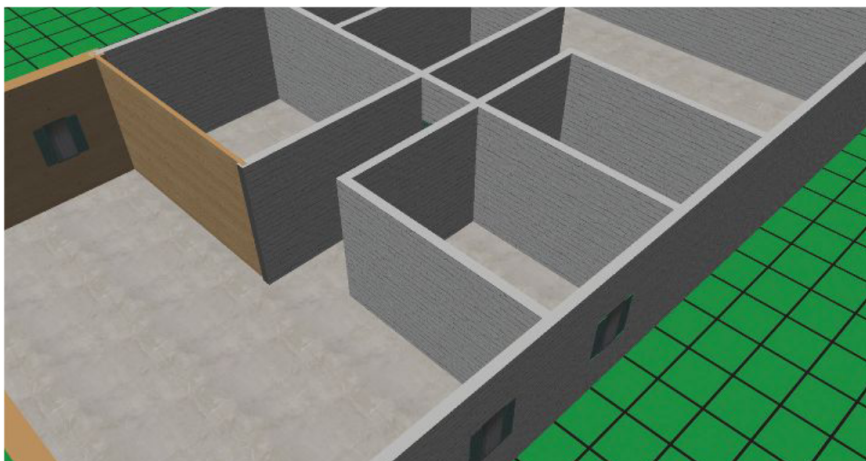


Dokumentera byggnadens bullerskydd med datorstödda beräkningar och mätningar



I Boverkets remissförslag till ny föreskrift om bullerskydd (januari -21) finns flera bindande krav, bland annat på att en bullerskyddsdocumentation ska upprättas. Vidare; projektering och kontroller ska beskrivas, vilket kan göras med stöd av erfarenheter, mätningar och beräkningar enligt "vedertagna metoder". Beräkningar ska vara "relevanta". Kraven föreslås gälla utan hänsyn till osäkerheter, det vill säga man måste ha en uppfattning om hur tillförlitliga resultaten av beräkningar och mätningar är för att kunna välja en rimlig marginal. I denna artikel ser jag på ett antal fall som projektörer behöver analysera och åtgärda på olika sätt, med både gamla och nya datorverktyg till hjälp.

I en artikel förra året i Bygg & teknik [1] visades att beräkningsosäkerheten kan vara väsentligt större när man projekterar hus med KL-trästomme och varierande slags tilläggskonstruktioner jämfört med en homogen betongstomme. Marginalen till stegljudskravet skulle i dessa exempel behöva vara 8 dB, vilket vore opraktiskt och dyrt att genomföra. Nedan kompletteras med en ny jämförelse av flera byggnader med KL-bjälklag och ett Granab-övergolv, som ger mindre osäkerhet än konstruktionerna i föregående

studie, dock större än för de homogena betongkonstruktioner som också har studerats. Över tid bör man kunna reducera osäkerheten för flera slags bjälklagskonstruktioner baserade på träkonstruktioner, men det krävs fler utredningar.

Några korta reflektioner görs också kring olika besvärliga situationer, till exempel hur man kan räkna stegljudsnivå från lokaler på bottenplan till bostäder ovanför, stomljud från vibrerande installationer, referenskraft för gym-golv samt användning av nyare programvaror som kan räkna hela hus i samma modell (BIM-förberedda).

På något sätt bör konsultbranschen samarbeta för att lära under gång, så att beräkningar med olika programvaror och uppföljande fältmätningar stämmer

väl överens. Det ligger i alla parterens intresse, att kostnadsdrivande marginaler för olika byggsystem och produkter kan hållas nere. Tillverkarna av olika stomsystem och installationer kan bidra till att reducera osäkerheten, både genom att göra sina produkter robusta och att redovisa tillförlitliga data för dessa. När detta fungerar blir det också smidigt att uppfylla kraven i föreskriften på att arbeta med "vedertagna metoder" utan att behöva överdimensionera. *Hur branschen går vidare med detta blir spännande att följa!*

Osäkerhet i beräkningar mot fältmätningar

I tidigare studier av ett stort antal hus med betongbjälklag och olika golvbeleggnings har jag redovisat jämförelser mellan fältmätningar och beräkningar av luft- och stegljudsisolering, utförda enligt SS-EN ISO 12354 delarna 1 och 2. [2] Kompletterande studier har även gjorts av mätosäkerheten i SS-EN ISO 16283-metoderna för fältmätningar i färdiga byggnader. [3] [4]

