

Färskastommar

Trätekniker och metoder för att utveckla det krökta arkitektoniska formspråket

En rapport av Torsten Imottesjö och Karl Hallberg

Finansierad av
Leif Blomkvist Forskningsstiftelse



Tack.

Det är med stort nöje vi har genomfört detta projekt. Vi är mycket tacksamma för det ekonomiska stöd vi fått från LBF Leif Blomkvist forskningsstiftelse och den frihet stiftelsens styrelse gett oss i fråga om arbetets upplägg. Vi vill också tacka Aron Wigh, Sara Förbom, Andreas Falk, Samuel Carvalho, Adam Wisz, David Slättne, Jeanna Berger, Lars - Baltzar Jonsson och Lovisa Nilsson som deltagit i våra workshops vilket lett till intressanta diskussioner som drivit arbetet framåt. Vi är också mycket tacksamma för den kunskap om skog och träbyggande som organisationerna Skogsforum och Svenskt trä förmedlar. Slutligen vill vi tacka Hyekyung Imottesjo, Tormod Johansen och Anna Berglund för arbetet med rapporten.



Sammanfattning

Denna rapport redogör för en förstudie av byggande i färskt trä. Vi har påbörjat utveckling av byggmetoder som ska tillåta mer avancerade form och alternativ materialanvändning i arkitekturen. I rapporten redovisar vi ett antal praktiska experiment i full skala. Fokus i processerna har varit effektivitet och småskaligt adaptivt mekaniserat hantverk. De byggnadskomponenter som ingår i experimenten är krökta byggnadsprinciper av laminerade balkar i färskt virke, korslaminerade skivor, och dubbelkrökt ytäcknig.

De praktiska experimenten har lett oss in på frågeställningar kring den storskaliga industriella processens egentliga effektivitet i förhållande till det slutgiltiga resultatet. Vi för resonemang kring detta i sökandet efter genvägar mellan den levande biomassan och den slutgiltiga byggnaden.

I rapporten diskuterar vi de problemområden som rör produktion av byggnader i färskt material, till exempel: Sönderdelning av lämpliga stammar, böjningstekniker och torkning av byggnaden. Vi ger i avslutande kapitel förslag på möjliga projekt som går att genomföra med de metoder som studien tagit fram. Vi hoppas på att detta arbete ska visa vägar genom småskalig materialframställning till komplext byggande som är effektivare än att anpassa komplex form till en uniform storskalig process.



Abstract

The purpose of this report is to describe a preliminary study of construction using green wood. We have begun developing new construction methods to enable more advanced architectural forms and the use of alternative materials in architecture. The report contains a number of full-scale practical experiments. The processes have been geared towards efficiency and small-scale, adaptive mechanized craftsmanship. We experimented with laminated beams in greenwood, cross-laminated boards, and double-curved roofs to study curved building principles. Practical experiments have raised questions about the efficiency of the large-scale industrial process in relation to the final architectural product, leading us to search for shortcuts between the living biomass of Swedish forests and the final building.

In addition, the report discusses the problems related to the production of buildings in fresh materials, such as the decomposition of suitable trunks, bending techniques, and drying. In conclusion, we suggest possible projects that could be carried out based on the study's methods, and we hope that this study will lead to more efficient and adaptive construction of architecturally complex forms, which will be less costly than adapting complex forms to a uniform large-scale process that is unable to accommodate forests' diverse stock.

Författare



Huvudförfattare

Torsten Imottesjo

är arkitekt och hantverkare som engagerar sig i alla faser av olika design- och byggprojekt från konceptskapande till produktion av slutliga detaljer. De arkitektoniska projekten har ofta haft en experimentell karaktär och fokuserar på relationer mellan kroppsskala och komplexa landskap. Torsten har även varit verksam som skogsentreprenör där han processat tusentals kubikmeter biomassa som, med ett annat system, skulle kunna ha blivit byggnadsmaterial.

Kontakt Torsten@imottesjo.se



Karl Hallberg

är konstnär, slöjdare och pedagog med bakgrund i de traditionella hantverken och med ett stort engagemang för hantverkets sociala aspekter. Sedan 2009 engagerad i utvecklings- och konstprojekt på Not Quite i Fengersfors. Adjunkt på HDK Steneby Metal Art vid Göteborgs universitet sedan 2014.

Kontakt karl@notquite.se

Medförfattare

Erik Skansebo

Civilingenjör Optima Engineering AB

Innehållsförteckning

1. Inledning

2. Bakgrund

- 2.1 Skogen och skogsindustrin
- 2.2 Krökt form ger högre kostnader
- 2.3 Byggtekniken ger formen
- 2.4 Att rita och bygga krökta former
- 2.5 Vad är färskt trä ?

3. Syften

----- sid 10 -----

4. Metoder

- 4.1 Materialanvändning i studien
- 4.2 Från formgivning till färdig struktur
- 4.3 Experiment: 1 Väggar
- 4.4 Experiment: 2 Takkonstruktion
- 4.5 Experiment: 3 Spännvidd
- 4.6 Workshop med referensgrupp
- 4.7 Experiment: 4 Korslaminering

----- sid 20 -----

5. Resultat

- 5.1 Torkat krokigt virke, experiment 1, väggar
- 5.2 Tunnare dimensioner i färskt trä, experiment 1 väggar
- 5.3 Takkonstruktion, erfarenheter av experiment 2 och 3
- 5.4 Samverkan och Spårning
- 5.5 Kvarstående spänningar
- 5.6 Dragspänningar i bågmitt
- 5.7 Horisontalkrafter vid upplag
- 5.8 Sammansatt tvärsnitt enligt EC 1995-1 Bilaga B
- 5.9 Experiment 4 korslaminat



Innehållsförteckning

6. Diskussioner och erfarenheter

- 6.1 Hantering av material
- 6.2 Klassning av sågat virke
- 6.3 Konventionell sågning
- 6.4 Sågning för krökta byggande
- 6.5 Lämpliga dimensioner
- 6.6 Kostnadseffektivitet
- 6.7 Böjning
- 6.8 Förböjning
- 6.9 Kvist
- 6.10 Böjning på andra sätt
- 6.11 Torkning
- 6.12 Infästning och sammanfogning
- 6.13 Träslag

----- sid 30 -----

7. Implementering

- 7.1 Möjliga tillämpningar med begränsade vidare studier
- 7.2 Möjliga tillämpningar med behov av vidare studier

8. Vidare studier

- 8.1 Verktyg- och processutveckling
- 8.2 Byggsystem
- 8.3 Färskt täckande material
- 8.4 Projektering och klassning
- 8.5 Gallring av skog

Struktur av studien

Förstudien har organiserats som en serie praktiska experiment. Experimenten ämnar utveckla ännu okonventionella byggmaterial och byggmetoder. I och med att området är relativt outforskat är tillgången på befintliga exempel och relevanta referenser begränsad. Vårt fokus har varit att åstadkomma fysiska resultat som vi kan testa och analysera. De tekniker som används med de material vi utforskar är baserade i en förindustriell kontext som saknat krav på industriell effektivitet, vi vill använda samtida tekniker för att uppnå en hög effektivitet. Hantverksmässig kunskap om olika träslag och dess färska egenskaper har vi valt att bara mycket generellt belysa. Så även många av de andra områden vi berör. Denna rapport är ämnad att ge en övergripande förståelse för de områden våra praktiska experiment berör.



1. Inledning

Denna förstudie syftade till att utveckla byggmetoder som tillåter alternativa former och alternativ materialanvändning i träarkitekturen. De konventionella byggmetoder som finns tillgängliga för de flesta byggare, arkitekter och kunder baseras på de material som finns tillgängligt i trävaruindustrin och den praxis som gäller i branschen. Byggnadsverk med krökta och dubbelkrökta former i trä blir med konventionella metoder och material så kostsamma att de sällan används. Vi ser att det finns outforskade möjligheter att utföra mer komplexa former i arkitekturen genom att utveckla metoder som utgår ifrån det färska trämateriallets egenskaper.

Vi använder alternativa träråvaror, träslag och kvaliteter, som inte används i dagens virkesproduktion. Genom att hitta användningsområden för fler träslag kan vi främja en större biodiversitet i skogsbruket. I förlängningen ser vi en möjlighet att uppvärdera trädbevuxna områden som just nu anses ha för lågt ekonomiskt värde för rationellt skogsbruk men som besitter höga biologiska och sociala värden.



2. Bakgrund

2.1 Skogen och skogsindustrin

Om man ser tillbaka på skogsindustrins utveckling blir man varse hur våra produktionsskogar utvecklats för att tillgodose materialbehovet för de tekniker som varit mest rationella historiskt. Värdet av olika träslag hänger ihop med användbarheten. I och med att våra byggtraditioner baseras på raka linjer och rektangulära enheter i standardiserade format, vill vi att skogsråvaran medger ett effektivt och problemfritt sågande av passande produkter. Om vi tittar på den skogsråvara som kan skördas idag, ser vi att den planterats utifrån den sågteknik och användbarhet som var aktuell ett par generationer tillbaka.

