TALL TIMBER **BUILDINGS**

KONCEPTSTUDIER

1a upplagan, juni 2020.
Stort tack till Smart Housing Småland, för att de bekostade tryckningen.

Projektledare: Marie Johansson, RISE
Grafisk form: Mårten Lindquist, C.F. Møller Architects

FÖRORD

Projektet *Höga byggnader i trä - konceptstudier (Tall Timber Buildings - Concept Studies)* initierades av omvärldens spirande intresse för träbyggande och önskan att utforska möjligheter och utmaningar vid praktiskt genomförande av projektering av en hög byggnad med trästomme.

Tre månader efter att projektet beviljades finansiering av Formas antog FN de 17 globala målen för hållbar utveckling. Under projektets gång har sedan intresset för hållbar utveckling ökat generellt i samhället. Den stora påverkan på miljön från byggbranschen har uppmärksammats. Träbyggandet har allt mer hamnat i fokus, framför allt bland arkitekter, men också hos en del förutseende byggherrar och entreprenörer som insett möjligheten till en konkurrensfördel. Att bygga hus med trästomme i 7-8 våningar har under projektets gång börja hända i allt större utsträckning. Det är inte längre något man bara önskar eller pratar om och kapplöpningen om att bygga högst driver på utvecklingen.

Den här skriften beskriver utmaningen, projektgruppens samverkan, deltagarnas arbete och resultat översiktligt. Resultaten kommer också att presenteras i en handbok. Här presenteras även deltagarnas verksamheter, reflektioner över projektet, dess effekter och respektive företags framtidsspaning för höga byggnader i trä.

Marie Johansson
Projektledare

Projektets startmöte på Teleborgs slott, 2015

INNEHÅLL

Förord 3
Innehåll 5

Koncept/Ramhandling 6
Konceptbyggnad 1 9
Konceptbyggnad 2 17

Bjerking 26
Brandskyddslaget 28
Briab 30
BTB 32
C.F. Møller Architects 34
Fristad Bygg 36
Masonite Beams 38
Moelven 40
White Arkitekter 42

Byggsystem och konstruktionsteknik 44
Brandsäkerhet 48
Livscykelanalys 52
Linnéuniversitetet 54
RISE 56

Referenser 58

KONCEPT RAMHANDLING

Projektet genomfördes som en konceptstudie av en byggnad med 22 våningar utförd med bl.a pelar-balksystem i limträ eller system baserat på massivträskivor. I projektet samverkade ett flertal aktörer med olika kompetens i projektering av konceptbyggnad och dimensionering av densamma. Genom att genomföra en praktisk projektering, och genomföra projekteringsmöten med samtliga inblandade parter vid ett flertal tillfällen under projekttiden, har man fått kunskapsöverföring mellan samtliga aktörer. Forskningsutförarna har medverkat som ett stöd i processen med detaljerade kunskaper inom skilda områden såsom Eurokod (laster, träkonstruktioner och brand), Finit Element modellering, brandskydd och Livscykelanalys.

RAMHANDLING

BBRs krav och allmänna råd gäller där inget annat anges. Gällande regler vid projektstart: BBR 2015 nr. 22 (Boverkets byggregler, BFS 2011:6 med ändringar t.o.m. BFS 2015:3) samt EKS 10 (BFS 2015:6).

BYGGNADEN

Två konceptbyggnader skulle tas fram, en med placering i Växjö och en med placering i Stockholm. Detta innebär en referensvindhastighet på 24 m/s och terrängtyp III. Från början sattes projektmål att byggnaderna skulle vara 22 våningar från marknivå eller över entreplan. Första versionen angav en total yta på ca 400 m^2 bruttoarea per plan samt förhållande Boarea/Bruttoarea på ca 0,75. Byggnaden skulle användas som bostäder med ca 4-5 lägenheter per plan. Byggnaden skulle antas placerad på berg för att undvika effekt av olika typer av grundläggning.

Den ursprungliga ramhandlingen föreskrev att byggsystem från alla tre byggsystemleverantörerna skall användas i någon av byggnaderna. För kontroll av miljöfaktorer så valdes byggnaden att värmas via fjärrvärme och med en specifik energianvändning på < 70 % av BBRs krav och en livslängd 100 år.

DISKUSSION

Tidiga diskussioner i projektgruppen visade på ytterligare några saker som blev förutsättningar. Byggnader med mer än 16 våningar innebär att man måste uppfylla kraven för byggnadsklass Br0 vilket innebär att byggnaden måste verifieras med analytisk dimensionering. Kravet innebar att arbetet måste ske med ett iterativt förfarande under designprocessen. Kraven på en byggnad över 8 våningar innebär att den måste kunna utrymmas utan räddningstjänstens medverkan. För ramhandlingen innebär detta att byggnaderna bör förses med två trapphus varav ett bör vara av typ Tr1. Detta innebär att det ska ha en brandsluss med direkt utgång till det fria. Det andra trapphuset kan utformas som ett Tr2-trapphus. Byggnaden måste också förses med en räddningshiss och utföras med sprinklersystem.

Diskussion kring byggsystemen tidigt i projektet gav också att det inte är möjligt att bygga över åtta våningar med plattformsbaserade byggsystem. Detta gör att bjälklagen inte kan placeras mellan väggar på två olika våningar och bära stora laster vinkelrätt fibrerna. Bjälklagen måste i denna typ av byggnad göras inhängda i väggsystem som i höjdled är kontinuerliga.

FÖRÄNDRINGAR AV RAMHANDLINGEN

Under projektets gång så visade det sig att den ursprungliga ramhandlingen var mycket svår att uppfylla. Ramhandlingen fick därför förändras på följande punkter:

- Om ej möjligt med 22 våningar med enbart trä så utgår konstruktionen från beräkning av max antal våningar med enbart trä och maximalt antal våningar med hisschakt av betong
- Sikta på 0,4 m^3 trämaterial per m^2 bjälklag men max. 0,5 m^3/m^2 (ekonomisk rimlighet)
- Beräkning av vindlast för fallet vindhastighet 24 m/s och terrängtyp II
- Egentyngd bjälklag kan antas till 2-3 kN/m^2, dvs de innehåller tyngd (sand/betong)
- Maximal horisontell deformation h/400 per våningsplan

Exempel på de tre byggsystemen, KL-träskivor från Fristad Bygg, sammansatta konstruktionselement från Masonite Beams och pelar-balksystem i limträ från Moelven Töreboda.

KONCEPTBYGGNAD 1

Bild: Mårten Lindquist

DELTAGANDE FÖRETAG:
WHITE ARKITEKTER
BTB

KONCEPTBYGGNAD 1 VÄXJÖ

VAD ÄR VIKTIGT ATT TÄNKA PÅ NÄR VI RITAR HÖGA HUS I TRÄ?

Vårt förslag tog sin början som en gemensam diskussion mellan arkitekt, konstruktör och träspecialist. Med grund i projektets ramhandlingsdokument blev våra ledord: Generalitet i planlösningar, frihet i fasad, exponerat trä, kompakt utförande, tydlig struktur och med föränderliga lägenhetsstorlekar.

Den tänkta placeringen i Växjö intill arenastaden och det gamla regementet ger vår konceptbyggnad möjligheten att signalera Växjös träbyggnads-kunskap vida omkring.

KONCEPTBYGGNAD 1

HÖGT OCH FLEXIBELT MED EN RATIONELL OCH STARK KÄRNA

Förslaget utgår från tanken om en rationell trästruktur som utnyttjar hela husets bredd, med grund i en stark kärna. Kärnan tillåts breda ut sig och omsluta hisshall, badrum och lägenhetsentréer för att huset ska få en stabil mittpunkt av styva KL-träelement. För att kunna tillgodogöra sig husets hela bredd konstruktivt, vilket är viktigt för de vindlaster som blir dimensionerande för byggnaden, kopplas kärnan ihop med fasaden i alla väderstreck genom utkragande KL-väggar.

Fasaden i övrigt är så öppen som möjligt, vilket tillåter gott om dagsljus och vackra utblickar över Växjö. Det grundläggande bärande systemet är tänkt att kunna tillgodose en flexibilitet i fasaduttryck. Kärnans KL-träväggar kompletteras med en bärande pelar/balk-struktur av limträ för lägenheterna som sträcker sig ut mot fasaden. Genom att utgå från en tydlig kärna med alla installationskrävande funktioner och vertikal kommunikation, kan fotavtrycket för fasaden varieras fritt för att tillåta en större eller mindre kostym för lägenhetsytorna. Den centrala kommunikationsaxeln uppmuntrar användning av trapphusen och ger utblickar i hela husets höjd. Högst upp ståtar den gemensamma takterrassen där en generös jordmån ger möjlighet till mycket grönska, men framförallt agerar som en tyngd för att det lätta trähuset ska få mer massa och kunna stå emot vindens påfrestningar. Med utgångspunkt i ett sprinklat hus, öppnas möjligheterna att visa upp träet såväl invändigt som i fasad. Den värmebehandlade limträfasaden visar upp sig mot omgivningen, och invändigt är träet synligt i de bärande pelarna, balkarna och väggarna.

FÖRUTSÄTTNINGAR RAMHANDLING

Fotavtryck: 400 m^2

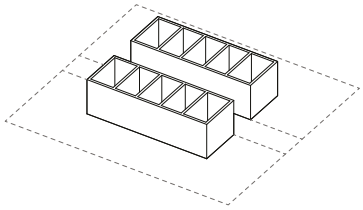
Höjd: 22 våningar

Användning: Bostäder

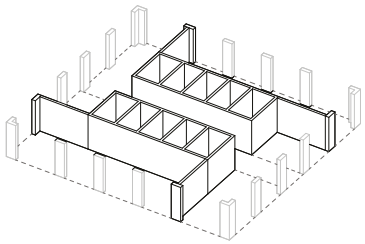
Lägenheter: min 4 per plan

Minsta andel trä: 85% (volym)

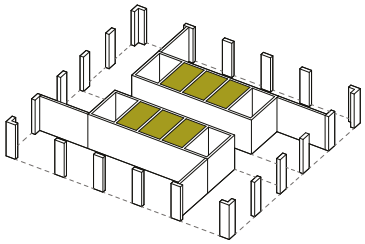
Den värmebehandlade limträfasaden exponeras i 20 av de 22 våningarna. Längst ner landar huset på en sockeldel i varmgrått tegel.



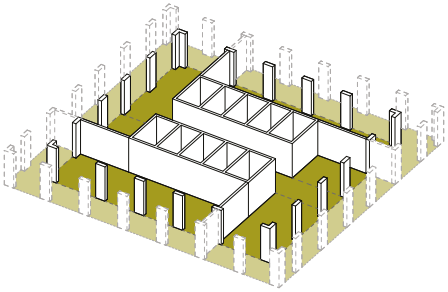
En stark kärna i massivträ med hisschakt och badrum bildar grunden för stommen.



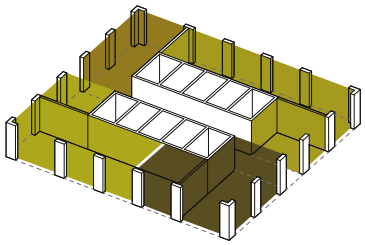
För att stabilisera konstruktionen binds kärnan samman med fasaden i strategiska punkter.



Våtenheter och installationskrävande delar placeras kring kärnan.

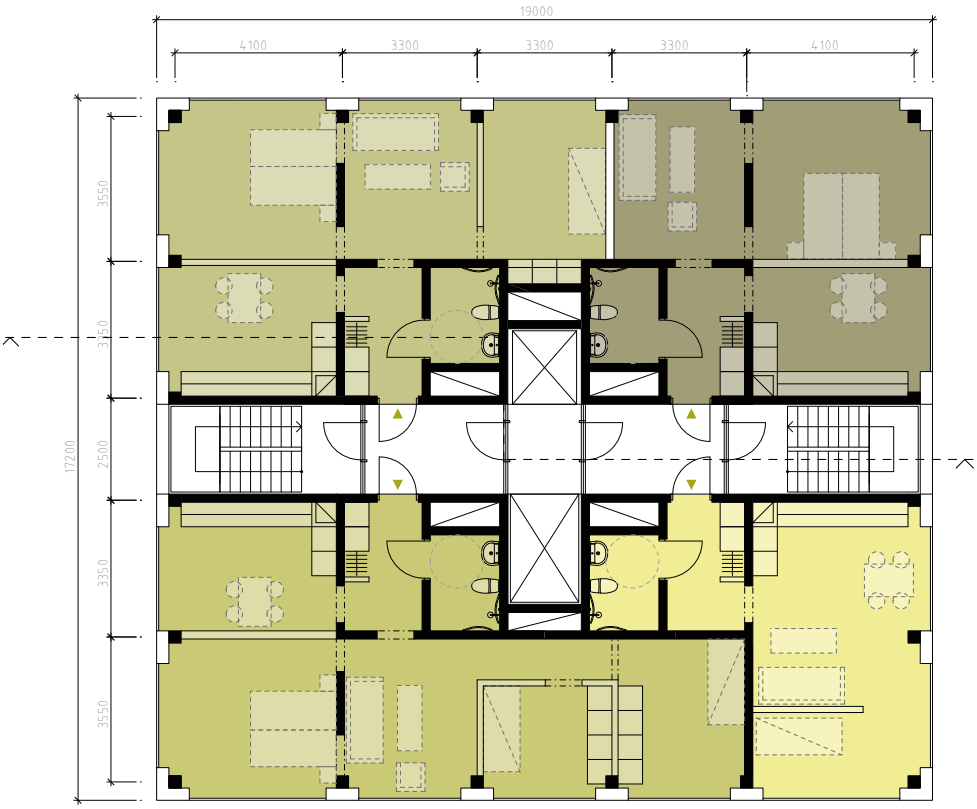


Med de centrala lägenhetsfunktionerna placerade i kärnan tillåts fotavtrycket vara flexibelt för att öka eller minska kostymen.