Nya beräkningar har gjorts i sju byggnader (totalt 12 mätfall) med KL-träbjälklag och ett uppreglat tungt ljuddämpande Granab-övergolv med golv-gipsskivor och parkett, med samma metod som för övriga byggnader [1]. Medelavvikelse mellan beräkningsresultat i tersband samt vägda entalsvärden, för både ljudnivåskillnad och stegljudsnivå, visas i figur 1. Utgångspunkten var luft- och stegljudsisolering för övergolvet såsom mätta på ett 200 mm KL-träbjälklag i RISE laboratorium i Borås (tidigare SP). Värden för KL-bjälklagen i respektive mätfall hämtades i ett första steg från databasen till Bastian, mätta i 5 olika laboratorier. I en kompletterande analys av en större uppsättning laboratoriemätningar på KL-bjälklag i olika lab (23 luftljud och 29 stegljud) upprättades en ny databas över 17 olika KL bjälklag i tjocklekarna 80-240 mm, med eller utan



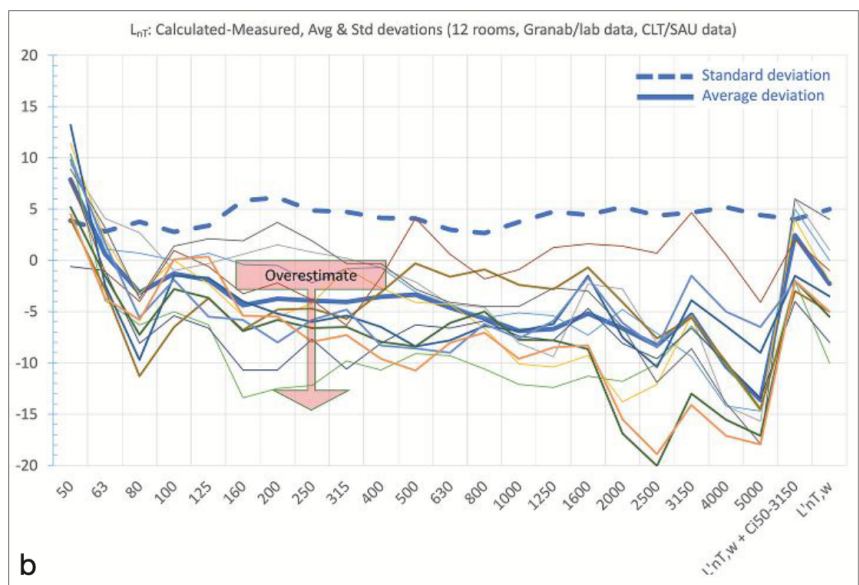
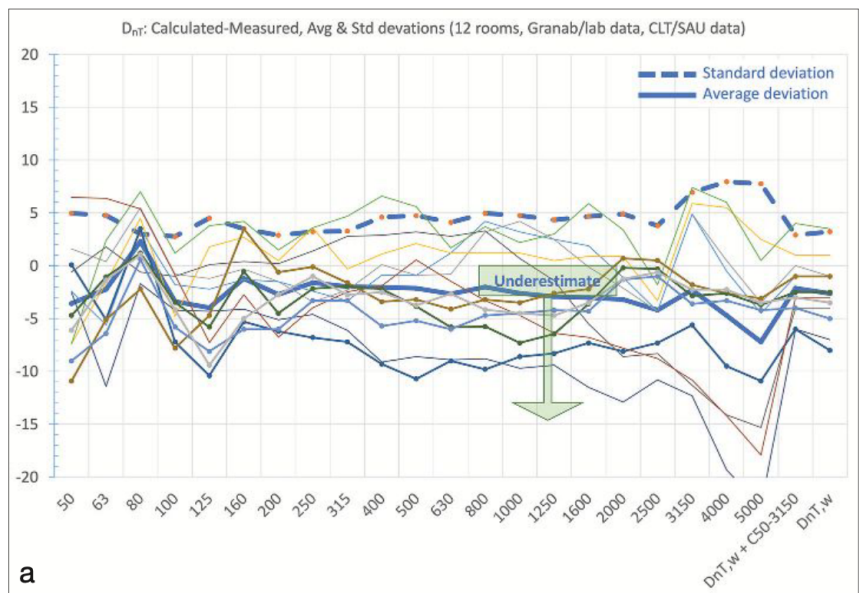
Christian Simmons
Simmons akustik & utveckling ab

brandgipsskiva skruvade på ena sidan, totalt 17+17 råbjälklag. Jämförelsen med fältmätningarna upprepades nu, med data för KL från den nya databasen. Resultaten visas i figur 2, där den tunna streckade linjen visar förbättringsvärden från den första jämförelsen med fem specifika labmätningar på KL och den tjocka heldragna visar förbättringsvärden då de nya KL-värdena användes. I figur 2 visas även de laboratorievärden som användes som utgångspunkt.

