

Flervåningsbyggnader i trä, fortsättning

Här fortsätter artikeln, från förra numret av Bygg & teknik, om design och konstruktion av bjälklag, väggar och anslutningar.

Masonites flexibla byggsystem. Byggsystem och byggmetoder för flervåningsbyggnader i trä har genomgått en snabb utveckling. Idag används inom träbyggnadstekniken ofta prefabricerade enheter, som är konkurrenskraftiga avseende kostnader, miljö och montage. Masonites flexibla byggsystem (MFB) är ett av flera system som baserar sig på prefabricering.

MFB-systemet är ett öppet byggsystem i betydelsen att de tekniska lösningarna och byggmetoden är fri att användas av olika arkitekter, konstruktörer, tillverkare och byggföretag. Systemet klarar nuvarande krav på brandsäkerhet, fuktegenskaper, hållfasthet och stabilisering, termisk och akustisk isolering.

Systemet är indelat i två varianter: MFB XL och MFB Light. XL-systemet är ämnat för flervåningshus upp till åtta våningar och bjälklagsspännvidder upp till 8 m, medan Light-versionen är kostnadsoptimerad för mindre byggnader med lägre laster och mindre spännvidder. Den huvudsakliga skillnaden mellan systemen ligger i den konstruktiva utformningen av bjälklags- och väggelementen.

XL-systemet är ett panel-regelsystem som innehåller en speciell träpanel kallad Plyboard, se *figur 6*. Plyboard-panelen är



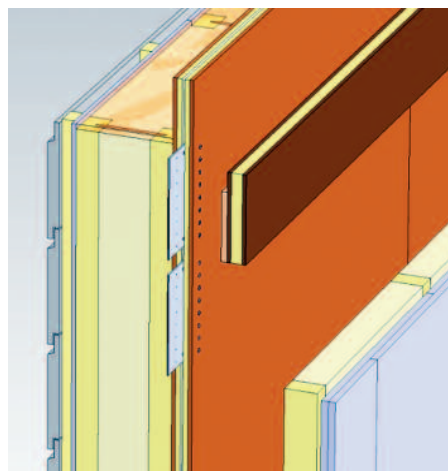
Figur 6: Plyboard-panelen med ytskikt av Masonite K40-skivor och kärna av lamellträ. Undre figuren visar slitsen och skarvning genom inlimmad boardskiva. Mått i millimeter.

en treskiktsskiva med en kärna av lamellträ och ytskikt av hårda träfiberskivor. Fibreriktningen är densamma för alla lameller. Panelens uppbyggnad ger hög hållfasthet och styvhet, god form och dimensionsstabilitet samt högt fuktdiffusionsmotstånd. Panelskivan tillverkas med boardtjocklekarna 4 eller 8 mm och antalet faner är mellan tre och sju. Standardformatet är 1 200 x 2 400 mm². Plyboard-panelen förses med en slits runt om för att kunna skarvas, förbindas och förankras, *figur 6*. Vid skarvning av interna paneler i ett väggelement används en skarvskiva som limmas i det inslitsade spåret. Detta ger ett starkt förband, lufttäta ytterväggar och en fuktbarriär. Vid förband och förankringar används stålplåt som iläggsskiva enligt beskrivningen nedan. På plyboard-panelen fästs Masonites lättreglar, vanligtvis mekaniskt, *figur 7*.

Light-versionen är en mer konventionell skiv-regelkonstruktion.

De två varianterna kan kombineras i flervåningsbyggnader för att erhålla kostnadseffektiva lösningar. Till exempel kan Light-systemet användas i de övre våningarna där belastningarna är lägre, medan XL-systemet används i de lägre våningarna.

Här fokuseras på MFB XL-systemet. Dess utformning och kvalitet medger stor arkitektonisk frihet och enkelt montage och är väl lämpat för höghusbyggande. Konstruktivt är XL-systemet ett sammansatt skivsystem med reglar eller balkar. De sammansatta elementen utgör stommen i vägg- och bjälklagselementen. Det



Figur 7: Yttervägg i XL-systemet bestående av I-reglar och plyboard-panel med inslitsade förbandsplåtar och monterad upplagsbalk för bjälklagsinhängning. Yttre och inre beklädnadsskikt framgår av figuren.