Cirkelsågar med stora enkel klingor, i folkmun kallade bondsågar, var vanliga under första hälften av 1900-talet. Med dessa sågar är det nästan omöjligt att såga oregelbundna lövträstockar, då lövtimret riskerar att nypa klingan och stoppa sågen. De skogar vi avverkar idag är planterade och röjda av skogsägare som likställer denna sågteknik med nyttan av skog. Resultatet blir att gran och furu är de träslag som är effektivast att såga och därmed är det virke som prioriteras, allt annat betraktas som ogräs som ska hållas undan. Avverknings- och logistikapparaten i skogsbruket är vidare anpassad för vissa standardiserade dimensioner, den svenska skogsindustrin apterar träden i skogen om maximalt 5,5 m och i de fall en produkt som är lägre än 5,4 m eftersträvas, fingerskarvas den av kortare torrt material.

I takt med industrialiseringen utvecklades sågteknikerna. Processandet av trämaterial blev mer effektivt samtidigt som kostnaden för energi blev lägre. I vår tid är kostnaden för energi obetydlig i förhållande till arbetstid för hantverkare. I början av industrialismen krävdes det kanalsystem, dammar, slussar och järnvägar för att ta fram en sågad bräda från ett träd i skogen. Idag kan vi tack vara de tekniker som utvecklats i de storskaliga, industriella, processerna ha samma effektivitet i en småskalig lokal process, detta kommer vi argumentera för i det som följer av denna rapport.

Som en följd av det industrialiserade skogsbrukets efterfrågan på särskilt gran och furu har biodiversiteten i skogen minskat. Bortsett från den minimala andelen urskog som återstår så är det i områden som har varit obrukade och växt igen som man kan hitta den högsta graden av artrikedom. Ofta är dessa områden små och avgränsade av infrastruktur och byggnader. Även om ytorna i sig är begränsade, ökar den totala mängden träd som inte växer i skog i takt med samhällsutvecklingen. Om vi kan hitta värden i detta trämaterial kan dessa områden ha möjlighet att växa till ståtliga lövskogar. Detta skulle kunna innebära en omvärdering av önskad biomassa till konstruktionsvirke och, i förlängningen, bidra till ökad biologisk mångfald i områden som inte lämpar sig för rationellt skogsbruk. För en ytterligare försäelse av den historiska bakgrunden se även Pettersson, R., 2015. *Sågad skog för välbstånd : den svenska sågverksindustrins historia 1850–2010*, och Lagerqvist, L.O., Öster, L. & Lindqvist, H., 1999. *Den svenska skogens historia*.



2. Bakgrund

2.2 Krökt form ger högre kostnader

En av anledningarna till att krökt form är mer kostsam än plan är att de metoder som används för att framställa krökta byggelement främst är fräsning, gjutning och laminering. Vid gjutning och laminering är formtillverkningen en stor del av kostnaden, resurskrävande både i material och arbetstid. Metoden att skära eller fräsa ut en form ur ett ämne kräver också betydligt mer material än vad som i slutänden används och blir därmed resurskrävande i förhållande till det byggelement som produceras.

Stora krökta byggnadsdelar blir också kostsamma och svåra att transportera. Logistik- och transportsystem bygger på vissa standarder och mest effektivt är att transportera gods, som fyller upp lastutrymmen med material, dvs raka virkespaket istället för krökta former. Då arkitektur huvudsakligen är en permanent företeelse på en specifik plats och dessutom ofta har dimensioner där transport är utesluten, kräver den metod vi söker att materialet kan transporteras till byggplatsen i kompakt linjär parallell form och där användas till arkitektur med krökta former.



2.3 Byggtekniken ger formen

Det finns starka kulturella byggnadstraditioner som påverkar formen i nutida byggnader. Många av dem går att härleda till vilka tekniker som har varit tillgängliga genom tiderna. En av de tongivande metoderna för småhusarkitektur, där trä är det främsta byggmaterialet, är timmerstommen. När timmerstommen etablerades som byggnadskultur var det med den tidens verktyg mycket energikrävande att klyva trädstammar på längden. Det var också arbetskrävande och krävde stor skicklighet att skarva på ett hållbart sätt. Stammarna användes hela i så stor utsträckning som möjligt och sammanfogades i räta hörn. Rätblocket som byggnadsform blir då ett naturligt val. Dåtidens relativt otäta takmaterial krävde någon form av kraftigt sluttande plan för tillräcklig vattenavrinning. Ett sadeltak blev då naturligt, med tanke på att bygghöjden halveras med bibehållen taklutning och halverar spännvidden på takbjälkarna t.ex i jämförelse med ett pulpettak. Under denna tid var mekanisk infästning, med spik, mycket resurskrävande och undveks helst. Timmerknoten och andra avancerade sammanfogningar i trä var att föredra.

Industrins stora styrka är att producera material i hög takt till låg kostnad. Samtidigt innebär den industriella metoden, med fasta standarder som genomsyrar processen, att slutresultatet blir konformt. I utförandet av en byggnad med komplex karaktär, t.ex med krökta linjer, ligger ofta stor del av kostnaden i att anpassa och tillpassa standardiserade material till det unika projektet.



2. Bakgrund

2.4 Att rita och bygga krökta former

En enkelkrökt form är linjär i en riktning och krökt tvärgående riktning, en dubbelkrökt form är krökt i båda riktningarna. För att rita och bygga dubbelkrökta strukturer använder man sig i de flesta fall av två grundprinciper.

En princip är att använda polygona plan och vinklar, ofta trianglar, där de sammanhängande plana ytor skapar en illusion av en krökning, vilket ofta bygger på punkter i tre dimensioner och raka linjer mellan dessa. Den andra principen bygger på kurvor i olika riktningar. Vid praktisk användning mäter vi linjärt och stoppar in kurvorna i ett linjärt rätvinkligt koordinatsystem i tre dimensioner.

Den vedertagna konventionen i vår kultur är att krökt form är komplex och linjär är enkel. Det bygger på att vi ser på krökta former från ett linjärt perspektiv. Hantverksmässigt och mänskligt har vi inga svårigheter att skapa en verklighet utifrån kurvor i olika riktningar och om vi tittar på allt som inte är mänsklig skapat är räta linjer och plan sällsynta. Problemen uppstår när vi får behov att kvantifiera, och därigenom kontrollera, en process eftersom den övervägande delen av kvantifieringssystemen bygger på en linjär grund som mätning och beräkning.

2.5 Vad är färskt trä ?

Begreppet färskt trä är inte särskilt spritt begrepp. I svenskan är det isolerat till färsk träslöjd. I engelskan är **green wood** betydligt mer spritt inom fler områden såsom **green timber** och förekommer i sammanhang från täljda träskedar till timmerstommar av byggnader. Den definition vi använder oss av i denna studie är material från vedartade växter där materialet aldrig torkat och där nedbrytningsprocessen inte påverkat fibrernas flexibilitet. Tidsrymden under vilket ett material håller sig färskt varierar oerhört mycket. En bit ytved av björk under de sämsta förhållandena kan vara förstörd efter en vecka medan kärnveden av ek kan behålla sina färska egenskaper i decennier. Att bygga stommar i mer eller mindre färskt virke har varit norm fram till mitten av 1900-talet och är fortfarande vanligt i länder utan träindustri. Se även Pat Hennin i <https://www.youtube.com/watch?v=U39fun9Iwjc&t=6s> om färska timmerstommar.



3. Syften

Vi formulerade följande syften för den förstudie vi nu genomfört:

Att hitta kostnadseffektiva arbetsmetoder för byggnadsstommar i trä där motstånd för variation i form och uttryck minimeras.

Att hitta genvägar och samband mellan en råvara, som växer i variation och mångfald, till slutprodukt där denna mångfald har genomsyrat hela processen.

Att hitta användningsområden för träråvara som anses värdelös i trävaruindustrin.

Att möjliggöra en ökad variation i formgivning av platsspecifika byggnadsverk som erbjuder brukarna en bredare upplevelse av arkitekturen och dess omgivningar.

4. Metoder

Denna förstudie ämnade att med praktiskt utförande hitta metoder och problemområden för färskt stombygge. Vår metod, att arbeta hantverksmässigt, är resultatnriktad och väldigt adaptiv inför det specifika fallet. Det gör att slutsatserna av vår studie inte är självklart generaliserbara utan experimentella och bör läggas till grund för vidare studier.

Med vår utgångspunkt – att byggsystemet ska uppmuntra variation snarare än likformighet – krävs att materialframställningen är flexibel och integrerad i byggprocessen. Därför har vi valt att fokusera på småskaliga formskapande tekniker där verktyg och hjälpmedel hanteras direkt av människor. På så sätt kan vi processa byggnadstekniska faktorer som framkommer under arbetets gång, och anpassa metoderna för att uppnå det önskade fysiska resultatet. Denna process kan sedan ligga till grund för beräkningar och vidareutveckling.

I studien genomförde vi fyra experiment och två workshops.

Experimenten omfattade:

1. *Väggprincip* där fokus var böjning och materialframställning.
2. *Takprincip* där fokus var täckande lager i en isolerad tät stomme.
3. *Spännvidd*, där fokus låg på statisk hållfasthet av balksystem.
4. *Korslaminat* där torkning och infästning var det centrala.