Fältmätningarna har gjorts av andra akustikkonsultföretag samt i några fall av Luleå tekniska universitet (inom *AkuTimber*-projektet). Det finns således många faktorer som påverkar de uppmätta fältvärdena och de teoretiska beräkningarna, vilket talar för att man ska studera både medelvärde och standardavvikelse i jämförelsen mellan beräknade och uppmätta värden för att kunna välja en rimlig säkerhetsmarginal i projektering.

Några slutsatser kan dras från resultaten i figur 1: Standardavvikelsen för D_{nT} -jämförelsen har en jämn tendens liksom i tidigare studier (cirka 3-4 dB i tersband, något mindre för vägda entalsvärden). Spridningen är måttlig och således kan man korrigera laboratorievärdena för luft- och stegljudsisoleringarna för övergolvet, motsvarande medelavvikelse. De korrigerade förbättringsvärdena för Granabgolvet visas i figur 2. Observera dock att korrigeringen får till följd, att beräkningar och fältmätningar kan förväntas överensstämma väl i genomsnitt, men att spridningen måste beaktas med en avvägd säkerhetsmarginal i projekteringen, lämpligen 4-5 dB, för att minimera risken för att någon eller några fältmätningar kan underskriva kravet. Detta förutsatt att det är den studerade golvkonstruktionen som avgör ljudisoleringen. Flanktransmission måste beaktas när man sätter ihop bjälklag+övergolv med väggar och fasader i beräkningen enligt standarden och den kan i många fall bli mer kritisk än golvets direkttransmission.

Anledningen till de synbart slumpmässiga variationerna har inte undersökts vidare, men beror rimligen till viss del på avvikelser i själva utförandet. Möjligen inverkar skillnader i själva KL-bjälklagen, men det är mer troligt att randvillkoren och flanktransmission till bärande väggar har större inverkan. I de studerade fallen valdes indata för flankerande väggar och knutpunkter, som gav ett måttligt bidrag till den totala transmissionen, där direktvägen genom bjälklaget dominerade. Om detta antagande i modelleringen hade varit felaktigt borde de teoretiska värdena



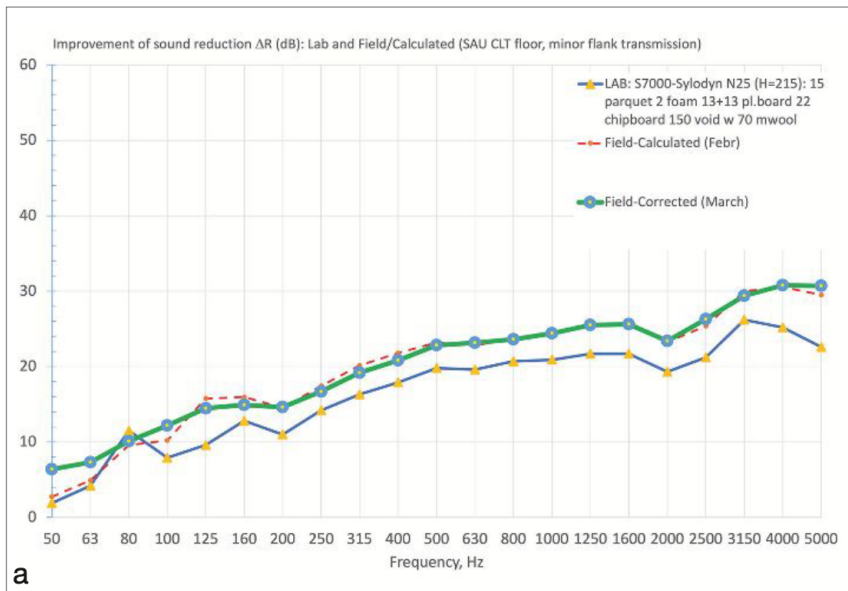
Figur 1: Medelvärde (tjock heldragen linje) och standardavvikelse (streckad linje) i differensen mellan beräknad och uppmätt ljudisolering i 7 nyproducerade bostäder (12 mätfall) med olika KL-stommar och ett Granab uppreglat övergolv med N25 Sylodyn dämplement, 22 mm golvspånskiva, 2x13 mm golvgips och parkett på 2 mm foam. a) D_{nT} standardiserad ljudnivåskillnad, b) L_{nT} standardiserad stegljudsnivå.

ligga högre (bättre) än de fältmätta, men resultaten i figur 1 visar att det faktiskt var omvänt.