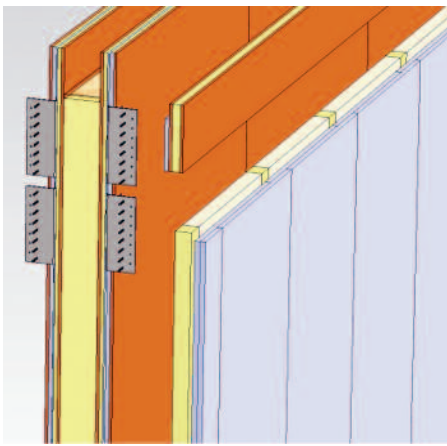
Artikelförfattare är Ulf Arne Girhammar, professor, och Helena Johnsson, docent, Luleå tekniska universitet, Bo Källsner, Erik Serrano och Anders Olsson, professorer, SP Trä och Linnéuniversitetet, Per Johan Gustafsson och Roberto Crocetti, professorer, Lunds universitet, Magnus Larsson och Alex Kaiser, arkitekter, Ordinary Ltd, samt Per-Anders Daerga, tekn lic, Umeå universitet.

består av prefabricerade väggar, bjälklag och takelement, som levereras i platta paket och monteras våning för våning. Den maximala längden på elementen är begränsad till 9 m med hänsyn till transporter. Väggelementen levereras med beklädnad, dörrar och fönster och en upplagsbalk för upphängning av bjälklaget. De levereras även med förtillverkade kanaler för elektriska kablar och eluttag. Systemet klarar REI 60 avseende brand och klass A avseende ljud.

Väggelementen. *Figur 7* visar en representativ yttervägg. Tjockleken på den bärande delen är normalt 200 till 400 mm beroende på kravet på isolertjocklek. Plyboard-panelen och lättreglarna bildar tillsammans en samverkande och kontinuerlig bärande struktur, vilket innebär att det inte finns några horisontella komponenter som utsätts för tryck vinkelrätt mot fibrerna i våningsskarvarna (syll och hammarband är ersatta av remsor av hård träfiberskiva, se *figur 10 på nästa sida*). Det medför att vertikallasten kan föras ned direkt till grunden, och den vertikala sättningen kan reduceras till ett minimum. Plyboard-panelen används även som horisontalstabiliserande enhet, samt kan fungera som lufttätt membran och fuktbarriär, förutsatt att panelskarvarna är tätade och förseglade.

Bjälklagen hängs upp på särskilda bärlinor eller upplagsbalkar, som är monterade på väggelementen (*figur 7*).

Enkla innerväggarna består av en plyboard-panel med konstruktionsreglar på båda sidor, medan lägenhetsskiljande innerväggar av två plyboard-paneler med konstruktionsreglar emellan enligt *figur 8 på nästa sida*. Av *figur 8* framgår också dess infästning mot tvärväggen genom vinkelplåtar inslitsade i plyboarden och likaså upplagsbalken för förbjälklagen. Liksom ytterväggarna bär innerväggarna vertikal last från taket och bjälklagen och utnyttjas även för horisontalstabilisering.

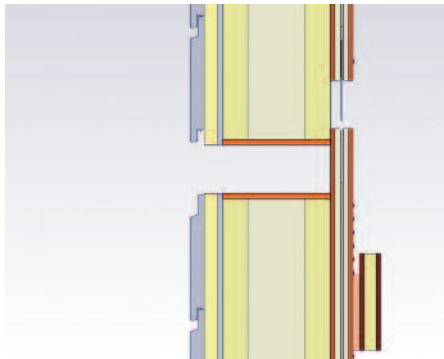
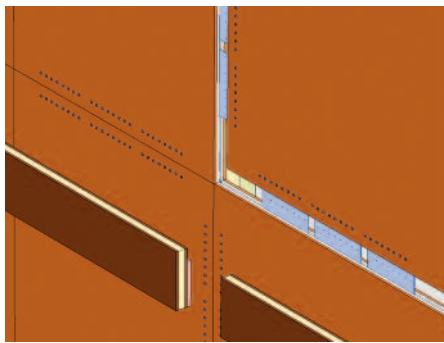


Figur 8: Lägenhetsskiljande innervägg i XL-systemet som en typ av lådbalk. Beklädnadsskiktet på ena sidan visas också i figuren.

Bjälklagselementen. Bjälklagskonstruktionen illustreras i figur 9. Det prefabricerade elementet levereras med påmonterade bjälklagshängare och undertak. Plyboard-panelen adderar både massa och styvhet till bjälklaget och reducerar därmed vibrationerna och fördelar den akustiska energin i sidled mellan reglarna. Övergolvs ytterskikt består normalt av två lager av gipsskivor ovanpå ett lager med spånskiva enligt figur 9. Undertaket installeras separat under bjälklagselementet i samband med tillverkningen genom särskilda fjädrande upphängningsstag. Dessa stag tillåter att undertaket förskjuts mot själva bjälklagselementet för att bli en kompakt enhet under transporten. Vid upphängningspunkterna är ljuddämpande material placerat.

