare vid CTH, Sören Lindgren, för hans gedigna rådgivning, tillmötesgående och intresse för ämnet.

Göteborg den 24 maj 2006

Författarna

Innehållsförteckning

Sammandrag.....	I
Abstract.....	II
Förord.....	III
Innehållsförteckning.....	IV
1. Inledning	1
1.1. Bakgrund.....	1
1.1.1. Syfte, avgränsningar.....	1
1.1.2. Metod	1
2. Grundläggande akustik	2
2.1. Transmission	2
2.2. Ljudnivå	3
2.3. Ljudmätning.....	3
2.4. Normer	3
3. Materialet trä	5
3.1. Fysikaliska och mekaniska egenskaper hos trä.....	5
3.1.1. Olika träslag	5
3.1.2. Virkeskvalitet.....	6
3.2. Fukt	6
3.2.1. Fuktskyddsbehandlingar – tryckimpregnering och värmebehandling.....	7
3.3. Användning av massivträ inom större byggprojekt.....	7
4. Moderna massivträgolvs.....	9
4.1. Golv med spikade brädor	9
4.2. Golv med limmade brädor	9
4.3. Färdiga lådbalkselement	10
4.4. Samverkan mellan trä och betong.....	10
4.4.1. Lamellixmetoden	11
4.4.2. Sylvadalmetoden.....	11
4.4.3. Blouetmetoden	11
4.5. Projektering av golv med tillfredsställande akustiska egenskaper.....	11
4.6. Exempel på bjälklagstyper.....	12
4.7. Martinsons bjälklag.....	16
5. Presentation av nytt bjälklag	18
5.1. Utgångspunkter	18
5.2. Mått och dimensionering	19
5.3. Utformning.....	19
5.3.1. Golvets övre del	20
5.3.2. Massivträplattan.....	22
5.3.3. Balkarna	22
5.3.4. Undertaket.....	23
5.3.5. Stöden	24
6. Avslutning.....	25
Referenser	26
Bilagor	
Bilaga 1	
Bilaga 2	
Bilaga 3	
Bilaga 4	
Bilaga 5	
Bilaga 6	

1. Inledning

Det är angeläget att utveckla massivträbyggande, på grund av miljömässiga fördelar så väl som arkitektoniska möjligheter, med tanke på den tendens som råder inom arkitekturen, där man märker en återgång mot en större geografisk anpassning, såväl stil- som formmässigt. Massivträ är således ett byggnadsmaterial på frammarsch och såväl byggbransch som en bredare allmänhet börjar få upp ögonen för materialets fördelar.

1.1. Bakgrund

Med fördelarna följer dock en del nackdelar; exempelvis är materialet så lätt att det innebär sämre ljudisoleringsegenskaper. Detta är framför allt ett problem vid byggande av flerbostadshus. Företaget Ekologibyggbarna AB i Vadstena konstruerar byggnader i massivträ, men har under projekteringen av flerbostadshus insett att tillåtna ljudnivåer överstigs i byggnaderna. Det finns olika lösningar av problemet, men de är otillfredsställande, då Ekologibyggbarna strävar efter att industrialisera och effektivisera byggprocessen och många av de existerande bjälklagsmodellerna är komplicerade strukturer som innebär tidskrävande monteringar. Mindre intrikata lösningar medför andra komplikationer; till exempel vill man undvika användning av betong och andra material som innehåller mycket fukt, kostnaden bör hållas nere och tjockleken på bjälklaget bör inte vara större än hos ett mer ordinärt bjälklag (till exempel av betong).

1.1.1. Syfte, avgränsningar

Rapporten har som syfte att ge förslag till nya bjälklagskonstruktioner som bättre svarar mot de önsksningar uppdragsgivaren har framställt. Det finns inte möjlighet att testa en konstruktion och inte heller att beräkna dess akustiska egenskaper, utan förslaget presenteras i ritningar och text.

Rapporten innehåller en genomgång av grundläggande akustik, men endast i den mån det är direkt relevant för ämnet som är i fokus. Detta innebär att rumsakustiska åtgärder för till exempel ljudabsorption eller anpassning av återklangstid inte berörs och inte heller trafikbuller eller buller från installationer. Vidare behandlas trä som konstruktionsmaterial, främst i form av massivträ, och befintliga bjälklagskonstruktioner går igenom.

På grund av förslagets teoretiska natur har ett val gjorts att *inte* fokusera på miljöaspekter. Ingen LCA kommer således att presenteras, eftersom det inte är helt tillfredsställande och färdigutvecklade lösningar som blir resultatet.

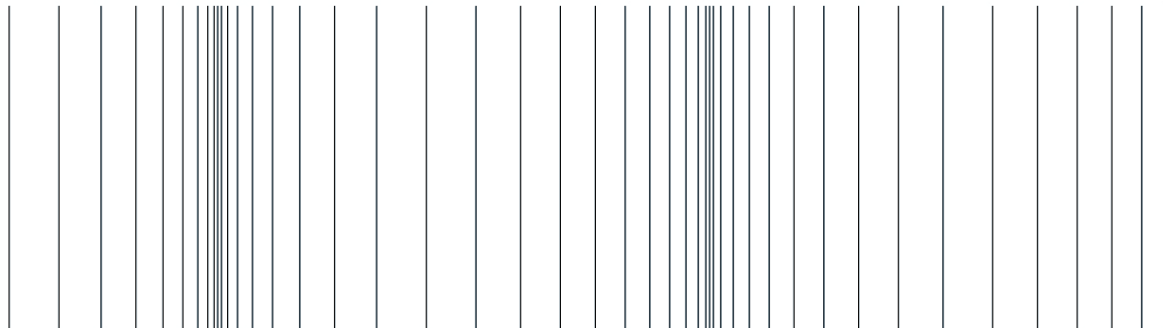
1.1.2. Metod

Fakta som presenteras är baserad på litteraturstudier och framför allt på kunskaper som har införskaffats under utbildningens gång. Dessutom har existerande konstruktioner studerats och analyserats. Genomgången av litteratur har inte begränsats till att omfatta endast Norden, utan även litteratur från andra delar av Europa har behandlats.

Framför allt baseras dock texten på författarnas egen kunskapsbas, vilket bör poängteras, eftersom det innebär viss ojämnhet i angivandet av referenser – för vissa kapitel har det inte funnits några större förkunskaper hos författarna, vilket gör att texten i stor utsträckning lutar sig mot annan litteratur. För vidare läsning om de ämnen där referenserna är glesare, hänvisas till den litteratur som finns angiven i bilaga 6.

2. Grundläggande akustik

Ljud är en longitudinal vågrörelse i ett elastiskt medium. Longitudinal vågrörelse innebär att luftpartiklarnas svängningsrörelse har samma riktning som ljudets utbredning (i motsats till exempelvis vågor i vatten, som är transversala), som kan ses i figur 2.1. Ljud består oftast av delvågor med olika frekvenser inom det hörbara området (ungefär 20-20 000 Hz). (Åkerlöf 2001 s. 11)

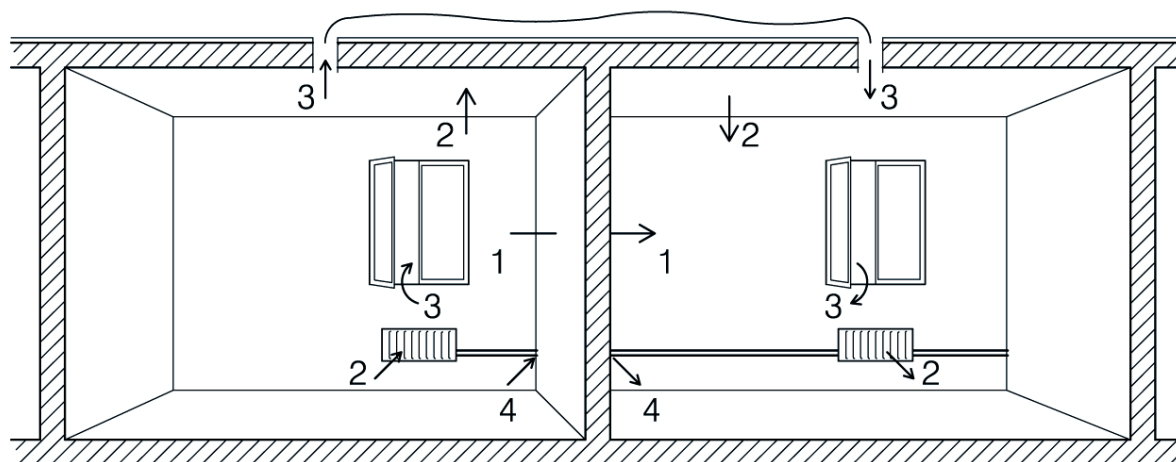


Figur 2.1 Longitudinalvåg

Hur väl en viss vägg- eller bjälklagstyp isolerar mot ljud beror på ljudets frekvens. Särskilt lågfrekventa ljud kan vara problematiska i lätta konstruktioner. (Stenstad 2003 s. 11) Våglängden hos ljudet har inverkan på hur ljudet påverkas av föremål i dess väg. Höga frekvenser, med kort våglängd, reflekteras av objektet medan de låga frekvenserna passerar genom objektet. (Åkerlöf 2001 s. 63)

2.1.Transmission

Ljudtransmission förekommer i olika former. Flanktransmission innebär att ljud överförs via byggnadsdelar som ligger mot varandra. Lätta konstruktionsdelar sätts enkelt i svängning och innehåller ofta många skikt och hålrum, där ljudet kan fortplantas, vilket gör att träbyggnader ofta kan vara extra utsatta för flanktransmission. (Stenstad 2003 s. 9) Vid direkt ljudtransmission sätter ljud på ena sidan av en avskiljande del densamma i svängning och ljud strålas ut på andra sidan. (Åkerlöf 2001 s. 70) Ljud kan även överföras via installationer, till exempel ventilationskanaler, så kallad överhörning, eller via läckage, det vill säga otätheter i konstruktionen. (Åkerlöf 2001 s. 70) De olika transmissionsvägarna åskådliggörs i figur 2.1.1.



Figur 2.1.1. Olika transmissionsvägar. 1.) Direkt lufttransmission 2.) Flanktransmission 3.) Överhörning 4.) Läckage

För lätta bjälklag beror luftljudsisoleringen på bjälklagets uppbyggnad, anslutande byggnadsdelar och hur det är monterat. (Åkerlöf 2001 s. 74) Exempelvis medför ett flytande golv att ljudisoleringsförmågan förbättras. Flytande golv är en stel platta på ett elastiskt underlag, exempelvis betong på mineralull, och om golvet är utfört på rätt sätt kan detta medföra en bättre ljudisolering på upp till 8-10 dB vid hel överplatta. Stegljudsisoleringen blir bättre ju tyngre övergolvet är och ju mjukare underlaget är. Det får dock inte finnas några fasta förbindningar mellan övergolvet och byggnadsstommen, vilket kan medföra komplikationer vid dragning av ledningar och andra installationer. (Åkerlöf 2001 s. 119f)

2.2.Ljudnivå

Ljudnivå anges ofta i dB(A), vilket är ett logaritmiskt begrepp. En fördubbling av ljudet ger en ökad ljudnivå av 3 dB(A). (Åkerlöf 2001 s. 11f) Att en logaritmisk skala används beror på att alltför stora och otympliga tal ska kunna undvikas. (Åkerlöf 2001 s. 64) Den ekvivalenta ljudnivån är medelljudnivån under en viss tidsperiod, medan den maximala ljudnivån är den högsta ljudnivån, även den under ett avgränsat tidsintervall. (Åkerlöf 2001 s. 12)

2.3.Ljudmätning

Luftljudsisolering uttrycks i reduktionstalet R'_w eller $R'_w + C_{50-3150}$ (vid mätning i byggnad – vid mätning i laboratorium benämns reduktionstalet R) och isoleringsförmågan ökar med reduktionstalet. (Åkerlöf 2001 s. 13) Mätning sker vid 19 olika frekvenser. (Åkerlöf 2001 s. 70) Stegljudsnivån uttrycks i $L'_{n,w}$ eller $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$. Ju lägre stegljudsnivån är, desto bättre ljudstandard har den byggnadsdel som avses. (Åkerlöf 2001 s. 16) Stegljudsnivå mäts genom att en standardiserad hammarapparat slår på till exempel ett bjälklag. Även här sker mätning vid 19 olika frekvenser. (Åkerlöf 2001 s. 108) Det ljud som hammarapparaten frambringar är dock ganska olik det som i verkligheten skapas av en gående och den verkliga störningen som stegljud kan medföra är svår att simulera. (Åkerlöf 2001 s. 114) För lätta bjälklag gäller dessutom att det inte går att ange en allmänt gällande stegljudsnivå med utgångspunkt från till exempel tjocklek, eftersom ett så stort antal faktorer spelar in. (Åkerlöf 2001 s. 217f)

Ljudstyrkan påverkas både av ljudvågornas amplitud (relaterat till ljudtrycket) och frekvens. (Åkerlöf 2001 s. 64) Till skillnad från tunga bjälklag, kan skillnaderna mellan laboratoriemätningar och fältmätningar vara mycket stora för lätta bjälklag och för att komma fram till en korrekt ljudklassificering krävs ett stort antal fältmätningar. (Åkerlöf 2001 s. 74)

2.4.Normer

Ljud är en i högsta grad subjektiv upplevelse, men det finns krav från myndigheterna på god ljudmiljö, definierade i till exempel Boverkets byggregler, vilket är det system som används som referens här. I BBR och Svensk Standard är bostäder uppdelade i fyra ljudklasser, A-D, där A motsvarar mycket goda ljudförhållanden, B är något sämre och är minimikrav för god boendemiljö, C är minimikravet för byggnader i allmänhet och D, den sämsta ljudklassen, är avsedd för kortare perioder då ljudklass C inte är möjlig att uppnå. (Åkerlöf 2001 s. 40f) Tabell 2.4.1a och 2.4.1b visar luft- och stegljudsisoleringskrav.

Tabell 2.4.1a Luftjudisoleringskrav, såsom de anges i BBR. R'_w eller $R'_w + C_{50-3150}$

LUFTLJUDSISOLERING				
Utrymme	Klass A	Klass B	Klass C	Klass D
Mellan lägenhet och utrymmen utanför lägenhet	60	56	52	48
dock mellan loftgång och lägenhet samt mellan trapphus/korridor och hall (eller motsvarande avskiljbara utrymme) innanför tamburdörr.	48	44	39	36
Inom lägenhet med fler än 2 rum. Mellan minst ett rum och bostadens övriga rum/kök.	44	40	--	--
1) Det rekommenderas att anpassningstermen, $C_{50-3150}$ används också i klass C. Om termen används skall samma gränsvärde tillämpas.				