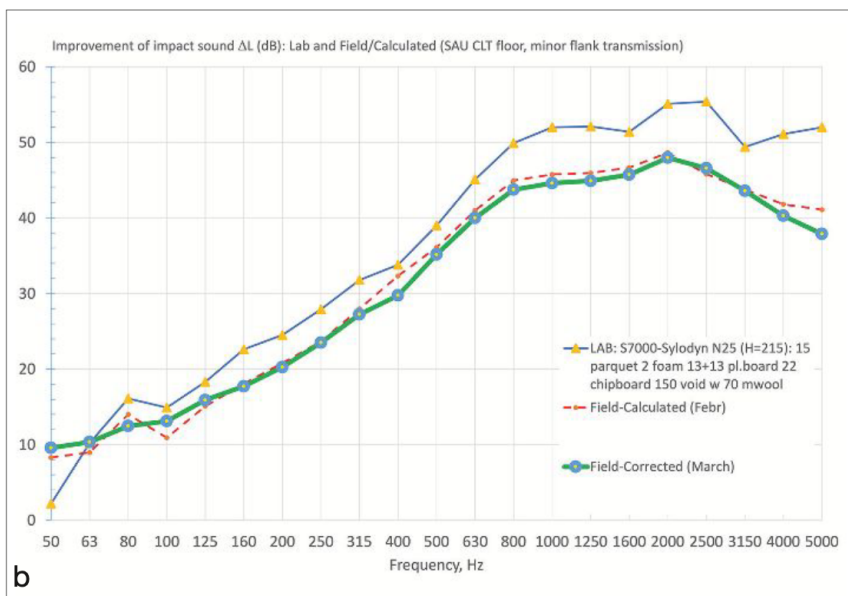
I figur 2 visas de förbättringsvärden för övergolvet som har beräknats stämma överens med fältmätningarna i figur 1 (i medeltal) och mätningarna i laboratorium för samma övergolv. De dämpningsvärden som har beräknats från fältmätningarna är för luftljudet något *bättre* än resultaten i laboratoriet, medan stegljudsdämpningen är något *sämre* och bör minskas. Med två så olika och ändå samstämmiga sätt att utvärdera egenskaperna för detta specifika övergolv, kan man med rätta tala om att produktens ljudegenskaper är noggrant dokumenterad och att den vedertagna beräkningsmetoden är tillförlitlig. Ändå,

på sikt vore det intressant med fler konsulter erfarenhet av att använda de föreslagna värdena för övergolv och bjälklag, jämförda med nya fältmätningar. De nya värdena för övergolvet och för KL-bjälklagen kommer att finnas med i nästa uppdatering av databasen till beräkningsprogrammen.

Med detta sagt, det finns några kända fall där flanktransmission i KL-väggar har reducerat de vägda entalsvärdena R'_w med 3-4 dB och medfört att man inte har klarat det uppställda målet. I dessa fall har man haft tunna massiva träväggar och relativt styva band under väggarna, samt förankrat dem med stålvinklar. Ytterligare en observation var, att grus eller löslagda betongplattor (cirka 150 kg/m²) var effek-



a



b

Figur 2: Förbättring av luftljudsisoleringen och stegljudsisoleringen med det studerade Granab-övergolvet på KL-bjälklag. övre; luftljudsförbättring, undre stegljudsförbättring. Tunna heldragna linjer avser mätresultat i laboratorium (RISE) och tjocka linjer är de värden som beräknat från fältmätningar så att beräknade värden ska stämma överens i medeltal. Streckade linjer är de preliminära värden (i februari 2021) som baseras på specifika labmätningar på KL-trä, innan den nya databasen för KL-bjälklag var klar (i mars 2021). Skillnaden vid 50 och 63 Hz är rimlig, med tanke på att övergolvet N25 dämpement belastas med 50 kg/m², egenfrekvens 23 Hz.

tiva upp till cirka 250 Hz, men däröver avtog deras effekt. Sannolikt beror det på att de börjar ”flyta” över resonansen mot bjälklaget, som vid 1 mm effektiv luftspalt beräknas till 230–280 Hz! Således måste barlasten fixeras på något sätt, med bindemedel av något slag som vidhäftar till träet eller ett ”lock” som trycker ned barlasten mot bjälklaget.