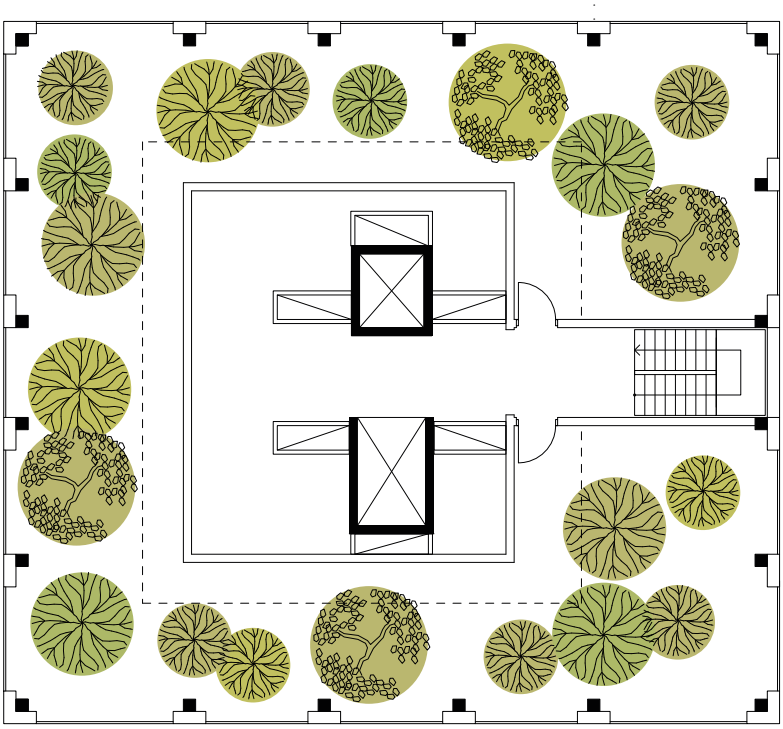


En variation i lägenhetsstorlekar är möjlig genom att flytta vägglägen inom ytorna kring kärnan.

TYPPLAN OCH TAKPLAN



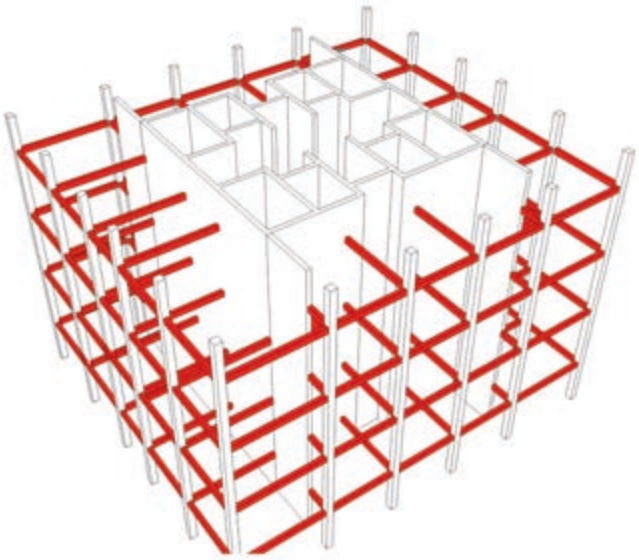
Typplan - på var sida om en ljus mittaxel med vertikal kommunikation är lägenheterna ordnade i en tydlig hierarki utifrån kärnan. Installationer och våtutymmen samlas centralt och tillåter vackra rumssamband och rundgångar med en flexibilitet i lägenhetsstorlekar.



Gemensam takterrass - högst upp i huset skapas en takterrass med möjlighet till samvaro i husets bästa läge. Terrassen förses med en generöst planterad yta där trädgårdens upp-byggnad också adderar behövlig tyngd till konstruktionen för att motverka vindlasternas krafter.

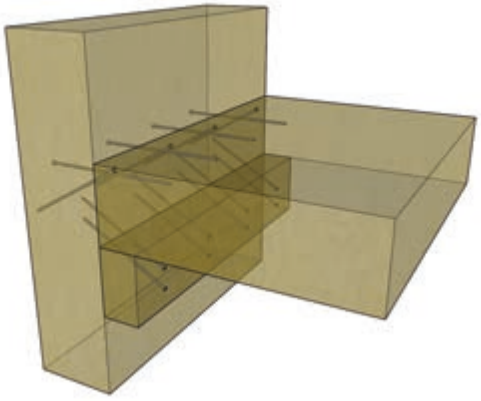
KONSTRUKTIONSPRINCIPER

Konstruktionsberäkningarna startade i första versionen med att utgå från en kärna i KL-trä med omgivande pelar-balk system för att bära upp bjälklagen ut mot fasad.



Beräkningarna visade dock ganska snabbt att denna princip inte var möjlig då svängningarna på de högre planen i byggnaden var högt över kravvärdena. BTB har därefter räknat igenom många modeller för att hitta en konstruktion som uppfyller kraven på svängningar.
De modeller som utvärderats:

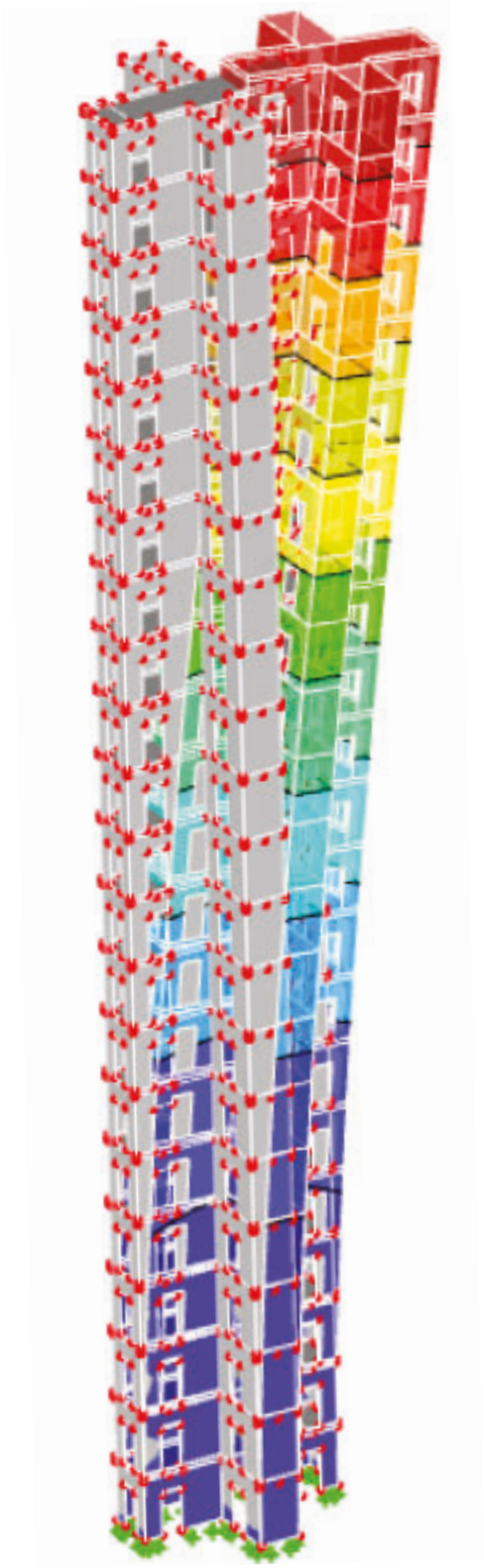
- Ökad mängd och tjocklek på KL-träväggar för stabilisering
- Pågjutning med betong för ökad massa
- Utföra hisschaktet i betong
- Olika varianter på styvhet i KL-träskiva och förband



En av de parametrar som har studerats är styvheten i skruvförband mellan olika KL-träskivor där man använt sig av flera olika styvheter. Resultaten visar att kraven på hållfasthet och statisk deformation för en 22 våningsbyggnad i KL-trä. Det är dock svårt att klara kraven för svängningar för 22 våningar. Däremot är det möjligt att bygga upp till 18 våningar i rent KL-trä med utnyttjande av stabiliserande väggar i både kärna och fasad men även för dessa byggnader är nödvändigt med extra massa på de övre våningsplanen för denna form på byggnaden.

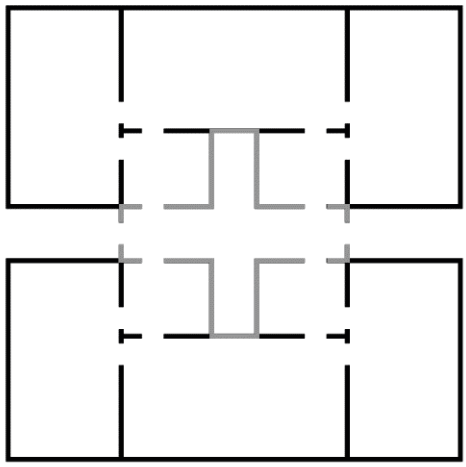
22 – VÅNINGSBYGGNAD MED KÄRNA I BETONG OCH KL-TRÄ

Den variant av byggnaden som klarade svängningsberäkningen för en 22 våningar hög byggnad utnyttjar betong i kärnan (grå väggar i bilden nedan) och bärande KL-träväggar i fasad (svarta väggar i planfiguren nedan).

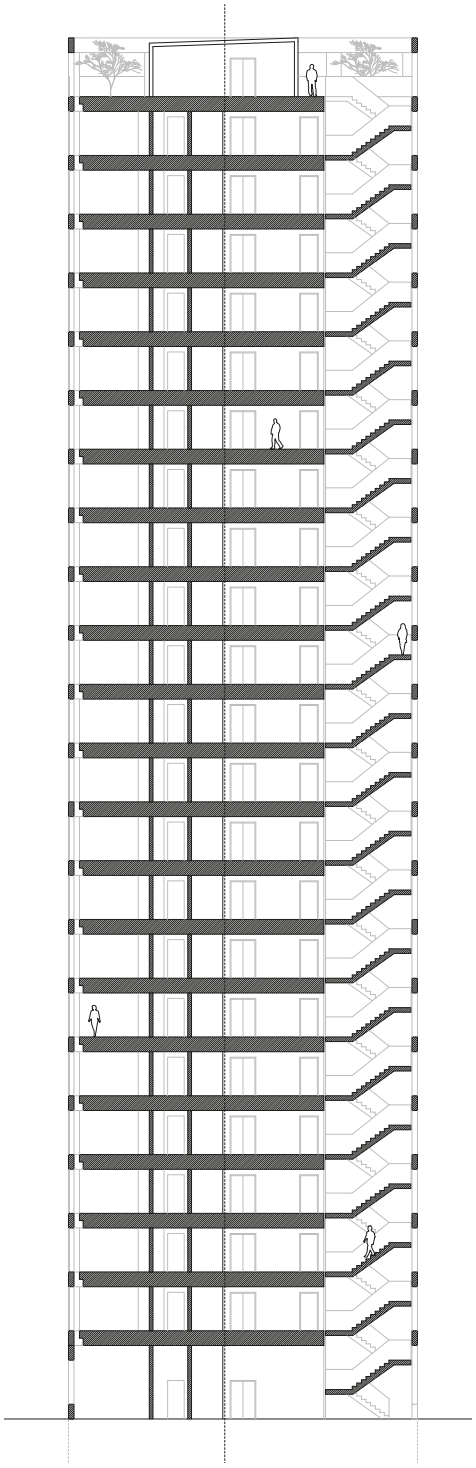


Byggnaden har då ett fotavtryck på 19 x 21 m och en våningshöjd på 3,4 m, vilket innebär en totalhöjd på 70,4 m. Kärnan behöver ha en tjocklek på betongväggarna på 400 mm för de 12 nedersta våningarna och 200 mm på plan 13-22. Därutöver så används bärande KL-träväggar med en tjocklek från 180 mm i nedre våningsplanen till 120 mm i de övre våningsplanen.