Tabell 2.4.1b Stegljudsisoleringskrav, såsom de anges i BBR. $L'_{n,w}$ eller $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$

STEGLJUDSISOLERING				
Utrymme	Klass A	Klass B	Klass C	Klass D
I bostadsrum från utrymme utanför lägenhet	50	54	58	62
dock från trapphus, korridor eller loftgång.	56	60	64	68
Inom lägenhet. Till ett av flera bostadsrum	64	68	--	--
1) Det rekommenderas att anpassningstermen, $C_{1,50-2500}$ används också i klass C, på samma sätt som i klasserna A och B. Om termen används gäller gränsvärdet således både för $L'_{1n,w}$ och $L'_{1n,w} + C_{1,50-2500}$				

3. Materialet trä

Då trä, inte minst massivträ, används i konstruktioner måste, oavsett projektets art, två faktorer tas särskild hänsyn till: För det första, att det lätta materialet gör att akustiken kan behöva utformas med särskild omsorg och för det andra, att trä är ett levande material. Trä förändras naturligt med åren, det är av vikt att både beställare och projektör är införstådda med dessa förändringar som både materialets åldrande och olika belastningar kan medföra och att dessa förändringar accepteras som en del av träets egenskaper, som till och med kan ses som positiva.

3.1.Fysikaliska och mekaniska egenskaper hos trä

För att lättare kunna förutse hur ett visst konstruktionsvirke kommer att förändras av tid och belastning, gäller det att ha goda kunskaper om det träslag som kommer att användas. Även om rapportens syfte inte är att beskriva dessa ingående, kommer några egenskaper att tas upp för att ge en bättre grund till resten av texten. Även om en riktig förståelse för trä som material knappast kan erhållas utan en lång erfarenhet av att arbeta med detsamma, är det viktigt att påpeka att olika träslag har olika egenskaper och att det fungerar bäst om det används och sköts på ett sätt som passar just det träslaget.

Trä är ett anisotropt* material, något som har betydelse för både hållfasthet och fuktvandring inom materialet. Dessa två faktorer har stor betydelse vid projektering av detaljer, något som är av vikt, inte minst vid hantering av en byggnads akustiska egenskaper. Som tidigare har nämnts, har träkonstruktioner en benägenhet att förändras i högre utsträckning än stål- eller betongkonstruktioner, vilket lätt kan leda till problem med ljudläckage, då otätheter kan uppstå i en rumsskiljande vägg eller i ett bjälklag. Träkonstruktioner har dock andra fördelar som kan uppväga den noggrannhet som krävs med hänsyn till ljudisoleringsproblemet. Trä erbjuder till exempel ett enklare och snabbare monteringsarbete. Materialet är enkelt att justera och mindre fel vid projektering eller leverans kan oftast rättas till på arbetsplatsen. Dessutom är byggdelarna ofta lättåtkomliga, kan lättare bytas ut vid eventuella fel och kräver ingen specialkompetens. Fel i monteringen eller i placeringen av öppningar för installationer i en betongvägg är i jämförelse mycket krångligare och dyrare att åtgärda. De miljömässiga fördelarna är inte försumbara. Trä är ett energieffektivt och förnyelsebart material och är dessutom såväl återanvändbart som återvinningsbart. (Fröbel 2004 s. 55)

Ytterligare information om materialet trä, vad det gäller framställning, rekommendationer för underhåll, etc. kan hittas i de skrifter som listas i bilaga 6.

3.1.1. Olika träslag

Som ses i tabell 3.1.1.1 skiljer sig olika träslag markant åt, vad gäller såväl densitet som hårdhet, helt fränsett deras olika utseendemässiga kvaliteter. Användning av t.ex. ask för själva golvet ger en hårdare yta som inte kommer att slitas lika snabbt och som passar bra ihop med gran, som oftast används för bärande delar tack vare sin lättillgänglighet och det låga priset.

* Anisotropt innebär att egenskaperna är olika i olika riktningar. (Fröbel 2004 s.8)

Tabell 3.1.1.1 Skillnader mellan olika träslag, med avseende på hårdhet och massa (jfr Gauzin-Müller 1999, s. 39)

Densitet och hårdhetsklass	Träslag	Massa (kg/m ³) gäller för fuktkvot mellan 12 och 15%	Hårdhet Relativ skala
BARRTRÄD Väldigt lätt & väldigt mjukt Lätt & mjukt Halvtungt & halvhård Tungt & hårt	Red Cedar Gran Lärkträd Fura	< 400 400 till 500 500 till 600 600 till 700	< 1,25 1,25 till 2,5 2,5 till 5 5 till 9
LÖVTRÄD Väldigt lätt & väldigt mjukt Lätt & mjukt Halvtungt & halvhård Tungt & hårt Väldigt tungt & väldigt hårt	Poppel Björk Ek, kastanjeträd Doussié, Ask Ebenholtz	< 500 500 till 600 600 till 700 700 till 850 > 850	< 1,25 1,25 till 2,5 2,5 till 5 5 till 9 > 9

Akustiska spån- och flisplattor, med lägre densitet, tillverkas av rester från sågningen för att sedan kunna fästas på vertikala ytor och minska spridningen av luftljud mellan rummen. En grundligare forskning om olika träslags fysikaliska egenskaper hade dessutom kunnat visa om egenfrekvenserna skiljer sig markant åt. Eventuella divergenser för olika frekvensområden skulle sedan kunna påverka valet av träslag beroende på typen av aktivitet som lokalen är avsedd för. (Gauzin-Müller 1999 s. 90)

3.1.2. Virkeskvalitet

Virkeskvaliteten bestäms utifrån ett antal parametrar, som kan ha naturliga orsaker (insektskador, svampangrepp, kvistar, etc.) eller kan ha uppstått under tillverkningen (måttavvikelser, hanteringsskador, etc.). (Fröbel 2004 s. 13ff) För en sammanfattning av kriterier och bestämmelser hänvisas återigen till den litteratur som listas i bilaga 6.

Vad det gäller de byggnadsdelar som den här rapporten rör är det viktigt att välja ett virke av bra kvalitet från början, då bjälklaget svårligen låter sig bytas ut i ett senare skede, detta till skillnad från exempelvis panelbeklädnad som dessutom är mera utsatt och som bör kunna bytas ut utan alltför stora svårigheter för att kunna bibehålla husets utseende och funktion under åren.

3.2. Fukt

Orsaken till deformationer i träkonstruktioner är ofta fukt. I allmänhet gäller att trä får blir blött, bara det ges möjlighet att torka igen. De fuktrelaterade problemen är framför allt att golvet kan krympa eller utvidgas mer än förmodat och även om det främst medför utseendemässiga konsekvenser, kan även olägenheter som läckage uppkomma. Bjälklag i våtrum är särskilt utsatta och kräver därmed eftertanke och noggrannhet. Själva golvet skiljer sig från resten av huset i våtrum och projekteringen för hela våningens bjälklag måste ta hänsyn till det. I det fall badrummen ska kaklas, är t.ex. cementgolv en enkel lösning, då tjockleken på golvet kan anpassas efter golvbeläggningen.

Fuktvandringen i virket sker längs fibrerna; på samma sätt som hartsen förflyttar sig genom materialet innan trädet avverkas, rör sig vattnet kapillärt i materialet. Givetvis sker också uttorkningen vinkelrätt mot fibrerna, men långsammare. (Gauzin-Müller 1999 s. 38)
Detta är av betydelse vid projektering av ytor som kommer att utsättas för höga fukthalter; generellt gäller att en vertikal yta helst ska bestå av vertikala plankor.

Vad gäller utformningen av bjälklag, kan det utsättas för fukt under lagringen, under byggnadstiden eller under användningen, framför allt i de fall då bjälklaget bildar golv eller tak i ett våtrum.

Uttorkningen av bjälklaget sker dessutom långsammare, väl det är monterat och bildar en del av byggnaden. Därför bör det skyddas extra noga mot fukt. Detta gäller inte minst eventuellt exponerat ändträ, då detta lättare än andra delar suger upp vatten.

3.2.1. Fuktskyddsbehandlingar – tryckimpregnering och värmebehandling

Trä kan behandlas på olika sätt för att bli mer motståndskraftigt mot röta. Tryckimpregnering är en metod där trä behandlas med bekämpningsmedel för att motverka röta. Bland de olika medel som används finns arsenik-, krom- eller kopparhaltiga ämnen och kreosotolja. (Gauzin-Müller 1999, s. 53) Dessa ämnen är miljö- och hälsofarliga och under den senaste tiden har restriktioner vad det gäller användningen av dessa införts. Konstruktionens beständighet måste dock garanteras och en ny metod har utvecklats för att uppnå ett tillräcklig skydd – värmebehandling. Termiskt behandlat trä undergår permanenta strukturella förändringar, vilket gör att ökad fukthalt inte kommer att påverka virket på samma sätt som obehandlat virke. Hemicellulosans struktur förändras och därmed träs förmåga att transportera vattnet kapillärt. (Jfr *ThermoWood Handbook* 2003)

3.3. Användning av massivträ inom större byggprojekt

Sverige satsar numera på att utveckla byggsystem i massivträ för att dra större ekonomisk nytta av skogen, en naturresurs som förr till stor del utnyttjades för att framställa produkter med mindre ekonomisk potential, såsom papper. Dock innebär det att efterfrågan måste öka och för att uppnå det måste det finnas tillräckligt många exempel på lyckade byggobjekt, så att massivträ blir ett självklart val. På Sveriges Träbyggnadskanslis hemsida anges att:

”Sveriges Träbyggnadskansli ska verka för att moderna träbyggnader i ökad utsträckning används på den svenska byggmarknaden. Vi vill vara en support till alla träbyggnadsinitiativ som tas runt om i landet. Vi leder kommunikationsarbetet kring träbyggnadsutveckling genom att erbjuda information och projektsstöd [sic] till bland annat kommuner och byggherrar. Särskilt fokus har vi på områdena flervåningshus, offentliga byggnader och större broar för vägtrafik. Kansliets verksamhet sker inom ramen för samarbetet mellan Skogsindustrierna, Trä- och möbelindustriförbundet, Skogs- och träfacket samt Näringsdepartementet.”

www.trabyggnadskansliet.se, Om oss. (2006-04-23)

Användningen av massivträ som byggmaterial är framför allt förknippad med fjällstugor, lyxvillor, utställningshallar och offentliga byggnader där träytorna bidrar till byggobjektets estetiska kvaliteter. Den satsningen kan vara ett nödvändigt steg för att göra den breda allmänheten uppmärksam på materialets stora potential, men massivträ skulle också kunna användas för stomme, fasader och många andra byggdelar utan att nödvändigtvis vara synligt. På det viset skulle man möjligen kunna skydda konstruktionen mer effektivt och fortfarande använda sig av ett lätt och energimässigt mindre belastande byggmaterial. Materialet ska dock inte innebära att avkall måste göras på kraven på standard och komfort. Dessutom finns det ett behov att minska energianvändningen under bygg- och bruksperioden, något som ställer höga krav på alla aktörer i byggprocessen.

Flera projekt med massivträ i fokus har varit lyckade och har blivit referensobjekt inom branschen. Framför allt i Österrike och Schweiz återfinns byggnader som kan tjäna som inspiration för nya projekt, men även i andra regioner lever massivträbyggandet. På många platser, till exempel i Norge och i de länder som redan har nämnts, har tekniken aldrig övergetts och mycket av den kunskap som det numera på andra platser görs stora ansträngningar för att återuppbygga och utveckla finns samlad på dessa ställen.

För att materialet ska vara ett konkurrenskraftigt alternativ krävs det att valet av massivträ inte innebär att alltför stora kompromisser måste göras. Att massivträ är fördelaktigt ur till exempel

estetisk eller ekologisk synvinkel är inte alltid nog för att det ska vara ett självklart alternativ. Att behöva göra avkall på de akustiska målsättningarna är definitivt inte något som gynnar materialets allmänna användning. Det är inte heller realistiskt att förvänta sig att de finansiella aspekterna är betydelselösa i sammanhanget, utan eventuella högre kostnader måste vara motiverade. På grund av detta är en industrialiserad, i ordets verkliga bemärkelse, byggprocess något som är av största intresse – detta hade lett till såväl effektivisering av materialåtgång som kortare byggtid, med ekonomiskt gynnsamma konsekvenser.

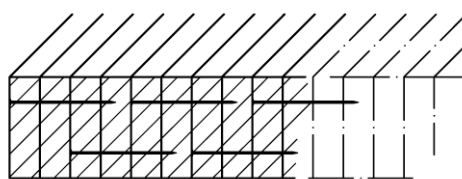
4. Moderna massivträgolv

Det finns redan ett antal olika bjälklagskonstruktioner, men ingen av dem som är tillgängliga på den nordiska marknaden uppfyller de krav som har uppställts, vad det rör enkelhet, begränsad tjocklek, pris etc. De lösningar som begagnas utanför Norden kan i alla fall i teorin vara svåra att tillämpa här, eftersom de nordiska ljudkraven är något hårdare än de som gäller i övriga Europa. Det är värt att nämna att forskningen i många fall har nått betydligt längre i Europa, inte minst i de tysktalande länderna, dock ofta utan att rönen får någon större uppmärksamhet här, trots att detta skulle kunna innebära stora besparingar inom forskningsområdet. Många av de bjälklag som tas upp i kapitel 4 är i bruk i andra delar av Europa. Den mest ingående beskrivningen ges dock av en nordisk variant – kapitel 4.7 är en genomgång av det i nuläget mest effektiva bjälklaget, akustiskt sett.

För snart trettio år sedan övergavs de traditionella systemen med synliga bjälkar och nya typer av bjälklag började utvecklas, med förbättrade ljudisoleringsegenskaper och en mer effektiv resursanvändning. Tillverkningen effektiviserades genom en omfattande satsning på industriell tillverkning av byggdelar, något som har stora ekonomiska fördelar. (Gauzin-Müller 1999 s. 32 ff.)