Med säkra ingångsdata för bjälklag och knutpunkter, samt noggrann kontroll under byggtiden och fler uppföljande mätningar borde det gå att pressa ned avvikelserna ytterligare. De avvikelser som redovisades i den tidigare artikeln [1] för betongkonstruktioner kan vara ett mål

att sikta mot även för den här typen av KL-träkonstruktioner, dvs att marginalen 3 dB ska kunna bli tillräcklig. I en sådan marginal inryms en hel rad faktorer som påverkar slutresultatet, allt från materialdata och beräkningsmetod till utförande och fältmätningar. Längre ned än så kommer vi nog inte.

Räkna stegljudsnivå och installationsljud från lokaler på bottenplan till bostäder ovanför

I många nybyggda flerbostadshus inrymmer man lokaler för olika verksamheter, där stegljud och stomljud riskerar att ge störningar i bostäderna

ovanför. Kraven i BBR och i SS 25267 är 4 dB hårdare där än mellan bostäder, med tilläggskravet att lokaler för särskilt högljudda verksamheter ska utformas så att ljudnivåerna i angränsande bostäder inte överskrider de värden som anges för tekniska installationer enligt Folkhälsomyndigheten, åtminstone inte mer än tillfälligt.

Därmed behöver man kunna räkna på olika typer av steg- och stomljudskällor och hur mycket ljud som fortplantas uppåt från bottenbjälklaget. Tyvärr ingår inte dessa beräkningsfall i standarden SS-EN ISO 12354-2 eftersom det stomburna ljudet (vibrationerna) passerar två knutpunkter och att standarden bara behandlar fall med transmission över en knutpunkt.

En relativt enkel metod provades på fem byggnader där två olika akustikföretag har mätt upp den standardiserade stegljudsnivån i våningen över, med stegljudsapparaten i lokalen under: - man sätter upp ett normalt vertikalt beräkningsfall, där bjälklaget och golvbeläggningen (med eventuella dämpskikt inräknade) motsvarar golvet i lokalen i bottenvåningen och där väggarna motsvarar de väggar som finns i lokalen, inklusive fasad och pelare som kan leda ljudet uppåt. Under bjälklaget sätter man ett fiktivt undertak med mycket hög ljuddämpning. Modellen blir så att säga upp och nedvänd. Stegljudsnivån bestäms då enbart av flanktransmissionen i väggarna, som i de tre studerade fallen stämde ganska bra med den uppmätta stegljudsnivån. Undertaket blockerar således direkttransmissionen genom bjälklaget. I något av fallen såg man en tydlig avvikelse vid höga frekvenser som tros bero på stomljudsbryggor mellan ett klinkergolv och stommen. Vid låga frekvenser var de uppmätta ljudnivåerna lägre än de beräknade, vilket kan bero på att fönsteröppningar med mera hindrar utstrålning i de verkliga rummen. En tanke kan då vara, att golvet i lokalen ska ha bra dämpning vid medel- och höga frekvenser. Författaren tar tacksamt emot fler fall, med mätdata och tydliga byggnadsbeskrivningar, så att metoden kan förfinas efterhand och möjligen även implementeras i olika mjukvaror.

Stomljud från vibrerande installationer

I ett Nordtestprojekt visades det, att stegljudsapparaten även kan användas som en referens för stomljud, som andra källor kan jämföras mot, på samma sätt som för ljudeffekt i luft.[5] Förutsättningen för att metoden ska fungera, är att den aktuella ljudkällan är ”vek” i förhållande till un-



Figur 3: Lösa vikter kan leda till omfattande stomljud.

derlaget, ett villkor som är uppfyllt för många tekniska installationer i bostadshus som är uppbyggda med en tunn stålram som ställs på betongbjälklag eller sätts fast i en betongvägg. Även för lätta träbjälklag kan metoden fungera, men då bara om referensmätningen görs på ett nära nog identiskt bjälklag som där maskinen ska användas senare. Osäkerhetsbestämningar finns i NT-rapporten. [5]