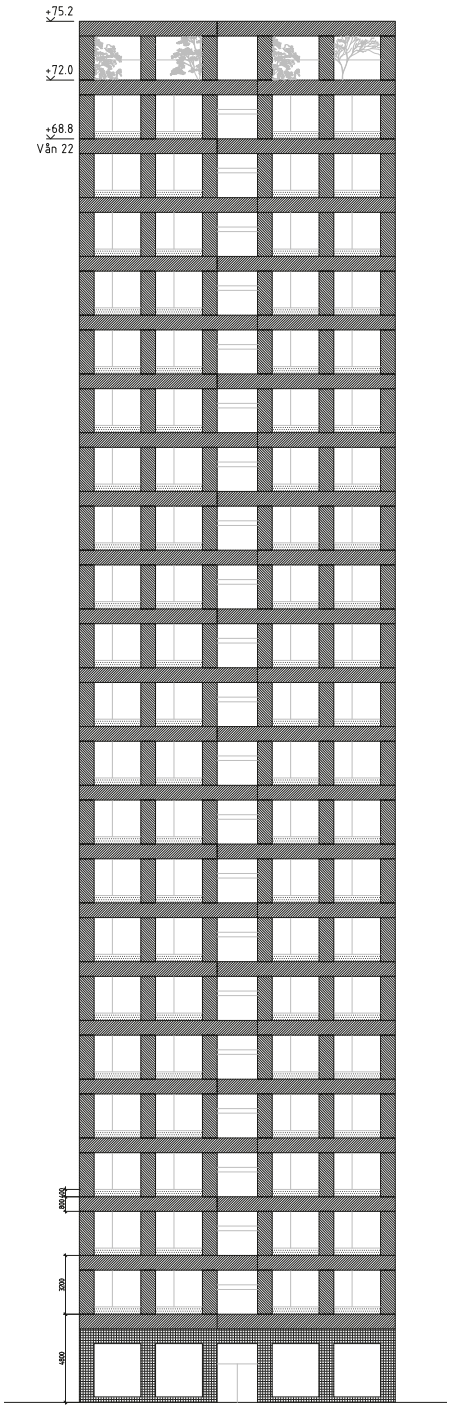
Denna byggnad har också använts vid en analytisk dimensionering av brandsäkerheten. Resultaten från denna analys visar att byggnaden måste förses med sprinklersystem i både privata och allmänna utrymmen.
Bärförmågan vid brand skall vara minst R90 vilket gör att stommen bör bekläs med en beklädnad med brandskyddande förmåga i minst 90 min där lämpligt material är gipskivor med fiberförstärkning. Detta för att förhindra att stommen blir involverad i brandförloppet.
I lägenheter kan 0,5-0,75 m^2 brännbart ytskikt per m^2 golvyta tillåtas.



SEKTION OCH FASAD



Saxad typsektion - ovan det förhöjda entréplanet är strukturen total, varje våning följer samma upprepning i grundläggande utförande. De två trapploppen i husets mittaxel skapar en karaktäristisk vertikal kommunikation som uppmuntrar till fysisk aktivitet och skapar en mer levande fasad.

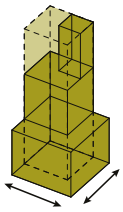


Typfasad - med utgångspunkt i en sammanhållen och stark kärna tillåts fasaden öppna upp sig och hanteras flexibelt i uttryck. I den första konceptskissen fick fasaduttrycket visa på möjligheten att glasa stora delar för att ge lägenheterna maximalt med ljus och utsikt.

HUR NÅR MAN HÖGT I TRÄ?

LÄRDOMAR FRÅN PROJEKTET

Resultaten visar att det är tekniskt möjligt att bygga höga hus i trä men att konstruktionen kommer att bli kraftig och måste genomföras i tidigt samarbete mellan arkitekt, konstruktör och brandkonsult. Det finns också ett antal lärdomar att ta med sig för att skapa en bra byggnad.

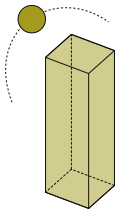


UTNYTTJA FOTAVTRYCKET

Det är en fördel att nyttja en stor del av fotavtrycket för att skapa stabilitet i byggnaden. När vindlasterna blir en avgörande del för styvheten är en byggnad med god förankring i grunden bra. Det kan till exempel åstadkommas genom en trappande form, eller lågdelar som tornet tar stöd i.

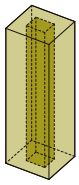
FASADEN ÄR EN VIKTIG DEL AV STRUKTUREN

För att fullt nyttja byggnadens bredd konstruktivt, är det en fördel att nyttja fasaden för att få styvhet. För att få ett bra resultat gäller det att arkitekt och konstruktör tidigt lägger upp möjligheterna till intressanta fasaduttryck som ger rätt förutsättningar.



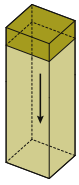
SLÅ VAKT OM DAGSLJUS OCH UTBLICKAR

Om fasaden nyttjas för styvhet är det viktigt att ha med sig tankar om att skapa goda möjligheter till dagsljus och utblickar, för att undvika risken att hamna i en alltför sluten volym.



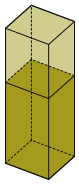
FUNDERA ÖVER OPTIMERING OCH HYBRIDLÖSNINGAR

Vid höga byggnader kan frågan ställas om rena trähus är det mest optimala. För att exempelvis minimera materialåtgång eller maximera användbar yta i huset kan en hybridlösning vara en bra väg, så länge träet ses som en grund där andra material kan förstärka i kritiska delar - exempelvis i kärnan.



SKAPA MASSA OCH DENSITET

Höga hus i trä har egenheten att väga lite - något som gör att de blir särskilt utsatta för vindlaster. För att dämpa den effekten behövs massa - och gärna högt upp. Här öppnar sig möjligheter för trähus att skapa en egen karaktär - där man kan arbeta med de övre planen som tyngre dämpare, i vårt förslag exempelvis med en trädgård på taket.



TÄNK PÅ ANVÄNDNING OCH VERKSAMHETER

Olika verksamheter i en byggnad har olika vibrationskrav, något som är avgörande för höga trähus. Bostäder ställer exempelvis högre krav än kontorsytor. För att uppnå höga trähus kan det finnas en poäng i att utnyttja de högre våningarna till verksamheter som tillåter vibrationer i högre grad.

KONCEPTBYGGNAD 2

DELTAGANDE FÖRETAG:
C.F. MØLLER ARCHITECTS
BJERKING

Bild: Christopher Stark

KONCEPTBYGGNAD 2
STOCKHOLM

KONCEPTBYGGNAD 2

Det vinnande tävlingsförslaget, ritat av C.F. Møller Architects*, för HSBs jubileumsprojekt var med och inspirerade till forskningsprojektet Tall Timber Building. I och med det 100 meter höga bostadshuset i trä väcktes ett stort intresse från byggvärlden och ett behov av möjligheten att bygga framtidens flervåningshus med stomme av trä. Forskningsteamet samlades runt ett koncept med målet att arbeta innovativt för att uppnå vår gemensamma vision. Fokus har varit innovation, och målet har varit att utveckla möjligheterna att bygga höga hus med stomme av massivträ - betraktat i perspektiv av samtliga discipliner från byggbranschen. Genom ett intensivt multidisciplinärt forskningsarbete har resultaten bidragit med ny kunskap som är med och lyfter framtidens industriella träteknik mot nya höjder.

FRAMTIDENS BOENDE

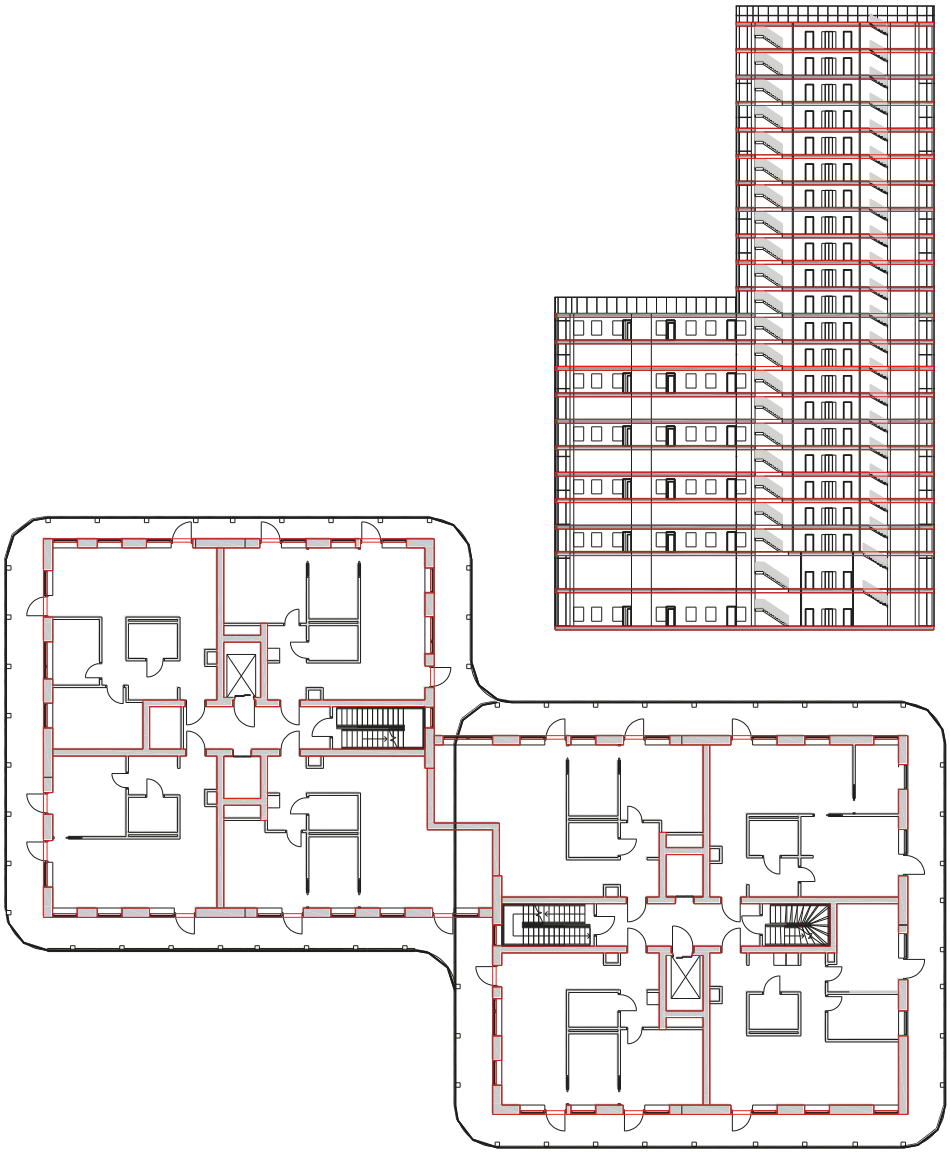
I vår vision för konceptbyggnaden tillåts det framtida boendet individuella avtryck, samtidigt som dess ekologiska avtryck ska vara minimalt. Bostaden ska också erbjuda mycket mer än vad som ryms inom lägenhetens fyra väggar. Förutom vackra, funktionella och flexibla rum ska bostaden ge en ökad livskvalitet genom att sammanväva de boendes, bostadsföreningens och stadens liv och skapa värdeskapande synergier.

Bostadshöghuset, som är ritat till Stockholms nya stadsdel Hagastaden, är tänkt både som ett landmärke i den nya stadsdelen samt som en attraktiv destination i staden. Kravet på konstruktionen är att möjliggöra flexibla och öppna lägenhetsplaner med generös tillgång till dagsljus. Kombination av massivträkonstruktion och pelare- och balksystem av trä möjliggör en layout med en tyngre stabiliserande kärna och lättare konstruktion längs zonerna närmast fasaderna. Korslimmade träskivor infogas närmast byggnadens kärna och pelar- och balkkonstruktion i en dubbelskalsfasad. Dubbelskalsfasaden med längsgående inglasade balkonger bryter gränsen mellan interiör och utemiljö. Inglasningen och balkongerna skyddar samtidigt konstruktionen och träfasaderna från yttre påverkan.

** C.F. Møller Architects i samarbete med DinellJohansson.*

KONSTRUKTIONSPRINCIPER

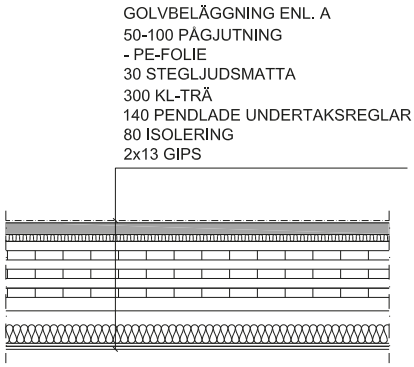
Konstruktionen i konceptbyggnad 2 består av ett punkthus som består av en lägre del som är 11 våningar hög och en högre del som är 22 våningar hög. Stommen byggs med korslimmade skivor (KL-trä) i väggar och bjälklag. Ett flertal modeller testades men den slutliga versionen innebär att samtliga väggar medverkar i det stabiliserande systemet. För denna byggnad så har man också rundat av hörnen via de inglasade balkongerna.



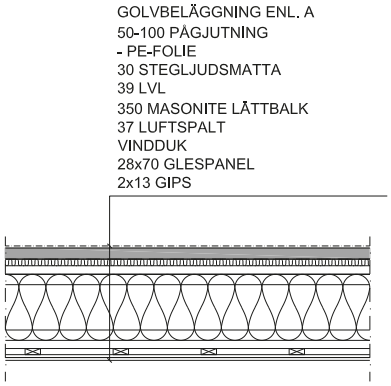
Samtliga bjälklag (rödmarkerade) används för att föra horisontella laster från den vindbelastade ytan till den stabiliserande strukturen. Planen för den lägre delen av byggnaden innebär sammankoppling mellan de två byggnaderna så att de stöttar varandra. Samtliga väggar (rödmarkerade) används som stabiliserande väggar.

BJÄLKLAG, VÄGGAR OCH KNUTPUNKTER

Bjälklagen konstrueras med en KL-träskiva som är lastbärande. Därutöver konstrueras bjälklaget för att uppfylla kraven på akustik och brandskydd. Pågjutning ökar bjälklagets massa vilket ger en förbättrad akustisk prestanda och reducerar svängningar i byggnaden vid höga vindstyrkor. Huset stabiliseras genom skivverkan, där KL-träskivorna i bjälklaget är styva och för över horisontella laster till de stabiliserande väggarna som för ner lasterna till grunden. Det finns alternativ för att uppnå önskade egenskaper i höga trähus. Två alternativa bjälklagslösningar redovisas nedan. En med pågjutning på KL-skiva och en med pågjutning på samverkansbjälklag bestående av lättbalkar med skruvad LVL-skiva.