4.1.Golv med spikade brädor

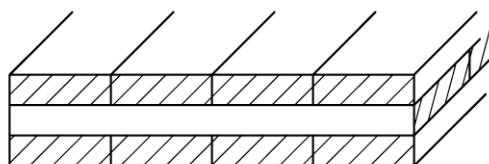
Tekniken utvecklades i Schweiz i början på 90-talet och möjliggör användningen av virke av sämre kvalitet, då detta spikas mellan två lager av bättre virke; principen kan ses i figur 4.1.1. Den bärande delen görs 150 till 200 mm tjock och spikningen medför en jämnt fördelad belastning vinkelrätt mot bjälklaget, d.v.s. vinkelrätt mot fibrerna, där virket är som svagast. På det viset fördelas också belastningen över plattans hela yta och gör att svagare brädor stöds av kraftigare. Beroende på deras placering i konstruktionen, kan de synliga brädorna få olika ytbehandlingar. (Jfr Natterer et al. 2005)



Figur 4.1.1 Princip för golvkonstruktion med spikade brädor

4.2.Golv med limmade brädor

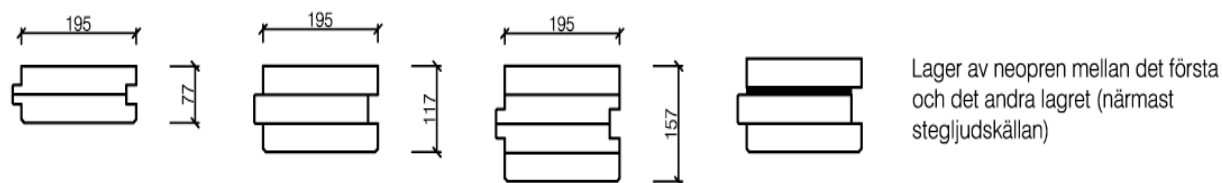
Detta är egentligen en vidareutveckling av den nyss beskrivna metoden; limning tillåter dock att man sammanfogar fler skikt än vid spikning, för att därigenom åstadkomma en tjockare konstruktion. Plattor av tre, fem eller sju lager kan därefter fabriceras där de olika skiktens fibrer ligger vinkelrätt mot varandra, för att förstärka plattan ännu mer (se figur 4.2.1). (Gauzin-Müller 1999 s. 88 f)



Figur 4.2.1 Princip för golvkonstruktion med limmade brädor

Företaget Lamellix i Schweiz har utvecklat en metod där brädorna kan förskjutas för att på ett naturligt sätt skapa not och fjäder och därmed förenkla sammanfogning av olika element, demonstrerat i figur 4.2.2. I samma bild kan även ses hur ett lager av neopren kan placeras mellan

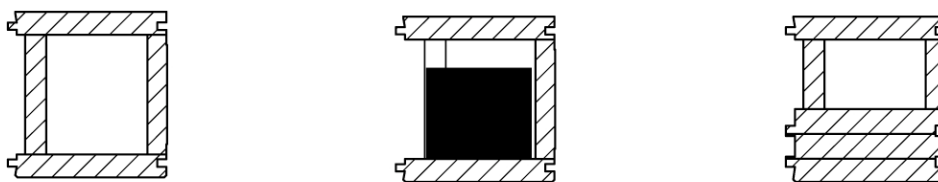
det första och det andra lagret för att förbättra dämpningen av stegljudsnivån. (Gauzin-Müller 1999, s. 88 f)



Figur 4.2.2 Exempel på Lamellix limmade golvelement. Andra bilden från vänster visar not och fjäder genom förskjutning och bilden längst till höger visar hur neopren adderas till elementen

4.3.Färdiga lådbalkselement

En annan variant är att konstruera lådbalkar, på samma sätt som man tillverkar lådbalkar för broar. I ihålligheterna som bildas får installationsledningar och/eller isolering plats. De mindre elementen fästes i varandra med hjälp av not och fjäder, precis som i lösningen i figur 4.2.2, och kan konstrueras i olika tjocklekar, vilket gör att man kan erhålla olika styvhet för konstruktionerna. (Gauzin-Müller 1999, s. 89)



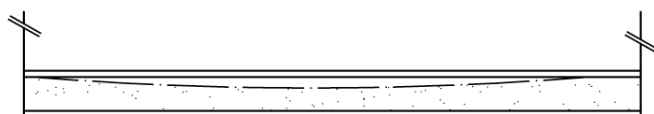
Figur 4.3.1 Lådbalkselement med och utan isolering

4.4.Samverkan mellan trä och betong

Bjälklag som består av både trä och betong utnyttjar materialens främsta kvaliteter för att åstadkomma en konstruktion med tillfredställande egenskaper vad gäller ljudisolering och hållfasthet. Träet, som har stor drag- och tryckhållfasthet, används för stommens hållfasthet. Betongen är ett bättre ljudisolerande material, tack vare dels dess höga massa (ca 2400 kg/m³) och dels dess förmåga att motstå komprimering. Om betong inkluderas i konstruktionen brukar dess tjocklek vara omkring 60-100 mm. (Gauzin-Müller 1999 s. 88f)

Vid gjutning förutsätter dock kombinationen av trä och betong att hänsyn tas till uttorkningen av betongen och att träet kommer att suga åt sig en stor del av det vatten som betongen avger. Gjutning på massivträ kan förenkla arbetet genom att armering inte längre behövs för att bära betongen och den nyttiga lasten. Behovet av viss armering kvarstår dock med hänsyn till sprickbildning, men utseendekraven är försumbara, i och med att betongen täcks av ett trägol. Skivan av massivträ används här som en kvarsittande form, men man bör se till att undvika eller åtminstone minska nedfuktning av virket som annars kommer att utvidgas och förlora sin styvhet, vilket kan medföra allvarliga konsekvenser för konstruktionen. (Gauzin-Müller 1999 s. 89)

Av hänsyn till de fuktrelaterade problemen används oftast betongplattor, som är redan färdigtorkade och som därmed minskar konstruktionstiden såväl som risken det kan innebära att utsätta virket för en avsevärd mängd fukt. I exempel som presenteras i kommande delkapitel anges dessa betongplattors massa till att vara c:a 120 kg/m^2 , vilket motsvarar en tjocklek på 50-60 mm. Enligt de direktiv som har givits för det nya bjälklaget är dock betongplattor inte ett tillfredsställande alternativ, då de innebär en alltför komplicerad montering på plats. Grundegenskaperna för ett möjligt ersättningsmaterial finns trots detta att återfinna i detta alternativ: en relativ hög massa tillsammans med en förmåga att motstå deformation. Det förstnämnda är inte svårt att uppnå, men det krävs även att tillverknings- och monteringsprocessen kan göras enkel, såsom tidigare har nämnts i samband med de krav som har uppsatts. Sand eller torr lera har tidigare använts. Sand har dock en tendens att förflytta sig mot rummets kanter efter viss brukstid (som kan ses i bild 4.4.1), vilket orsakar en försänkning i golvet i rummets mitt. Det har tyvärr inte varit möjligt att uppbära ingående beskrivningar av användningen av torr lera i samma syfte.



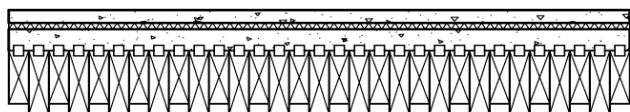
Figur 4.4.1 Försänkning i golv, orsakad av att sanden, som har använts som tyngdökande material, har förflyttats mot väggarna och komprimerats i mitten

4.4.1. Lamellixmetoden

Metoden är en bjälklagskonstruktion som består av limträbalkar och träskivor på 22 mm, samt av en plastfilm för att säkra vattentätheten för gjutningen av betong (80 till 100 mm). Övriga komponenter är metallfästen och armering för betongplattan. (Gauzin-Müller 1999 s. 89)

4.4.2. Sylvadalmetoden

I detta system, utvecklat av företaget Archipente i Frankrike, ersätts den nedersta delen av betongbjälklaget, den som utsätts för drag, med ett bjälklag av spikade plankor (höjd 90-140 mm för en längd av 2 till 8 m) På det här bjälklaget av massivträ gjuts två lager av betong, varav det ena bildar ett flytande golv; principen kan ses i bild 4.4.2.1. (Gauzin-Müller 1999 s. 89)



Figur 4.4.2.1 Exempel på Archipentes bjälklag. De transversala krafterna tas upp av förbindelseelement av metall, fästa i träet.

4.4.3. Blouetmetoden

En sista metod som kan presenteras är Blouetmetoden, där samverkan mellan betong och lådbalkar i trä utnyttjas. Ingen bild finns tyvärr för att illustrera konstruktionen, men man kan föreställa sig en hopgjutning av de lådbalkar som presenteras av Lignatur med Sylvadal-metoden. På det viset får man ett relativt tungt bjälklag, där det finns utrymme för installationer. (Gauzin-Müller 1999, s. 89)

4.5. Projektering av golv med tillfredsställande akustiska egenskaper

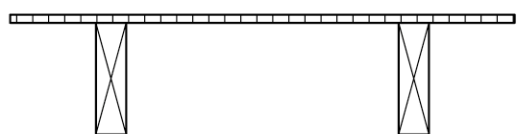
För att uppnå en tillfredsställande ljudisolering i massivträbjälklag måste principen ”massa-fjäder-massa” tillämpas; utrymmet mellan det översta och det lägsta lagret av bjälklaget fylls med ett

isolerande material som agerar som fonisk absorber mellan två lager med högre densitet som minskar ljudets vidare fortplantning. Isoleringen måste vara tämligen styv för att väl fylla det tomma utrymmet mellan bjälkarna; om den placeras direkt på gipsskivorna bör den dock vara mjukare. Det kan vara en fördel med träbjälklag är att de är lätta, beroende på deras utformning brukar de väga mellan 50 och 70 kg/m², mot 600 kg/m² för ett betongbjälklag med flytande cementplatta, men det medför även försämrade ljudisoleringsegenskaper.

Bättre stegljudsisolering kan uppnås med ett flytande golv, ett fribärande undertak eller genom att bjälklaget görs tyngre med hjälp av till exempel betongplattor. Undertaket kan bestå av träskivor, på vilka man eventuellt sätter isolering, men användningen av gipsskivor ökar konstruktionens motstånd vid brand. Dessutom har mätningar visat att de ljudisolerande egenskaperna för ett undertak förbättras om det är upphängt i metallfästen istället för att vara fäst direkt mot bjälkarna (för exempel på detta, se bjälklagsexempel 7 och 9 i följande kapitel). (Gauzin-Müller 1999, s. 122f)

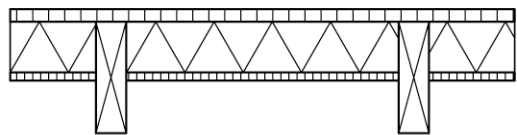
4.6.Exempel på bjälklagstyper

I detta kapitel kommer tolv olika exempel på befintliga bjälklagskonstruktioner att presenteras. De är utvalda för att visa på den stora variation som finns och för att demonstrera vad som redan har gjorts och vad som kan förbättras. I exemplen som kommer att presenteras figurerar värdena L_n , L_{n1} , L_{n2} och R . L_n representerar ljudisoleringen för stegljud, L_{n1} är värdet för en "naket" golv och L_{n2} för golv med mjukt ytskikt. R är ljudisoleringsvärdet för luftljud. Samtliga värden är efter Gauzin-Müller (1999, s 90), enligt författaren ursprungligen från tyska dokument, och måste tolkas med viss försiktighet, då mätningsskallmetoderna skiljer sig åt för olika länder.



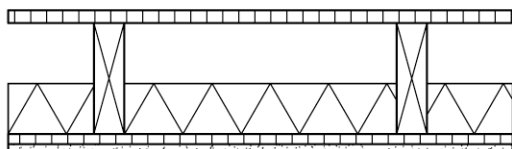
1 - ENKELT GOLV, MED SYNLIKA BJÄLKAR	
Golvskiva (CTB-H)	16mm
Bjälkar 60 x 220	220mm
Total höjd	236mm
$R = 32 \text{ dB}$ $L_{n1} = 82 \text{ dB}$	

Bjälklagsexempel 1 är det enklast tänkbara bjälklaget och är knappast optimalt ur ljudisoleringssynpunkt. Exemplet är medtaget främst som utgångspunkt för jämförelse mellan de olika konstruktionernas värden.



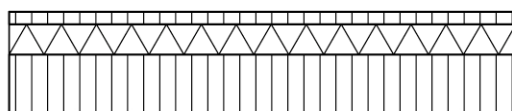
2 - ISOLERAT GOLV, TAK MELLAN BJÄLKARNA	
Golvskiva (CTB-H)	25mm
Bjälkar 60 x 220	220mm
Mineralullsisolering	100mm
Takskiva (CTB-X)	16mm
Total höjd	245mm
$R = ? \text{ dB}$ $L_{n1} = 82 \text{ dB}$	

Det enklaste sättet att förbättra ljudisoleringen hos bjälklag av äldre modell är att lägga till ett tjockt lager isolering på undersidan av golvet, såsom i exempel 2, och sedan bygga ett undertak som har kontakt med isoleringen. Av vikt är att under utförandet se till att isoleringen fyller hela utrymmet, annars kommer luftljudet att passera konstruktionen utan att dämpas nämnvärt.



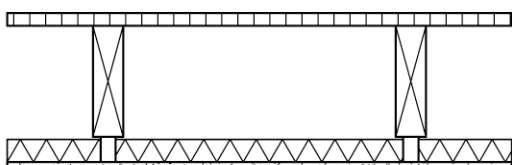
3 - ISOLERAT GOLV, MED UNDERTAK		
Golvskiva (CTB-H)		25mm
Bjälkar 60 x 220		220mm
Mineralullsisolering		100mm
Boardskiva		20mm
Gipsskiva		13mm
Total höjd		278mm
R = 46 dB	Ln1 = 69 dB	

Exempel 3 visar en tydlig förbättring av föregående bjälklag; här tillämpas ”massa-fjäder-massa”-principen bättre. Undertaket kan göras tyngre och en eller två gipsskivor kan adderas, vilket bidrar till en ökad akustisk komfort.



4 - MASSIVTRÄBJÄLKLAG		
OSB-skiva		22mm
Skiva av "mjuka fibrer"		60mm
(Homatherm Ted-system I)		
Massivträ		120mm
Total höjd		242mm
R = 54 dB	Ln1 = 63 dB	

Exempel 4 visar en lösning med massivträ, vilket gör att konstruktionen är mindre känslig för vibrationer. Dock kan det uppstå problem vid placeringen av avloppsrören eller installationsledningar i allmänhet, och den här aspekten väger så pass tungt vid projektering av flervåningshus att den inte kan försummas. Konstruktionen innehåller även en skiva av så kallade ”mjuka fibrer”.*

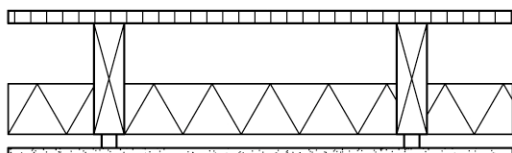


5 - BJÄLKLAG MED ISOLERAT UNDERTAK		
Golvskiva (CTB-H)		25mm
Bjälkar 60 x 220		220mm
Ljudbyglar		50mm
Mineralullsisolering (på gipsskivan)		45mm
Gipsskiva		13mm
Total höjd		308mm
R = ? dB	Ln1 = ? dB	

Resultaten från ljudisoleringsmätningar för bjälklaget i exempel 5 finns inte tillgängliga, vilket är beklagligt då denna lösning är första steget mot mer komplexa – och mer effektiva – bjälklag. Den avgörande faktorn som introduceras här metallfästen som gör att undertaket kan räknas som fribärande; vibrationerna kommer inte att överföras till den nedre delen av konstruktionen och behovet av tyngd hos bjälklaget för att dämpa stegljudet minskas.