Våra två workshops genomförde vi under Experiment 3, spännvidd, här fick deltagarna delta i framställningen av böjda takbalkar av det färskta materialet och i diskussioner om projektets frågeställningar. (se kapitel 4.6)

4.1 Materialanvändning i studien

I våra experiment använde vi oss av de träslag som vi kan hitta i områden som idag inte betraktas som produktiv skogsmark. Till exempel sälg, al, asp, björk och ask.

Materialet har vi själva avverkat och apterat för att passa experimentet. Hanteringsmässigt är det ofta smidigt att använda sig av kort material som senare skarvas, men då skarvar är tidskrävande och konstruktionsmässigt problematiska, valde vi att använda oss av så långt material som möjligt.



4.2 Från formgivning till färdig struktur

Formen på de strukturer vi har undersökt skisades först upp i en skalmodell i ståltråd. Detta material liknar färskt trä på flera sätt, med en inneboende elasticitet som jämnar ut kurvaturen vid böjning, och liknande plastiska egenskaper efter deformation. Det som skiljer färskt trä från ståltråd är att de spänningar, som uppstår vid böjning av trämaterial, nästan helt försvinner vid torkning och en ny nollpunkt för elasticitet uppstår.

Trådmodellerna mätes upp linjärt för att passa den tänkta användningen samt för beräkning av mängden material. Grundläggande balans- och statiska stresstester utförs också i skisstadiet.



4.3 Experiment: 1 Väggar

Princip krökt väggstomme.

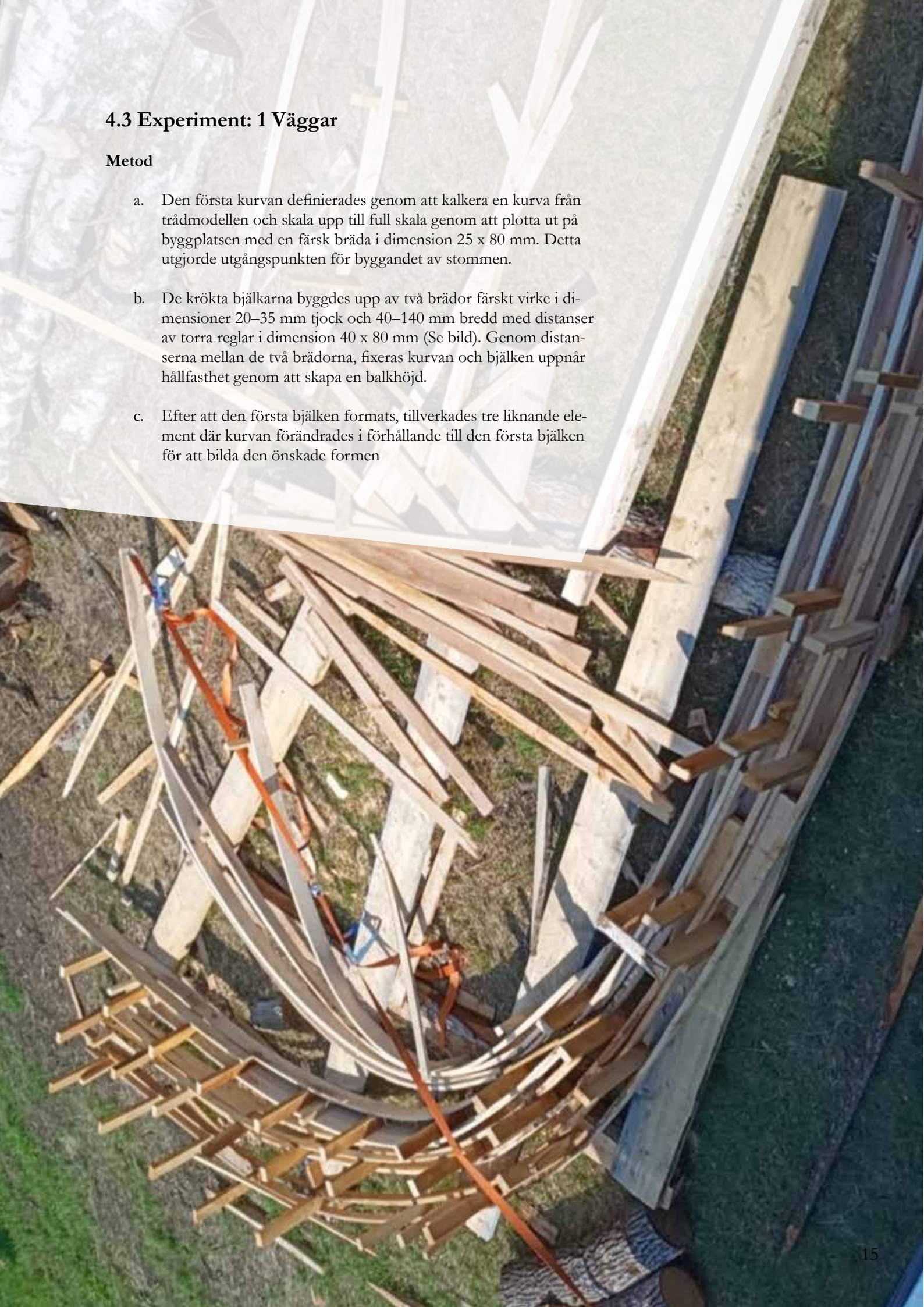
Blandning av torrt och färskt material användes för att undvika mögel när två färska bitar ligger mot varandra utan luftning. Genom att låta det torra virket absorbera fukten från det färska passerar den kritiska fuktgränsen för påväxt snabbare och mögel hinner inte etablera sig.



4.3 Experiment: 1 Väggar

Metod

- a. Den första kurvan definierades genom att kalkera en kurva från trädmodellen och skala upp till full skala genom att plotta ut på byggplatsen med en färsk bräda i dimension 25 x 80 mm. Detta utgjorde utgångspunkten för byggandet av stommen.
- b. De krökta bjälkarna byggdes upp av två brädor färskt virke i dimensioner 20–35 mm tjock och 40–140 mm bredd med distanser av torra regler i dimension 40 x 80 mm (Se bild). Genom distanserna mellan de två brädorna, fixeras kurvan och bjälken uppnår hållfasthet genom att skapa en balkhöjd.
- c. Efter att den första bjälken formats, tillverkades tre liknande element där kurvan förändrades i förhållande till den första bjälken för att bilda den önskade formen



4.3 Processer: 1 Väggar

Metod

- d. Dessa tre bjälkar placerades med ett centrum-centrum (cc) avstånd från 400 till 800 mm och sammanfogades med torra krökta reglar. Reglarna var sågade ur material som klassats som brännved på grund av spänningar och kvist i stammarna. Sådant material slår sig både under sågning och torkning, vilket resulterar i krokiga reglar.
- e. De tre elementen restes enligt stålstrådsmodellen till den slutgiltiga positionen. För att uppnå en dubbelkrökt vägg plottades en kurva ut i tvärgående riktning från den första bjälken. Sedan spändes bjälkarna in till denna kurva och den slutgiltiga formen.
- f. Flera lager med torra krökta distansreglar och färska tunna brädor byggdes på tills vägg- och golvformen var sluten. En mängd träslag, dimensioner, böjmetoder. Infästnings- och sågtekniker testades.

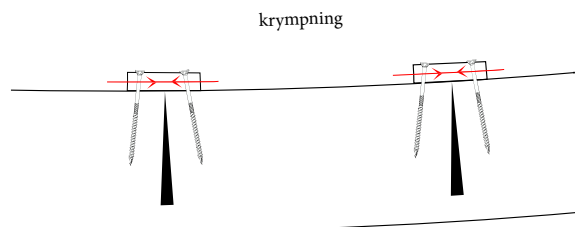


4.4 Experiment: 2 Takkonstruktion

För att testa våra material i takbjälklag och undertak experimenterade vi med att täcka de krökta väggstommarna med en dubbelkrökt takform. Vi använde de resta väggarna och en byggnadsställning som stöd för att definiera takformen.

Metod

- Vi började med att använda färsk regel 40*40 mm. På grund av sin liksidighet kan en sådan regel böjas i två riktningar i jämna kurvor till skillnad från en regel med ett mer rektangulärt tvärsnitt, som böjer mer i den ledd där dimensionen är tunnare (Se till höger). Regeln gav oss utgångspunkten för de krökta taklinjerna.
- I tvärgående riktning på dessa 40*40 mm regler, lades ett lager färskare regler i dimensionen 40*120 mm.
- För att uppnå den önskade dubbelkrökningen sågades snitt på jämna mellanrum ner till dess att det återstod 35 mm av regelns ursprungliga 120 mm (Se bild till höger). På detta sätt kunde vi böja reglarna till den form vi eftersträvade. Den öppna, övre, sidan av snittet låstes med tunnare brädor tvärs över reglarnas riktning - se bild nedan.



- På de tunnare brädorna lades en board för att skapa en luftspalt mellan framtida isolering och undertaket, På boarden skruvades läkt ner de snittade i 40*120 mm -reglarna som därigenom låses. Vi såg att denna princip med sågsnitt för böjning av högre regler och låsande lager av böjda brädor hade utvecklingspotential, och vi valde att vidareutveckla denna konstruktionsprincip, se spännviddsexperimentet.
- Vi provade därefter att lägga ett undertak av färskt virke. Till detta använde vi brädor av olika bredder för att undersöka hur heltäckning påverkas av torkning, hur stora springor som uppstår vid torkning samt om tillväxt av t ex. mögel kan undvikas. Arbetet skedde under väderskydd så att ingen fukt tillsattes. Undertaket var på plats i september, vilket innebär att torkningstakten var låg.