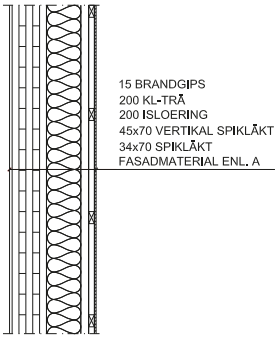


KL-träbjälklag med pågjutning

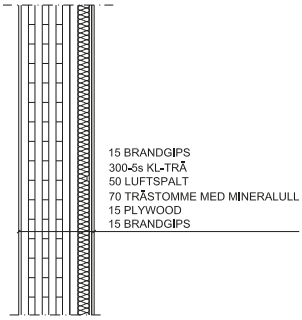


Bjälklag med lättbalkar med pågjutning

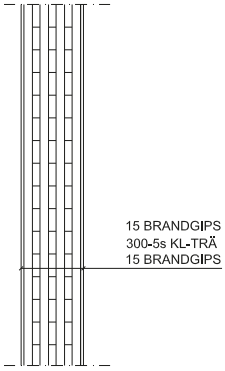
Väggar kan konstrueras på några olika sätt, dessa måste förutom sin bärande förmåga också konstrueras med hänsyn till akustik och brandskydd.



Bärande ytterv ägg

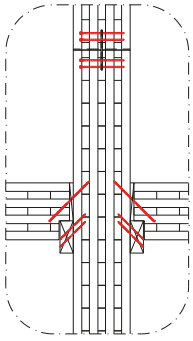


Lägenhetsskiljande vägg

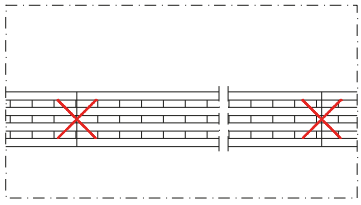


Bärande innervägg

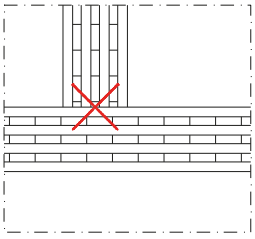
För att minska sättningar i byggnaden på grund av krympning och krypning så hängs bjälklagen in. På detta sätt undviks tryck vinkelrätt i fibrerna i bjälklagsskivorna.



Horisontalskarv i vägg och infästning golv-vägg



Längdskarv i väggskivor

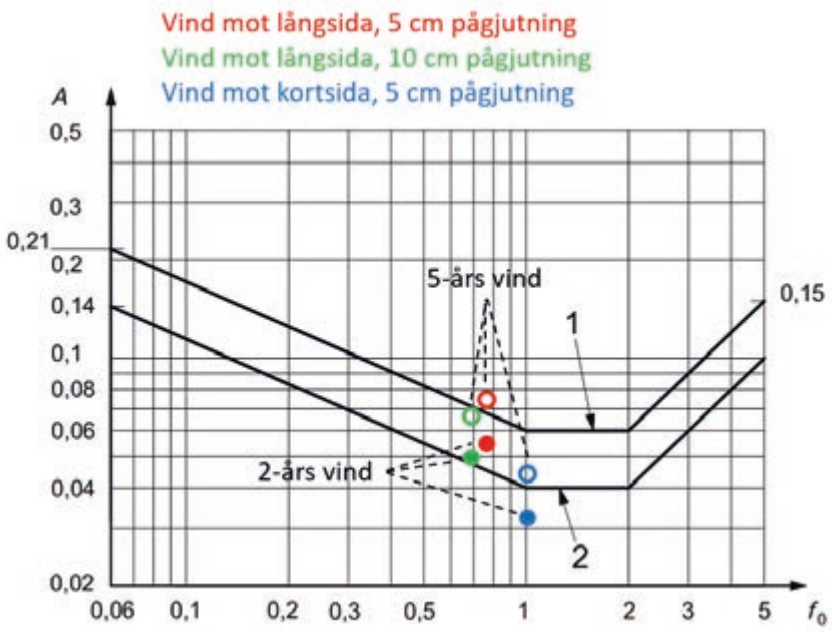


Infästning vägg-vägg

UTREDNING AV STABILISERANDE SYSTEM

Stor vikt har lagts på att säkerställa att stommen för den föreslagna byggnaden går att utforma på sådant sätt att byggnadens dynamiska respons med avseende på vindlast klarar de normkrav som ställs i ISO 10137.

Accelerationsberäkningarna för byggnaden är gjorda med följande förutsättningar: Byggnaden är utsatt för en referensvindhastighet på 24 m/s och terrängtyp II. Accelerationsberäkningar är utförda enligt Eurokod 1991-1-4 Annex B och kontrollerade mot ISO 10137 med både 2-årsvind (18,7 m/s) och 5-årsvind (20,5 m/s). Dämpningen är satt till 1,9% vilket motsvarar ett logaritmiskt dekrement på 0,12. I beräkningen av egenfrekvens har stumma förband antagits. Med 2-årsvind och 10 cm pågjutning klarar byggnaden upp till 20-våningar med hänsyn till svängningar. Nedan redovisas värden för byggnadens översta plan i diagrammet från IS0 10137.



LASTFÖRUTSÄTTNINGAR:

Nyttig last: 2,0 kN/m² ($\psi_2 \cdot 2 = 0{,}6$ kN/m²)

Egentyngd ytterväg: 0,5 kN/m² + KL-trä = 1,3 kN/m²

Egentyngd innervägg: 0,5 kN/m² + KL-trä = 1,7 kN/m²

Egentyngd bjälklag: 0,4 kN/m² + KL-trä + 50 mm betong = 2,85 kN/m²

Egentyngd bjälklag: 0,4 kN/m² + KL-trä + 100 mm betong = 4,10 kN/m²

SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

Geometri: avrundade hörn är fördelaktigt liksom stöttning av lägre byggnadskropp.
Samverkan: stumma förband och inga separerade stommar är fördelaktigt.

Byggnadsort och läge har stor inverkan på möjligheten att uppfylla kraven på acceleration. För att klara accelerationskraven behöver massan ökas utöver trästommens egentyngd för att klara kraven. Kraven på akustik gör dock att 5-10 cm betong på bjälklagen kommer att behövas ändå. Då kravnivåerna är olika beroende på användning kan det vara lämpligt att göra exempelvis kontor på de översta våningsplanen. Bostäder innebär strängare krav på responsen. Det är möjligt att styva upp tornen ytterligare genom att på tornets fria sida (ej stabiliserat av lågdel) konstruera ett fackverk i fasad.

BJERKING

VILKA ÄR NI?

Bjerking är Sveriges äldsta medarbetarägda teknikkonsultföretag, grundat 1943 i Uppsala. Vi är heltäckande inom bygg och anläggning och erbjuder kvalificerade konsulttjänster inom samhällsbyggnad. Vi är ca 400 medarbetare, med kontor i Uppsala, Stockholm och Enköping. Byggnadskonstruktion har varit en del av företaget från allra första början. Idag arbetar ca 60 konstruktörer på våra konstruktionsenheter. Här ingår träteamet som jobbar med allt ifrån småhus och takstolsberäkningar till större KL-trä- och limträstommar till flerbostadshus, skolor, vårdboenden och kontorshus.

VAD HAR PROJEKTET GETT FÖR RESULTAT?

Förhoppningen om att lära sig mer om träbyggande genom att medverka i projektet har infriats. Projektet har höjt kunskapsnivån inom företaget och stärkt konkurrenskraften som träkonstruktör i branschen. Projektet har resulterat i att man idag har en beräkningsmodell som kan användas för att dimensionera, i alla fall 22 våningar, höga hus med trästomme för vindlaster.

HAR PROJEKTET GETT FÖLJDEFFEKTER?

Bjerking hade redan ett stort nätverk inom träbyggbranschen och arbetar med många trähusleverantörer. Projektet har ändå breddat nätverket speciellt med avseende på forskning och utveckling och man har fortsatt sitt samarbete med arkitekterna på C.F. Møller Architects. Idag medverkar man också i ett annat forskningsprojekt som handlar om påbyggnader, *Timber on Top*.

REFLEKTION OCH FRAMTIDSSPANING

Arbetet har gjort det möjligt att gräva ner sig i beräkningsmodellerna för dimensionering för vindlaster. Det har varit positivt att gemensamt i projektet komma överens om hur man ska hantera problemställningarna. Det återstår dock att klargöra och förtydliga om det är den nationella eller den europeiska normen som ska användas för dimensionering för vindlaster. Att ha två metoder på olika nivåer skapar osäkerhet. Det pågår en kapplöpning för att bygga högre. Även om det inte kommer att byggas så många riktigt höga hus med trästomme är det viktigt att spänna bågen för att driva utvecklingen framåt.

Björn Johanson
Avdelningschef Fastighetsutveckling

Niklas Stenlund
Teamledare träkonstruktion

Frida Tjernberg
Träkonstruktör

Markus Nyström
Träkonstruktör

Arkitekt och bild: White Arkitekter

”Vi har en beräkningsmodell som kan användas för att dimensionera, i alla fall 22 våningar, höga hus med trästomme för vindlaster”

Magasin X, Uppsala, 2018

”Viktiga områden att fortsätta utveckla är exempelvis limmer för KL-trä som används för byggnader över 16 våningar.”

Trikåfabriken, Stockholm, 2019

Bild: Mårten Lindquist

BRANDSKYDDSLAGET

VILKA ÄR NI?

Brandskyddslaget har skyddat människor och säkrat värden sedan 1989. Idag är vi ett av Sveriges största fristående konsultbolag inom brandskydd, riskhantering och sprinklerprojektering med 80 medarbetare och kontor i sju städer. Vi ingår i samma koncern som Brandtec, RiskTec Projektledning och Process Safety Group.

VAD HAR PROJEKTET GETT FÖR RESULTAT?

Om man ska bygga något så högt som 22 våningar i trä är en BR0-analys nödvändig. I projektet har man arbetat i nära samverkan med Briab, som vanligtvis är en konkurrent. Man har tillsammans och i samverkan med forskarna genom litteraturstudier och omvärldsbevakning av aktuella produkter och system bildat sig en uppfattning om dagens kunskapsläge för hur man ska gå tillväga för att dimensionera höga hus med trästomme, men också behovet av fortsatt forskning och produktutveckling. Att sammanställa vad man ska tänka på som konstruktör i liknande projekt är bra. Kontakten med tillverkarna och dialogen med forskarna har varit värdefull.

HAR PROJEKTET GETT FÖLJDEFFEKTER?

Nätverket som man fått under projektet är en positiv följdeffekt. Framför allt har projektet resulterat i stärkt samverkan mellan Brandskyddslaget och Briab, som i vanliga fall är konkurrenter. En effekt av det har varit att man tillsammans har genomfört ett SBUF- projekt.

REFLEKTION OCH FRAMTIDSSPANING

Brand har varit mindre del av projektet, som har haft stort fokus på konstruktionsfrågor. Brand innefattar mycket mer än bara skydd av konstruktionen/stommen. I ett verkligt projekt finns också installationer som ofta är en utmaning med avseende på brand och innebär mycket arbete för brandkonsulten. Viktiga områden att fortsätta utveckla är exempelvis limmer för KL-trä som används för byggnader över 16 våningar, men också brandstopp. Dessutom är entreprenadsskedet viktigt att beakta för brand eftersom stommen då inte har ett komplett brandskydd förrän gipsskivor och eventuell sprinkler kommit på plats.

Björn Andersson
Brandskyddskonsult/Marknadschef

Lisa Broberg
Brandingenjör

John Hultquist
Civilingengör bärande konstruktioner

BRIAB

VILKA ÄR NI?

Briab erbjuder tjänster och produkter inom riskhantering. Vårt ursprung inom brandskydd är idag kompletterat av VVS projektering, forskning och utveckling samt riskhantering i verksamheter och vid samhällsplanering. Briab har medverkat i projektet genom Caroline Eriksson Lantz, Björn Evers, Johan Norén och Fredrik Nystedt där Fredrik har varit ansvarig för vårt arbete. Gruppen har både bred och djup kompetens i brandskyddsfrågor med erfarenhet från utveckling av våra byggregler till lösningar för detaljer.

VAD HAR PROJEKTET GETT FÖR RESULTAT?

Arbetet har gjort det tydligt att det är en stor utmaning att bygga höga träbyggnader. För att det inte ska begås misstag eller fel i framtiden finns ett stort behov att tydliggöra kunskapsläget och de kunskapsluckor som finns. Projektets resultat i form av en kunskapssammanställning är viktig för att skapa en förståelse för de utmaningar som behöver hanteras när vi bygger högt i trä. Projektet har bidragit till utveckling av ny kompetens och kunskapshöjning inom Briab.

HAR PROJEKTET GETT FÖLJDEFFEKTER?

Projektarbetet har genomförts i nära samarbete tillsammans med Brandskyddalaget och skapat samsyn kring hur man ska angripa problemet, vilket känns bra. En spinn-off effekt är att Briab tillsammans med Brandskyddslaget genomfört ett SBUF-finansierat utvecklingsprojekt om verifiering av brandskydd i mycket höga träbyggnader. Det har varit lärorikt att få ta del av arkitekters och andras strävan att bygga högre med trä. Arbetet har gett en större förståelse för de utmaningar som olika discipliner har med högt trähusbyggande.