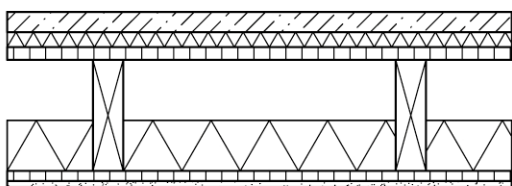
* Dessa ljudisolerande plattor/skivor tillverkas av rester från sågverket (flis och spån) Isoroy är ett exempel på företag som tillverkar olika typer av skivor, beroende på användningsområde.

- Isorel: plattan i dess enklaste form.
 - Phaltex: tillägg av 10 % naturlig tjära, används i våtrum.
 - Thermisorel: används för både termisk isolering och ljudisolering.
- (Gauzin-Müller 1999, s. 90)



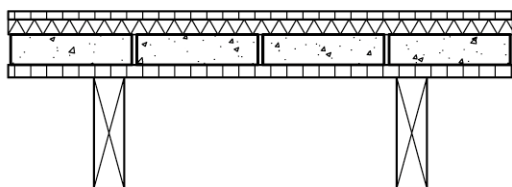
6 - BJÄLKLAG MED ISOLERAT UNDERTAK		
Golvskiva (CTB-H)		25mm
Bjälkar 60 x 220		220mm
Mineralullsisolering		100mm
Ljudbyglar		27mm
Gipsskiva		13mm
Total höjd		285mm
R = 54 dB	Ln1 = 52 dB	

Exempel 6 är en utveckling av exempel 5. Isoleringen ligger inte längre på undertaket och har ökat i tjocklek. Luftspalten ökar luftljudsisoleringen och risken för fel vid utförande minskas. Det krävs dock viss styvhet hos isoleringen och den måste fylla hela utrymmet mellan bjälkarna för att vara effektiv. Metallfästen bidrar även här till att undertaket blir fribärande. Det finns plats för installationer och avloppsrör, men nackdelen är, precis som i flera av de tidigare exemplen, att övergolvet är för tunt.



7 - CEMENTGOLV OCH UNDERTAK		
Cementgolv		40mm
Plastfilm		
Mineralullsisolering, högdensitet		30mm
Golvskiva (CTB-H)		25mm
Bjälkar 60 x 220		220mm
Mineralullsisolering		100mm
Boardskiva		20mm
Gipsskiva		13mm
Total höjd		318mm
R = 54 dB	Ln1 = 56 dB	Ln2 = 56 dB

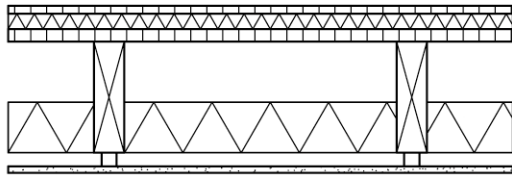
I exempel 7 används cement för att öka bjälklagets vikt och därmed dess förbättra de ljudisolerande egenskaperna. Cementgolvet är dessutom flytande, vilket ytterligare förbättrar ljudisoleringen, genom att det minskar flanktransmissionen (se kapitel 2.1). Metoden har fördelen att den är enkel att utföra och innebär en stor förbättring vad det rör bjälklagets akustiska egenskaper. Undertaket är tyngre och innehåller flera lager, bland annat mineralull och gips. Konstruktionen som presenteras i detta exempel har ekonomiska fördelar, då de ingående materialen är billiga och ingen specialutrustning krävs, med undantag för gjutningen av golvet.



8 - FLYTANDE GOLV PÅ BETONG, SYNLIGA BJÄLKAR		
Golvskiva (CTB-H)		25mm
Mineralullsisolering, högdensitet		30mm
Betongplattor (120 kg/m ²)		60mm
Boardskiva		25mm
Bjälkar 60 x 220		220mm
Total höjd		346mm
R = 55 dB	Ln1 = 55 dB	Ln2 = 46 dB

I exempel 8 visas ett enkelt sätt att addera extra vikt till ett bjälklag – betongplattor tillförs ett befintligt golv. Detta kräver dock att konstruktionen är kraftig nog för belastningen. Det är av yttersta vikt att golvet görs flytande och även andra material kan tillföras, till exempel en Stepisol*-matta.

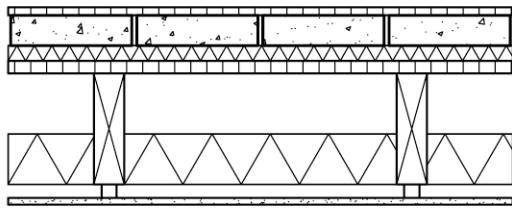
* Ljudabsorberande skumplastmaterial.



9 - UNDERTAK OCH FLYTANDE GOLV (a)

Golvskiva (CTB-H)	16mm
Mineralullsisolering, högdensitet	30mm
Golvskiva (CTB-H)	25mm
Bjälkar 60 x 220	220mm
Mineralullsisolering	100mm
Ljudbyglar	27mm
Gipsskiva	13mm
Total höjd	376mm
R = 57 dB	Ln1 = 51 dB Ln2 = 44 dB

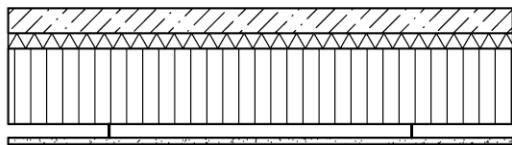
Övre delen av konstruktionen i exempel 9 följer samma princip som exempel 8, men utan betongplattor. Mätvärdena visar den inverkan det isolerade undertaket har, på både luftljudet och stegljudet. Även här används ett flytande golv.



10 - BETONGPLATTOR OCH UNDERTAK

Golvskiva (CTB-H)	16mm
Betongplattor (120kg/m ²)	60mm
Mineralullsisolering, högdensitet	30mm
Golvskiva (CTB-H)	25mm
Bjälkar 60 x 220	220mm
Mineralullsisolering	100mm
Ljudbyglar	27mm
Gipsskiva	13mm
Total höjd	275mm
R = 58 dB	Ln1 = 48 dB Ln2 = 42 dB

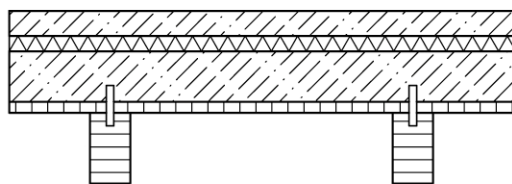
Placeringen av mineralullslagret omedelbart under betongplattorna bör noteras i exempel 10. Om skummattor används placeras de ofta ovanpå betongen, men vid den här begränsade tjockleken är det dock fortfarande möjligt att placera dem under lagret av betongplattor utan att isoleringen sammanpressas och förlorar sina ljuddämpande egenskaper. 120 kg betong per kvadratmeter motsvarar ett 50-60 mm tjockt lager av betongplattor.



11- MASSIVTRÄBJÄKLKLAG MED CEMENTGOLV OCH FRIBÄRANDE UNDERTAK

Cementgolv	50mm
Mineralullsisolering, högdensitet	30mm
Massivträ	150mm
Ljudbyglar	27mm
Gipsskiva	13mm
Total höjd	265mm
R = 63 dB	Ln1 = ? dB

Exempel 11 visar ännu ett massivträbjälklag, där ökningen av vikt och densitet hos de ingående materialen, tillsammans med ett fribärande undertak, har förbättrat de ljudisolerande egenskaperna. Problemet med placeringen av installationer kvarstår dock. Vertikala schakt kan borrar genom bjälklaget, men detta förfarandesätt ställer höga krav på ljudisoleringen kring dessa schakt.

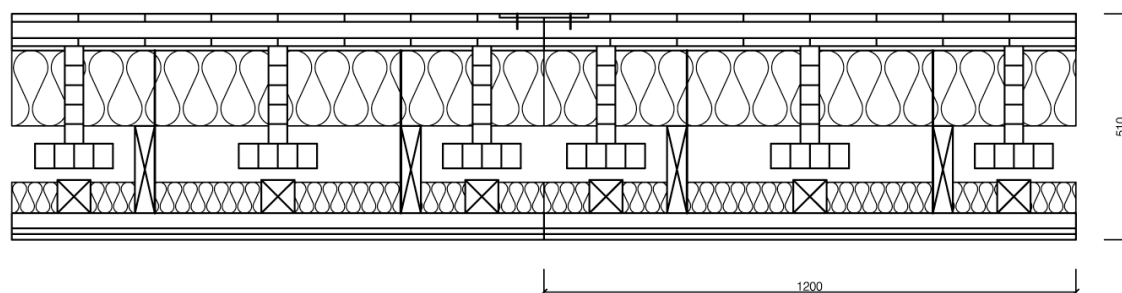


12 - SAMVERKAN TRÄ OCH BETONG		
Cementgolv		50mm
Mineralullsisolering, högdensitet		30mm
Betongbjälklag		100mm
Massivträskiva		22mm
Limträbjälkar 80 x 140		140mm
Total höjd		327mm
$R = 55 \text{ dB}$ $Ln1 = 86 \text{ dB}$		

Bjälklagsvarianten som visas i exempel 12 väljs av vissa konstruktörer för att uppnå en bättre ljudisolering, men metoden tillför konstruktionen en avsevärd mängd fukt, utan att egentligen uppnå en bättre ljudisoleringsförmåga än de senast nämnda exemplen. Dessutom hade i det här fallet ett fribärande undertak varit en logisk avslutning på konstruktionen, vilket inte hade fått den att öka nämnvärt i höjd.

4.7. Martinsons bjälklag

I detta kapitel ges en presentation av företaget Martinsons bjälklagskonstruktion, antagligen det mest utvecklade massivträbjälklaget på den nordiska marknaden. Då mätvärdena och en del konstruktionsmässiga detaljer inte har gjorts tillgängliga av företaget, som inte heller har varit villigt att svara på frågor om konstruktionen, kommer vissa aspekter att av nödvång behandlas summariskt. Det har dock inte funnits några indikationer på att bjälklaget kan uppfylla de krav som uppställs för ljudklass A.



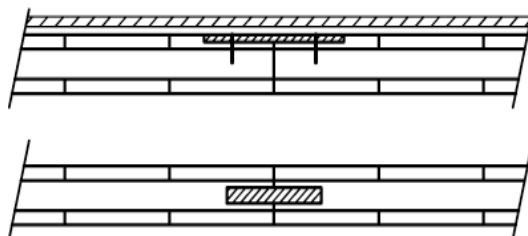
Figur 4.7.1 Sektion av Martinsons kassettbjälklag, såsom det användes vid byggandet av kv. Styrmannen i Umeå

Som kan ses i figur 4.7.1, består bjälklaget av en massivträskiva som är monterad på T-balkar i limträ för att garantera konstruktionens hållfasthet. Ljudisoleringen är här noggrant genomtänkt och flera metoder har kombinerats för att uppnå en så god ljuddämpning som möjligt. I stället för att enbart ha synligt massivträ, finns möjligheten att ha en 3 mm Airolen-matta (ett skummaterial, inte olik Stepisol, se kapitel 4.6) som golvbeläggning för att ytterligare öka den akustiska komforten; denna bidrar till att minska flanktransmissionen.

Det översta, tjockare lagret av isolering, som ligger mot skivan, bidrar till att dämpa ljudet närmast källan. Denna lösning återkommer i alla någorlunda effektiva bjälklag, antingen i form av ett tungt lager (exempelvis betongplattor) eller av lättare material när bjälklaget kombineras med ett fribärande undertak (se kapitel 4.5 och 4.6).

Vidare hänger undre delen av konstruktionen i tjocka metalltrådar för att undvika transmission till konstruktionens nedersta del. Taket är dessutom ljudisolerat med ett mindre lager av lättare isoleringsmaterial och avslutas med två gipsskivor. Dessa är av betydelse, dels för de akustiska egenskaperna, genom både sin tjocklek och porositet, som gör att en del av luftljudet absorberas, och dels för konstruktionens uthållighet vid brand.

Hela bjälklaget är 510 mm tjockt och vikten av de ingående delarna gör att det är mindre känsligt för vibrationer. Det praktiska utförandet av fogarna är alltid av stor betydelse för konstruktionens förmåga att leva upp till de teoretiska värdena. Utformningen av skarvar beror på om massivträet i den översta delen av bjälklaget ska vara synligt eller täckas med ytterligare ett ljudisolerande lager. Figur 4.7.2 visar de två olika skarvarna.



Figur 4.7.2 Den övre bilden visar skarvningen i ett bjälklag där massivträet inte är synligt, medan den undre bilden visar skarven som den utformas i ett bjälklag där massivträet är synligt

Att installationer kan inrymmas inuti bjälklaget utan ingrepp i konstruktionen är en stor fördel. I ett massivt bjälklag kan just placeringen av installationer vara ett svårlöst problem. Ett undertak kan vara ett sätt att förbättra ljudisoleringen, samtidigt som ett utrymme för ledningar och liknande skapas. Denna lösning kan dessutom vara bättre ur planeringssynpunkt – om man väljer att skapa vertikala schakt istället, krävs det att de rum dessa försörjer placeras rakt under varandra. Genom att använda ett undertak kan ledningarna förskjutas och större frihet ges därmed vad det gäller rumsplaceringen. Ett adderat undertak gör dock att bjälklagskonstruktionen blir högre och därmed ökas även avståndet mellan fönstren på de olika våningsplanen, vilket kan vara en arkitektonisk begränsning.

5. Presentation av nytt bjälklag

Kapitel 2 till och med 4 har strävat efter att ge en översikt av de olika ämnen som berörs vid arbetet med att ta fram en ny bjälklagskonstruktion, men även att definiera vad som karakteriserar ett väl fungerande bjälklag och vilka problemen är. Utifrån allt detta kan flera slutsatser dras. Det finns ett stort antal sätt att hantera ljudisoleringsproblemet i massivträbjälklag, men de flesta av dessa sätt har uppenbara nackdelar vad det gäller till exempel installationsdragning, kostnad och enkelhet.

5.1. Utgångspunkter

För att göra utgångspunkterna för ett nytt bjälklag tydligare kommer dessa att kortfattat definieras i detta kapitel.