I databasen till beräkningsprogrammet Bastian finns A-vägda indata för ett antal stomljudskällor (tvättmaskiner, WC, ventilationsaggregat, köksskåp med flera) inlagda som "stegljudsdämpning" (markerade med landsindikator IND), som kan appliceras som ett "additional layer" till ett betongbjälklag. Om man räknar ut stegljudsnivån med aktuell stomljudskälla som "golveläggning", så får man ett $L_{nT,w+C_{i,50-5000}}$ -värde som är lika med den A-vägda ekvivalenta ljudnivån för maskinen i drift! Detta kan göras nedåt, i sidled och uppåt enligt föregående avsnitt. I kommande uppdateringar av programvarorna CadnaB

och SONarchitect kan det på sikt tillkomma ett mer intuitivt sätt att välja stomljudskälla, men som "work-around" i Bastian kan den här metoden fungera en tid. Även här är författaren tacksam för återkoppling om hur verkliga mätningar har fallit ut mot beräkningar. I de fåtal fall som studerats förefaller metoden att fungera bra, men fler jämförelser behövs.

Referenskraft för gym-golv för fria vikter

Gym är en verksamhet som har blivit vanlig på senare år, och de ska ibland inrymmas i lokaler som varit utformade för helt andra ändamål och angränsar till bostäder. Förutom höga ljudnivåer från musik, där effektiva undertak med mera måste användas, så vill man även att det ska gå att träna med maskiner, löpband och fria vikter. Stomljudet via golvet kan då bli betydande. Lösningar med tunga flytande golv på elastiska underlag har använts med blandade framgångar, som någon gång kan bero på att man inte har fått rätt förutsättningar, exempelvis träning med tunga vikter som ska kunna

släppas från en viss höjd utan att ge störande ljud i huset. Bristfälligt utförande kan också förklara avvikelser.

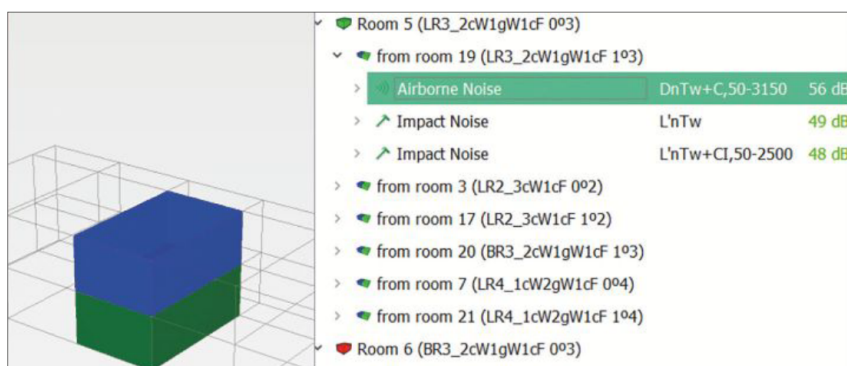
För att få någon typ av referenskraft att räkna mot har författaren föreslagit standardiserings-kommittén SIS Tk 197, att den så kallade Japanbollen (SS-EN ISO 16283-2) ska användas som referens i SS 25268. Bollen har en vikt av 2.5 kg (+/-0.1 kg) och den ska falla fritt från 100 cm (+/-1 cm) ned på gymgolvet. Kraftnivån blir cirka 20 dB högre i 31 Hz oktavbandet än med en stegljudsapparat, mätt där man har ett uppbyggt övergolv med ett antal tunga skivor på ett elastiskt underlag. För tyngre vikter kan man räkna upp kraftnivån med 3 dB per dubbling av vikten (dvs 10 dB högre för en 25 kg vikt) och korrigera med 1.5 dB för en halvering eller dubbling av fallhöjden. Tyvärr inverkar vikternas form och golvets lokala fjädring/intryckning, vilket gör att man måste prova sig fram till hur olika lösningar fungerar, men bollen ger troligen en bättre bild av hur golvet dämpar och har fördelen av att vara standardiserad och tillgänglig hos akustiker. Den har även fördelen av att inte skada ett parkettgolv eller matta, som en tyngre vikt.

I de fall riktigt tunga fria vikter ska kunna användas utan risk för störande ljud i angränsande utrymmen, så kan det vara nödvändigt att prova med en tyngre fallvikt, till exempel en 25 eller 40 kg vikt som får falla 25 cm från en bänk. För att minska risken för "dubbelstuds" och skador på golveläggningen, kan man lägga ut en tunn elastisk matta, som dock dämpar ut stomljud över säg 250 Hz. Men ofta är det de låga frekvenserna som är problemet, så skyddsåtgärden begränsar inte mätningens resultat i praktiken. Med nämnda värden i standarden får vi en gemensam referens, vilket är en förutsättning för ett ökat gemensamt lärande i projekten, men Tk 197 måste bearbeta förslagen och enas om en lösning först.