Anslutningarna – inslitsad stålplåt och bjälklagshängare. XL-systemet har ett enhetligt system för anslutningar och kopplingar mellan plyboard-panelerna i vägg- och bjälklagselementen samt ett särskilt beslag för upphängningen av bjälklaget gentemot de bärande väggarna. Olika typer av inslitsade stålplåtar används genomgående för plyboard-panelen.

Ytter- och innerväggarna skarvas med inslitsade stålplattor och skruvar, som är installerade vid tillverkningen i det ena

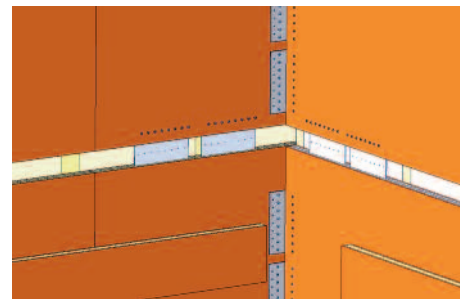


Figur 10: Anslutningen mellan väggelement genom inslitsade stålplåtar och skruvar. Användningen av tunna hårda träfiberskivor för att reducera den vertikala sättningen mellan elementen framgår också av figuren.

elementet. Vid monteringen skjuts den utstickande beslaget in i motsvarande slits och skruvas i det redan monterade elementet, se figur 10. Antal inslitsade plåtar och antal skruvar är flexibelt beroende på lastförhållandena. De inslitsade förbanden tar upp både horisontal- och upplyftningskrafter. Särskilda förankringsbeslag behövs därför inte.

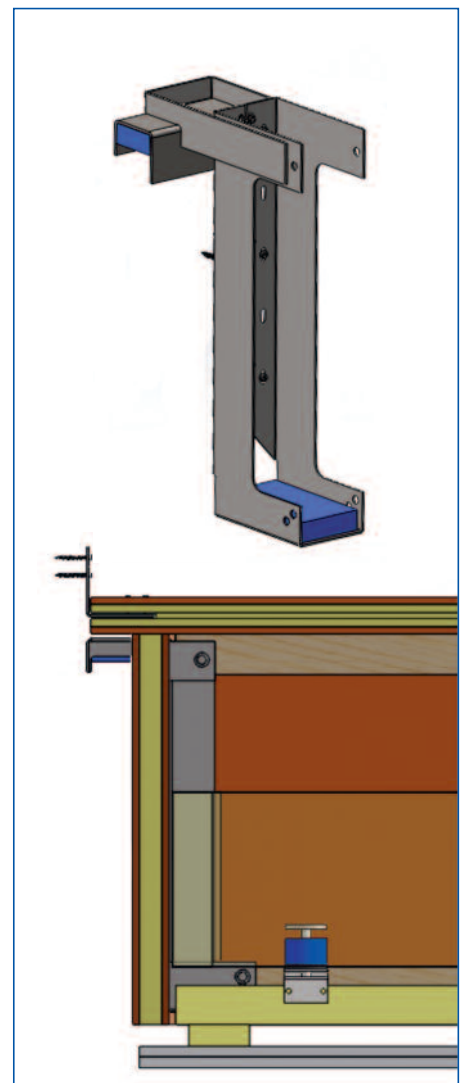
Anslutningar mellan ytterväggar respektive innerväggar illustreras i figur 11. Specifikt framgår anslutningarna i korsningen eller hörnet mellan ytter- och innerväggar genom inslitsade L-beslag (se även figur 8). Hopkopplingen mellan den stabiliserande skjuvväggen och den förankrande tvärväggen ger ett mycket effektivt tredimensionellt verkningsätt för att klara horisontalstabiliseringen.