Tyngden hos bjälklaget spelar en stor roll och är den största orsaken till varför ljudisoleringen överhuvudtaget är ett problem. En ökad tyngd medför dock att tjockleken på balkarna som bär bjälklaget kanske måste ökas, särskilt vid stora spännvidder, något som skulle medföra en ökad tjocklek hos hela bjälklaget, vilket inte är önskvärt.

Ofta används betong för att öka tyngden, något som har både för- och nackdelar. Både platsgjutning och färdiga plattor används. Den första metoden ger större frihet vid utformningen och eventuella passningar till andra byggdelar, men har nackdelarna att den tillför fukt till konstruktionen, den förlänger byggtiden på grund av uttorkningstiden och den kräver att man utöver de vanliga byggarbetarna även behöver betongarbetare. Färdiggjutna plattor kan orsaka problem vid passning och kräver även de en stor arbetsstyrka, då de antingen är små och tar lång tid att lägga dit eller är ohanterligt stora.

I övrigt kan ljud hindras på olika sätt. Att minska stegljudet med en matta eller liknande mjukt material är en lösning som inte innebär några konsekvenser för bjälklagets konstruktion, men räcker inte som åtgärd. Såsom redan har påpekats i tidigare kapitel, är flytande golv i stort sett en nödvändighet och har stor inverkan på ljudisoleringen. Dessutom innebär denna lösning endast en marginell ökning av bjälklagets tjocklek.

Ett fribärande undertak och isolering medför visserligen en mer betydande höjdkökning, men är ett bra alternativ för att skapa tomrum i bjälklaget och för att absorbera luftljud. Om gips används, gärna i två lager, ger det en mer effektiv ljudisolering och dessutom ett bättre brandmotstånd. Om det inte finns ett behov av synliga träytor ges en ökad brandsäkerhet med tak och väggar med gips; om minst två av tre ytor i ett rum (golv, väggar och tak) består av synligt trä, måste bostaden utrustas med sprinkler, vilket man alltså slipper om gips används.

För att förhindra flanktransmission är det viktigt att detaljer utformas med stor noggrannhet. Upplagen är viktiga; företaget Martinssons, vars kassettbjälklag redan har ägnats avsevärd uppmärksamhet, använder sig av olika metallbeslag vid knutpunkterna och av Syllomerlist vid upplaget för att minska ljudvandringen i stommen. Dessa enkla system är inte särskilt kostsamma och är till stor hjälp, då trä förändras hela tiden, vilket medför att en konstruktions olika mått kommer att variera, även om alla detaljer har ägnats den största omsorg. Denna variation hos materialet kan påverka ljudisoleringen i allra högsta grad, då det kan bildas små hål eller sprickor längs bjälklagets utkant, vilket innebär en överhängande risk för ljudläckage.

Bjälklaget ska dock inte bara fungera med hänsyn till den akustiska komforten, utan det finns även andra faktorer att ta hänsyn till. En viktig fråga vid projektering av massivträhus är placeringen av installationsledningar. En lösning som komplicerar detta kommer att innebära ekonomiska konsekvenser eller arkitektoniska och konstruktionsmässiga begränsningar som bidrar till att göra massivträalternativet mindre konkurrenskraftigt.

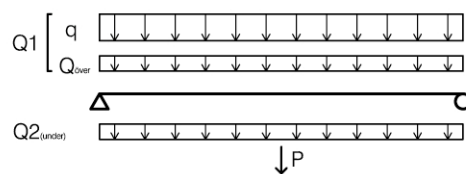
5.2.Mått och dimensionering

Dimensioneringen av bjälklaget har utgått från standardmått för ingående material för att förenkla tillverkningen – exempelvis underlättar det vid byte av leverantör. Bredden och längden (1200 x 4800mm) utgår från gipsskivornas mått.

Lasterna, som finns redovisade för varje förslag, är huvudsakligen uppdelade i tre grupper:

- q som hänvisar till den utbredda lasten i bostäder enligt BKR
- Q_1 som representerar lasten ovanpå balkarna
(golvets överdel samt massivträplattan, gemensam för alla förslag)
- Q_2 som representerar balkarnas egenvikt och de laster som hänger under massivträplattan

Till detta läggs en punktlast P , i balkmitt, som representerar en tyngre lampa. Denna räknas dock som fäst i själva balken och inte enbart i gipsskivan. Lasterna kan ses i figur 5.2.1.



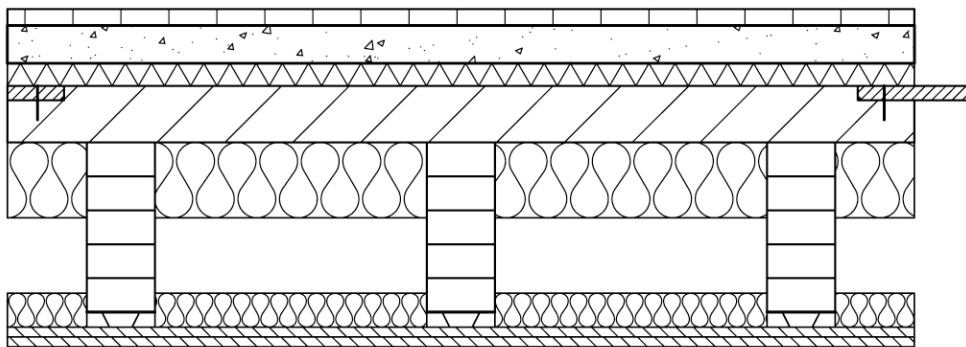
Figur 5.2.1 De laster som inverkar på konstruktionen

Bjälklagets längd har satts till 4800 mm, något större än vad som är vanligt för träkonstruktioner, men precis som vad gäller tjockleken eftersträvas en större arkitektonisk flexibilitet. Att ändra längden till 3500 mm skulle endast innebära en marginell, om någon, vinst vad det gäller balkdimension.

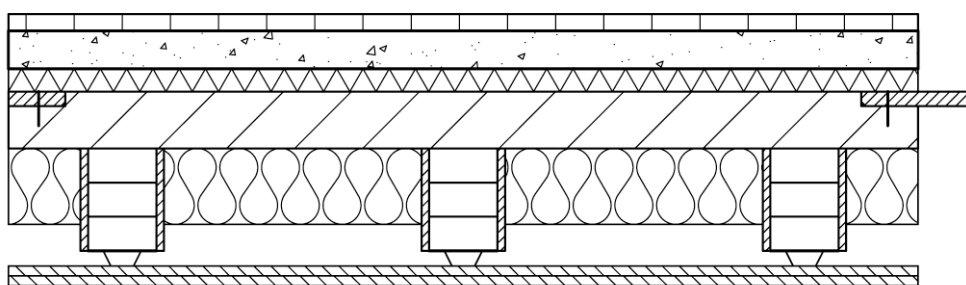
5.3.Utformning

En av utgångspunkterna vid utformningen har varit kravet på att bjälklaget skulle ha ungefär samma höjd som ett traditionellt betongbjälklag (300 mm) och dessutom närma sig detta i pris. Detta gör att de ingående lagren har fått ägnas stor uppmärksamhet, då de inte får vara för dyra eller ha för stor tjocklek (eller vara för många), men ändå måste erbjuda förbättringar i ljudisoleringen. De olika faktorerna har alltså vägts mot varandra.

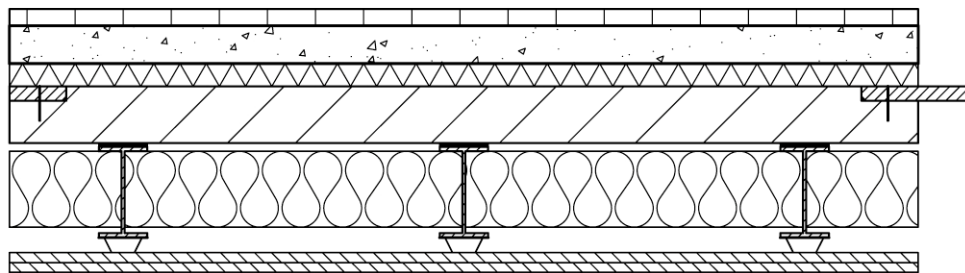
Från början användes limträbalkar med måtten 90x135 mm, men av anledningar som kommer att tas upp i kapitel 5.3.3 var detta inte tillräckligt. Detta ledde till att tre olika alternativ togs fram. De kommer här att presenteras, först med hjälp av ritningar och sedan i följande delkapitel även i text. Massa per m^2 för de olika förslagen är ca 200 kg, att jämföras med enkla massivträbjälklag, som väger ca 70 kg/m^2 och betongbjälklag, som väger ca 600 kg/m^2 .



Figur 5.3.1a Bjälklagskonstruktion med limträbalkar 90x225 mm. Se kommande kapitel



Figur 5.3.1b Bjälklagskonstruktion med stålförstärkta limträbalkar 90x135 mm. Se kommande kapitel



Figur 5.3.1c Bjälklagskonstruktion med stålbalkar IPE120. Se kommande kapitel

5.3.1. Golvets övre del

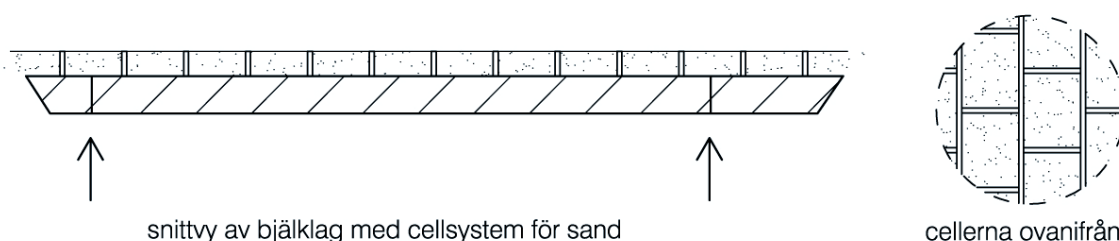
Själva projekteringen tog avstamp i ljudisoleringsfrågan, för att sedan anpassa de övriga komponenterna så att de i största möjliga mån uppfyllde de krav som hade uppställts. Att just ljudisoleringen blev utgångspunkten för utformningen av bjälklaget beror på att det är den mest kritiska aspekten – ett förslag som inte uppfyller de kriterier som definieras i BBR är inte möjligt att använda som lägenhetsskiljande bjälklag och saknar därmed helt relevans i detta sammanhang.

Bjälklaget gavs ett flytande golv med parkett som ytskikt och ett tungt material som minskar vibrationerna, enligt den tidigare beskrivna (kapitel 4.5) principen ”massa-fjäder-massa”. Som redan har visats är betong ett ofta använt material, på grund av dess densitet ($\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$).

Tidigare har dock även påpekats att betong inte ses som ett fullt tillfredsställande alternativ (se kapitel 4.4).

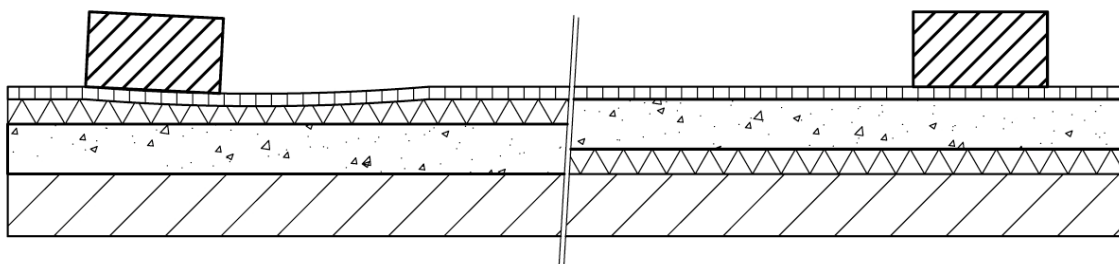
Som alternativ till betongen nämndes först sand ($\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$), ett material som inte kräver energimässigt dyrbara tillverkningsprocesser, är lätt att hantera och dessutom skulle den komprimerade sanden få både tyngd och en viss elasticitet som möjligen skulle kunna bidra till en ännu effektivare dämpning av stegljudet, genom att vara både massa och fjäder.

Problemet med sand har redan berörts (kap 4.4). Om den läggs i ett enda, sammanhängande lager över hela golvet kommer den att förflytta sig mot rummets kanter med tiden med deformation av övergolvet som följd. På grund av detta måste sanden fördelas i avgränsande celler, varifrån den inte kan förflytta sig, se figur 5.3.1.1. För att undvika ljudöverföring mellan cellernas väggar och bjälklaget får de förstnämnda inte vara genomgående. Det enklaste sättet att uppnå detta skulle exempelvis vara att använda säckar fyllda med sand. Dessa skulle bilda "klossar", av vilka det tunga lagret i bjälklaget skulle kunna vara uppbyggt, utan att sanden hade kunnat förflytta sig.



Figur 5.3.1.1 Principskiss för system med tyngdgivande sandceller

Denna metod är dock helt oprövad och att det inte ges möjlighet att testa konstruktionen praktiskt gör att en sådan lösning hade gjort det väldigt svårt göra tillförlitliga antaganden om bjälklagets effektivitet. Det finns flera aspekter som hade krävt omfattande prövning. Till exempel används inte tjocka mattor av Stepisol just under parketten utan under betongplattan, för att undvika deformation orsakad av möblerna (se figur 5.3.1.2.). Skulle sandcellerna inte ligga tillräckligt tätt, finns det en risk att samma effekt skulle kunna erhållas. Dessutom kan det innebära stora svårigheter att tillverka celler som erbjuder ett tillräckligt jämnt underlag för parketten och möjligheten att fästa parketten vid underlaget förloras.



Figur 5.3.1.2 Demonstration av konsekvensen av att använda tjockare skumplasmattor omedelbart under övergolvet

Dessa svårigheter är inte oöverstigliga, men leder till stora komplikationer när arbetet bedrivs på en så teoretisk nivå och kan leda till att resultatet blir i stort sett oanvändbart på grund av sin hypotetiska natur. Dessutom är det troligt att den intrikata utformningen skulle leda till en markant prisstegring.

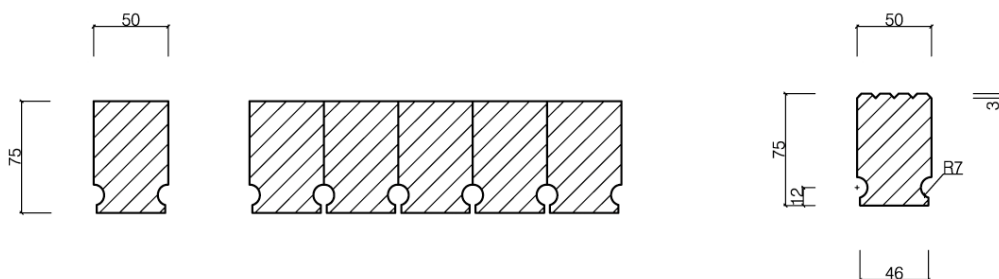
På grund av detta valdes därför, trots allt, att använda platsgjuten betong som tyngdökande element i konstruktionen. Ovanpå detta läggs ett flytande golv. För att ett golv ska kunna kallas flytande krävs det att golvet isoleras från väggarna. För att enkelt uppnå detta kan samma ljudisolerande

matta (exempelvis Stepisol) som används under golvet, lyftas upp vid golvet kanter. För att det ska vara ett flytande golv krävs att både golvet ytskikt (i detta fall parkett) och den delen som utgör massan i den tidigare nämnda kombinationen ”massa-fjäder-massa” isoleras. Det räcker alltså inte med att endast en tunn matta på 10 mm placeras under ytskiktet.