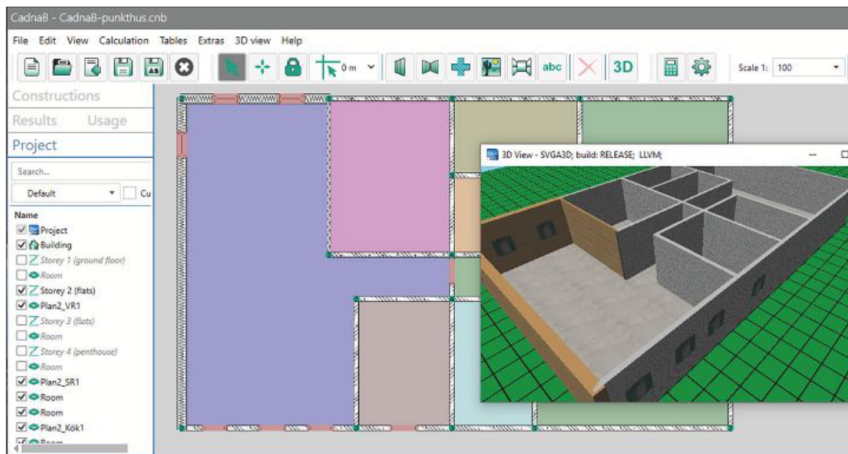
Som alltid måste ett flytande golv stå fritt från stommen och ha ett stabilt och tungt underliggande bjälklag, för att fungera som avsett. Lämpligen väljer man utprovade lösningar, där tillverkaren har indata för beräkning. Det finns flera lösningar som har visat sig fungera bra. Se vidare i SS-EN 12354-5:2009, där bilagorna ger ett antal exempel på beräkning.

Användning av nyare programvaror som kan räkna hela hus

Den vanligaste programvaran för beräkning enligt SS-EN ISO 12354 delarna 1-3 är idag Bastian från DataKustik, utvecklat i slutet av 1990-talet på uppdrag av Saint Gobain Isover i Tyskland.



Figur 4: Resultatträd i SONarchitect, liknande finns även i CadnaB. Både direkt- och flanktransmissioner redovisas för alla rumspår, beroende på hur rummen har definierats. Om de uppfyller ställda krav för respektive typ av verksamhet visas också i en översikt för hela byggnaden. Dokumentationen av bullerskyddet blir därför mer eller mindre komplett med en och samma beräkning. En detaljerad utskrift blir dock ganska omfattande!



Figur 5: Planlösning, rumskategorisering (med olika ljudkrav) och 3D-vy i CadnaB. Motsvarande funktioner finns i SONarchitect.

Programmet är ålderstiget och kommer inte att uppdateras vidare, utan användarna rekommenderas att gå över till CadnaB från samma tillverkare eller SONarchitect från spanska Sound of Numbers. Båda programvarorna räknar ut luft- och stegljudsisolering för aktuella planlösningar och konstruktioner, där man relativt enkelt modellerar hela huset från en planritning.

Lägger man in fönster och dörrar (dra- och-slåpp av färdiga objekt), så får man direkt ut ljudnivåskillnader mot trapphus och mot utsidan av huset. Säg hejdå till stora Excelblad där man måste mata in fönsterstorlekar och rumsdimensioner! Båda programvarorna är välgjorda med intuitiva gränssnitt och den nordiska databasen tillhandahålls för båda, på samma sätt som för Bastian. *Men visst tar det emot att överge en gammal trotjänare, som tjänat branschen väl...!*

Med dessa uppmuntrande ord finns det likväl några saker att tänka på när man går över till en ny programvara med 3D-modeller.

Det tar lite längre tid att rita upp en byggnad i 3D än att bara välja rumsmått i Bastian, men det går ändå ganska lätt med de inbyggda ritverktygen. Import av geometrier via IFC eller DXF-filer kommer nog att införas så småningom, men geometrin måste ändå anpassas och kontrolleras manuellt, samt tilldelas ljuddata (produkter) från databasen.

I CadnaB har man underlättat för dagens Bastian-användare genom att erbjuda färdiga typfall lika dem som finns i Bastian, där man bara fyller i mått och väljer skiljekonstruktioner i en lista, så kommer husmodellen och beräkningsresultaten direkt. Detta kan vara smidigt i ett tidigt skede, när man inte har detaljerade planlösningar med mera och bara vill göra ett överslag.