REFLEKTION OCH FRAMTIDSSPANING

Utförande av brandskyddet i mycket höga träbyggnader saknar allmänna råd i byggreglerna och allt ansvar för utformningen ligger hos byggherren. När det saknas allmänna råd att förlita sig på, i kombination med att några träbyggnader av detta slag hittills inte har uppförts, finns det ingen praxis eller samsyn kring hur man ska projektera för brand. Detta skapar en osäkerhet för projektörer som bör uppmana till försiktighet. För traditionella (obrännbara) stommaterial är kunskapen större. För att utvecklingen ska gå framåt är kunskapsspridningen till andra aktörer viktig. Framför allt budskapet om att för det inte finns ställda kravnivåer att förhålla sig till vid dimensionering av mycket höga träbyggnader. Man bör först hitta lösningar för lägre träbyggnader och bygga kunskap nerifrån och upp snarare än att sträva mot himlen. I praktiken är nästa steg att bygga upp till 16 våningar högt.

Caroline Eriksson Lantz
Brandskyddsprojektör
(Numera Storstockholms brandförsvar)

Björn Evers
Brandskyddsprojektör

Johan Norén
Affärschef New Technologies

Fredrik Nystedt
Teamledare

”Man bör först hitta lösningar för lägre träbyggnader och bygga kunskap nerifrån och upp snarare än att sträva mot himlen.”

Bild: Briab

Bild: Ida Gyulai

”Är det möjligt att projektera och bygga billigare med trä?”

Integralen 6 - Vallastaden, Linköping, 2018

BTB

VILKA ÄR NI?

BTB är ett expansivt företag, konsulterande inom byggsektorn. Vi är idag drygt 130 medarbetare. Vi har bred erfarenhet inom olika projektområden så väl nybyggnad som om- och tillbyggnad. Våra projekt omfattar alla skeden inom husbyggnadsområdet med inriktning på byggnadskonstruktion, stomprojektering, byggteknik, grundläggning samt geoteknik.

VAD HAR PROJEKTET GETT FÖR RESULTAT?

Projektet har gett möjlighet till att jobba med många olika aktörer inom träbyggbranschen, flera olika konsultfack och material-/systemleverantörer. Medverkan i projektet har höjt den interna kompetensen inom träbyggande. För att lära sig ännu mer om KL-trä har man genomfört ett internt seminarium tillsammans med Stora Enso för alla konstruktörer på BTB. Arbetet har resulterat i underlag för en intern ramhandling på företaget med beskrivning av vilka förutsättningar som behöver tas hänsyn till vid dimensionering av höga hus, vilket också är till nytta för höga hus med betongstomme.

HAR PROJEKTET GETT FÖLJDEFFEKTER?

En effekt av projektet är att det inneburit en slags marknadsanalys av BTBs kunskapsposition i branschen. Två examensarbeten om förband i trähuskonstruktioner har genomförts, men fler har varit intresserade av att kunna gör examensarbeten. Nätverket som skapats i projektet har lett till nya projekt tillsammans med White. Idag medverkar man dessutom i många sammanhang för träbyggande med presentationer exempelvis inom TränätverkA och hos NCC. Man har uppdrag som innebär att förbereda och beskriva förutsättningar för arkitekttävlingar som kan innebära byggande med trästomme.

REFLEKTION OCH FRAMTIDSSPANING

Bra med en ”guide lines” som tidigt sammanfattar för- och nackdelar med olika träbyggsystem, som för projektörer beskriver de fallgropar som finns på vägen när man ska gestalta och dimensionera en byggnad med trästomme. Det måste finns ett systemfel i byggbranschen då den ger Europas dyraste byggnader. Är det möjligt att projektera och bygga billigare med trä?

Nicolas Jacquier
Handläggande konstruktör

Tom Almqvist
Handläggande konstruktör

C.F. MØLLER ARCHITECTS

VILKA ÄR NI?

C.F. Møller Architetcs är ett av Skandinaviens ledande arkitektkontor, med över 90 år av prisbelönta projekt i norden och globalt. Totalt har C.F. Møller idag cirka 300 anställda. Förutom kontoret i Stockholm har C.F. Møller kontor i Malmö, Oslo, London, Berlin, Århus, Köpenhamn och Aalborg

VAD HAR PROJEKTET GETT FÖR RESULTAT?

Det har varit positivt att tillsammans med forskare få vara med och utmana byggbranschen miljömässigt och innovativt, utforska gränsen för vad som är möjligt att bygga med trä. Projektet hade höga ambitioner och har kanske inte kommit fram till konkreta lösningar, men har identifierat utmaningarna och vad som är viktigt att tänka på när man går in i ett träbyggnadsprojekt.

Dialogen och samtalen under projektet har varit viktiga. Arbetet tillsammans med de andra projektdeltagarna har lett till att det idag finns en kärntrupp med kompetenser som man kan vända sig till, inte bara inom näringslivet utan också inom institut och akademi.

HAR PROJEKTET GETT FÖLJDEFFEKTER?

Medverkan i forskningsprojektet har stärkt CF Møllers arbete med att profilera sig som trä-arkitekter och skapat ringar på vattnet som resulterat i att man kommit med i olika forum för träbyggand, som talare och expert, nationellt och internationellt. Samarbetet med BTB och andra i forskningsprojektet bidrog till genomförandet av projektet Kajstaden i Västerås, som precis färdigställts.

REFLEKTION OCH FRAMTIDSSPANING

Vid tidpunkten när projektet startade var tanken att bygga högt med trä mer exotisk än idag. Kunskapen hos arkitekter var inte lika utbredd eller etablerad. I dialogen med byggherrar har deltagandet i forskningsprojektet hjälpt till att ge tyngd till argument för att välja trä. Under projektets gång har intresset och kunnandet i omvärlden ökat, men kunskap saknas fortfarande. För att kunna öka byggandet med trä krävs det att man inför träbyggande som en tydlig del i utbildningarna på högskolor och universitet.

Ola Jonsson
Associerad Partner/Arkitekt

Sara Nilsson
Arkitekt

”I dialogen med byggherrar har deltagandet i forskningsprojektet hjälpt till att ge tyngd till argument om att välja trä.”

Bild: Nikolaj Jakobsen

Kajstaden, Västerås, 2018

”Vi ser positivt på utvecklingen med flera leverantörer av KL-trä i Sverige.”

Frostaliden, Skövde, 2018

Bild: Fristad Bygg

FRISTAD BYGG

VILKA ÄR NI?

Fristad Bygg är ett byggföretag i Sjuhäradsbygden som med stort engagemang driver projekt från idé till färdigställd byggnation. Vi utför allt från nybyggnation till ombyggnation och renoveringar. I total- eller generalentreprenad leder vi arbetet och samordnar alla inblandade parter. Våra engagerade och kunniga medarbetare tar alltid ett stort personligt ansvar och hänsyn till pågående verksamheter.

Vi bygger ofta och gärna i trä, men inte bara. Vår vision att uppnå hållbart byggande har vi haft med oss sedan starten 1941. Fristad Bygg har konstruerat och byggt i KL-trä sedan 2004, Vi har därmed utvecklat en bred kunskapsbas om trä som hållbar byggmetod, vilket innebär att vi även kan kombinera stommar av KL-trä med traditionell träbyggnation.

VAD HAR PROJEKTET GETT FÖR RESULTAT?

Fristad Bygg gick med i projektet för att utmaningen var spännande, även om man för tillfället inte avser att bygga så höga hus som 20 våningar, utan hålla sig på 7-8 våningar, är det viktigt att ha koll på utvecklingen och lära sig mer och nytt om att bygga med KL-trä. Detta då det händer nya saker i branschen hela tiden. Dessutom har man alltid fokuserat på att få ut information och dela med sig av sina erfarenheter till fler om träbyggandet och dess fördelar, både till allmänheten, men också till andra entreprenörer och aktörer i byggbranschen.

Från projektet kommer framför allt arbetet med brand att vara till nytta i verksamheten. Informationsutbytet mellan projektdeltagarna har varit givande och de ökade kontakterna positivt att få med sig.

HAR PROJEKTET GETT FÖLJDEFFEKTER?

Ett av projektmötena hölls i Skövde och under den dagen arrangerades ett studiebesök i de två husen på Frostaliden som Fristad Bygg medverkat i. Roligt för Fristad Bygg och förhoppningsvis lärorikt och intressant för projektet. Det positiva från projektet är att det skapats kontakter som kan ge effekter i framtiden. Under tiden som projektet pågått har byggandet med KL-trä tagit fart på allvar. Konsekvensen har blivit att man har mycket att göra och tyvärr inte har resurser att lägga på nya FoU projekt.

REFLEKTION OCH FRAMTIDSSPANING

Fristad bygg har byggt med KL-trä sedan många år och var i början generalagentur för KLH, en österrikisk leverantören av KL-trä. Idag köper man in KL-trä från många olika leverantörer och ser positivt på utvecklingen med flera leverantörer av KL-trä i Sverige. En sammanfattande handbok som stöd till de som avser att bygga med trästomme är bra för att öka kompetensen i hela byggbranschen och bidra till ökat träbyggandet. En trång sektor idag för träbyggandet är bristen på kompetens om träbyggande bland konstruktörer.

Adam Kihlberg
Affärsområdeschef KL-trä

MASONITE BEAMS

VILKA ÄR NI?

Masonite Beams AB är den ledande producenten av I-balkar i Europa. All produktion sker i Rundvik, mellan Umeå och Ö-vik i Västerbotten. Masonite Beams har systemlösningar för väggar och bjälklag. De olika konstruktionselementen kopplas samman på ett rationellt sätt med innovativa anslutningsbeslag. Samverkanselementen och de innovativa beslagen har erhållit patent och finns i ett flertal modeller avsedda för olika laster, ljudkrav och spännvidder.

VAD HAR PROJEKTET GETT FÖR RESULTAT?

Deltagarna har fått en ökad förståelse för de svårigheter och utmaningar som det innebär att bygga högre med en stomme av trä. För Masonite Beams har projektet framför allt gett input och riktning till det pågående utvecklingsarbetet med att inkludera byggnader mellan fyra till åtta våningar i sin systemhandbok. Det innebär i praktiken utveckling av standardiserade lösningar för knutpunkter, men också utveckling av verktyg för dimensionering för projektörer både för de egna ”in-house” men också för de på konsultföretag och de som använder Masonites produkter i sin produktion av byggnadselement. Det behövs generellt en ökad kunskap om träbyggande framförallt hos konstruktörer. Projektets ”Best practice guide” kommer därför vara ett värdefullt hjälpmedel för de som planerar att ge sig på att bygga högre bärande stomme av trä.

HAR PROJEKTET GETT FÖLJDEFFEKTER?

Som en följd av projektet har Masonite Beams tillsammans med Bjerking genomfört flera byggprojekt och Bjerking deltar också praktiskt i Masonites utvecklingsarbete för byggsystem för höga hus. Samverkan med Bjerking och deras ökade kunskap om Masonites produkter har gett och ger också ringar på vattnet och sekundära effekter då Bjerking agerar konsult i träbyggprojekt generellt.

REFLEKTION OCH FRAMTIDSSPANING

Med ökande fokus på träbyggande i byggsektorn och höga hus med trästomme, är det viktigt att samverka, sprida kunskap och dela med sig av resultat, både de bra och dåliga erfarenheterna. Det hade varit önskvärt med någon slags fortsättning på projektet som hade möjliggjort fortsatt dialog och erfarenhetsutbyte för intressenter som vill bygga högre med trä.

Tommy Persson
Teknikchef

Alfred Wikner
Kvalitets- och produktingenjör

”Önskvärt med någon slags fortsättning till projektet som hade möjliggjort fortsatt dialog och erfarenhetsutbyte för intressenter som vill bygga högre med trä”

Bild: Masonite Beams

Bild: Moelven

”Det har varit bra att få fördjupad kunskap om hur de i projekteringsledet tänker och vad de har för motiv för sina val av lösningar.”

Mjöstårnet, Norge, 2019

MOELVEN

VILKA ÄR NI?

Moelven Töreboda startades 1919 och är idag världens äldsta limträfabrik. En fabrik och ett material som kanske är mer aktuellt än någonsin. Vi har vår verksamhet på en vacker tomt utmed Göta Kanal mitt i Töreboda. Här bedriver vi avancerad verksamhet i en toppmodern miljö där vi både konstruerar och producerar bärande träkonstruktioner för alla tänkbara ändamål. Det omfattar hallar, träbroar och inte minst vårt innovativa byggsystem Trä8 för flervåningshus trästomme. Vi har bestämt oss för att göra vad vi kan för ett hållbart byggande. Det viktigaste är att använda så lite material som möjligt. Sedan vill vi absolut använda trä överallt, men vi är inte rädda för att kombinera trä med stål och betong - om det ger det bästa slutresultatet.

VAD HAR PROJEKTET GETT FÖR RESULTAT?

Projektet har gett inblick i mycket, särskilt branddimensionering och dynamiska beräkningar för vindinducerade svängningar. Intressant har också varit jämförelsen av olika stomsystem, KL-trä skivor alternativt fackverk av limträ, liksom hur mängden använt trämaterial i stommen hänger ihop med prestandan. Sammanställningen av olika knutpunkter och särskilt testerna av knutpunkter för limträ med balkskor i rumstemperatur och brand är av stor nytta för Moelven.

HAR PROJEKTET GETT FÖLJDEFFEKTER?

Att lära känna andra aktörer både inom projektering och bland leverantörer har varit bra. Framför allt har det varit bra att få fördjupad kunskap om hur de i projekteringsledet tänker och vad de har för motiv för sina val av lösningar. För leverantörer av träbaserade stommar är det viktigt att konsultkåren kan göra beräkningar för byggnader med trästomme. Idag är det brist på konstruktörer som kan materialet trä. Det har blivit en fortsättning på projektet för Moelven genom att man är med i en ny ansökan för forskningsprojekt för brandtester av beslag/knutpunkter.