Anslutningen av bjälklaget till väggen är kritisk och behöver speciell uppmärks-

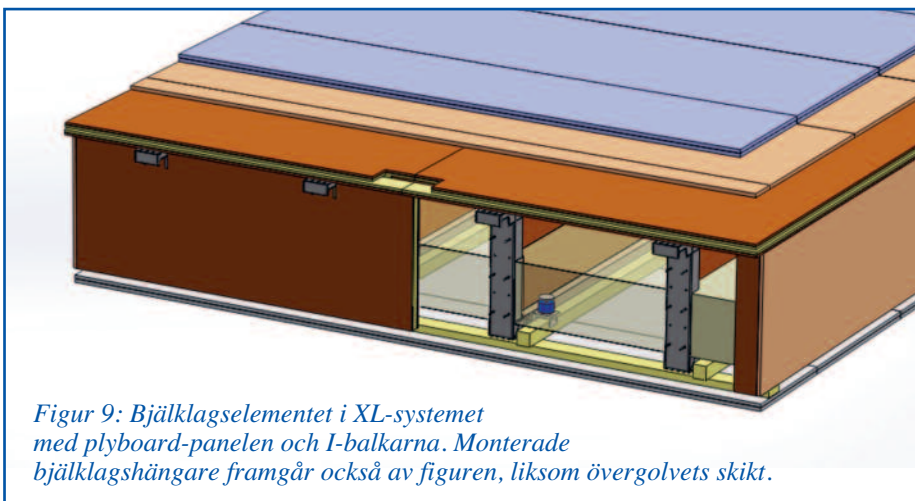


Figur 11: Anslutningar mellan ytterväggar (vänstra delen) respektive innerväggar (högra delen) och anslutningar i korsningen eller hörnet mellan dessa. Då innerväggen används som stabiliserande skjuvvägg och förbinds med ytterväggen, kommer ytterväggen (tvärväggen) att fungera som förankring mot skjuvväggens upplyftning.

samhet. Den måste utformas robust och motstridiga konstruktiva, akustiska och



Figur 12: Bjälklagshängaren integrerad med balkskon. Kuddarna i övre och undre delen av hängaren är elastiska dämpare. Hängaren tar bara vertikal last, horisontell vindlast tas genom vinkelbeslaget som är inslitsat i plyboarden och som fästs till väggen. Undertaket visas också med dess speciella upphängningsanordning, dock inte övergolv.



Figur 9: Bjälklagselementet i XL-systemet med plyboard-panelen och I-balkarna. Monterade bjälklagshängare framgår också av figuren, liksom övergolvs skikt.

brandtekniska krav måste mötas. Upphångningsbeslaget hakas på upplagsbalken som är monterad på ytterväggen.

Bjälklagshängarens utformning framgår i detalj av figur 12 (jämför även figur 9). Det speciella upphångningsbeslagen är integrerade med balkskorna för I-balkarna i bjälklaget. Lasten från bjälklaget förs därmed direkt till upplagsbalken och inga direkta krafter överförs i själva kantbalken. Kantbalken behövs dock fortfarande för stabilisering av I-balkarna och för positionsfixering av bjälklagshängarna.

Hängaren tar upp enbart vertikala laster. Horisontella krafter från vinden överförs mellan bjälklaget och väggen genom vinkeljärn inslitsade i plyboard-panelen.

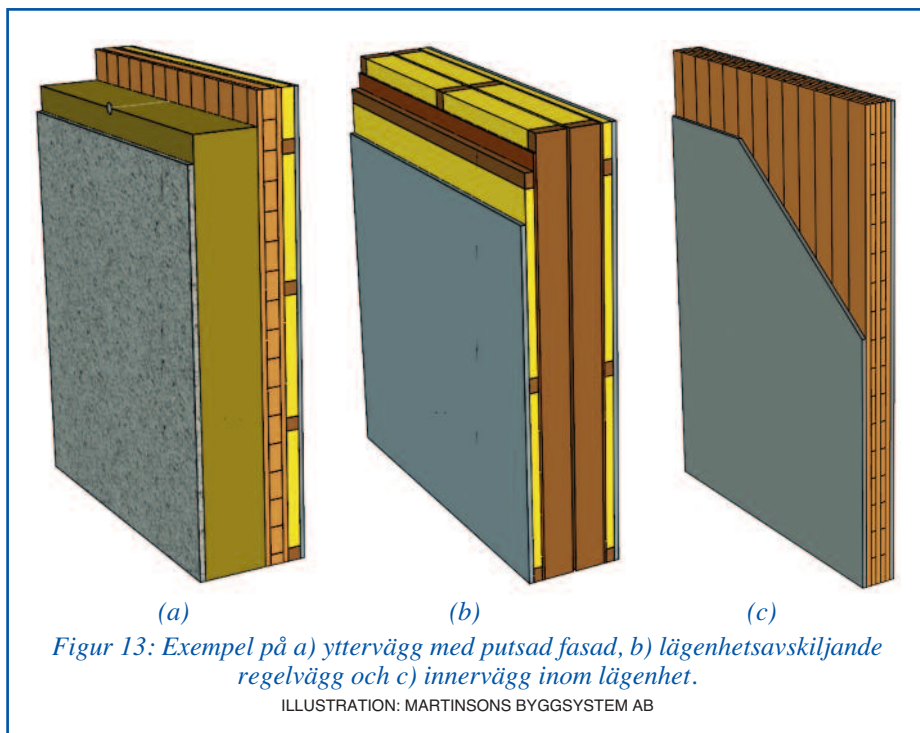
Flanktransmission reduceras genom att bjälklagshängaren förses med elastiska dämpare vid övre och undre delen av hängaren. Genom att bädda in huvuddelen av bjälklagshängaren innanför bjälklagselementet blir den brandskyddad. Topp- och bottendelen av hängaren skyddas dessutom av plyboard-panelen och övergolvet på översidan och av undertaket på undersidan.