4.5 Experiment: 3 Spännvidd

I detta experiment ville vi testa möjliga spännvidder i en krökt takkonstruktion med färskt trä. Vi fortsatte med metoden att kombinera lager av stående reglar i gran där snitt sågats, och tunnare brädor i ask, som låser granreglarna till krökta balkar.

Metod

- a. Vi använde oss av granplank med en dimension 40–60*220–300 mm med längder upp till 8 m eftersom vi anser att dessa dimensioner är rimliga att få ut från svenska skogar utan att stockarna blir alltför koniska för att sågas utan avsevärt spill.
- b. Den första granplankan snittades med kedjesåg och spändes upp som en enkel kurva på en plan arbetsyta med ett spännband. Snitten justerades sedan på plats till den önskade formen och nedböjningen uppnåddes. Därefter skruv- och spiklaminerades en tunnare askbräda på in- och utsidan av den böjda plankan. Vi valde kombinationen gran och ask där gran ger höjd och krysstabilitet i balken till en låg vikt och asken står för hållfasthet och flexibilitet. Två enkelkrökta balkar tillverkades på detta sätt med vissa justeringar i tekniken. De två balkarna sattes samman med kortare tvärgående reglar, som snittades och spändes till form på samma sätt som de längre. På detta sätt uppnådde vi en dubbelkrökt form. Ytterligare balkar och reglar byggdes på tills det att stommen blev formstabil. På så sätt kan sedan resten av materialet spännas mot den krökta stommen.





4.6 Workshop med referensgrupp

Under hösten 2021 arrangerade vi två workshops med inbjudna gäster som arbetar inom arkitektur, byggnadsprojektering och snickeri.

Vi arbetade tillsammans med experiment 3, spännvidd, här fick deltagarna delta i framställningen av böjda takbalkar av det färska materialet och i diskussioner om projektets frågeställningar. Under den första workshopen diskuterades, förutom tekniska förbättringar av böjtekniken, andra exempel och tillämpningar av träbygge i större och mindre skala. I en diskussion om - korslaminerat limträ (CLT) väcktes idén om korslaminering av det färska materialet med spik, något som är vanligt i USA. Vi diskuterade också hur arkitekter skulle kunna rita in färskt träbyggande, bland annat om det behövs en annan syn på hantverkarens del i projektet, att vi kan rita med större toleranser och låta det slutgiltiga resultatet variera något med det färskas materialets varierande egenskaper.

I workshop 2 pratade vi bland annat om vad som anses vara en naturlig arkitektur i landskapet. Det framkom att bilden av en naturlig arkitektur skulle kunna vara en timmerstuga, med t ex ett rektangulärt plan. Idén var att huset får form av materialet, de raka timmerstockarna, som kommer från naturen. Vi resonerar snarare att den rektangulära formen hänger ihop med materialet och de verktyg som var tillgängliga.



4.7 Experiment 4: Korslaminering

Bilden visar det torra resultatet av experimentet i massiv björk.

Ett av målen med detta projekt var att undersöka möjligheten till använda den skogsråvara som inte lämpar för förädling till byggnadsmaterial. Under en av de workshops som utfördes kring spännviddsexperimentet, kom vi i kontakt med begreppet NLT, *nail laminated timber*, som används i byggnation i USA. Till skillnad från CLT, *cross laminated timber*, i Sverige kallat KL-trä, NLT kan tillverkas på byggplatsen medan CLT behöver en kontrollerad miljö och små toleranser i virkesdimensioner. Vi ville därför prova korslaminering med mekanisk infästning i färskt virke.

Metod

- a. I detta experiment använde vi oss av färsk björk som sågats till dimensionen 20*50 mm. Råmaterialet hade både kvist och spänningar. Om detta material hade torkats utan inspanning, skulle det ha slagit sig och vridit sig för mycket för att vara möjligt att sammanfoga med en tolerans på mindre än 100 mm på 2 m, vilket i stort sett utesluter all användning som byggmaterial.
- b. Materialet sammanfogades korsvis med 1 mm trådklammar i två lager, sida vid sida på ena sidan och med ett cm avstånd på 100–150 mm på andra sidan. Vi tillverkade en plan skiva med måtten 2,5*1,5 m för att enklare kunna mäta hur måtten varierar vid torkning. Laminatet torkades ner till möbeltorr, dvs 6-10% fuktighet.
- c. Nästa steg i detta experiment är att bygga upp dubbelkrökta korslaminat. Vi ser att det finns stora möjligheter i denna byggteknik, stora byggnadsverk har uppförts med bärande skal i komplexa former, dock inte med färskt sågat material. Tekniken är i hög grad självbärande under byggprocessen och när en dubbelkrökt skivverkan uppnås är en sådan skalkonstruktion en av de hållbaraste konstruktionsprinciperna.

5. Resultat

5.1 Torkat krokigt virke, experiment 1, väggar

Vi använde oss av torra krokiga regler tillsammans med färsk tunna bräder för att åstadkomma de dubbelkrökta väggarna. Framtagandet av torrt krokigt virke visade sig vara tidskrävande och svårförutsägbart med den sågteknik vi använder eftersom den är anpassad för att såga rakt och parallellt i material med mindre spänningar. Hanteringen under sågning var tidskrävande och dimensionerna på de färdiga reglarna blev alltför varierande. Vi drog efter dessa experiment slutsatsen att det är svårt att hitta en framgångsrik väg för produktion av krökta regler för stomkonstruktioner. Inga vidare experiment genomfördes med denna metod.



5.2 Tunnare dimensioner i färskt trä, experiment 1, väggar

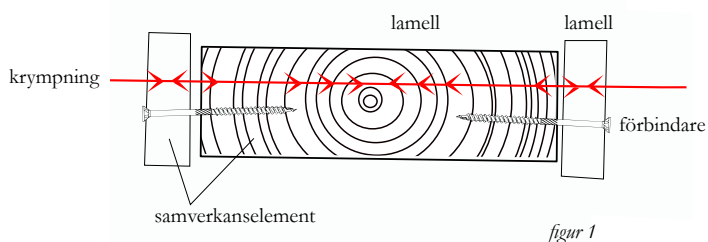
Principen med det tunnare färsk material visade sig fungera väl. hanterande av rakt parallellt material som är plastiskt på grund av sin färskhets, mötte inte några problem. Här anser vi att det finns stor utvecklingspotential. Vi utförde tester inom dimensionerna 5–60 mm i krökningens riktning och erfor att spannet 20–40 mm är mer optimalt av flera anledningar. När det gäller böjbarheten blir kompressionen i innerkurvan problematisk om materialet är för tjockt. När innerkurvan förkortas pressas materialet samman och trycker därigenom isär fibrerna på motsatt sida vilket leder till att materialet spricker. (se även 5.4) Den erfarenheten vi gjort är att nedböjning på 150 mm per meter fungerar vid en materialtjocklek på ca 35 mm. Tunnare material går att böja mer men på bekostnad av infästning och bärighet, en viss materialtjocklek är nödvändig för att kunna använda skruv och uppnå formstabilitet.



5.3 Takkonstruktion, erfarenheter av experiment 2 och 3

I arbetet med det snittade spik- och skruvlaminerade balkarna visade det sig att merparten av spänningarna fördelades momentant till förbindningspunkterna så att när spännbandet släpptes kvarstod formen.

När experiment 3 - spännvidd var uppfört anlätades civilingenjör Erik Skansebo för att ge synpunkter på konstruktionen och förslag till hur hållfastheten skulle kunna beräknas, särskilt på de böjda balkarna. Eriks utlåtande finns i avsnitt 5.4-5.8 och 6.2.



Krympning tvärs fiberriktning (se figur 1) ger glapp mellan ihopskruvade lameller och lägre grad av samverkan, vilket kan kompenseras med ökat antal samt grövre skruvar. Spårning i mittlamell bör begränsas närmre upplag. För ett sammansatt tvärsnitt med tunnare yttre lameller och högre mittlamell bärs större delen av tvärkrafterna av mittlamellen. Förmågan att bära tvärkrafter är direkt proportionerligt mot tvärsnittshöjd. För en enkelspänd balk är tvärkrafter nära noll i mitt och störst vid upplag.

5.4 Samverkan och Spårning

Vid grövre dimensioner kan krympning vid torkning bli problematisk för infästningen. Färskt trä krymper upp till 7% i tvärsnittet på en bräda. När grövre dimensioner används kan detta leda till att mellanrum som överskrider ett par millimeter skapas mellan byggelementen som skruvats samman. Utan samverkan mellan de olika ingående lamellerna förs inga krafter över dem emellan och de fungerar som separata brädor. Med förbindare (skruvar) skapas samverkan och krafter förs mellan lamellerna med hjälp av skruvarna.

Ökad samverkansgrad ger ökade krafter i förbindare, och ökat antal förbindare ger ökad samverkan. Kraften som skall föras över varierar från nära noll i bågmitt och störst vid upplag, en optimerad balk har fler förbindare närmre upplag.