5.3.2. Massivträplattan

I det förslag som presenteras här kan inte massivträet vara synligt, utan täcks alltid av övergolvet, som i stor utsträckning bidrar till ljudisoleringen. Massivträplattan består av regler med måtten 75x50 mm som limmas ihop och bildar en styv platta. Denna bärs upp av tre eller fyra balkar. Denna utformning tillåter användning av regler av sämre kvalitet och därmed ett bättre utnyttjande av materialet. Att plattan inte kommer att synas minskar dessutom kravet på bearbetning. De urgröpningar (rillor, jfr Heuer 2001) som kan ses i reglarnas nedre del (se figur 5.3.2.1) är ännu en detalj som ska bidra till en förbättrad ljudisolering genom ökad ljudabsorbering inuti konstruktionen.

Eventuellt skulle ytterligare en bearbetning av den översta ytan kunna göras för att minska kontaktytan mellan övergolvet och bjälklaget, men det är osäkert om detta extra moment skulle bidra till en så markant förbättring av ljudisoleringsförmågan hos hela konstruktionen att det berättigar den kostnadsökning det skulle innebära.



Figur 5.3.2.1 De regler som bygger upp massivträplattan. Bilden till höger visar den ytbearbetning som är tänkt att minska kontaktytan mellan övergolvet och bjälklaget

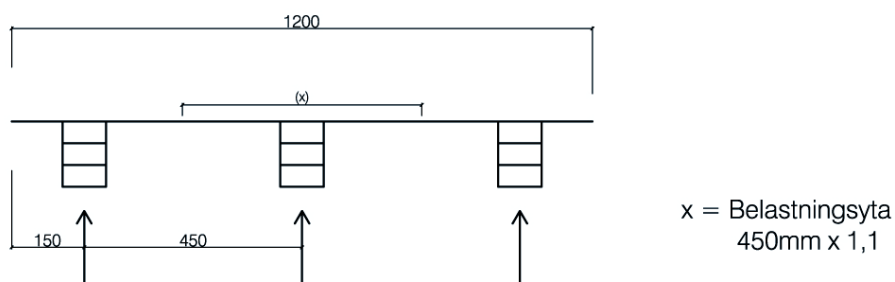
5.3.3. Balkarna

Som redan har nämnts (kapitel 5.3) hade balkarna i de första skisserna måtten 90x135mm, vilket var nog för att bära själva lasten, men som visade sig vara otillräckligt med hänsyn till deformationen – stödlutningen uppgick till 5 %, att jämföra med den maximalt tillåtna stödlutningen på 1 %. Att öka antalet balkar från tre till fyra minskade stödlutningen till 3 %, alltså fortfarande långt över det tillåtna. Det beräkningsprogram som används av företaget Moelven visade att balkar med måtten 90x255 mm krävdes, något som hade ökat bjälklagets tjocklek med 90 mm, vilket inte var önskvärt. Ett alternativ, i alla fall i de fall där bjälklagets tjocklek är viktig, är att använda sig av stålbalkar, IPE120, eller att förstärka balkarna med måtten 90x135 med stålprofiler (figur 5.3.3.1).



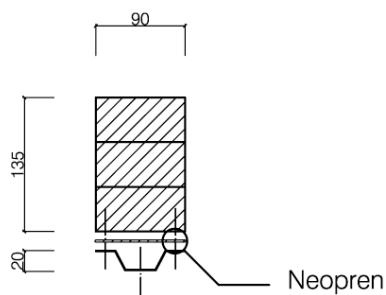
Figur 5.3.3.1 Exempel på förstärkning av limträbalkar med hjälp av stålprofiler.

Balkarnas placering tar hänsyn till att skarven inte kan ta upp momentet från lasterna lika bra som mittbalken. Av denna anledning är de två yttre balkarna flyttade något i sidled för att minska avståndet till stödet just vid skarven, se figur 5.3.3.3. De avstånd som bestämdes då (450 resp. 300mm) är godtyckligt valda tal för att underlätta placeringen vid tillverkningen.



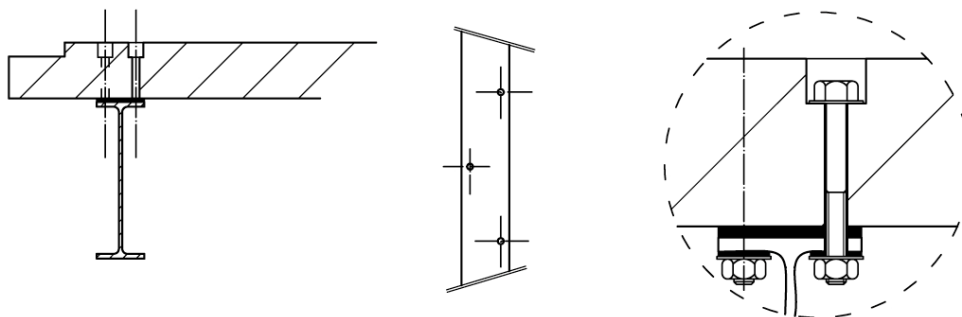
Figur 5.3.3.3 Mått mellan balkarna

På undersidan av balkarna är en korrugerad plåt fäst för att undertaket ska kunna skruvas fast. Ett band av 2-3 mm skummaterial, exempelvis neopren, sitter mellan plåten och balkarna för att hämma ljudöverföringen mellan dessa delar, figur 5.3.3.4.



Figur 5.3.3.4 Neoprenlager mellan plåt och balk

Att välja att använda stålbalkar i massivträbjälklaget kan förefalla inte bara okonventionellt, utan även något vanskligt. Stål har inte de bästa ljudisolerande egenskaperna och det krävs därför att utformningen är väl genomtänkt. För att minska stegljudsöverföringen placeras således ett tunt lager av ett skummaterial, liknande Stepisol, på balkens ovansida. Detaljer av detta kan ses i figur 5.3.3.5.



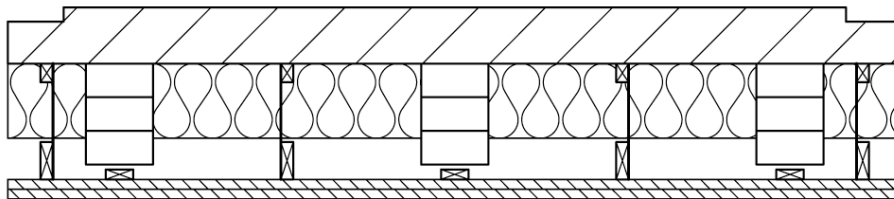
Figur 5.3.3.5 Fastsättning av stålbalk i massivträ

Den isolering som är placerad omedelbart under massivträplattan har hög densitet för att väl fylla utrymmet. En isolering med lägre densitet skulle kunna sjunka och därmed orsaka hålrum i isoleringen. Oavsett bjälklagsmodell har detta isoleringsskikt tjockleken 100 mm. Till bjälklaget med de höga limträbalkarna (225mm) adderas ett extra lager av 45mm isolering; denna är mjuk och placeras direkt på gipsundertaket.

5.3.4. Undertaket

Taket består av två lager gipsskivor (2400 x 1200 x 9 mm) och har tillfredsställande ljud- och brandisoleringsegenskaper. Gips har genom sin porositet stor positiv inverkan på ljudisoleringen, jämfört med ett material som till exempel träpanel.

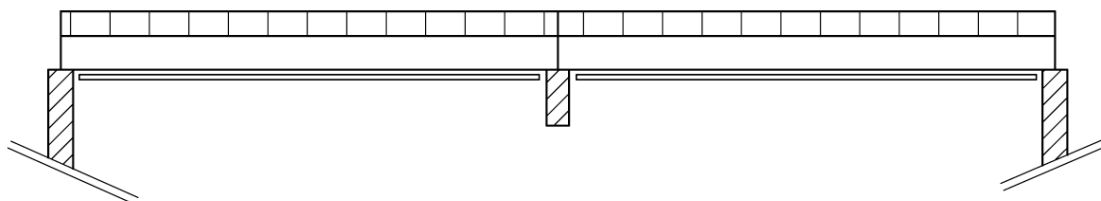
Undertaket hade ljudisoleringsmässigt kunnat förbättras genom att hängas i band av ett elastiskt material (figur 5.3.4.1), men detta hade inneburit att konstruktionen hade blivit dels mindre kompakt och dels mer känslig för felaktig hantering på fabrik eller på byggarbetsplatsen.



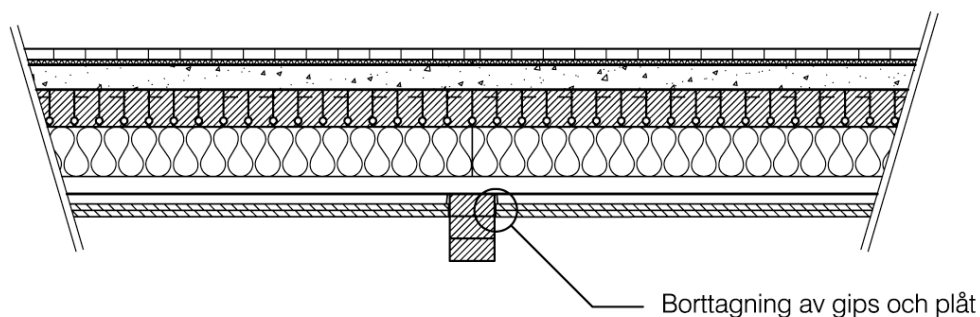
Figur 5.3.4.1 Undertak med elastisk upphängning

5.3.5. Stöden

Stegljudsdämpningen vid stöden kan bereda vissa svårigheter. Denna aspekt berörs inte mer ingående i denna text, men det bör påpekas att stöden är viktiga komponenter, vars utformning kan ha stor inverkan på stegljudsisoleringen. De bjälklagslösningar som har tagits fram lämnar därmed en del övrigt att önska vad det gäller stöden. Där balkarna vilar på ett stöd (balk, bärande väggar eller pelare) tas gips och plåt bort, men skummaterialiet ska vara kvar för att minska stegljudsöverföringen. Detta arbete sker enklast redan i fabriken, samtidigt med all annan bearbetning av massivträplattan och isoleringen för installationsledningarna.



Figur 5.3.5.1a Principskiss över hur gips och plåt tas bort vid stöden



Figur 5.3.5.1b Detalj av bjälklagets utformning vid stöd

6. Avslutning

Det kan snabbt konstateras att alla krav inte uppfylldes. En lösning med platsgjuten betong skulle, som tidigt har konstaterats, tillföra en avsevärd mängd fukt. Det är dock en av de vanligaste lösningarna, antagligen på grund av att det är enkelt att utföra. Att platsgjuten betong användes även i detta förslag beror enkom på att de teoretiska inslagen redan är dominerande och att ännu ett oprövat moment ytterligare hade förminskat möjligheterna att förutsäga hur bjälklaget hade fungerat. Behovet av ytterligare forskning kring andra material, till exempel den lösning med sand som har föreslagits, är stort.

De lösningar som har presenterats i kapitel 5 förutsätter att en prioritering görs – vad är viktigast, höjden på bjälklaget eller de ingående materialen? Som påpekats är det dock möjligt att betongens armering hade gjort deformationen, som blev avgörande för balkdimensionen, betydligt mindre än den som räknades fram. Även här är det således det faktum att konstruktionen inte är testad som inverkar på dess utformning. Att akustiska tester dessutom sällan ger samma resultat i verkligheten som i laboratoriet adderar ännu en svårighet. Rapporten får därmed ses som ett led i arbetet med ett nytt bjälklag, snarare än en definitiv lösning. Fokus har mer varit att studera de olika aspekterna, att försöka peka på det som kan förbättras och att ge olika alternativ.

Kravet på ett bjälklag som gynnar en mer industriell tillverkning är relevant, med tanke på att den industriella tillverkning av hus som finns idag främst består i att komponenter tillverkas i fabriker för att sedan forslas till byggplatsen och monteras. Själva tillverkningen sker dock i mångt och mycket på samma vis som det hade gjorts om hela tillverkningen hade ägt rum på plats. En effektivisering av tillverkningen hade kunnat sänka omkostnaderna markant. En enkel lösning hade varit att bjälklaget bestod av moduler som kunde kombineras på olika vis för att skapa bjälklag som passar olika hustyper.

De två komponenter som har tillkommit snarast som en kompromiss – betong och stål – är också de som är minst gynnsamma ur miljöhänsyn. Just på grund av att det inte är helt tillfredsställande lösningar har ingen LCA gjorts. Man kan dock enkelt sluta sig till att bjälklaget, även i den form som har skisserats här, innebär en mindre påfrestning på miljön än ett konventionellt stål- eller betongbjälklag.

Avslutningsvis bör det påpekas att det finns ett stort behov av forskning inom massivträbyggande. Exempelvis finns det, som har visats, ett behov av att finna ett tyngdgivande material som fungerar bättre än betong. Även detaljer och samverkan mellan massivträ och andra material är ett område som förefaller tämligen outforskat.

Referenser

Litteratur

Fröbel, Johan (red.) (2004) *Att välja trä*.

Stockholm: Skogsindustrierna

Gauzin-Müller, Dominique (1999) *Construire avec le bois*.

Paris: Le Moniteur

Heuer, Helgo (2001) *Bjälklag av massivträ med ljudabsorberande rillor*.

Stockholm: Trätek

Natterer, J., Winter, W., Herzog, T., Schweitzer, R & Volz, M. (2005) [3:e upplagan, ursprunglig utgivning 1994] *Construire en bois*. Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes

Stenstad, Vidar (red.) (2003) *Lyd*. Häfte 2 av Fleretasjes trehus. Oslo: Norges byggforskningsinstitut

Åkerlöf, Leif (2001) *Byggnadsakustik*.