REFLEKTION OCH FRAMTIDSSPANING

Det finns en komfortzon med avseende på höjd för hus med trästomme, och Moelven vill gärna vara med och spänna bågen för att nå högre. Det är ett arbete som driver utvecklingen också inom byggandet av lägre byggnader. Det har varit stor tyngd på stommar med KL-trä i projektet, men mer renodlade limträkonstruktioner har ändå stor potential med tanke på att Treet och Mjöstornet är baserade på fackverkskonstruktioner av limträ.

Johan Åhlén
VD

Thomas Johansson
Forsknings- & utvecklingschef

Erik Johansson
Konstruktionschef

WHITE ARKITEKTER

VILKA ÄR NI?

På White är vi drygt 800 medarbetare som skapar arkitektur som engagerar, bidrar till en hållbar livsstil och sätter människan i centrum. Sedan 1951 utmanar vi med nyskapande arkitektur och bygger ett samhälle där alla får utrymme att växa. Och vi gör det tillsammans.

VAD HAR PROJEKTET GETT FÖR RESULTAT?

Trä som byggmaterial har en hög arkitektonisk potential och kommer ur hållbarhetssynpunkt att vara en viktig del av byggandet i framtiden. Som företag och i projektgruppen (som även består av arkitekt Sizar Failli från Okidoki arkitekter), vill bidra till en hållbar samhällsutveckling och ser att projektets lärdomar kan ge både oss själva och andra nya kunskaper och riktlinjer att ta med sig i utvecklingen mot fler framtida träprojekt.

Viktiga insikter i studien har varit alla de träbyggnadsfrågor som ställs på sin spets när vi ritar högre hus, och därmed vikten av att tidigt samarbeta med andra kompetenser och hitta en gemensam väg. Då kan vi även i andra typer av projekt komma längre i slutändan. Frågor om stabilitet, påverkan på fasaduttryck och brandlösningar har varit stora diskussionspunkter som vi tar med oss vidare.

HAR PROJEKTET GETT FÖLJDEFFEKTER?

En av de svåraste punkterna i träbyggnad har hittills varit att hitta fram till rätt kompetens inom allt från konstruktion till tolkning av brandkoncept. I och med forskningsprojektet har vi fått ett utökat nätverk av kunniga forskare och konsulter som tillsammans ger oss möjlighet att vässa framtida projekt. Det har bl a medfört att vi i vår kunskapsspridning kring träbyggande har bjudit in andra deltagare i projektet och kunnat diskutera träbyggnad på en grundligare nivå, också med beställare och entreprenörer.

REFLEKTION OCH FRAMTIDSSPANING

Intresset för träbyggande har ökat markant under senare år, och tydliga tendenser mot ett faktiskt ökat byggande bortom idéstadierna finns. Med handlingar från Whites ritbord byggs redan en mängd olika typer av träbyggnader: 19 våningar kulturhus i Skellefteå, kontorsprojekt i Göteborg och Uppsala samt en mängd bostäder runtom i landet. Även från Okidokis ritbord byggs det bostäder i trä i Notuddsparken i Västerås. Än så länge är det däremot tydligt att träprojekt fortfarande ses som något speciellt och miljöprofilerat. Med större generell kunskap kring träbyggande i hela produktionskedjan från ritbord till entreprenör tror vi att trä i en snar framtid kommer att vara ett stommaterial i mängden, och lika uppenbart att väga in i diskussionen som betong, stål och glas är idag. Vi tror att det också medför en ökad användning av hybridlösningar; där rätt material används där det ger bäst effekt, både för miljön och plånboken.

Joakim Hansson
Arkitekt

Pär Andréasson
Byggnadsingenjör

Jan Larsson
Arkitekt

Daniel Stenqvist
Arkitekt

Agnes Orstadius
Arkitekt

Sizar Failli
Arkitekt (numera Okidoki)

Bild: Bert Leandersson

”Det är viktigt för arkitekten att tidigt i träbyggnadsprojekt att ha dialog med konstruktören och lyfta utmaningarna för den arkitektoniska gestaltningen”

Frostaliden, Skövde, 2018

Bild: Robin Joshua

BYGGSYSTEM OCH KONSTRUKTIONSTEKNIK

BYGGSYSTEM OCH KONSTRUKTIONSTEKNIK

KORT OM BYGGSYSTEM

För höga hus med en ren trästomme kan man kategorisera in byggsystemen i tre möjliga lösningar:

- Fackverksystem – system med pelar-balk som utnyttjar fackverk som stabiliserande element i kärna och/eller fasad.
- Skivsystem – system som utnyttjar plana element som stabiliserande i kärna eller också i större del av systemet.
- Styva ramar – pelar-balk system med styva förband.

Exempel på byggsystem helt i trä,

a) fackverk

b) skivsystem

c) momentstyva

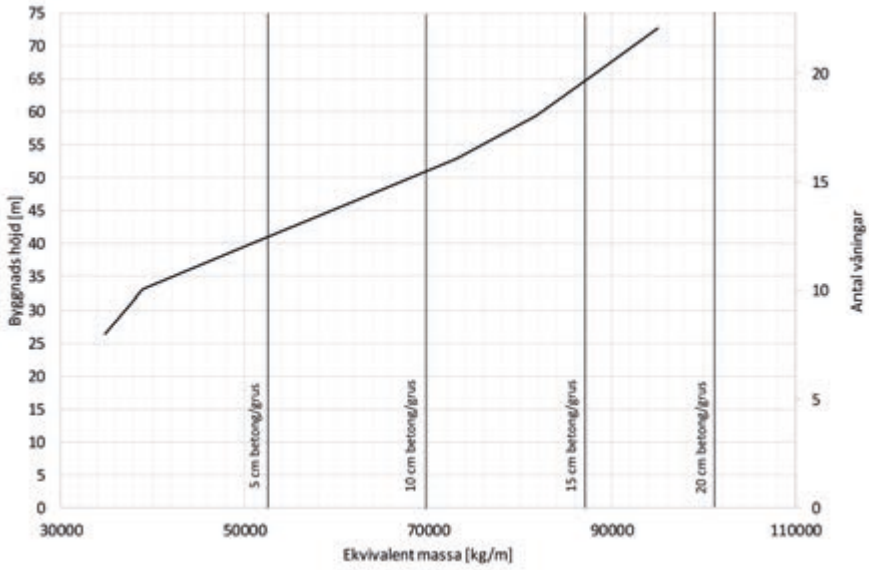
HÖGA BYGGNADER - KONSTRUKTIONSTEKNIK

Högre byggnader utsätts för samma typer av laster som vanliga hus, dock kommer den ökade geometrin göra att dessa blir av högre magnitud. De laster som speciellt blir högre är främst horisontella laster på grund av vind som ökar logaritmiskt med ökande höjd. Detta i kombination med att momentet kommer att öka kvadratiskt med ökande höjd så kommer krafterna och deformationer att bli betydligt större i en hög byggnad än för en låg byggnad.

Byggnader som är slanka, lätta och med låg dämpning innebär också att man förutom den quasi-statiska lasten orsakad av vindlast också måste ta hänsyn till den dynamiska effekten av vindlasten. För träbyggnader högre än ca 10-12 våningar rekommenderas att verifiera den dynamiska responsen. Den dynamiska effekten av vindlasten innebär också att byggnaden kan börja svänga med vinden vilket gör att också accelerationen på grund av svaj i byggnaden måste kontrolleras. Accelerationen högst upp i byggnaden visar sig för träkonstruktioner med en höjd någonstans över 10-12 våningar vara det avgörande kriteriet för byggnadens dimensioner.

SVÄNGNINGAR -ACCELERATION

Svängningar, eller acceleration, orsakade av vinden, kontrolleras av ett antal faktorer såsom bredd och djup på byggnaden, massan och styvheten på byggnaden samt om det är möjligt att öka dämpningen eller minska luftmotståndet. Av dessa faktorer är den enklaste att på konceptstadium kontrollera, byggnadens massa (ekvivalent massa per höjdmeter). Det är möjligt att för en ”standardbyggnad” på 22 x 20,5 m, dvs en BTA på 450 m^2 med en genomsnittlig trästomme ta fram hur mycket extra vikt i form av betong/grus som krävs för att bygganden ska klara kraven på acceleration för olika antal våningsplan.



Samband mellan ekvivalent massa [kg/m] och byggnadshöjd [m] för en byggnad på 22 x 20,5 meter med en första egenfrekvens på 55/h med en placering i en vindhastighet på 24 m/s. Diagrammet visar också hur mycket betong/grus placerat på varje bjälklag som den ökade vikten innebär. För att klara akustikkraven för ett träbjälklag behövs oftast 5-10 cm grus/betong på bjälklaget som extra massa i låga frekvenser.

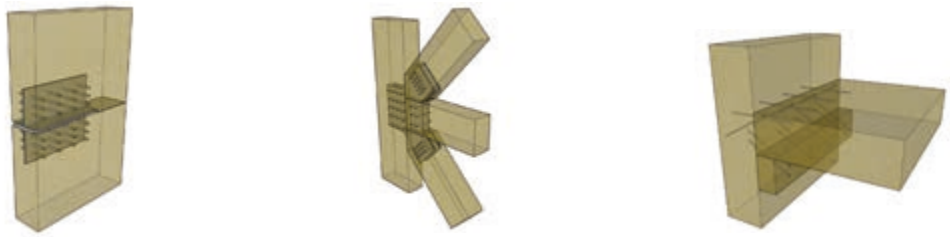
För att lättare nå accelerationskraven så finns ett antal parametrar som kan förändras:

- För höga byggnader – med låg egenfrekvens (över 45 meter) så är den effektivaste åtgärden att försöka öka massan hos byggnaden.
- För byggnader med en egenfrekvens på mellan 1 och 2 Hz (höjd mellan 25 och 45 meter) så är en kombination av att öka massa och styvhet mest effektiv.
- För byggnader från 15 meter och upp mot 25 meter så är en ökning av styvheten den effektivaste åtgärden.

En ökning av dämpning och en minskning av luftmotstånd genom rundade hörn är gynnsamt för alla fall. Minskning av luftmotståndet är möjligt att göra till exempel genom att runda av byggnadens hörn.

SAMMANFOGNINGSTEKNIK

En annan viktig del av att bygga högt med träelement är hur man sammanfogar element med förband i en eller annan form. För höga byggnader så gäller det att kunna åstadkomma kontinuerliga element som kan överföra laster mellan sig så som mellan skivelement i en stabiliserande vägg eller som en knutpunkt i ett fackverk. Figur 6 visar exempel på några typer av förband som är möjliga att använda i höga hus i trä.



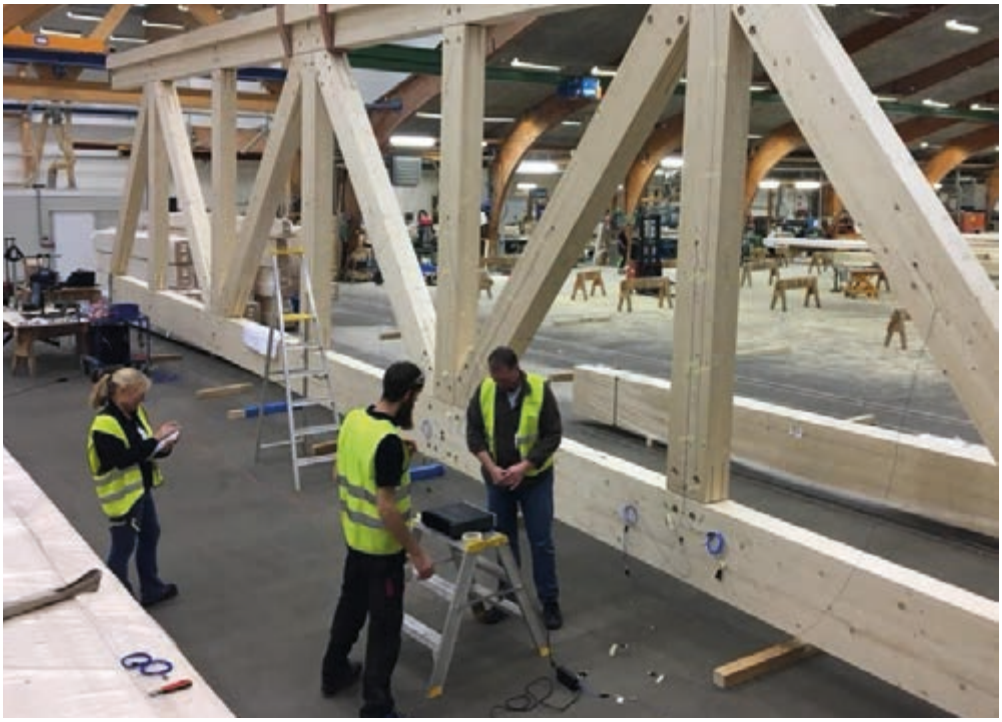
a) b) c)

Exempel på förband som kan fungera för höga hus i trä, a) förband mellan två skivelement i höjdled, b) inslitsad plåt och dymlingar i ett fackverk och c) infästning av bjälklag i ett skivelelement.

En viktig aspekt av förband är att skydda dessa mot brand. I samtliga fall ovan bör förbanden skyddas med utvändig gips och förses med svällande brandremsor i spring för att förhindra brandspridning.