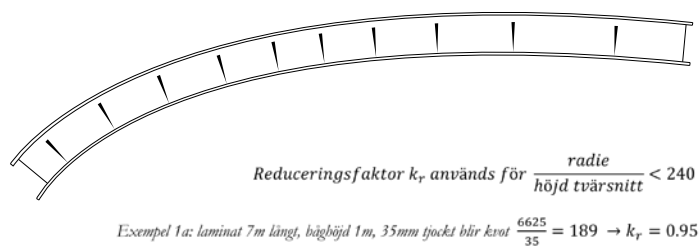


5.5 Kvarstående spänningar

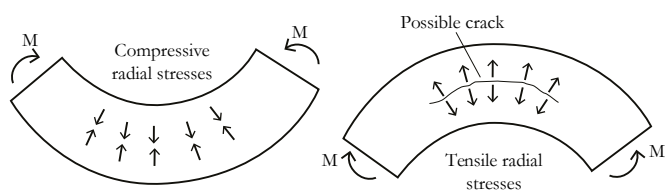
Vid böjning skapas spänningar i träet som till viss del kvarstår så länge balken hålls färsk. Högre tvärsnitt och mindre böjningsradie kräver mer arbete och ger mer spänningar i materialet. För en torkad balk går spänningarna snabbt över dess kapacitet. Färskt trä med högre fuktkvot har lägre E-modul (styvhet) vilket ger mindre motstånd vid böjning, och då lägre böjspänning i tvärsnittet.

$$\text{Teoretisk böjspänning} = \frac{E \times h}{2 \times r}$$

Träets flexibla fiber bindningar i färskt tillstånd gör att dessa spänningar avtar under processen och kan i många fall bortses ifrån. Eurokoderna ger förslag på hur träets hållfasthet kan reduceras iförhållande till påtvingad böjning (EC1995-1 6.4.3)



5.6 Dragspänningar i bågmitt



Figur 1. Böjt tvärsnitt (Design of timber structures)

Vid tillplattande av båge uppstår tryckspänningar vertikalt i bågmitt, se figur åvan. För en balk i ett kupoltak bör dessa krafter och eventuell förstärkning kontrolleras

5.7 Horisontalkrafter vid upplag

En båge i ett kupoltak behöver stabilt horisontellt stöd vid upplag för att ej plattas ut, likt dragstag i treledstaktol. Horisontalkrafter i stöd blir snabbt av betydande storlek och mothållande system bör alltid kontrolleras.

5.8 Sammansatt tvärsnitt enligt EC 1995-1 Bilaga B

Eurokoderna för trä SS-EN1995-1-1 ger i Bilaga B förslag på hur ett sammansatt tvärsnitt med delvis samverkan kan dimensioneras. I jämförelse med en rak balk kräver detta avancerade beräkningar med ett ökat antal ingående parametrar, vilket ger ökade osäkerheter.



5.9 Experiment 4 korslaminat

I detta första försök använde vi den klenaste typen av klammer för att se hur spänningarna i torkningen påverkade infästningen. Förvånande var att mycket lite hände med laminatet under torkningen, ett mellanrum på upp till 2 mm uppstod mellan de korsvisa lagren av virke och ett varierande mellanrum på upp till 4 mm mellan det virke som lagts sida vid sida vid sammanfogningen. Skivan var dessutom mer krysstabil efter torkning, troligtvis på grund av att det nu torra virket är betydligt hårdare vilket håller klamrarna stadigare på plats.

6. Diskussioner och erfarenheter

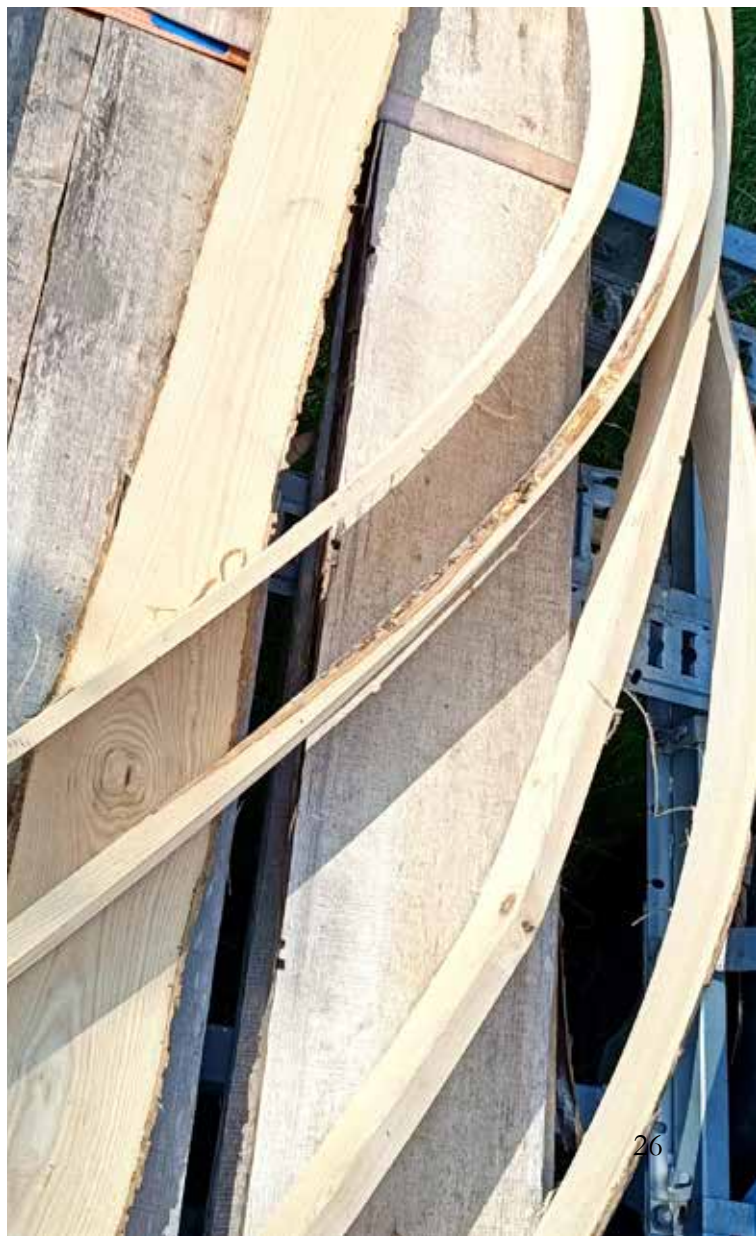
6.1 Hantering av material

Generellt under experimenten har vi märkt att nysågat virke håller sig färskt i ungefär en vecka under bra torkningsförhållanden utomhus. Yttorrhet uppnås efter bara ett par timmar. Under sämre torkningsförhållanden, blött väder, oskyddad byggplats mm, finns risk för mögelpåväxt efter ett par dagar. Bättre torkningsförhållanden tillåter tätare konstruktioner och i sämre förhållanden gäller det att tillåta större luftväxling. Därför är det att föredra att montera virket i konstruktionen så snart som möjligt efter sågning och undvika mellanlagring i travar, där det finns risk för påväxt. Vi anser att ett säkert tidsfönster för att bygga i färskt virke är ett dygn från sågad stock till monterad bräda i stomme. Detta uppnår vi genom att såga virket på byggplatsen och matcha produktionstakten av virke till åtgången i bygget.



6.2 Klassning av sågat virke

För bärande konstruktioner krävs enligt Boverkets regler hållfasthets klassat material för att kunna säkerställa dess funktion. Vår tolkning av detta är att den primära stommen som exempelvis takstolar, primärbalkar och pelare bör utgöras av klassat virke. Även de delar som stabiliserar stommen bör vara av klassat virke. För sekundärkonstruktioner som golvbjälklar som bara bär sig själv kan eventuellt enklare bedömning göras. Virke kan klassas maskinellt enligt SS-EN 14081-1 och ges klasser C14-C30 eller visuellt enligt SS230120 som ges klasser T0-T3. Den senare varianten bör rimligen användas på byggplatsen och någon form av dokumentation måste skapas för varje virkesdel.



6.3 Konventionell sågning

I Sverige sågas nästan uteslutande endast två träslag, gran och furu. Dessa träslag har i förhållande till lövträd mindre spänningar och huvudsakligen små kvistar i relation till stamstorleken. Virke med stora kvistar är problematiskt vid torkning eftersom en bräda med stora kvistar får områden med olika densitet och fiberriktning, något som resulterar i stora rörelser i materialet och därmed krokiga bräder. Resultatet blir att raka stockar av gran och furu är de träslag som är effektivast att såga därmed det som prioriteras i våra skogar.

Problemet med sågning av oregelbundet material med spänningar är att sågsnittet tenderar att mer eller mindre följa materialet så att snittet inte blir rakt. Är stocken fixerad vid sågningen böjs skärutrustningen. Är stocken däremot inte tillräckligt fixerad kröker sig såglinjen. Cirkelsågar med stor klingdiameter har viss förmåga att anpassa sågningen efter en lätt krökning eftersom den stora klingan jämnar ut variationerna, men det blir snabbt problematiskt med material med högre densitet. Den mest förekommande tekniken är att i möjligaste mån fixera materialet i förhållande till en rak såglinje och se till att skärutrustningen är tillräckligt styv och skarp för att styra och inte påverkas av träets fibrer.