Praktikfall – Limnologen i Växjö.
Systembeskrivning. Stommen i de åtta våningar höga byggnaderna består av element i massivträ som levererats av Martinsons Byggsystem. Massivträ används i både bjälklag och i väggar. Dessutom används traditionella regelkonstruktioner i vissa lägenhetsskiljande väggar. Första våningen utförs i betong, bland annat därför att den därigenom ökade egentyngden underlättar förankringen av övriga våningar.

Huvudsakligen har tre olika väggtyper använts till den bärande stommen i byggnaderna, se figur 13. De är (a) ytterväggar av treskiktts massivträskivor, (b) lägenhetsskiljande regelväggar och (c) innerväggar av fem-skiktts massivträskivor. Till ytterväggarna kopplas ett putssystem eller alternativt en fasad av limträpanel. De lägenhetsskiljande väggarna är uppbyggda av dubbla regelväggar separerade med en 20 mm luftspalt i mitten. Samtliga väggar kompletteras med gipsskivor på insidan.

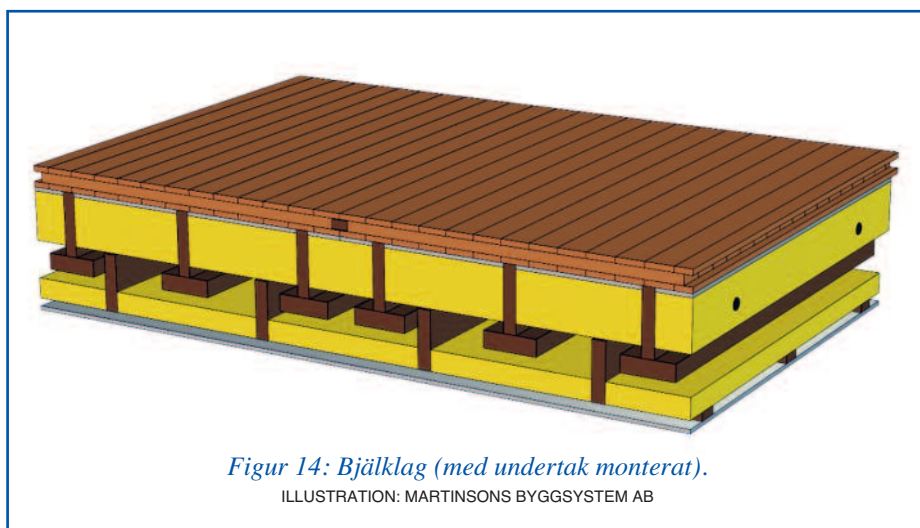
Bjälklagskonstruktionen framgår av figur 14. Bjälklaget är uppbyggt av en överfläns bestående av en treskiktts massivträskiva till vilken skruvlimmats liv och underflänsar av limträ på cc-avståndet 600 mm. För att minimera överföringen av stegljud mellan ovanpå varandra liggande lägenheter har bjälklagets undertak konstruerats så att det inte har någon kontakt med den bärande delen av bjälklaget utan är upphängt mellan väggarna.

Till det stabiliserande systemet hör, förutom ytterväggar, även bjälklag, lägenhetsskiljande regelväggar och vissa innerväggar. Lasterna förs via skivverkan i bjälklagen till överkant vägg.



Figur 13: Exempel på a) yttervägg med putsad fasad, b) lägenhetsskiljande regelvägg och c) innervägg inom lägenhet.

ILLUSTRATION: MARTINSONS BYGGSYSTEM AB



Figur 14: Bjälklag (med undertak monterat).

ILLUSTRATION: MARTINSONS BYGGSYSTEM AB

För att motverka de stora lyftkrafter som stommen utsätts för vid exempelvis stark vind har gångstänger (stag) monterats på 48 platser i varje byggnad. Lyftkrafter måste man ta särskild hänsyn till då man bygger med trästomme, på grund av den låga egentyngden. Stagen förankras i betongen på bottenplanet och sträcker sig upp till plan åtta inuti mellanväggarna. Stagen kan efterspännas med hänsyn till framför allt deformationer orsakade av träets uttorkning men även krypning i konstruktionen.