FÖRSÖK MED STYVHET I FÖRBAND HOS EN FACKVERKSRAM

Sammansatta träkonstruktioner i stort format är sällan testade för att kontrollera verklig styvhet, egenfrekvens och massa. Under projektet har försök med uppmätning och modellering av de dynamiska egenskaperna hos ett stort träfackverk, 5 meter brett och 18 meter högt genomförts i samverkan mellan Linnéuniversitet och RISE hos Moelven Töreboda.



Mätning av dynamiska egenskaper hos ett träfackverk hos Moelven Töreboda. Arbetet är en del i Pierre Landels doktorandstudier under handledning av Andreas Linderholt vid Linnéuniversitetet.

Fackverket har också modellerats i FE-modeller där inverkan av olika modeller hos knutpunkterna testats. Resultaten visar ett en modell där knutpunkten representeras med fjäderstyvheter snarare än en led eller fast inspänd ger bättre överenstämmelse med mätdata.

Bild: Mihai Lazar

BRANDSÄKERHET

BRANDSÄKERHET

ANALYTISK DIMENSIONERING AV BR0-BYGGNAD

Byggnader över 16 våningar är i Sverige klassade som Br0 byggnader enligt BBR och brandskyddet måste dimensioneras analytiskt för att verifiera att det uppfyller samhällets krav. Det innebär att de övergripande funktionskraven i BBR måste verifieras för varje enskild byggnad. Analytisk dimensionering bör omfatta en beskrivning av vad som ska analyseras, hur det ska ske och vad som är tillfredsställande brandsäkerhet. Vid analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd bör följande steg ingå:

- Identifiering av verifieringsbehovet.
- Verifiering av tillfredsställande brandsäkerhet.
- Kontroll av verifiering.
- Dokumentation av brandskyddets utformning.

Regler för dimensionering av Br0-byggnader finns i Boverkets reviderade konstruktionsregler EKS 11 som trädde i kraft 2019-07-01. Två sätt att dimensionera bärförmågan vid brand anges:

- Klassificering genom nominella temperatur-tidförlopp
- Naturliga brandförlopp

Kunskapsläget är för närvarande otillräckligt för att kunna dimensionera träkonstruktioner enligt naturliga brandförlopp. Bl.a. saknas kunskap om inverkan av olika dimensionerande brandförlopp. Br0-byggnader i trä behöver därför dimensioneras genom klassificering, där kunskapsläget är gott. Kravnivåer måste fastställas för varje enskild byggnad.

Föreskriftsinventering är ett första steg i den analytiska dimensioneringen, som innebär att identifiera de avsnitt i BBR och EKS där konstruktionsmaterial och byggnadshöjd påverkar möjligheten att uppfylla funktionskraven på ett sätt som inte hanteras av de allmänna råden. Utifrån de särskilda aspekterna ska följande bedömas:

- Kan de allmänna råden användas för att utforma brandskyddet?
- Är de allmänna råden tillräckliga för att fånga upp riskerna som konstruktionsmaterialet innebär?

Följande avsnitt i BBR och EKS ska omfattas av inventeringen:

- BBR 5:3, Möjlighet till utrymning vid brand.
- BBR 5:5, Skydd mot utveckling och spridning av brand och brandgas inom byggnad.
- BBR 5:7, Möjlighet till räddningsinsatser.
- EKS 1.1.2, Tillämpning av EN 1991-1-2 – Termisk och mekanisk verkan av brand.

TEKNISK UTFORMNING AV KONSTRUKTIONEN

Följande utformning av en Br0-byggnad med bärande trästomme rekommenderas:

1. Varje Br0-byggnad med trästomme är unik och måste branddimensioneras efter sina egna förutsättningar.
2. Byggnaden dimensioneras så att trästommen skyddas under hela brandförloppet.
3. Limträ delaminerar normalt inte under brand och kan därför branddimensioneras enligt Eurokod 5. Behovet av skydd av synliga träytor måste dock beaktas.
4. Byggnaden förses med automatisk sprinkler. Val av sprinklertyp görs av projektören med hänsyn till bl.a. möjlighet till utrymning och räddningsinsatser.
5. Brandspridning genom förband, genomföringar och hålrum förhindras med metoder som är brandprovade vid relevant brandexponering

RUMSBRANDPROVNING I ESTLAND

Under projektets gång genomfördes brandprovning av en hel byggnad i Estland, som delvis finansierades via detta projekt. Det var en två-våningsbyggnad med en bärande stomme av KL-trä där samtliga springor och genomföringar var försedda med svällande brandstopp. Byggnaden hade träfasad och stenulls- och PIR-isolering. Invändigt hade byggnaden två långa väggar och en solid trädörr med synligt trä. Den var möblerad och branden startades i en soffa på bottenvåningen. Byggnaden var osprinklad och tilläts brinna i två timmar utan insats från brandkåren.

Bild från rumsbrandprovning i Estland efter 65 minuter brand då branden börjar att dö ut.

Resultatet av försöket visade att branden efter en dryg timme började att dö ut av sig själv. Dock fick man efter en timme och 50 minuter delaminering av KL-träet, nya träytor exponerades, började brinna och branden tog ny fart. Slutsatserna av försöket var: ingen brandspridning skedde mellan brandceller eller i genomföringar men man kunde inte fullt ut förhindra delaminering. För att kunna använda synligt trä inomhus i större utsträckning så rekommenderas utveckling av mer brandbeständiga limmer.

BRANDPROVNING AV FÖRBAND I BORÅS

Tre brandprovningar av träförband har genomförts inom projektet. Förbanden var momentbelastade, vilket är en realistisk belastningsmod i höga trähus. Försöken genomfördes vid brandlabbet på RISE i Borås med samtidig statisk och brandbelastning. För balkskon användes också skyddande gips. Ett prov klarade R 120 och två klarade R 90. Antalet brandprovningsresultat har därmed fördubblats, eftersom det före projektet fanns bara tre kända brandprovningsresultat för träförband med minst R 90 brandmotstånd.

Tre förbandstyper med pelar-balk infästning.

a) Balksko med träskruvar – Tid till brott: 122 minuter

b) Inslitsad plåt med dymlingar – Tid till brott: 100 minuter

c) Innovativt förband med en rörförbindare och inlimmade densifierade fanerskivor – Tid till brott: 113 minuter

BRANDTEKNISK BESKRIVNING AV TVÅ KONCEPTHUS

Två studier av möjligheterna att brandtekniskt dimensionera trähus i byggnadsklass Br0, dvs hus med mer än 16 våningar, har genomförts inom projektet. Studierna har genomförts med stöd av SBUF Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond och i samarbete mellan Brandskyddslaget, Briab, Linnéuniversitetet, RISE och deltagande företag. De har lett till rekommendationer som finns med i projektets handbok.

Bild: Annie Spratt

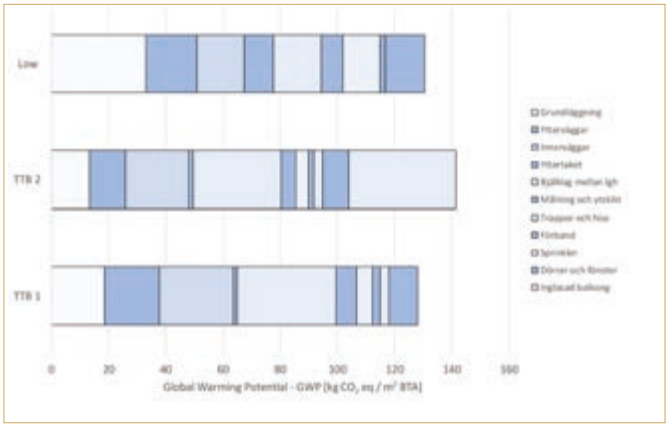
LIVSCYKELANALYS

LIVCYKELANALYS

Byggandet av höga träbyggnader kan vara ett tveeggat svärd i förhållande till sin miljöpåverkan. Att välja en hög byggnad över ett lågt alternativ kan ge både vinster och förluster när det gäller miljöpåverkan per levererad funktion. För högre byggnader påverkas olika aspekter såsom element och livscykelsdelar på olika sätt. Några exempel kan vara att med högre byggnader så finns en större funktionell yta tillgänglig för solpaneler, men samtidigt kan de kräva mer avancerade system för brandsäkerhet såsom sprinklersystem.

Livscykelanalys (LCA) är ett systemanalysverktyg för bedömning av miljöpåverkan av produkter och tjänster. Analysen har ett livscykelperspektiv vilket innebär att den omfattar hela livscykeln för den analyserade produkten eller tjänsten. På detta sätt undviks problemförskjutning från en livscykelsdel till en annan. Dessutom levererar LCA produktens miljöpåverkan vad gäller dess funktion, vilket mäts för en funktionell enhet. Den funktionella enheten är ett mått på den funktion som den studerade produkten levererar, ett mått som alla effekter som följer av bedömningen kommer att refereras till. I byggsektorn används ofta kvadratmeter av boarea (BOA) eller bruttoarea (BTA) för en viss tidsperiod som funktionella enheter.

För denna studie så användes data för de två konceptbyggnaderna vilka därefter jämfördes med en låg byggnad, fem våningar med stomme i KL-trä. Figuren nedan visar koldioxidekvivalenter per kvadratmeter total uppvärmd yta i byggnaden. I detta fall har enbart produktionsfasen för byggnaden studerats (område A1-A3 i LCA beräkningar).



Klimatpåverkan av de två höga träbyggnaderna (TTB 2 är med placering i Stockholm och TTB 1 är med placering i Växjö) och en låg byggnad. Resultaten är i koldioxidekvivalenter per kvadratmeter total uppvärmd yta i byggnaden.

I detta fall är miljöpåverkan av byggnadsstommen (grundläggning, väggar, golv) något högre för de höga byggnaderna än för den lägre byggnaden. Skillnaden är dock inte stor och syns i vissa av faktorerna medan andra blir högre baserat på det stora antalet våningar.

Resultaten visar att jämfört med ett lågt hus så blir inverkan på antalet koldioxidekvivalenter per uppvärmd yta av grundläggning, tak och tekniska system såsom hissar betydligt lägre per uppvärmd yta. Brandskyddet som krävs för en högre byggnad medför dock att antalet koldioxidekvivalenter per kvadratmeter total uppvärmd yta i byggnaden ökar för innerväggar liksom för innertak. Den extra betong som behövs på bjälklagen för att stabilisera byggnaden ger också ett ökat antal koldioxidekvivalenter per uppvärmd yta.

Det finns vissa hot-spots (delar med hög miljöpåverkan) som bör studeras närmare men som i vissa fall kan vara nödvändiga för byggnadens funktion. Några av dessa punkter är:

- Val av limtyp i trästommen, här finns en avvägning att göra mellan limmets miljöprestanda och limmets tekniska egenskaper.
- Förband, här rekommenderas att miljöåtgärder fokuserar på produktion av de stålprodukter som används i byggnaden.
- Gipsskivor, svårt att göra rekommendationer om gipsskivor, förutom att välja produkter från leverantörer som redovisar miljöpåverkan av sina produkter.
- Sprinklersystem, relativt låga bidrag till byggnadens miljöpåverkan gör att sprinklersystem betraktas som en god praxis ur ett miljöperspektiv i jämförelse med ett alternativ utan sprinklers på plats och förmodligen högre mängder gipsskivor, brandskyddsfärger och andra brandskyddsåtgärder.

Totalt sett visar den här LCA analysen för koldioxidekvivalenter per uppvärmd yta så är det ingen större skillnad att bygga ett högt trähus jämfört med ett lågt. Detta är dock en preliminär slutsats baserad på en LCA i en konceptbyggnad. En full LCA baserad på färdigprojekterad byggnad bör göras för att ta fram mer robusta resultat.

LINNÉUNIVERSITET

VILKA ÄR NI?

Linnéuniversitetet är en kreativ och internationell kunskapsmiljö som odlar nyfikenhet, nytänkande, nytta och närhet. Vid Linnéuniversitetet har institutionerna maskinteknik och byggteknik deltagit i projektet. Forskningen inom området strukturdynamik vid Linnéuniversitetet handlar om modellering, vibrationsmätning, validering och kalibrering. Forskningen vid institutionen för byggteknik sker inom flera olika områden som träbyggnadsteknik, byggnadsfysik, brandteknik och historiska konstruktioner.

VAD HAR PROJEKTET GETT FÖR RESULTAT?

Projektets upplägg att ha en konkret och komplex uppgift att lösa bidrog till god samverkan genom att uppgiften var omöjlig för var och en ensam att lösa men att det tillsammans blev möjligt. Flera discipliner måste samverka på ett sätt som inte varit vanligt i tidigare projekt. Dialogen och presentationerna har varit viktiga och bidragit till närmare kontakt mellan forskningsutövare och företag, som fått en ökad förståelse för varandra och hur man kan samverka i framtiden i andra projekt och aktiviteter.

För akademin är det alltid viktigt att få fram ny kunskap och fakta som kan spridas till andra i samhället och industrin för nyttiggörande, men också inom den akademiska världen på konferenser, seminarier och genom att publicera artiklar. Handboken är ett sådant bidrag som riktar sig till de som bygger, men projektet har också gett upphov till presentationer på konferenser och till vetenskapliga artiklar under projektets gång, men också efter avslutat projekt.

HAR PROJEKTET GETT FÖLJDEFFEKTER?