Inom industrin där hastigheten är avgörande fixeras materialet mellan matarvalsar i en såglinje och sönderdelas symmetriskt så att ensidiga spänningar inte uppstår. Tekniken är väl fungerande för att såga timmer inom vissa dimensioner och med en viss rakhet. Produktionstakten är så effektiv att det krävs en stor logistisk apparat för transport av material före och efter sågninglinjen, vilket minskar flexibiliteten och gör alla avbrott kostsamma. På grund av detta sker sågning av andra material i mer varierande dimensioner och träslag i småskaliga sågverk.

Den vanligaste principen i småskalig sågning av lövträd är att använda sig av grovt och kort material av hög kvalitet, som genomsågas och torkas i grova dimensioner under spänn för att motverka rörelser vid torkning. Vid användning i t ex. möbeltillverkning dimensioneras materialet torrt och rikt- och planhyglas. Detta leder till att mycket arbetstid går åt vid hanteringen som dessutom genererar en avsevärd mängd spill. Eftersom dimensionering sker i efterhand leder metoden till att en hel del sågat, lagrat och torkat virke kasseras i form av spån mm.



6.4 Sågning för krökta byggande

För våra syften vill vi kunna producera tunna, långa brädor som håller hög parallellitet i specifika dimensioner av färska stammar, vilka vanligtvis inte ingår i produktion av konstruktionsvirke.

För det första passar ytveden bättre till böjning. Kärnveden är mindre flexibel och har spår av tidigare kvist och rörelser från trädets tidiga tillväxtår. Kärnan har också en högre risk för röta som gör virket skört och oflexibelt.

Den optimala stam vi är ute efter för att bygga krökt är klen, rak, lång och kvistfri, vilket finns i stor utsträckning i förvuxen slyskog som idag inte är lönsam för att bedriva skogsbruk i.

Efter att ha provat böjning av bräder med årsringar i olika riktning kom vi fram till att det tangentiella uttaget vid sågning är mest optimalt för böjning av färskt virke.



Bilden visar de optimala sågsnitten i förhållande till årsringarna för att ta ut böjbart material från en stock. Denna sågteknik lämnar kärnan intakt och brädor av ytveden kan sågas symmetriskt. De största problemen uppstår när kärnan ligger ocentrerat i stocken, vilket leder till att hela ämnet under sågningen böjer sig mot den sida med störst andel ytved och gör sågning av jämna dimensioner omöjlig (se bild på föregående sida)

I våra böjda balkar är just skarvarna de svaga punkterna, därför strävar vi efter att få fram så långa brädor som möjligt och behöver ovanligt långt timmer att såga. Metoden med helstamsavverkning är ovanlig i Sverige men mycket vanlig i andra länder. Det långa oskarvade trämaterial som finns på marknaden är träpålar avsedda för pålning och här finns också en logistik från skog till byggplats som skulle kunna passa vårt arbetsätt.



6.5 Lämpliga dimensioner

En observation under våra experiment är att det uppstår mellanrum där konstruktionen sammanfogats när det färska virket krymper. Vid sammanfogning och infästning med skruv eller spik är toleransen för hållfasthet beroende av detta och blir problematisk om krympningen lämnar mellanrum över 4 mm mellan de sammanfogade delarna. Av denna anledning är det praktiskt fördelaktigt att inte använda bredare material än 50 mm eller ge möjlighet till total krympning som i experiment 3, där bjälklaget får torka fritt och få möjlighet att krympa.



Vårt behov att ta fram klena dimensioner på ett effektivt sätt ledde oss in på lammellsågningsteknik. Vi har i experiment inte provat de lamellsågar som finns på marknaden, då de är utvecklade för block med relativt små spänningar eller kortare längder. Med de maskiner och resurser vi hade tillgängliga, utan tillgång till avancerade system av valsar som spänner in stockarna, provade vi oss fram med en teknik där vi inte helt genomsågade stockarna.

Istället anpassade vi en klingsåg för att såga spår i stocken med jämna avstånd. Vi lämnade kärnan osågad för att hålla ihop stocken och motverka att spänningarna gör att materialet rör sig under sågningen. Detta visade sig möjliggöra hög precision i små dimensioner med en enkel och relativt billig utrustning. Detta arbetssätt anser vi vara möjligt att utveckla för att få fram parallellt klen material i längder upp till 15 m, något som passar vår byggteknik med krökta stommar.

6.6 Kostnadseffektivitet

Med den sågteknik vi använde i experimenten producerade vi virke i en takt på mellan 0,1 och 0,2 m³/h. Om vi räknar på en arbetskostnad på 500 kr/h ger det en kostnad på mellan 2500 och 5000 kr/m³. I vårt experiment använde vi oss mestadels av brännvedsklassat virke med ett pris på 150 kr/m³, råvarukostnaden är alltså försumbar i sammanhanget. Vårt pris ligger klart under dagspriset för sågade trävaror. I februari 2022 låg konsumentpriset för torr 45x45 mm granregel strax under 8000:- per m³ ex moms.

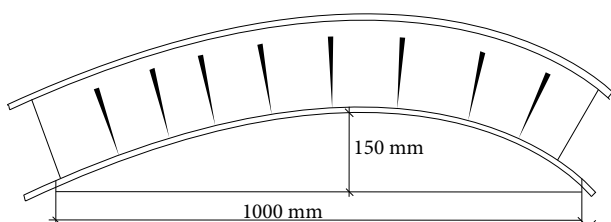
Vi anser att att experimenten visar att det är fullt möjligt att ha lägre materialkostnader i färskt byggande, där materialet förädlas på plats från timmer till färdig byggnad med förhållandevis små investeringar i sågverksteknik, och betydligt mer möjligheter för komplexa och varierade former.

Med grund i experimenten kan vi konstatera att hanteringen av det färska materialet inte medför större svårigheter än hantering av torrt material. Det färska virket är naturligtvis betydligt tyngre, men då de enskilda bitarna aldrig blir för tunga påverkas arbetsflödet inte märkbart. När det gäller själva byggandet har vi i detta skede lite för lite generell produktionsdata för att göra bra jämförelser med plant byggande. Men det vi kan se tydligt är att denna teknik är betydligt snabbare och resurseffektivare än de befintliga teknikerna för krökta träkonstruktioner såsom limträ, formsågning, och basning. När det finns utrymme för stora tolerans så som stombygge.



6.7 Böjning

Vi har under projektet utfört en mängd tester av att böja färskt trä för att få bättre kännedom om hur, när och varför det spricker eller går av. När vi nedan beskriver böjningen talar vi i termer av nedböjning per meter, då denna mätmetod är mer schematisk än att prata om radier. Dessutom är många av de kurvor vi jobbat med av exponentiell karaktär. Vårt fokus har varit att prova ut en variation av kurvor som är tänkbara i ett stombygge.



De tester vi gjort visar att med rätt teknik är det relativt oproblematiskt att arbeta med en nedböjning på 15:100 med en materialtjocklek mellan 20–30 mm och ett förhållandevis fiberparallellt material. När det rör sig om en nedböjning på mindre än 5:100, går det att gå upp till 60 mm tjocklek och ett betydligt mer varierat material. En tumregel är att ju tjockare dimension man arbetar med desto viktigare är materialets kvalitet och fiberparallellitet.



6.8 Förböjning

Vi testade att förböja virket innan montering. Virket böjdes och fick sitta i spänn under 10 min, se bilden nedan. När materialet lossades återgick det till halva nedböjningen, vilket avsevärt underlättade böjningen vid monteringen. Genom att förböja ett antal brädor kunde vi öka monterings-takten i den krökta stommen.



6.9 Kvist

Kvist är en av de känsligaste delarna av materialet, eftersom fibrerna runt kvisten ändrar riktning och har en högre benägenhet att brista. Här krävs en viss hantverksskicklighet hos utföraren då materialet är som mest känsligt vid böjningsögonblicket. Redan efter ett par minuter justeras träfibrernas position och spänningen avtar, för sedan att släppa helt när materialet torkat i sitt slutgiltiga läge. I de fall kurvorna i konstruktionen är oregelbundna, kan man använda material med högst kvalitet där det skall böjas mest, medan oregelbundet och kvistigt material kan användas på rakare partier. Hur mycket virket går att böja beror också mycket på hur färskt materialet är. Ved med en hög fukthalt, ytved, är mer flexibel än torr kärnved.

6.10 Böjning på andra sätt

a. Basning:

Vi gjorde försök med att basa material med vattenånga, vilket gav en högre flexibilitet och möjliggjorde skarpare kurvor i tjockare dimensioner. Basningen innebar dock övervägande nackdelar när det gäller stombygge. Basat material har ett mycket kort tidsfönster för böjning, på ett par minuter behöver materialet fixeras i konstruktionen innan det svalnar. Basning kräver också ytterligare utrustning samt energi i form av värme för att skapa ångbadet. I vår tillämpning, stombygge, behöver vi sällan kurvor som är skarpare än 15:100, något som vi kan uppnå utan basning av virket.

b. Limträ:

Vi har inte direkt jämfört vår teknik med att tillverka krökt limträ, vilket är den övervägande tekniken inom krökt träbyggande. För att framställa krökt limträ krävs att kurvorna fixeras med hög precision och högt tryck för att limmet uppnå hållfasthet. Ofta måste formar tillverkas, vilket också blir mycket kostsamt. I och med detta begränsas möjligheten till variation av kurvor då varje linje måste definieras med exakthet.

c. Bambuarkitektur:

I denna studie har vi inte titta på modernt byggande i bambu av två anledningar. Dels för att det inte är en växt som växer i Sverige i någon större utsträckning. Dels på grund av bambustammens form som gör det komplicerat att skapa släta täta ytor. Den koniska rörformade stammen är svår att sönderdela till ett uniformt parallellt material. Detta gör det också svårt med täta genomföringar för fönster och dörrar. Det finns dock väldokumenterade och välfungerande metoder för paketering och formgivning av komplex bambuarkitektur som skulle kunna vara tillämpliga i ett färskt träbyggande.

