

TRÄBASERADE HYBRID- KONSTRUKTIONER

– utveckling av
resurseffektiva
byggsystem
och byggnader

Mjösätårnet i Brumunddal, Norge.

Foto: Jens Haugen för Moelven.

Trä är som bekant ett utmärkt byggnadsmaterial – man kan bevisligen åstadkomma lysande resultat genom att använda detta material för sig. **Men kan man kombinera trä med andra material, till exempel stål eller betong så att alla material kan utnyttjas i samverkan på ett effektiva sätt än var för sig**, och därmed bidra till utvecklingen av mer resurseffektiva byggsystem och byggnader? Denna frågeställning försöker författarna ge svar på.

TEXT: MAGNUS WÄLINDER & ROBERTO CROCETTI

Vid svenska högskolor är undervisning och forskning i regel starkt materialinriktade, vilket innebär att det mycket sällan diskuteras eller studeras möjligheter att kombinera olika material för utveckling av mer resurseffektiva byggsystem. Vid KTH har

därför ett initiativ tagits under 2017 till att bygga upp ett så kallat "hybridnätverk" för att skapa tvärsamarbete dels mellan träindustri- och andra materialindustribranscher dels mellan ingenjörer och arkitekter. Syftet är att bana väg för ny undervisning i ämnet samt forskningsmöjligheter som kan leda till utveckling av innovativa byggprodukter och lösningar för byggbranschen.

BAKGRUND – ÖVERGRIPANDE POTENTIAL FÖR TRÄBASERADE HYBRIDKONSTRUKTIONER

Över hälften av världens producerade material används idag som byggnadsmaterial. Sen början av 2000-talet har världsproduktionen av cement och stål mer än en fördubblats (år 2015 var produktionen ca 4,1 respektive 1,6 miljarder ton) (PBL 2016). Den totala produktionen av skogsindustriprodukter har samtidigt legat på en oförändrad nivå, eller en blygsam ökning. Dagens tillverkning av betong (där cement utgör ca 10% viktsandel) och stål bedöms tillsammans orsaka ca 20% av världens årliga koldioxidutsläpp (PBL 2016). Trä som byggnadsmaterial har samtidigt obestridliga miljömässiga fördelar jämfört med betong och stål, men utnyttjas ändå långt ifrån fullt ut inom byggandet, särskilt när det gäller större bärande konstruktioner. Faktum är att träbaserade byggnadsmaterial under senare årtionden tappat stora marknadsandelar globalt sett gentemot de mineralbaserade materialen främst när det gäller byggnationen i snabbväxande storstadsområden.

Men byggsektorns klimatpåverkan har konstigt nog inte alls uppmärksammats i samma grad som transport- och energisektorernas bidrag till klimatförändringarna. Skogsrika länder som Sverige har genom sitt långsiktiga och hållbara skogsbruk, med ungefär dubbelt så mycket skog som för 100 år sen, både ett ansvar och en möjlighet att agera proaktivt och därmed bryta denna trend. Men för att lyckas krävs det en ökad insikt om orsakerna till varför träets uppenbara miljömässiga potential inte utnyttjas fullt ut inom byggsektorn. En av orsakerna handlar om avsaknaden av större avgörande tekniksprång att tackla träets svagheter motsvarande t.ex. stålarmrad betong. Det är i detta perspektiv som nya banbrytande byggsystem av träbaserade hybrider skulle kunna bli avgörande. En optimal mix av trä med andra material skulle tillsammans kunna öka båda materialets effektivitet både i ett klimat- och i ett egenskapsperspektiv. I ett egenskapsperspektiv, särskilt i bärande konstruktioner skulle till exempel stålets höga E-modul och hållfasthet, ha potentialen att i samverkan med trä drastiskt undanröja träets ingenjörsmässiga svagheter, bland annat när det gäller överdimensionering. Genom ett mer effektivt materialutnyttjande baserat på hybridiseringen av trä med andra material kan även den sammanlagda klimatbelastningen minska drastiskt jämfört med än en fortsatt ensidig användning av varje material för sig.

Att kombinera flera material är något som hantverkare, ingenjörer och arkitekter har gjort i alla tider, till exempel för att utnyttja de bästa egenskaperna hos olika material. Ett utmärkt exempel på lyckosam kombination av olika material är armerad betong - ett välkänt framgångsrikt hybridkoncept. Kombinationen av betong och armeringsstål har möjliggjort en kolossal utvidgning av materialets användningsområden.