Kraven på en god ljudmiljö kan i samband med flervåningsbyggnader av trä ställa till med problem. För att förhindra flanktransmission har man sett till att bryta mellanväggarna vid varje våning och man har låtit isolerskikten fortsätta upp till massivträskivan. Inte heller bjälklagen är genomgående. Flanktransmissionen minskas med hjälp av en polyuretanlist, Sylomer och Sylodyn, på upplagen mellan bjälklagselementen och underliggande väggelement.

Eftersom bjälklagen inte görs kontinuerliga och fästs till varandra genom de lägenhetsskiljande väggarna försvåras horisontalstabiliseringen av byggnaderna. Det innebär att lägenheter som ligger intill varandra statistiskt sett är frikopplade från varandra, se figur 15 på nästa sida. Genom att lägenheterna är ihopsända på höjden kommer lägenheterna i princip att fungera som fristående ”torn” där varje ”torn” bär sina egna laster. För överföring av tryckkrafter mellan tornen används polyuretanlist.

Uppföljning. Ett tiotal olika uppföljningsprojekt har genomförts vid Limnologen inom områden som planeringsprocessen, teknik, miljö och ekonomi och marknad.

Ett av teknikprojekten som ännu pågår omfattar mätningar av deformationerna i ett av husen. Utrustningen installerades under byggskedet och levererar kontinuerligt uppgifter om de våningsvisa deformationerna i huset. Sedan starten av mätningarna uppgår den totala deformatio-



Hus B
Plan 3

Figur 15: Planlösning med fem statistiskt separerade lägenheter i horisontalplanet.

tivt snabba ökningen av deformationen (sättningen) i ytterväggen. Efter denna inledande fas varierar deformationen med klimatets årstidsväxling.

Horisontalstabilisering

Traditionellt används en elastisk metod för dimensionering av skivbeklädda träregelväggar. Den bygger på en del idealiserade förutsättningar som kan vara svåra att uppfylla i verkliga konstruktioner och ger därför inte alltid tillförlitliga resultat. Den elastiska metoden bygger på att skiv-regelförbandens kraft-förskjutningssamband är linjärt elastiska något som vanligtvis bara är giltigt vid mycket små deformationer i bruksgränstillståndet. Den elastiska metoden bygger dessutom på förutsättningen att de vertikala reglarna är fullt förankrade (ledat infästa) i syll och hammarband. För att uppfylla den senare förutsättningen krävs att frontregeln i väggen förankras till den underliggande konstruktionen med ett beslag eller att egentygden från överliggande byggnadsdelar kan utnyttjas för

att motverka uppflytningen av väggen vid frontregeln som orsakas av den angripande horisontalkraften, jämför figur 17 a. En annan svaghet med den elastiska metoden är att den inte kan beakta bärförmågan hos väggdelar med öppningar och inte heller utnyttja till exempel tvärväggar för förankring.

För att bättre tillgodoräkna sig skiv-regelförbandens mekaniska egenskaper har en ny dimensioneringsmetod utvecklats som bygger på att förbandens plastiska kapacitet utnyttjas. Med hjälp av den

plastiska metoden kan man välja att styra kraftflödet genom byggnaden på ett flexibelt sätt. Liksom i den elastiska metoden kan man välja att överföra förankringskrafterna via de vertikala reglarna till grundkonstruktionen men man kan i den plastiska metoden också förankra väggen via syllen till grunden enligt figur 17 b (kallas även partiell förankring).

Det är en väsentlig skillnad i verkningssätt hos styva respektive skjuvveka väggskivor när det gäller upptagningen av vertikala krafter då sådana väggar ska stabiliseras mot horisontallast. För en styv vägg av typ betong gäller att väggen kan betraktas som en stel kropp, vilket innebär att samtliga vertikala krafter kan utnyttjas för att motverka det stjälpande momentet. För skjuvveka väggskivor av typ skivbeklädda träregelväggar kan ofta endast en del av de vertikala krafterna utnyttjas som stabiliserande eftersom väggens skjuvhållfasthet inte får överskridas.