6.11 Torkning

Torkning är den största utmaningen i det färska byggandet. Förutom infästningsproblematik kan problem med mögelpåväxt uppstå, vilket utesluter vissa metoder.

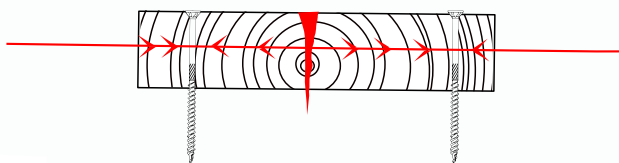
Vi har arbetat utifrån principen om platsbyggt lösvirkesbyggande. Detta gör att torkprocessen också måste ske på plats med någon form av lufttorkning. Under vår och försommar fungerar det väl i vårt klimat men det blir problematiskt under resten av året. Därför krävs någon form av torkning i väderskydd för att inte få en alltför utdragen byggtakt. Här krävs en del utveckling i torktekniker. En variant vore att utveckla byggmetoder där tak och fasad färdigställs som väderskydd och sedan värms och torkar inifrån. En instängning av fuktigt material i ett kallt väderskydd leder till alltför stor risk för påväxt av mögel. För att inte byggprocessen skall bli lidande av torktiden bör materialets yta vara torr inom ett dygn.

En annan aspekt vi ännu inte undersökt är hur många lager som är möjliga att laminera i färskt virke utan att få problem med mögelpåväxt. Kanske skulle det gå att avhjälpa med torra lager räfflat virke som tillåter luftcirkulation.



6.12 Infästning och sammanfogning

Vi har fokuserat på mekanisk infästning; skruv, spik och klammer. Tidsåtgången har här varit avgörande och vi har vidare arbetat med toleranser som liknar de vi finner i lösvirkeskonstruktioner byggda mellan åren 1950 och 1980. På den tiden var mycket konstruktionsvirke ohyvlat och höll stora toleranser. Även torkningsgraden var mer varierande. Flertalet av dessa byggnader står och fungerar väl än idag och, med den praktiska erfarenhet vi personligen har av att riva och renovera byggnader från denna period, kan vi konstatera att i jämförelse med dagens industrialiserade byggande, använde hantverkare inom lösvirkesbyggandet på den tiden ofta grövre material i både regler och infästningar.



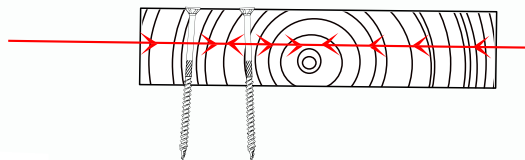
De grövre dimensionerna är det som gör att de stora toleranserna fungerar och det är inte ovanligt att se sammanfogning av regler med mellanrum upp till 6 mm. Det är sällan själva infästningen som är problemet, oftare handlar det om sättningar i spännvidder där orsaken är underdimensionering. Sättningar påverkar naturligtvis infästningen kraftigt men på grund av de stora toleranserna har infästningen haft möjlighet att följa med i rörelsen.

I arbetet med det färska materialet är en av utmaningarna att handskas med den föränderliga infästningssituationen när träet torkar. Vi vill kunna kontrollera var mellanrum uppstår och hur stora de blir för att kunna anpassa dimensionen på infästningsmaterialet.

Mekanisk sammanfogning så som laxning, tappning osv är ofta mycket tidskrävande och vi har valt att inte genomfört så många tester av dessa tekniker. Det finns också många intressanta principer inom slöjden där man kombinerar torrt och färskt material för att använda krympning för att skapa starka sammanfogningar. Dessa metoder kräver emellertid hög grad av hantverksskicklighet och, om de ska bli tillämpbara inom ett effektivt stombygge, krävs verktyg och metodutveckling.

Det limmetoder som är vanligt förekommande förutsätter en torr råvara och hög precision i tillverkningen. Eftersom vi arbetar med färskt virke har vi inte undersökt limning utan fokuserat på mekanisk infästning som fungerar även vid stora rörelser i virket vid torkning och har betydligt högre toleranser.

Många av lövträslagen är i torrt skick betydligt hårdare än det barrträ som regler huvudsakligen är tillverkade i. Hårdheten gör att de lätt spricker om infästningselementet är grövre, det är också ett problem att skruv går av på grund av det kraftiga vridmotståndet i det hårda träet. I torrt virke avhjälpas detta av förborrning. Dessa problem förekommer nästan inte alls när man jobbar med dessa träslag i färskt tillstånd.



Däremot bör man vara uppmärksam på att infästningen kan orsaka sprickbildning på grund av krympningen när träet torkar. Materialet krymper mest tvärs brädans bredd och därför bör fixering med fler än en skruv eller spik i krympningsriktningen undvikas, annars uppstår ett drag mellan fixeringspunkterna under torkningen. Vid behov av fler fästpunkter bör man inte överskrida ett mellanrum på 50 mm eftersom detta avstånd inte leder till en flyttning av insättningspunkten på mer än ett par millimeter.

För att avhjälpa problemet med mellanrum mellan reglarna efter torkning går det att efterdra eller slå infästningen efter torkning. Detta är bara möjligt till viss del t.ex. invändigt i en byggnad. På utsidan behöver stommens material väderskyddas under torkning och därmed blir infästningen dold. Ett annat alternativ vore att fästa konstruktionen med skruv i färskt tillstånd och spika den efter torkning. Då båda alternativen krånglar till byggprocessen är den lösning som fungerat bäst i experimenten att öka mängden infästning, så att samma hållfasthet uppnås trots distansen som uppstår efter torkning.

6.13 Träslag

Vi har gjort tester med olika träslag där vi provat egenskaperna att såga, böja och torka. Huvuddelen av materialet var klassat som brännved på grund av kvist, täthet eller spänningar. Avverkningstid har varit innan och efter savstigning med relativt låg vattenhalt i veden. Avverkningstid i förhållande till flexibilitet och torkning är något som kräver vidare studier. Redovisningen av träslagens egenskaper i våra experiment är översiktlig och ska ses som ett första steg i kartläggningen då det finns en mängd parametrar vi inte behandlar här. För en mer djupgående redovisning av träslagens egenskaper bör hänsyn tas till virkets täthet, avverkningssäsong, mm. De mest lyckade för böjning ek ask alm (segt och starkt) - för balkhöjd - gran (mjukt och lätt)

Träslag	Böjningse- genskaper	Spänningar vid sågning och torkning	Infäst- ning	Övrigt
Björk	+++	++ raka och kvist- fria stockar	+++ färskt + torr	• Mögel och röta -Skäligt • Relativt plastiskt • För hårt för infästning i torrt skick
Sälg	+	++++		• Svårt att hitta grova stammar utan stamröta • Hög elasticitet, svårt att böja • Liten spänning och rörelse vid torkning
Ask	+++++	+	++++	• Mycket röt känslig, materialet blir sprött • I torrt skick mycket sprött och känsligt vid infästning
Alm	+++++	+	++++	• Påväxt- och rötbeständigt
Gran	+	+++++	+ färskt virke med låg densitet	• Problematiskt med kvisttätheten, skapar brottanvisningar • Inte känsligt för påväxt av mögel • Liten spänning och rörelse vid torkning
Furu	++	+++++	+	• Problematiskt med kvisttätheten, skapar brottanvisningar • Mögel och röta -Skäligt
Ek	+++++	++	++++ färskt ++ torr	• Mycket sprickkänsligt vid infästning i torrt skick
Al	+	+	+	• Små spänningar efter torkning

Skalan indikerar (+) dåligt till (+++++) mycket bra

7. Implementering

I arbetet med studien har vi upptäckt många fördelar med att förädla råvara på byggplatsen och få ett material som är plastiskt i hanteringen. Detta utifrån vår föresats att eliminera motståndet för variation i form med en bibehållen effektivitet. Då experimenten i studien är mycket småskaliga och i konstant utveckling har det varit svårt att verifiera en produktionseffektivitet. Här krävs mer användning av metoderna för att stöta på de problem som produktion kan medföra. Nedan ger vi förslag på tillämpningar med bakgrund i denna förstudie där vi anser att fördelarna överväger i jämförelse med gängse metoder att bygga krökt komplex form både i tid och materialeffektivitet. Eftersom dessa tillämpningar går att utföra med befintliga metoder och verktyg går det att projektera med en tillräcklig säkerhet för att vara kommersiellt möjliga.