Stockholm: Svensk Byggtjänst AB

Elektroniska källor

Lignatur AG. CAD-Vorlagen LIGNATUR Produkte, Tillgänglig:

< <http://www.lignatur.ch/download.html> > (2006-04-16)

Om oss. (2006) Sveriges Träbyggnadskansli. Tillgänglig:

< <http://www.trabyggnadskansliet.se> > (2006-04-23)

Moelven, beräkningsprogram Tillgänglig:

< <http://www.moelventoreboda.se/index.asp?menuItem=L9> > (2006-04-23)

Statik ist unsere Stärke (2003) Lignatur AG. PDF-format. Tillgänglig:

< <http://www.lignatur.ch/download/statik.pdf> > (2006-04-19)

ThermoWood Handbook (2003) Finnish Thermowood Association. PDF-format. Tillgänglig:

< http://www.thermowood.fi/data.php/200312/795460200312311156_tw_handbook.pdf > (2006-04-13)

Figurer & tabeller

Samtliga figurer och tabeller är ritade av författarna, med utgångspunkt i den text de refererar till.

Förteckning över bilagor

Bilaga 1:

De tre typer av övergolv som har använts vid beräkningar. Ritningar.

Bilaga 2:

Beräkning för limträbalk 90 x 135mm

Ingångsvärden för konstruktionen.....	1
Belastning och höjd för varje bjälklagstyp.....	2
Beräkning i brott- och brukstadium samt deformationsberäkning.....	3
Vikt per kvadratmeter för varje bjälklagstyp	4

Bilaga 3:

Beräkning för limträbalk 90 x 225mm

Disposition: se bilaga 2

Bilaga 4:

Beräkning för stål balk IPE 120

Disposition: se bilaga 2

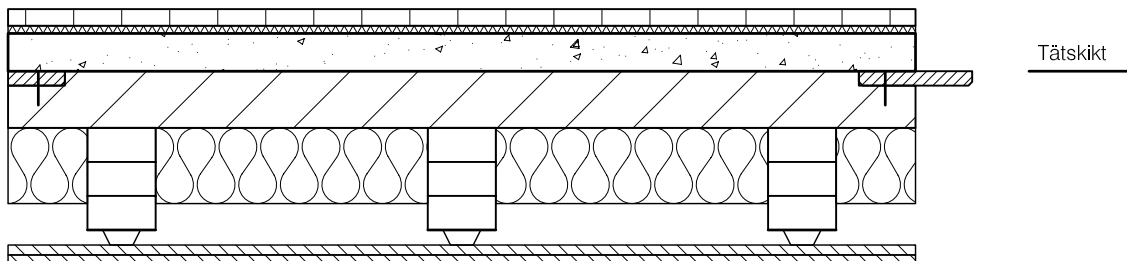
Bilaga 5:

Detaljritning av bjälklaget.

Bilaga 6:

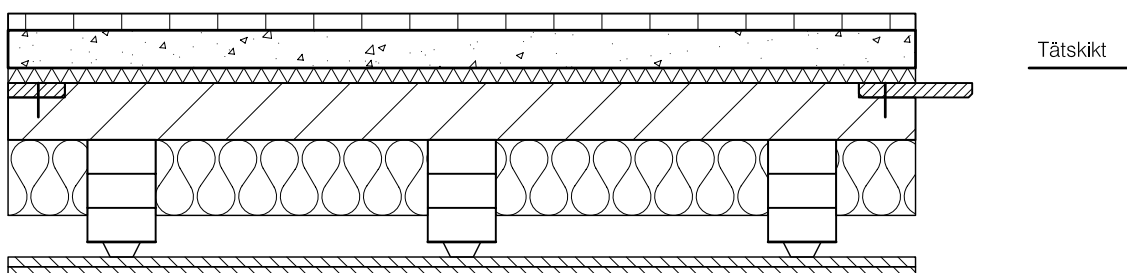
Lista över läsvärd litteratur, utöver den som ingår i referensförteckningen

BJÄLKLAG 1



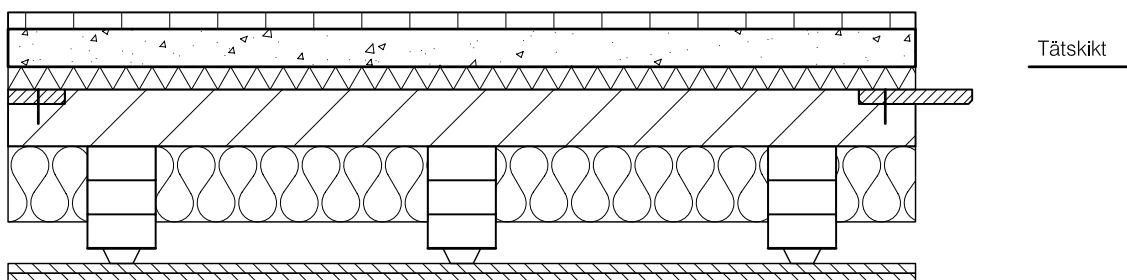
Stepisol 10mm under parkettgolvet
(tätskikt ovanpå massivträ)

BJÄLKLAG 2



Stepisol 20mm under cementgolvet
(tätskikt ovanpå stepisol)

BJÄLKLAG 3



Stepisol 30mm under cementgolvet
(tätskikt ovanpå stepisol)

Beräkning med limträbalk 135mm (sida 1 av 4)

Parkettgolv	22 mm	Ek	700 kg/m ³	0,022 m ³	0,154 kN/m ²
	22 mm	Gran	500 kg/m ³	0,022 m ³	0,11 kN/m ²
	22 mm	Furu	600 kg/m ³	0,022 m ³	0,132 kN/m ²
Stepisol	10 mm		135 kg/m ³	0,01 m ³	0,014 kN/m ²
Betong	50 mm		2400 kg/m ³	0,05 m ³	1,200 kN/m ²
Stepisol	20 mm		195 kg/m ³	0,02 m ²	0,039 kN/m ²
	30 mm		195 kg/m ³	0,03 m ²	0,059 kN/m ²
Tätskikt	x		x		x
Massivträ	75 mm	Gran	500 kg/m ³	0,075 m ³	0,375 kN/m ²
Egenvikt bjälke	90 x 135mm	[1]	5,87 kg/m	1 m	0,059 kN/m
	90 x 180mm	[1]	7,79 kg/m	1 m	0,078 kN/m
	90 x 225mm	[1]	9,62 kg/m	1 m	0,096 kN/m
Isolering Mineralull (högdensitet)	100 mm		50 kg/m ³	0,1 m ³	0,050 kN/m ²
Plåt (tjocklek 0,6mm)	20 mm		58 kg/m ²	0,09 m ²	0,005 kN/m
Neopren	2 till 3 mm	[2]	kg/m ²	m ²	kN/m
Gips	26 mm	[3]	9 kg/m ²	2 m ²	0,018 kN/m ²

Last i bostäder
Bunden lastdel: 0,5 kN/m²
Fri lastdel: 1,5 kN/m²
q: 2 kN/m²
Y: 1,3

Extra last: Punktlast (VVS, EL, etc.)
P: 0,1 kN

BILAGA 2

[1] Räknas med virkestyngd ca 480 kg/m3 (Cf Moelven)
[2] Försummas
[3] Egenvikten anges för en skiva (13mm)

Bjälklag 1

Överdelen:

Parkett

22

mm

Stepisol

10

mm

Betong

50

mm

Tätskikt

x

Massivträ

75

mm

Q:

0,860

kN/m²

q*y:

2,6

kN/m²

Totalt:

3,460

kN/m²

Q1 = (Q+q)*ytan:

1,730

kN/m

Total höjd:

338

mm

Bjälklag 2

Överdelen:

Parkett

22

mm

Betong

50

mm

Tätskikt

x

Stepisol

20

mm

Massivträ

75

mm

Q:

0,873

kN/m²

q*y:

2,6

kN/m²

Totalt:

3,473

kN/m²

Q1 = (Q+q)*ytan:

1,737

kN/m

Total höjd:

348

mm

Bjälklag 3

Överdelen:

Parkett

22

mm

Betong

50

mm

Stepisol

30

mm

Tätskikt

x

Massivträ

75

mm

Q:

0,883

kN/m²

q*y:

2,6

kN/m²

Totalt:

3,483

kN/m²

Q1 = (Q+q)*ytan:

1,741

kN/m

Total höjd:

358

mm

Underdelen: (gemensam för alla konstruktioner)

Egenvikt bjälke

0,059

kN/m

Isolering

0,050

kN/m²

Plåt

0,005

kN/m

Gips

0,018

kN/m²

Q2:

0,095

kN/m

Bjälklagets bredd:

1200

mm

Bjälklagets längd:

4800

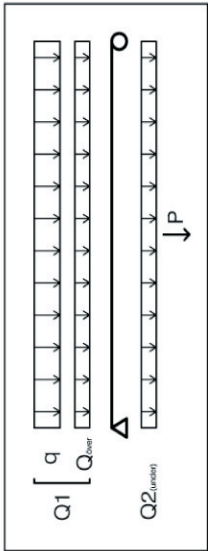
mm

Belastningsyta:

450mm x 1m x 1,1

0,5

m²



Bjälklag 3				
Säkerhetsklass:	2	γ _n :	1,1	
Klimatklass:	0	γ _m :	1,15	
Virkeskvalitet:	L40			
f _{md} :	22,5	Mpa		
f _{vd} :	2,4	Mpa		
Brottstadium				
Q brott = Q1+Q2				
Mmax = ((Q brott*L ²)/8)+(P*L/8)	1,836	kN/m		
	5,348	kNm		
Rmd = w.fmd >= Mmax				
w erf = Mmax / fmd	238	x 10 ³ mm ³		
if balk 90 x 135:				
w = (b.h ²)/6	273	x 10 ³ mm ³		
Rmd för balken:				
w.fmd	6,143	Nmm		
w.fmd >= Mmax				
σ max = Mmax / w	19,590	Mpa		
σ max < fmd				

Brukstadium				
Vmax = ((Q+Q2+q)*L/2)+(P*L/8)				
	7,206	kN		
δmax = 1,5*(Vmax/A)				
	0,890	Mpa		
δmax < fvd				
Deformation				
I = (b*h^3)/12				
Ek	18,453	x 10 ⁶ mm ⁴		
	13000	Pa		
Lasttyp P:	0,978	kN/m	K _{sp} :	0,55
Lasttyp A:	0,25	kN/m	K _{sa} :	0,65
Lasttyp B:	0,25	kN/m	K _{sb} :	0,8
Stödlutning:				
(L ³ /24*E _k [*] I) *(Q _p /K _{sp} + Q _A /K _{sa} + Q _B /K _{sb}) =				
	0,019	*	2,474	
				0,05

Stödlutning =< 1%

Kassetbjälklagets totala yta: 5,76 m²

Bjälklag 1

Parkett	0,760	kN
Stepisol	0,078	kN
Betong	6,912	kN
Tätskikt	x	
Massivträ	2,16	kN
Balkar	0,845	kN
Isolering	0,202	kN
Plåt	0,075	kN
Gips	0,104	kN
Totalt:	11,136	kN
	1113,6	kg

193,3 kg/m²

Bjälklag 2

Parkett	0,760	kN
Betong	6,912	kN
Tätskikt	x	
Stepisol	0,225	kN
Massivträ	2,160	kN
Balkar	0,845	kN
Isolering	0,202	kN
Plåt	0,075	kN
Gips	0,104	kN
Totalt:	11,283	kN
	1128,3	kg

195,9 kg/m²

Bjälklag 3

Parkett	0,760	kN
Betong	6,912	kN
Tätskikt	x	
Stepisol	0,337	kN
Massivträ	2,160	kN
Balkar	0,845	kN
Isolering	0,202	kN
Plåt	0,075	kN
Gips	0,104	kN
Totalt:	11,395	kN
	1139,5	kg

197,8 kg/m²

Parkettgolv	22	mm	Ek	700	kg/m ³	0,022	m ³	0,154	kN/m ²
	22	mm	Gran	500	kg/m ³	0,022	m ³	0,11	kN/m ²
	22	mm	Furu	600	kg/m ³	0,022	m ³	0,132	kN/m ²
Stepisol	10	mm		135	kg/m ³	0,01	m ³	0,014	kN/m ²
Betong	50	mm		2400	kg/m ³	0,05	m ³	1,200	kN/m ²
Stepisol	20	mm		195	kg/m ³	0,02	m ²	0,039	kN/m ²
	30	mm		195	kg/m ³	0,03	m ²	0,059	kN/m ²
Tätskikt	x			x				x	
Massivträ	75	mm	Gran	500	kg/m ³	0,075	m ³	0,375	kN/m ²
Egenvikt bjälke	90 x 135mm		[1]	5,87	kg/m	1	m	0,059	kN/m
	90 x 180mm		[1]	7,79	kg/m	1	m	0,078	kN/m
	90 x 225mm		[1]	9,62	kg/m	1	m	0,096	kN/m
Isolering <i>Mineralull (högdensitet)</i>	100	mm		50	kg/m ³	0,1	m ³	0,050	kN/m ²
	45	mm		35	kg/m ³	0,045	m ³	0,016	kN/m ²
	20	mm		58	kg/m ²	0,09	m ²	0,005	kN/m
Neopren	2 till 3	mm	[2]		kg/m ²		m ²		kN/m
Gips	26	mm	[3]	9	kg/m ²	2	m ²	0,018	kN/m ²

Last i bostäder

Bunden lastdel: 0,5 kN/m²

Fri lastdel: 1,5 kN/m²

q: 2 kN/m²

γ: 1,3

Extra last: Punktlast (VVS, EL, etc.)