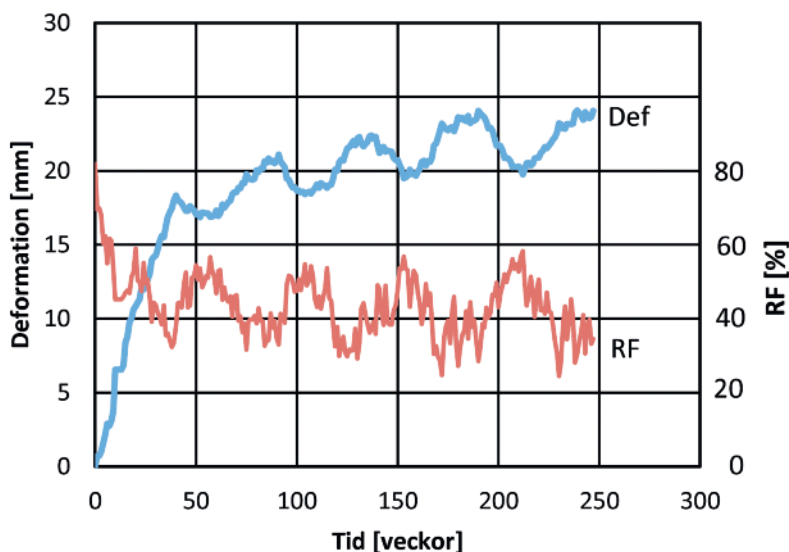
Finita elementmodeller. Parallellt med arbetet att ta fram den plastiska dimensioneringsmetoden har ett antal projekt bedrivits som syftar till att klargöra olika aspekter av verkningssättet hos skivbeklädda träregelväggar. Av särskild betydelse är att kunna modellera de mekaniska egenskaperna hos förbanden mellan skivorna och trästommen på ett realistiskt sätt. För att säkerställa att det inte uppträder spröda brottmoder i en vägg är det väsentligt att man beräkningsmässigt kan följa väggens kraft-förskjutningssamband även efter det att maximal last har passerats.

I projektet har ett speciellt förbandselement för kontinuerlig plastisk skjuvkraftsöverföring utvecklats och tillämpas på skivbeklädda träregelväggar. Ytterligare studier har gjorts avseende kopplade och okopplade olinjära elastiska finita element modeller av skiv-regelförband för analys av skivbeklädda träregelväggar och hur bland annat olika förbandsmodeller påverkar verkningssättet hos fullständigt och partiellt förankrade skiv-regelväggar.

Betydelsen av anliggning mellan intilliggande skivor i skivbeklädda träregelväggar har också studerats för fallet då inga öppningar i väggarna finns. Förekomsten av anliggning bidrar marginellt till ökad bärförmåga för detta fall. Där emot påverkas den inre kraftfördelningen i väggarna tydligt av förekommande anliggning.

Plastiska handberäkningsmodeller. Under utvecklingen av den plastiska dimensioneringsmetoden har ett par alternativa handberäkningsmodeller presenterats och diskuterats. En jämförelse av resultat från genomförda finita element analyser och resultat från utförda provningar visar att handberäkningsmodellerna ger god överensstämmelse med provningsresultaten.

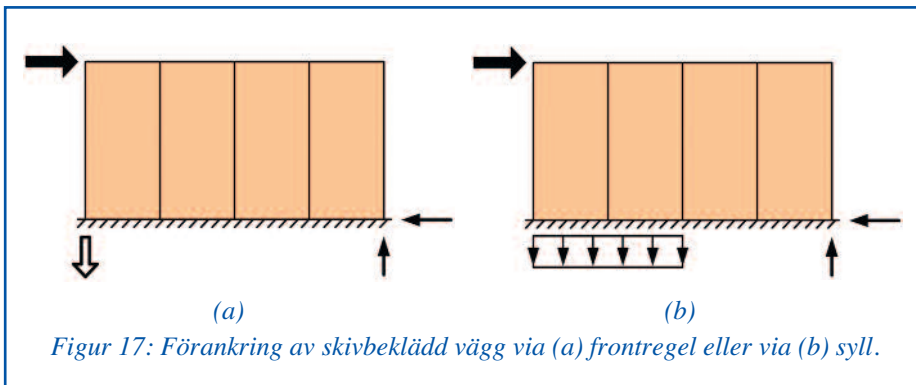
På 1980-talet presenterade professor Sugiyama i Japan en enkel metod för be-



Figur 16: Uppmätt total deformation och relativ luftfuktighet i våning 2 till 7 (trädelens) under perioden september 2007 till maj 2012.

Erkännande

Ett stort tack riktas till EU Struktur-funder – Regionala fonden, Regionför-bundet i Västerbotten och Länsstyrelsen i Västerbottens län för deras finansiella stöd.



Figur 17: Förankring av skivbeklädd vägg via (a) frontregel eller via (b) syll.

räkning av bärförmågan hos skivbeklädda träregelväggar som innehåller öppningar. Metoden, som går under namnet ”Sugyamas öppningskoefficientmetod”, utgår från bärförmågan hos en vägg utan öppningar som sedan reduceras med den så kallade öppningskoefficienten. I vårt projekt har vi diskuterat uttrycket för öppningskoefficienten och jämfört med vad en analys enligt Stringermetoden ger. Det konstateras att öppningskoefficienten inte uppfyller kraven för en undre gränsvärdesmetod, vilket indikerar att metoden inte alltid ger resultat som ligger på den säkra sidan.