7.1 Möjliga tillämpningar med begränsade vidare studier

Så länge konstruktionen inte kräver beräkningar går dessa metoder att använda. Detta skulle till exempel kunna vara enklare tak, väggar och fast inredning där beställaren eller lagstiftningen inte kräver beräkningar. Det är också möjligt att använda det färskböjda virket i täckande sammanhang där en stomme är tillverkad med traditionella metoder så som på bilden nedan.



som togs direkt ur en av Deromes sågverkslinjer. På detta sätt möjliggör metoder att använda färskt material en mängd ökade möjlighet för form och uttryck i en fasad. Att som i detta fall plocka ut materialet mitt i den industriella processer möjliggör användning av färskt materialet i stora projekt.

Mycket av nyproduktion av byggnader sker på trädbevuxen mark då alternativet åkermark är problematiskt. Sällan blir dessa träd timmer då volymerna av enskilda sortimentet blir allt för små för att passa logistiksystemet. Resultatet blir att hela partiet klassas som brännved. Om beställaren i ett sådant fall skulle vara intresserad av att koldioxidkompensera byggprojektet skulle detta kunna motivera användning av det färskt materialet i det specifika projektet. Dessutom är det kulturella värdet av att bevara träden i byggnaden är inte att förringa.

7.2 Möjliga tillämpningar med behov av vidare studier

En stomme i en mindre byggnad skulle kunna utföras med dessa tekniker. Processen skulle kunna se ut på detta sätt:

1. Råvaran köps av en lokal skogsentreprenör.
2. Ett mobilt sågverk placeras på byggplatsen och förädlar råvaran till de specifika dimensioner som projektet kräver.
3. Det som skulle krävas i ett sådan projekt är: Ett utrymme för utveckling under processens gång.
4. Att förstörande test av konstruktionsprincipen genomförs för att ge data till beräkningsunderlag.
5. Torkningen av konstruktionen skulle förslagsvis ske under ett väderskydd och själva processen vara organiserad så att tidpunkten av olika moment passar årstiden.

8 Vidare studier

Icke önskvärd biomassa kan ge byggmaterial. I denna studie påbörjade vi utveckling av metoder att bygga med färskt material direkt från sågbänken. Vidareutveckling av metoder, tekniker och verktyg skulle kunna ge nya kulturellt och ekologiskt hållbara byggnadsmaterial. Den målbild vi ser i förlängningen är en sågverkslinje i containerformat där materialet anförskaffas lokalt i små volymer. En sådan sågverkslinje skulle inte behöva vara mycket mer teknisk avancerad än en grävmaskin. Och på samma sätt som grävarbeten utförs lokalt i förhållande till en komplex omgivning skulle materialframställning kunna utföras lokalt från en lokal komplex råvara.

På samma sätt som sågverksindustrin använder energin i spillmaterialet från sågningen till pellets eller annat skulle det gå att utveckla tekniker för detta i en liten skala. Att få ut energi i form av el har med befintliga tekniker låg verkningsgrad däremot kan man, genom eldning, producera värme som är nödvändig för torkning och en god arbetsmiljö på en byggplats. Inom det fältet finns en mängd välutvecklade tekniker och komponenter som skulle kunna sättas samman med sågningen. Vad som saknas är koordinering och en översyn i förhållande till en målbild som överensstämmer med vår tids värderingar, resurssnålhet, lokal produktion och cirkularitet.

Vision för en byggplats

som möjliggör avancerad form och samtidigt genererar energi och lagrar kol.

Genom en metod som spar resurser i vissa produktionsled kan vi överföra resurser till andra exempelvis till avverkningsledet och motivera en högre kostnad per avverkat träd, som till exempel vid plockhugning kontra kalavverkning. Vid konventionellt skogsbruk är ofta inte lönsamt att göra en avverkning som underskrider en fullastad timmerbil. Något som ger mer virke än vad många mindre byggprojekt projekt behöver. Kan vi tillåta en högre avverkningskostnad kan vi ta ut mindre volymer från mindre skogsområden.

Med metoder som möjliggör byggnation med en större variation träslag och timmerkvaliteter i mindre mängder kan plockhugning av små lokala trädbevuxna markområden motiveras och tidigare oanvänd biomassa bli byggmaterial. Genom att lokalt gynna tillväxten av trädbevuxna områden kan de växa till stålig skog och gynna en större artrikedom.

Biokolproduktion

En anläggning som producerar värme till ångmaskin och biokol genom pyrolys av spillet från såglinje och bygge.

Lagring av timmer

Timmer från lokalområdet, av träslag som inte ingår i det konventionella sortimentet byggvaror.

Ångmaskin med generator

Ångmaskin kopplad till en generator som kan vi omvandla 8-15 % av energin från biokolsproduktionen till el - resten går till uppvärmning och torkning av de färksbyggdabyggnaden.

Såglinje

Lamellsågning med bibehållen kärna som utprovas i projektet

Färskvirke

Virke på väg in i byggnationen

Batteri

Ett energilager som möjliggör effekttoppar vid sågning

Uppvämt bygge

Förbränningen av spill i virkesproduktionen matchas med torkbehovet i byggnaden .

8.1 Verktyg- och processutveckling

Inom skogsbruket är mekanisk avverkning och hantering av skog väl utvecklat med decentraliserade mobila system i form av skördare och skotare. Också inom byggbranschen finns diverse mekaniska hjälpmedel i form av anläggningsmaskiner och elverktyg. Inom båda fälten är verktyg och hjälpmedel utvecklade för mycket varierande förutsättningar och för att kunna förflyttas till olika projektplatser. I det första och sista skedet i produktionskedjan från skog till byggnad tillåter hög flexibilitet. Däremot är omvandlingen från timmer till byggmaterial centraliserad och oflexibel. Genom att studera mekaniseringen i början och slutet av kedjan och knyta tekniker och erfarenheter till varandra finns det möjligheter att skapa en helt igenom mekaniserad och flexibel produktion av byggnader.

Ett första steg kan vara att utveckla tekniker för att på ett effektivt sätt få fram användbart färskt material ur svårhanterad träråvara. Här krävs alternativa tekniker för sönderdelning. En teknik vi testat i denna studie är lammelsågning med bibehållen kärna (se avsnitt 6.5). Denna teknik gav ett mycket bra resultat även på svårsågat material. Ett prototypbygge av en sådan såg skulle i ett första steg kunna vara ett tillägg till redan befintliga småskaliga sågverk. Med lamellsågning kan man öka produktionstakten av kläna dimensioner som lämpar sig för färskt byggande så att fler experiment och implementeringar blir möjliga.

8.2 Byggsystem

Arbetsgången som fungerade i våra mycket småskaliga experiment innebar lagring av timmer på byggplatsen, kontinuerlig sågning i takt med byggandet samt torkning av konstruktionen i sin helhet. För att färskt byggande skall kunna bli en praxis i branschen krävs en studie i hur befintliga system kan anpassas efter de krav det färska materialet ställer. I synnerhet torkprocessen är central, väderskyddssystem är vanliga idag för att bibehålla material torrt, i vårt fall skall färskt material torka, troligtvis kommer mekanisk ventilation krävas i delar av byggprocessen.

8.3 Färskt täckande material

Många av de önskade träslagen har betydligt bättre torra egenskaper än gran och furu i form av hårdhet, homogenitet och styrka. Som vi belyser i rapporten är det i övergången från färskt till torrt tillstånd som vi finner de största problemen med bland annat infästning och mögelpåväxt. Om ett byggprojekt integrerar hela kedjan från timmer till byggnad kan vi utveckla nya metoder för att hantera dessa svårigheter. Till exempel metoder där färskt material torkas inspänt i den slutgiltiga konstruktionen och blir färdigställt i sitt torra tillstånd.

I dagens byggda miljö finns det ett ökat intresse för ett komplext uttryck i material som till exempel förmedlar en berättelse om ursprung och autenticitet. Vidare undersökningar kan utföras genom att utveckla yttäckande byggmaterial skapade direkt av färska stammar och undersöka materialets uttryck när det torkat på sin slutgiltiga plats. Genom att trädets rörelse under torkningen påverkar den slutgiltiga ytan kan vi bevara trädets liv i uttrycket.

8.4 Projektering och klassning

För att verifiera principerna i det färska byggandet krävs mer data. Vi behöver system för klassning av virket i färskt tillstånd men där hållfastheten klassas när virket har torkat. För detta behövs att förstörande tester på hela konstruktionen utförs. En utvärdering behövs även av infästningar och av det torra en gång spända virket.

8.5 Gallring av skog

En stor del av våra svenska skogar är förstagegenerations skog. De var alltså inte skog när träden började växa. Detta innebär att om vi bortser från brukad produktiv skogsmark har övrig obrukad skog en hög grad av pionjära träd. Många av dessa har vi använt i experimenten. Om vi har en idé om att återskapa flergenerationsskogar, för ökad biodiversitet behövs ett skogsbruk med plockvis gallring av pionjärträd för att låta vissa träd växa sig så stora som möjligt. Ett sådant arbete sträcker sig över flera mänskliga generationer och är idag sällan lönsamt då råvarupriset för pionjärträd är alltför lågt. Genom att uppvärdera denna träråvara som möjlig byggråvara skapas ett ekonomiskt incitament för denna typ av gallring och skogsbruk. Detta skulle behöva testas och räknas på i vidare undersökningar.