Forskning och utvecklingen under de senaste decennierna har dock inte främjat liknande hybridkoncept där man utnyttjar de olika materialens styrkor och hämmar deras svagheter. Forskning och utveckling på byggområdet har oftast skett - och sker fortfarande i stor utsträckning - inom de specifika byggmaterialindustriernas "skottsäkra väggar". Inom svensk byggindustrin sker till exempel utvecklingen av produkter, plattformar och produktionsprocesser nästan uteslutande av de olika materialtillverkarna. Också vid svenska högskolor och universitet är situationen likartad. Här är undervisning och forskning i regel starkt materialinriktade, vilket innebär att det

mycket sällan diskuteras eller studeras möjligheter att kombinera olika material för utveckling av mer resurseffektiva byggsystem.

MATERIALET "TRÄ"

Trä har under lång förhistorisk tid utvecklats och optimerats av naturen, i princip oberoende av människan, för att fungera som ett träd, alltså, en långsträckt stam som under sin livstid ofta måste växa högt i konkurrens med andra träd och samtidigt kunna transportera stora mängder vatten till kronans fotosyntes. Trä är alltså unikt på det sättet att dess egenskaper är optimerade att i "vått" tillstånd fungera effektivt både mekanisk och med hög kapacitet för vätsketransport. Naturen har löst detta på ett genialiskt sätt genom att bygga upp trämaterialets struktur i form av ihåliga och väl sammankopplade längs-riktade träceller eller - fibrer, likt sugrör, alltså en nödvändig porös struktur som samtidigt är mycket mekaniskt effektiv i förhållande till sin vikt i sin längsriktning. Den runda och lätt koniska stamformen ger dessutom hög böjfasthet och för vindbelastningar från olika håll. Det är också viktigt att komma ihåg att efter sin funktion och relativt långa livslängd som friskt träd (ibland över 1000 år), så har naturen även designat trämaterial effektivt i ett kretsloppsperspektiv så att det lätt ska kunna brytas ned och bidra till att nya friska träd återigen kan växa upp. Denna bionedbrytbarhet är nära kopplat till andra speciella egenskaper hos trä, nämligen dess hygroskopicitet som i detta fall orsakar uttorkning och olikformig krympning med resulterande sprickbildning. Detta leder i sin tur till en effektiv åtkomst för tränedbrytande rötsvampar. Den av naturen optimerade anisotropin, alltså olika mekaniska och fysikaliska egenskaper i olika riktningar, och även dess bio-

nedbrytbarhet är alltså viktiga unika egenskaper hos trä som måste hanteras på ett korrekt sätt för att uppnå träets högsta effektivitet i bärande konstruktioner.

Genom fotosyntesen och skogens tillväxt upptas koldioxid ur luften vilket medför att så kallat biogent kol lagras i träsubstansen. Denna förnybarhet tillsammans med att trä är lättbearbetat innebär låga koldioxidutsläpp och att det åtgår mycket lite energi vid tillverkning och vidareförädling av trä jämfört med stålprodukter.

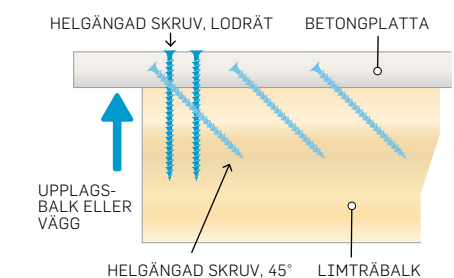
TRÄS STYRKOR

I många avseenden är trä ett utmärkt byggmaterial som också har väsentliga miljöfördelar jämfört med de flesta andra byggmaterial. Grundläggande miljöfördelar är att trä utvinns med liten energiinsats ur en förnybar resurs och att fotosyntesen vid skogens tillväxt binder koldioxid. En annan positiv egenskap med trä gäller tryck och dragning parallellt fiberriktning; här är materialet mycket starkt och styvt i förhållande till dess vikt, vilket möjliggör spännande tillämpningar, till exempel takkonstruktioner med stora spännvidder. Vidare kan trä enkelt bearbetas och formas, vilket möjliggör både estetiskt tilltalande och konstruktionsmässigt effektiva lösningar.

TRÄS SVAGHETER

Trä är, som tidigare nämnts, ett naturmaterial och bevekelsegrunden till uppkomsten på jorden av dess "fabrik" - skogen - var sannolikt inte för att man skulle använda det som byggmaterial. Det är därför logiskt att det finns utrymme för att förbättra några av träets byggmaterialmässigt sämre egenskaper och därmed göra det mer konkurrenskraftigt mot andra (mindre miljövänliga) material.

Vilka är då träets svagheter? En av de mest omtalade bristerna hos trä är bestän-



Figur 1. Ett prefabricerat samverkansbjälklag i trä och betong som laboratorietestades vid Lunds Universitet, 2015.