P: 0,1 kN

[1] Räknas med virkestyngd ca 480 kg/m³ (Cf Moelven)

[2] Försummas

[3] Egenvikten anges för en skiva (13mm)

Bjälklag 1

Överdelen:	Parkett	22	mm
	Stepisol	10	mm
	Betong	50	mm
	Tätskikt	x	
	Massivträ	75	mm
Q: 0,860 kN/m ²			
q*γ: 2,6 kN/m ²			
Totalt: 3,460 kN/m ²			
Q1 = (Q+q)*ytan: 1,730 kN/m			

Total höjd: 428 mm

Bjälklag 2

Överdelen:	Parkett	22	mm
	Betong	50	mm
	Tätskikt	x	
	Stepisol	20	mm
	Massivträ	75	mm
Q: 0,873 kN/m ²			
q*γ: 2,6 kN/m ²			
Totalt: 3,473 kN/m ²			
Q1 = (Q+q)*ytan: 1,737 kN/m			

Total höjd: 438 mm

Bjälklag 3

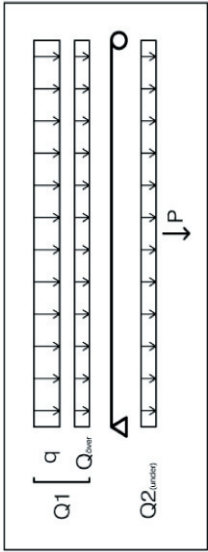
Överdelen:	Parkett	22	mm
	Betong	50	mm
	Stepisol	30	mm
	Tätskikt	x	
	Massivträ	75	mm
Q: 0,883 kN/m ²			
q*γ: 2,6 kN/m ²			
Totalt: 3,483 kN/m ²			
Q1 = (Q+q)*ytan: 1,741 kN/m			

Total höjd: 448 mm

Underdelen: (gemensam för alla konstruktioner)

Bjälklagets bredd: 1200 mm
Bjälklagets längd: 4800 mm
Belastningsyta: 450mm x 1m x 1,1
0,5 m²

Egenvikt bjälke 0,096 kN/m
Isolering 0,050 kN/m²
Extra Isolering 0,016 kN/m²
Plåt 0,005 kN/m
Gips 0,018 kN/m²
Q2: 0,139 kN/m



Bjälklag 3				
Säkerhetsklass:	2	yn:	1,1	
Klimatklass:	0	ym:	1,15	
Virkeskvalitet:	L40			
fmd:	22,5	Mpa		
fvd:	2,4	Mpa		
Brottstadium				
Q brott = Q1+Q2				
Mmax = ((Q brott*L^2)/8)+(P*L/8)	1,880	kN/m		
	5,474	kNm		
Rmd = w.fmd >= Mmax				
w erf = Mmax / fmd	243	x 10^3 mm^3		
if balk 90 x 135:				
w = (b.h^2)/6	273	x 10^3 mm^3		
Rmd för balken:				
w.fmd	6,143	Nmm		
w.fmd >= Mmax				
σ max = Mmax / w	20,051	Mpa		
σ max < fmd				

Brukstadium				
Vmax = ((Q+Q2+q)*L/2)+(P*L/8)	7,311	kN		
δmax = 1,5*(Vmax/A)	0,903	Mpa		
δmax < fvd				
Deformation				
I = (b*h^3)/12	85,430	x 10^6 mm^4		
Ek	13000	Pa		
Lasttyp P:	1,021	kN/m	Ksp:	0,55
Lasttyp A:	0,25	kN/m	Ksa:	0,65
Lasttyp B:	0,25	kN/m	Ksb:	0,8
Stödlutning:				
(L^3/24*Ek*I) *(Qp/Ksp+ Qa/Ksa+ Qb/Ksb) =	0,004	*	2,554	
0,01				
Stödlutning =< 1%				

Kassetbjälklagets totala yta: 5,76 m²

Bjälklag 1

Parkett	0,760	kN
Stepisol	0,078	kN
Betong	6,912	kN
Tätskikt	x	
Massivträ	2,16	kN
Balkar	1,385	kN
Isolering	0,202	kN
Extra isolering	0,064	kN
Plåt	0,075	kN
Gips	0,104	kN
Totalt:	11,739	kN
	1173,9	kg

203,8 kg/m²

Bjälklag 2

Parkett	0,760	kN
Betong	6,912	kN
Tätskikt	x	
Stepisol	0,225	kN
Massivträ	2,160	kN
Balkar	1,385	kN
Isolering	0,202	kN
Extra isolering	0,064	kN
Plåt	0,075	kN
Gips	0,104	kN
Totalt:	11,886	kN
	1188,6	kg

206,4 kg/m²

Bjälklag 3

Parkett	0,760	kN
Betong	6,912	kN
Tätskikt	x	
Stepisol	0,337	kN
Massivträ	2,160	kN
Balkar	1,385	kN
Isolering	0,202	kN
Extra isolering	0,064	kN
Plåt	0,075	kN
Gips	0,104	kN
Totalt:	11,999	kN
	1199,9	kg

208,3 kg/m²

Parkettgolv	22	mm	Ek Gran Furu	700	kg/m ³	0,022	m ³	0,154	kN/m ²
	22	mm		450	kg/m ³	0,022	m ³	0,099	kN/m ²
	22	mm		600	kg/m ³	0,022	m ³	0,132	kN/m ²
Stepisol	10	mm		135	kg/m ³	0,01	m ³	0,014	kN/m ²
Betong	50	mm		2400	kg/m ³	0,05	m ³	1,200	kN/m ²
Stepisol	20	mm		195	kg/m ³	0,02	m ²	0,039	kN/m ²
	30	mm		195	kg/m ³	0,03	m ²	0,059	kN/m ²
Tätskikt	x			x				x	
Massivträ	75	mm	Gran	500	kg/m ³	0,075	m ³	0,375	kN/m ²
Ljudsolerande band	5	mm		135	kg/m ³	3E-04	m ³	0,0004	kN/m
Stålbalk	IPE 120			10,4	kg/m	1	m	0,104	kN/m
Isolering	100	mm		50	kg/m ³	0,1	m ³	0,050	kN/m ²
Mineralull (högdensitet)									
Plåt (tjocklek 0,6mm)	20	mm		58	kg/m ²	0,09	m ²	0,005	kN/m
Neopren	2 till 3	mm	[1]		kg/m ²		m ²		kN/m
Gips	26	mm	[2]	9	kg/m ²	2	m ²	0,018	kN/m ²

Last i bostäder
Bunden lastdel: 0,5 kN/m²
Fri lastdel: 1,5 kN/m²
q: 2 kN/m²

Y: 1,3

Extra last: Punktlast (VVS, EL, etc.)
P: 0,1 kN

[1] Försummas
[2] Egenvikten anges för en skiva (13mm)

Bjälklag 1

Överdelen:	Parkett	22	mm
	Stepisol	10	mm
	Betong	50	mm
	Tätskikt	x	
	Massivträ	75	mm
	Q:	0,860	kN/m ²
	q*Y:	2,6	kN/m ²
	Totalt:	3,460	kN/m ²
	Q1 = (Q+q)*ytan:	1,730	kN/m

Total höjd:

328 mm

Bjälklag 2

Överdelen:	Parkett	22	mm
	Betong	50	mm
	Tätskikt	x	
	Stepisol	20	mm
	Massivträ	75	mm
	Q:	0,873	kN/m ²
	q*Y:	2,6	kN/m ²
	Totalt:	3,473	kN/m ²
	Q1 = (Q+q)*ytan:	1,737	kN/m

Total höjd:

338 mm

Bjälklag 3

Överdelen:	Parkett	22	mm
	Betong	50	mm
	Stepisol	30	mm
	Tätskikt	x	
	Massivträ	75	mm
	Q:	0,883	kN/m ²
	q*Y:	2,6	kN/m ²
	Totalt:	3,483	kN/m ²
	Q1 = (Q+q)*ytan:	1,741	kN/m

Total höjd:

348 mm

Underdelen: (gemensam för alla konstruktioner)

Bjälklagets bredd: 1200 mm

Bjälklagets längd: 4800 mm

Belastningsyta: 450mm x 1m x 1,1
0,5 m²

Egenvekt bjälke 0,104 kN/m

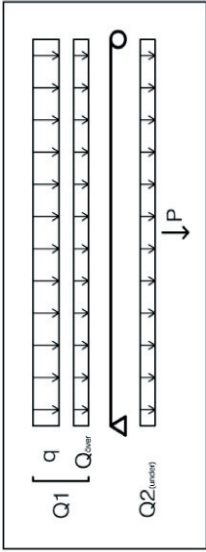
ljudisolerande band 0,0004 kN/m

Isolering 0,050 kN/m²

Plåt 0,005 kN/m

Gips 0,018 kN/m²

Q2: 0,178 kN/m



Bjälklag 3

Säkerhetsklass:	2		
Klimatklass:	0		
Z_x :	$60,7 \times 10^3 \text{ mm}^3$	γ_n :	1,1
W_x :	$53 \times 10^3 \text{ mm}^3$	γ_m :	1
f_{yk} :	260 Mpa		

Överslagsberäkning

$Z_{\text{erf}} = M_{\text{max}} / f_{yd}$:	23,6	$\times 10^3 \text{ mm}^3$
--	------	----------------------------

f.o.m. IPE 100

Momentkapacitet

$M_{\text{rxd}} = \omega_b \cdot \eta_x \cdot W_x \cdot f_{yd}$:
Balken räknas som stagad mot vippning ($\omega_b = 1$)

$M_{\text{max}} = ((Q \cdot \text{brott} \cdot L^2)/8) + (P \cdot L/8)$	$Q = Q1 + Q2$	1,919	kN/m
		5,587	kNm
	$\eta_x = Z_x / W_x$	1,15	
	$f_{yd} = f_{yk} / (\gamma_m \cdot \gamma_n)$	236,4	
	M_{rxd} :	14,35	kNm

$M_{\text{rxd}} > M_{\text{max}}$

Tvärsnittsklass

β_f : 4,73

β_{fpl} : 8,53

$\beta_f \leq \beta_{fpl}$ TK1

Tvärkraft

$V_{max} = (Q \cdot L)/2 + (P/L/8)$ 4,666 kN

$V_{rd} = \omega_v \cdot A_w \cdot f_{yd}$

ω_v : 26,15 A_w : 6873,6 mm²

V_{rd} : 42,48 kN

$V_{rd} \geq W_{max}$

Stödlutning

$\omega = (L/6EI) \cdot [(Q \cdot L^2/4) + (3PL/8)]$ E : 210 Gpa

$(L/6EI)$: 1,2E-03 I : 3,178 x 10⁶ mm⁴

$[(Q \cdot L^2/4) + (3PL/8)]$: 11,234 $\omega = 1,35E-02$

Stödlutning $\leq 1\%$

Kassetbjälklagets totala yta: 5,76 m²

Bjälklag 1

Parkett	0,570	kN
Stepisol	0,078	kN
Betong	6,912	kN
Tätskikt	x	
Massivträ	2,160	kN
Ljudisolering	0,006	kN
Balkar	1,498	kN
Isolering	0,202	kN
Plåt	0,075	kN
Gips	0,104	kN
Totalt:	11,604	kN
	1160,4	kg

201,5 kg/m²

Bjälklag 2

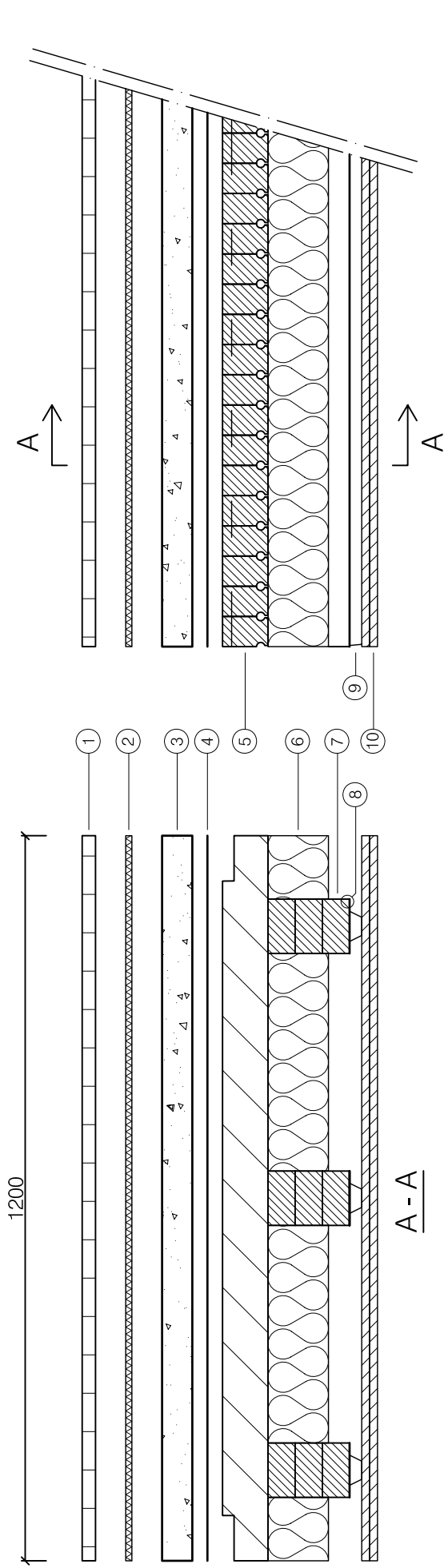
Parkett	0,570	kN
Betong	6,912	kN
Tätskikt	x	
Stepisol	0,225	kN
Massivträ	2,160	kN
Ljudisolering	0,006	kN
Balkar	1,498	kN
Isolering	0,202	kN
Plåt	0,075	kN
Gips	0,104	kN
Totalt:	11,751	kN
	1175,1	kg

204,0 kg/m²

Bjälklag 3

Parkett	0,570	kN
Betong	6,912	kN
Tätskikt	x	
Stepisol	0,337	kN
Massivträ	2,160	kN
Ljudisolering	0,006	kN
Balkar	1,498	kN
Isolering	0,202	kN
Plåt	0,075	kN
Gips	0,104	kN
Totalt:	11,863	kN
	1186,3	kg

206,0 kg/m²



Parkettgolv	22
Stepisol	10
Cementgolv	50
Tåtskikt	
Massivträ	75
Bjälkar (90 x 135)	135
Mineralullsisolering	100
(högdensitet)	
Elastiskt material	2-3
(neopren)	
Profilerad plåt	20
Undertak (gips)	26
TOTAL	338 mm

1 till 4 monteras på plats (kan varieras efter behov)
5 till 10 monteras i fabriken

- 1 - Parkettgolv (varierande tjocklek och kvalitet)
- 2 - Stepisol (kan vikas upp vid kanterna, så att parketten inte kommer i kontakt med väggarna)
- 3 - Platsgjuten betong alternativt betongplattor
- 4 - Tåtskikt (fuktspärr + skyddar massivträet vid betongggjutning)
- 5 - Massivträ (varierande virkeskvaliteter kan användas)
- 6 - Mineralullsisolering (högdensitet, för att minska risk för hålligheter)
- 7 - Bjälkar
- 8 - Eftergivligt material (för att minska överföring av ljudvågorna till plåten)
- 9 - Korugerad plåt (leder inte ljudvågorna till undertaket)
- 10 - 2 lager gips (bra ljudabsorbtion + brandsäkerhet)

Läsvärt & vidare information

Impregnerat trä: www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=52195&lan=sv

Lamellix: <http://www.haas-weisrock.fr/>

Lignatur: <http://www.lignatur.ch/>

Martinsons: <http://www.martinsons.se/>

Skogsindustrierna: www.skogsindustrierna.org

Svensk byggtjänst: www.byggtjanst.se och www.byggbokhandeln.com

Träbyggnadskansliet: www.trabyggnadskansliet.se

Träguiden: www.traguiden.com

(Projekt drivet av Skogsindustrierna, och troligen den mest utvecklade webbsidan om träbyggande, här finns allt från projektering till CAD-ritningar, samt många länkar som är relaterade till samma ämne.)