Beräkning av fasadisolering med indata för fönster uppmätta i laboratorier borde korrigeras för inverkan av andra fönsterstorlekar enligt EN 14351 tabell B.3, vilket båda leverantörerna har uppmärksammat på. Detta kan givetvis göras manuellt, men det vore snyggare om programvarorna gör detta automatiskt i framtiden.

Precis som i Bastian kan och bör man räkna med ett spektrum i ljudkällan som svarar mot den aktuella platsens förutsättningar, särskilt för lite mer udda ljudkällor som helikopter, fartygsdieslar, stenkrossar, fläktar, högljudda idrottare/publik. Det är inte ovanligt att man kan "trimma" någon eller några dB genom att beakta spektrat, som kan ge stora besparingar i enklare fönster – eller omvänt, motivera tyngre glas eller smalare fönster. Spektrum är enkelt att lägga in i SON-architect, medan i CadnaB är det tänkt att man ska koppla utsidan till en CadnaA-beräkning. I den senare kan man även koppla till en CadnaR-beräkning i de fall man har stora öppna ytor inne i byggnaden, med invändning utbredningssdämpning.

En annan begränsning är korrigerigering av luft- och stegljudsisoleringen i tunga konstruktioner för inverkan av de anslutande konstruktionerna på förlustfaktorn, enligt bilaga C i SS-EN ISO 123541. I Norden är det vanligare med en mix av tunga och lätta väggar än i sydligare länder, vilket gör att vi har större behov av anpassningar till planlösningen här. Flanktransmission till andra rum än grannens leder bort energi och förbättrar ljudisoleringen! Även detta är meddelat till tillverkarna, vilket dock kan ta lite tid att införa på grund av komplexiteten i stora husmodeller. I SONarchitect v3.1 finns en sådan funktion, men författaren har inte provat den praktiskt ännu.

Det kan vara klokt att börja med enkla geometrier och jämföra med egna mätningar och med motsvarande modeller i Bastian (om man känner sig trygg med dess resultat). Därvid bör man inte bara se på totalvärdena, utan även på direkt- och flanktransmissioner. Programmen kan redovisa knutpunktsdämpningen, den bör stämma med standarden och med Bastian. I mer komplexa byggnader, och där väggarna inte ansluter i rät vinkel, är det oklart hur knutpunktsdämpningen ska beräknas. Här finns skäl att vara uppmärksam på vad de helt automatiska algoritmerna ger för output.

Författaren har gjort några enkla jämförelser med kända fall och funnit att resultatet ser rimliga ut, med reservation för avvikelser som beror på nuvarande förenkling av randvillkoren enligt föregående punkt. Leverantörerna av programvaror bör göra egna valideringar och konsulterna dito, så att man kan känna sig trygg med beräkningsresultaten.

Det krävs en del arbete för att lära oss använda de möjligheter som de nya programvarorna ger oss, och det vore bra om vi nordiska akustiker kunde samarbeta om erfarenheterna och lägga samordnade förslag till förbättringar till leverantörerna för att få lite mer tyngd än om enskilda gör detta. Något webforum för ändamålet kunde vara ett sätt att underlätta samarbetet, exempelvis ISAC.

För att återknyta till ingressen, akustikerna i landet står ganska väl rustade för att uppfylla de krav som ställs i den nya föreskriften, även om de nödvändiga marginalerna inte är kartlagda i alla dimensioneringsfall som kan tänkas uppstå, särskilt inte där nya material och lösningar används. Men om vi samarbetar om generella observationer och använder enhetliga metoder och indata, så kan vi snabba upp processen och stå för att vi använder "vedertagna metoder", såsom Boverket föreslår. ■

Referenser

- [1] *Jämförelse mellan beräkningar och fältmätningar av ljudisolering*. Simmons, C. Bygg & teknik 3/20.
- [2] *Räkna med ljudet – ny avhandling om säkerhetsmarginalerna vid dimensionering av ljudisolering*. Simmons, C. Bygg & teknik 2/10. Läs på www.byggteknikforlaget.se.
- [3] *Nya fältmätningstekniker från ISO*. Simmons, C. Bygg & teknik 3/12
- [4] *Variationer i ljudisolering i platsbyggda flerbostadshus i betong*. Öqvist R, Johnsson R. Bygg & teknik 3/13
- [5] *Stomljud från installationer – nya verktyg och lösningar är på väg*. Larsson, K. Simmons, C. Bygg & teknik 3/08. Se även Nordtest metod NT ACOU 117 och rapport NT tr 616 på www.nordtest.info.