Förankring via syll. För att kunna tillämpa en plastisk metod för dimensionering av skivbeklädda träregelstommar är det viktigt att det inte uppstår lokala spröda brott som riskerar att leda till brott i hela konstruktionen. Sådana typer av brott har identifierats i samband med att syllen används till att förankra väggar mot vertikal lyftning enligt figur 17 b.

Ett stort antal provningar av väggdelar där syllen förankrats i den underliggande konstruktionen med genomgående skruvar och brickor har genomförts. Studerade parametrar har bland annat varit brickans storlek, brickans placering och märengens läge i syllen. Två huvudtyper av sprickbrott noterades i syllen, jämför figur 18. Avståndet mellan brickans och skivans kant är en viktig parameter för att bedöma spricklasten. Då detta avstånd är stort propagerar sprickan från syllens botten sida medan då det är litet propagerar sprickan från syllens kantsida. Noterbart



(a)



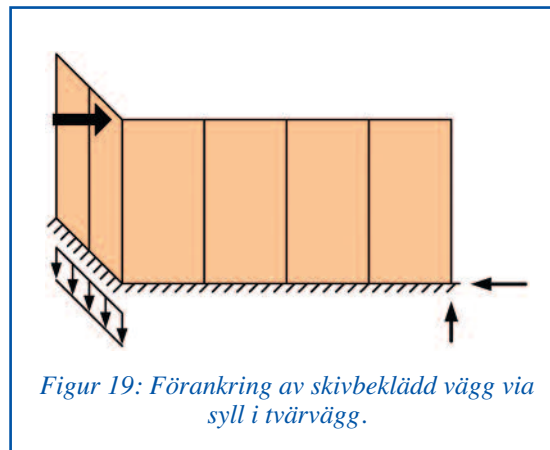
(b)

Figur 18: Två typer av sprickbrott i syllen. Spricka i botten sidan (liten bricka) och spricka i kantsidan (stor bricka).

är att märengens läge i syllen även har ett visst inflytande på brottlasten (storleksordningen tio procent).

I samband med utvärderingen av provningsresultaten har brottmekanik tillämpats på de båda sprickmodellerna. Detta har medfört att enkla uttryck för handberäkning av spricklasterna idag är tillgängliga.

Förankring via tvärväggar. Med den plastiska dimensioneringsmetoden öppnas nya möjligheter till förankring av träregelstommar genom att utnyttja tredimensionell kraftöverföring. I figur 19 vi-



Figur 19: Förankring av skivbeklädd vägg via syll i tvärvägg.

ses ett exempel där syllen i en tvärvägg är förankrad till den underliggande konstruktionen. För enkelhets skull redovisas endast en förenklad bild av kraftfördelningen i tvärväggens plan.

I en jämförande studie har ett antal olika konfigurationer av tvärväggar undersökts med avseende på bärförmåga. Be-

räkningarna omfattar dels resultat framtagna med två versioner av den plastiska dimensioneringsmetoden och dels resultat från en analys med finit element metoden. Dessa resultat jämförs med resultat från provningar av ett begränsat antal konfigurationer. Den plastiska dimensioneringsmetoden ger något lägre kapacitetsvärden än förutom fallet då tvärväggarna är två våningar höga. Den plastiska dimensioneringsmetoden ger resultat som ligger något på säkra sidan i förhållande till provningsresultaten.

Handbok. Den plastiska dimensioneringsmetoden för horisontalstabilisering av skivbeklädda träregelväggar finns tillgänglig i en handbok [2]. Den innehåller dimensioneringsprinciperna för brottgränstillståndet för en och flera våningar höga skivregelväggar med mekaniska förband utsatta för olika typer av statiska laster.

Den plastiska metoden kan inte tillämpas för dimensionering i bruksgränstillståndet. I handboken rekommenderas därför en enkel elastisk analys för bedömning av horisontalförskjutningarna hos regelstommar. I anslutning till de olika teoriavsnitten presenteras ett antal beräknings-exempel av principiell karaktär. I handboken ges också exempel på mekaniska förband med godtagbara egenskaper med avseende på seghet och lämplig utformning av förankringar. ■

Referenser

[1]. Girhammar, U.A., Källsner, B., Gustafsson, P.J. & Johnsson, H. *Stabilisering och bjällklag kritiska för höghus i trä*. Husbyggaren, Nr 1, s. 16–21, 2011.

[2]. Källsner, B. & Girhammar, U.A. *Horisontalstabilisering av träregelstommar – Plastisk dimensionering av väggar med träbaserade skivor*. SP Rapport, SP Sveriges tekniska forskningsinstitut, 2009.