» digheten, men detta problem avser huvudsakligen oskyddade konstruktionsdelar utomhus. Konstruktionstekniskt träskydd och/eller adekvat impregnering eller kemisk modifiering kan avsevärt förbättra beständigheten. Det finns dock några egenskaper hos träet som kan vara svårare att bemästra, till exempel:

Stor spridning i hållfasthetsegenskaper, framförallt dragning och böjning

- Sprött brottbeteende
- Förhållandevis låg massa
- Förhållandevis låg elasticitetsmodul
- Svårighet att utföra styva infästningar /förband

MÖJLIGHET ATT KOMBINERA TRÄ MED ANDRA MATERIAL

Vid en effektiv hybridkonstruktion bör man utnyttja de bästa egenskaperna hos de ingående materialen. Enkelhet bör vara vägledande för både strukturell effektivitet och minskad miljöbelastning. Nedan beskrivs några konstruktioner där man framgångsrikt har använt trä och stål i kombination.

Träs låga massa och elasticitetsmodul har ogynnsam effekt framförallt på bjälklag i flervåningsbostadsbyggnader. Detta gäller framförallt svikt, vibrationer och akustik. När människor går på ett bjälklag sätts det i svängning. Egenskaperna för den responderande svängningen beror främst på bjälklagets lägsta egenfrekvens och massa. Ett tungt bjälklag är svårt att sätta i svängning. Däremot kan ett lätt bjälklag sättas i svängning av en människa i rörelse om det inte utformas på rätt sätt.

Massan är en parameter som också har betydelse för ljudisoleringen vilket gör att både luft- och stegljudisoleringen kan bli dålig hos lätta bjälklag.

Svikt och vibrationer samt akustikrelaterade problem kan man minska genom att tillämpa en hybridlösning, ett så kallad samverkansbjälklag, se Figur 1. Från statisk synpunkt är denna typ av konstruktion mycket effektiv då man utnyttjar materialens egenskaper på ett optimalt sätt, det vill säga betongens tryckhållfasthet och träets draghållfasthet. Då betongens E-modul är cirka 3 gånger större än träets, blir den resulterande böjstyvheten hos samverkansbjälklag avsevärt högre än hos motsvarande träbjälklag med samma konstruktionshöjd. En ökad bjälklagsmassa har också den gynnsamma effekten att öka motståndet mot stjälpning, ett problem som annars kan kräva dyra åtgärder vid höga och lätta byggnader.

En bågkonstruktion eller en fackverkskonstruktion kan till exempel utföras helt och hållet antingen i stål eller i trä; emeller-



Figur 2. Vegabron, Haninge, 2017.

Bild: Eric Borgström.

tid innebär träets enkla formbarhet samt träets höga tryckhållfasthet i relation till sin vikt att materialet lämpar sig bäst för just de tryckta och/eller krökta delarna av konstruktionen. Å andra sidan innebär stålets höga draghållfasthet att materialet med fördel kan användas som dragelement. Kombinationen av materialen resulterar ofta i eleganta lösningar, som är både estetiskt tilltalande, har låg koldioxidavtryck och är kostnadseffektiva.

Vegabron är en gång- och cykelbro i Haninge som byggdes under 2017. Den har en spännvidd på ca 35m och består av en bana i form av en tvärsplatta - en träplatta ihopspänd med tvärgående spänstag av höghållfaststål - som stöds av två parallella treledslimträbågar via V-formade stålhängare. Tvärbalkarna under plattan består av HE360B-profiler. Kombinationen av stål och trä möjliggör en slank konstruktion, med enkla och justerbara förband, se Figur 2.

Traversinabron i Schweiz förstördes av en lavin år 1999. Den bestod av ett lätt parabelformat rymdfackverk med ett räcke som också fungerade som vridförstyvning av konstruktionen, se Figur 3. Materialen som användes för konstruktionen var övervägande lärkrä och rostfria stålkablar, där träet huvudsakligen arbetade i tryck medan stålet tog upp dragspänningarna.

STABILISERING AV HÖGA TRÄBYGGNADER

Vid stabilisering av höga trähus - där kravet på horisontalstyvhet är mycket viktigt - är det ofta inte trä som är det lämpligaste materialet för stabiliseringssystemet.

Jämfört med exempelvis vanligt konstruktionsstål (S355), är limträ (GL30c) draghållfasthet och axiellstyvhet mycket



Figur 3. Traversinabron, Schweiz.

lägre, cirka 1/18 respektive 1/16. Dessutom medför närvaron av förbanden ytterligare en dramatisk minskning av både styrka och styvhet hos ett tråelement.