En positiv följdeffekt av projektet har varit att samverkan mellan Linnéuniversitetets institution för Maskinteknik, som har dynamik som ett kompetensområde, och Träbyggande och boende på RISE Byggteknik i Växjö har stärkts. Genom synergier med andra projekt har Pierre på RISE blivit doktorand på Linnéuniversitetet inom ämnesområdet vindinducerade vibrationer och förband för höga trähus. En del av hans doktorandstudier har funnits inom det här projektet och kommer att fortsätta inom det nya forskningsprojektet DynaTTB – Dynamic Response of Tall Timber Buildings under Service Load, ett europeiskt samverkansprojekt mellan Sverige, Frankrike, Norge, Storbritannien och Slovenien.

REFLEKTION OCH FRAMTIDSSPANING

Det är värdefullt för forskare att få tillämpa sina kunskaper på konkreta situationer, se att det finns ett behov för forskningen och genom mötet med ”omvärlden” få förståelse för de forsknings- och utvecklingsbehov som finns hos industrin. Inom ramen för projektet har man gjort en beräkningsmodell, med finita elementmetoden, av ett tjugovåningshus i trä, vilket ger lärdomar till kommande modelleringar i nya projekt. Informationen från det här projektet kommer att vara värdefull i det nya projektet DynaTTB – Dynamic Response of Tall Timber Buildings under Service Load. Projektet har synliggjort vilka gap som behöver överbryggas kunskapsmässigt inom olika områden och gett uppslag till nya artiklar och projekt.

Andreas Linderholt
Universitetslektor

Birgit Östman
Forskare

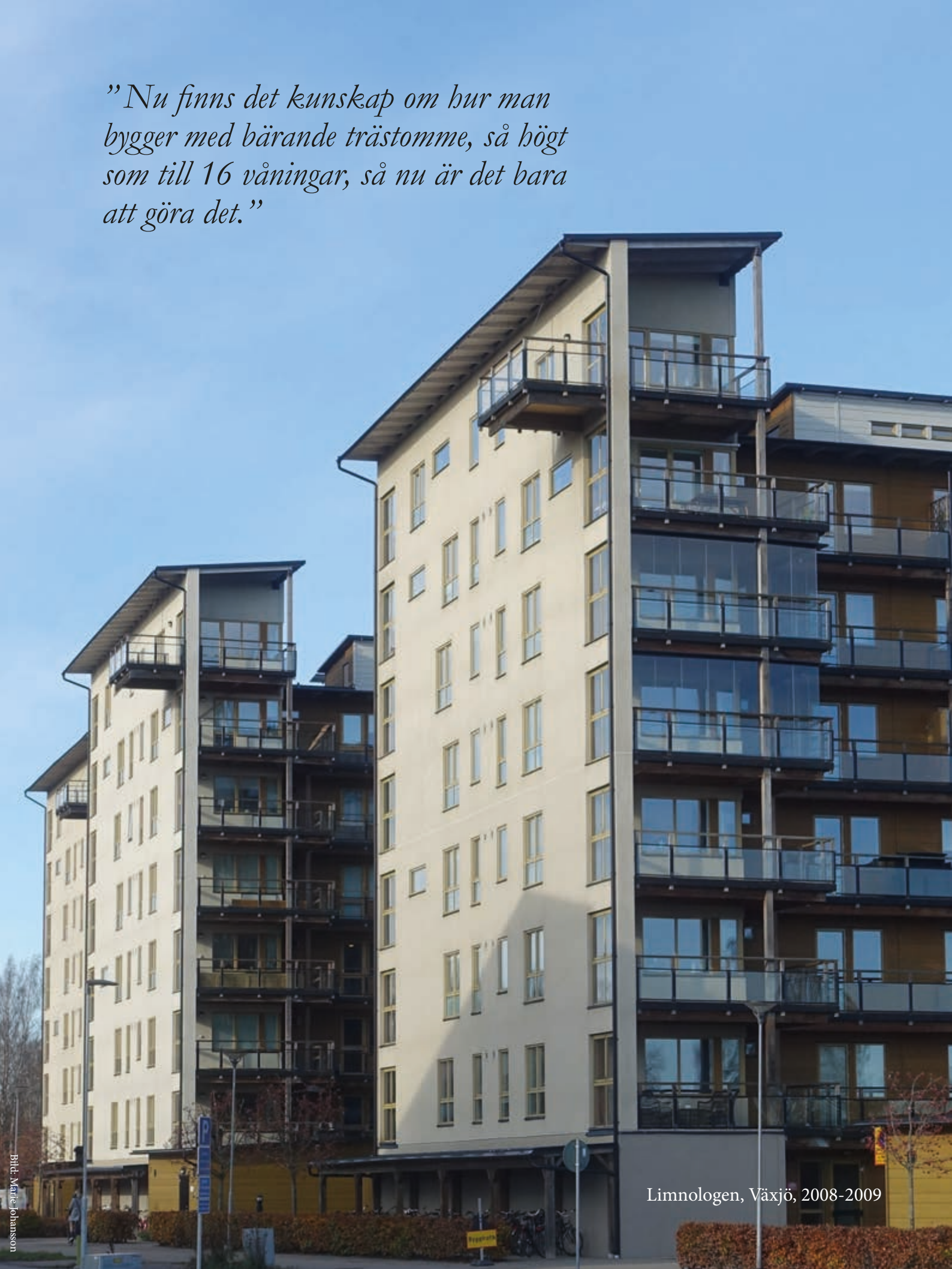
I projektet medverkade också
Åsa Bolmsvik, Forskare (numera Skanska)

”Projektet har synliggjort vilka gap som behöver överbryggas kunskapsmässigt inom olika områden och gett uppslag till nya artiklar och projekt.”

Epic, Linnéuniversitets Campus, Växjö, 2018

Bild: Anders Runesson

”Nu finns det kunskap om hur man bygger med bärande trästomme, så högt som till 16 våningar, så nu är det bara att göra det.”



Limnologen, Växjö, 2008-2009

Bild: Marie Johansson

RISE

VILKA ÄR NI?

RISE är Sveriges forskningsinstitut och innovationspartner. I internationell samverkan med företag, akademi och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle.

VAD HAR PROJEKTET GETT FÖR RESULTAT?

Projektet har gett ökad kunskap om byggsystem och förband för höga hus i trä, vad som är svårigheter och hinder, men också vad som är möjligheter. Framför allt har projektet gett insikter för hur höjden påverkar projektarbetet med avseende på brand och konstruktion, speciellt beträffande belastning av vind. För forskningen innebär det förståelse för vilken kunskap som behöver fördjupas.

Det mest positiva har varit att få samverka med alla projektdeltagare, av vilka några varit helt nya typer av aktörer från byggbranschen i forskningsprojekt. Samverkan har gett en förbättrad förståelse för industrins behov och läge inom träbyggandet. Handboken kommer att bli ett bra sätt att sprida kunskap om att bygga högt i trä.

HAR PROJEKTET GETT FÖLJDEFFEKTER?

Projektet har gett ny internationell samverkan genom att RISE deltagit i olika sammanhang som på konferenser och också utbildningar speciellt inriktade mot höga byggnader och vindpåverkan. Det tillsammans med ökad insikt om vind inducerade vibrationer, regelverk och eurokoder har bidragit till att man tillsammans med Frankrike, Norge, Storbritannien och Slovenien har ett nytt forskningsprojekt DynaTTB – Dynamic Response of Tall Timber Buildings under Service Load. I projektet ska man identifiera ett antal riktiga höga byggnader med trästomme som ska modelleras och analyseras med hjälp av finitelementmetod. Kombinerat med dynamiska mätningar ska detta resultera i representativa modeller för att förutsäga verkningssätt hos olika typer av byggnader med trästomme vid vindbelastning.

REFLEKTION OCH FRAMTIDSSPANING

Ansökan till projektet skrevs när att bygga högt i trä började bli en allt mer aktuell fråga och man såg möjligheten att driva utvecklingen för träbyggandet framåt genom att fördjupa sig i utmaningen att bygga högt. Arbetet med ”Best practice guiden” har fördjupat samarbetet mellan Södra och Norra Sverige. Förhoppningsvis kommer den att underlätta så att fler börjar bygg med trä, inte bara högt utan framför allt med bärande trästomme. Nu finns det kunskap om hur man bygger bra högt, så nu är det bara att göra det.

Alar Just
Forskare

Daniel Brandon
Forskare

Diego Penaloza
Forskare, numera IVL

Jörgen Olsson
Forskare

Kirsi Jarnerö
Forskare

Marie Johansson
Forskare

Pierre Landel
Forskare

Ylva Sandin
Forskare

Bild: Annie Spratt

REFERENSER

REFERENSER

KONFERENSARTIKLAR OCH RAPPORTER

Johansson, M., Schauerte, T. (2015). Nine storey residential timber construction and the municipal strategy of the city Växjö : [Neun Geschosse in einem Wohngebiet aus Holz und die kommunale Holzbaustrategie der Stadt Växjö]. The 21st Internationales Holzbau-Forum IHF 2015, December 2-4, Garmisch-Partenkirschen, Germany.

Johansson, M., Linderholt, A., Bolmsvik, Å., Jarnerö, K., Olsson, J., et al. (2015). Building higher with light-weight timber structures: the effect of wind induced vibrations. Proceedings of the Internoise 2015 conference, 2015, San Francisco, USA.

Johansson, M., Linderholt, A., Jarnerö, K., Landel, P. (2016). Tall timber buildings: a preliminary study of wind-induced vibrations of a 22-storey building. Proceedings of the World Conference on Timber Engineering (WCTE 2016): August 22-25, 2016, Vienna, Austria.

Andersson, B., Broberg, L., Hultquist, J., Evers, B,. Eriksson Lantz, C., Nystedt, F., (2018). Brandskydd i Br0-byggnader - Tillämpningsstöd vid brandteknisk dimensionering av höga Br0-byggnader med förnyelsebara material (trä). AB Fristad bygg, Brandskyddslaget AB och Briab Brand och riskingenjörerna AB. SBUF rapport ID: 13371.

Brandon, D., Just, A., Sjöström, J. (2018): Fire Safety Design of CLT Buildings – And Experimental Case Study. RISE Report 2018:24, Borås, Sweden.

Brandon, D., Landel, P., Ziethén, R., Albrektsson, J., Just, A. (2018): High-Fire-Resistance Glulam Connections for Tall Timber Buildings. RISE Report 2019:26, Borås, Sweden.

Landel, P., Linderholt, A., Johansson, M. (2018). Dynamical properties of a large glulam truss for a tall timber building. Proceedings of the World Conference on Timber Engineering (WCTE 2018): August 20 - 23, 2018, Seoul, Republic of Korea.

Landel, P., Linderholt, A., Johansson, M. (2019): Test-analyses comparisons of a stabilizing glulam truss for a tall building, International Conference on Computational Methods in Wood Mechanics – from Material Properties to Timber Structures. ECCOMAS Thematic Conference, June 17-19, 2019, Växjö, Sweden

Peñaloza, D., Landel, P., Brandon, D., (2019). High-rise timber buildings: The environmental effects of building higher. Manuscript for publication.

Johansson, M., Gustafsson, A., Brandon, D., Edskär, I., Just, A., Landel, P., Peñaloza, D., Pousette, A., Östman, B., (2020). Best Practice Guide för höga hus i trä, 1st upplagan. RISE rapport 2020:XX.

Mossberg, A., Broberg, L., Andersson, B., Nystedt, F., Norén, J., Wickmark, C., Just, A., Östman, B. (2020). Brandteknisk beskrivning av två koncepthus i byggnadsklass Br0 - Slutrapport. SBUF rapport 13742.

EXAMENSARBETEN

Gustavsson, A., Renström, P. (2019), Jämförelse av dimsprinkler, boende- och traditionella sprinklersystem. Examensarbete (15 ECTS), Linnéuniversitet, Växjö, Sverige.

Aiham Emil Al Haddad, (2016). Wind-induced Vibration Control of Tall Timber Buildings: Improving the dynamic response of a 22-storey timber building, Master´s thesis (15 ECTS), Linnaeus University, Växjö, Sweden.

Malara, M. Gustafsson, R. (2017), Robusthet och fortskridande ras av 22-våningshus med trästomme., Examensarbete (30 ECTS), Rapport TVBK – 5261, Avdelningen för konstruktionsteknik, Lunds tekniska högskola, Lund, Sverige.

Visionen att bygga så högt som 22 våningar med trästomme är efter avslutat projekt fortfarande en aktuell utmaning. Projektet har synliggjort och definierat tekniska utmaningar, samlat råd och riktlinjer till arkitekter, konstruktörer, brandkonsulter, systemleverantörer och beställare som är på väg in eller i ett träbyggprojekt.

De medverkande har vidgat sin kunskapshorisont, stärkts i sitt kunnande och fått insikt i vilka steg man behöver ta för sin fortsatta utveckling. Man har dessutom genom samarbetet i projektet fått en ökad förståelse för varandras arbete och drivkrafter, inte bara mellan näringslivsparter utan också mellan forskningsutövare och näringsliv. Forsknings- och utvecklingsarbete på institut och akademi kanske inte är så märkvärdigt och kan göras förståeligt och nyttigt. Näringslivet ger fördjupad nytta, insikt och förankring till det akademiska arbetet genom sin praktiska erfarenhet och kunskap. Nya bekantskaper och samverkan har initierats, och detta har lett till nya projekt i samverkan.

Samarbetet och samvaron har väckt önskningar till möjlighet till fortsatt dialog och erfarenhetsutbyte inom utmaningen att bygga högt med trästomme. Tankar om att starta en mötesplats med temat finns inom innovationsmiljön Smart Housing Småland.

Tack till alla finansiärer!

Marie Johansson
Projektledare