Det innebär att ett stabiliseringssystem av stål istället för trä skulle leda till betydligt mindre tvärsnittsmått, mindre klumpigt utseende och sannolikt lägre vikt.

Stabiliseringssystemet för höga trähus kan med fördel väljas av betong, till exempel skivor eller lådformade element som även kan tjäna som hisschakt eller trapphus. Fördelen med betong som stabiliseringselement är att dess styvhet är cirka 3 gånger större än träets och att styvhetsminskningen orsakad av eventuella skarvar är liten, särskilt vid platsgjuten betong.

Det bör påpekas att hybridlösningar



Bild: Sveveo AS

Figur 4. Mjösatornets bärande system.

med stabiliseringssystem i stål och betong bör användas när den bärande trästommen i trä bara överför laster parallellt fiberriktningen, som till exempel i en pelar-balkstomme. Vid KL-trä stommar, å andra sidan, kan en sådan lösning medföra problem relaterade till olika storlek på sättningar hos trä och betong eller stål. Olika sättningar kan orsaka till exempel behov att justera nivåer för hissars stannplan under brukstiden. Därför bör denna lösning undvikas, speciellt vid högre byggnader.

STABILISERING AV VÄRLDENS TVÅ HÖGSTA BOSTADSHUS I TRÄ

I detta avsnitt beskriver vi kortfattat stabiliseringssystemet på två aktuella trähusprojekt, nämligen Mjösatornet i Norge, och Brock Commons, studentbostäder vid UBC i Vancouver, Kanada. Stabiliseringssystemet hos det Norska trähuset är helt i trä, medan betong har använts i stabiliseringssystemet hos det kanadensiska huset.

Mjöstårnet är ett bostadshus med arton våningar, planmåt 17×37 m² och höjd 81 m, se Figur 4. Konstruktionen använder fyra vertikala fackverk av limträ som stabiliserande element i väggarna. De horisontella stabiliseringselementen utgörs av bjälklagen som tar upp de horisontella vindlasterna och fördelar dessa mellan tillhörande



Figur 5. Artonvåningshuset vid UBC i Vancouver under montaget.

Bild: Naturallywood.com, KK Law

vertikala fackverk (som i sin tur för lasten ned till grunden). Bjälklagen typ ”Trä8” har använts för våning 2 till 11, där Kerto Q-skivor tar hand om skivverkan i bjälklagens plan. De fyra hörnpelarna är - förutom att bära en del av husets egentyngd, nyttig last och snölast - också en del av de två vertikala fackverk som fungerar som stabiliseringselement när vinden blåser mot den bredare sidan av huset. De största axiella krafterna förekommer därför just i dessa hörnpelare vars tvärsnittsmått är 1485×625 mm²

Vid byggnationen av artonvåningshuset Brock Commons vid UBC i Vancouver, Kanada, 2017, byggde man först två platsgjutna betongkärnor som också tjänade till horisontalstabiliseringen för hela huset. Sedan monterade man trädelen som består av limträpelare och bjälklagselement av KL-trä. Speciella stålinfästningar användes för att skarva pelarna från en lägre våning till ovanliggande våning för att undvika att vertikallasten överfördes via KL-träs bjälklag, vilket skulle ha orsakat oacceptabel sättningen av trästommen. Förutom att tillföra en signifikant horisontalstyvhet möjliggjorde betongkonstruktionsdelen att man kunde montera den bärande trädelen med exceptionell kvickhet: hela två våningar på en vecka. Detta berodde huvudsakligen på att man inte behövde temporärstaga konstruktionen under montaget.

De två platsgjutna betongkärnorna innebär i detta fall att träpelarna inte är delar av det stabiliserande systemet och därför behöver de bara ta hand om vertikallasterna. Tvärsnittsmått för de högst belastade

pelarna vid de lägre våningsplanen blev i detta fall bara 265×265 mm², och något mindre vid de övre våningsplanen.

SLUTORD

Vi saknar i princip helt och hållet banbrytande produktutveckling i form av hybridisering mellan trä och andra material för tillämpningar inom byggsektorn. Med hänsyn till respektive materials för- och nackdelar torde nya banbrytande hybridkoncept vara komplimenterande snarare än konkurrerande.

För mer information om ”hybridnätverket” och uppdragsutbildningskurser om träbaserade hybridkonstruktioner vid KTH, kontakta författarna. ■

Källa:
PBL (2016). Trends in global CO₂-emissions – 2016 report. http://edgar.jrc.ec.europa.eu/news_docs/jrc-2016-trends-in-global-co2-emissions-2016-report-103425.pdf.



MAGNUS WÄLINDER
KTH Byggnadsmaterial



ROBERTO CROCETTI
KTH Byggnadsmaterial
samt Novana AB