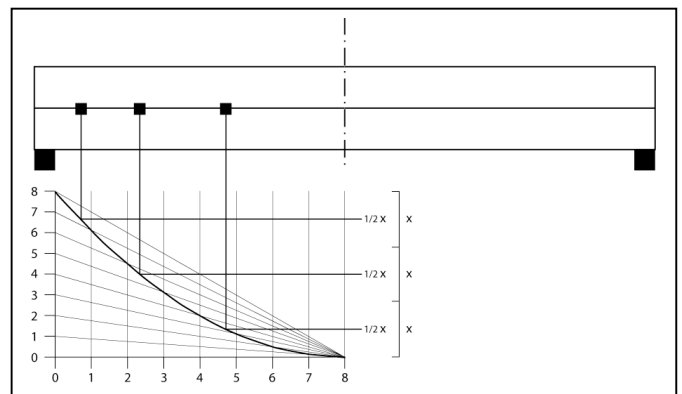


Fördymlade bjälkar



Samuel Gunnarsson

**Uppsats för avläggande av filosofie kandidatexamen i
Kulturvård, Bygghantverk**

**27 hp
2010**

**Institutionen för kulturvård
Göteborgs universitet**

Innehållsförteckning

<u>INNEHÅLLSFÖRTECKNING</u>	<u>1</u>
<u>1. INLEDNING</u>	<u>2</u>
1.1 BAKGRUND	2
1.2 PROBLEMFÖRMULERING	2
1.3 SYFTE	2
1.4 FRÅGESTÄLLNING	2
1.5 AVGRÄNSNINGAR	3
1.6 BEFINTLIG KUNSKAP	3
1.7 METOD	3
<u>2. UNDERSÖKNING</u>	<u>4</u>
2.1 BJÄLKAR, KRAFTER OCH ALLMÄN BEGREPPSFÖRKLARING	4
2.2 DIMENSIONERING	6
2.3 BERÄKNING AV NÖTTER	7
2.4 PLACERING AV NÖTTER	9
2.4.1 HUR MAN RITAR EN PARABEL	10
<u>3 PRAKTISK UNDERSÖKNING</u>	<u>12</u>
3.1 FÖRUTSÄTTNINGAR	12
3.2 DIMENSIONERING	12
3.3 BERÄKNING AV NÖTTER	12
3.4 PLACERING AV NÖTTER	13
3.5 TILLVERKNING AV FÖRDYMLADE BJÄLKAR	14
3.8 NEDBÖJNING	16
3.9 RESULTATSAMMANFATTNING	17
<u>4. AVSLUTNING</u>	<u>18</u>
4.1 DISKUSSION & SLUTSATSER	18
<u>5. KÄLL- OCH LITTERATURFÖRTECKNING</u>	<u>19</u>
TRYCKTA KÄLLOR	19
MUNTLIGA KÄLLOR	19
REFERENS LITTERATUR	19

1. Inledning

1.1 Bakgrund

När man som hantverkare ställs inför problemet med stora spännvidder alternativt stora laster är det nära till hands att ta hjälp av moderna material, så som stål- och limträbalkar, eller fackverk o.d., men med hänsyn till restaureringsetiska aspekter kan det i vissa fall vara mer aktuellt med traditionella lösningar.

Exempel på sådana traditionella metoder för att överbrygga större spann är att använda fördymlade eller tandade bjälkar. Båda dessa metoder innebär att två eller flera träbjälkar sammanfogas på höjden, alternativt på höjden samt längden, för att på så vis samverka och ge större bärighet, alternativt större spännvidd.

För att missförstånd icke skall uppstå kan ett par förtydligande vara på sin plats. Ordet *spännbjälke* används i denna text som ett samlingsbegrepp för trätekniskt sammanfogade träbjälkar så som de traditionella fördymlade och tandade bjälkarna. I vissa textkällor används begreppet *spännbjälke* för att beteckna det som här benämns *fördymlad bjälke*, även begreppet *dymlad bjälke* används för att beteckna denna typ av trätekniskt sammanfogad bjälke. Att observera här är även att *spännbjälke* inte skall förväxlas med begreppet *spännverk*.

1.2 Problemformulering

Kunskapen om hur man beräknar, utformar och tillverkar fördymlade bjälkar samt tandade bjälkar, är dåligt spridd bland dagens hantverkare och det finns ej några texter som utförligt beskriver och förklarar funktion, dimensionering och tillverkning av sådana bjälkar på ett för hantverkare praktiskt användbart sätt.

1.3 Syfte

Syftet är att sammanställa den befintliga kunskap som finns, samt visa på hur man kan gå tillväga vid tillverkning och dimensionering av spännbjälkar enligt traditionella metoder, på ett för hantverkare enkelt och användbart sätt.

1.4 Frågeställning

1. Hur gör man som hantverkare för att tillverka spännbjälkar?
2. Vilka teoretiska kunskaper krävs av en hantverkare för att tillverka en fördymlad bjälke?
3. Vad krävs för att dimensionera en spännbjälke.
4. Kan man med utgångspunkt från befintliga dimensioneringstabeller bestämma den nödvändiga dimensionen för en färdig spännbjälke?
5. Hur räknar man ut antalet nötter i en fördymlad bjälke?
6. Hur skall nötterna placeras?

1.5 Avgränsningar

Undersökningen kommer enbart att fokusera på spännbjälkar. För att avgränsa ytterligare kommer endast fördymlade bjälkar med raka nötter, tillverkade för en jämt fördelad last, att diskuteras. Det innebär att tandade bjälkar ej undersöks. Denna avgränsning beror på att det ansetts för tidskrävande att även inkludera bjälkar med skråställda nötter i undersökningen.

1.6 Befintlig kunskap

Vänder man sig till äldre textkällor, så som byggnadsläror, hittar man ganska lätt information om fördymlade och tandade bjälkar. Beskrivningarna i dessa böcker är dock ofta bristfälliga eller svårbegripliga, en del säger ingenting alls om dimensionering. Man kan t.ex. läsa: ”Någon egentlig beräkning för spännbjelkars bärningsförmåga har man icke, utan är derved så mycket nödvändigare att hafa god praktik, och att noga studera och iakttaga resultaten af i dylik väg utförde arbeten” i *Tidskrift för praktiskt byggnadskonst och mekanik mm.* (1852, s.70)

Tittar man istället i moderna böcker finner man inget eller mycket lite om spännbjälkar, men det finns mängder av information om bjälklag, hållfasthetsberäkningar och normer angående bärighet och beständighet i träkonstruktioner. Söker man bland idag aktiva hantverkare finner man bland annat ett antal i Nordamerika samt ett par i Norden med kunskap om spännbjälkar. I skandinavien är tømremester (timmermästare) Anders Frøstrup på företaget Timber AS i Tønsberg, Norge, den ledande. Här arbetar man både med beräkningar och tillverkning av fördymlade bjälkar för användning i moderna timber frame-konstruktioner. Hans tillverkningsprocesser och beräkningar finns delvis i text men är ej publicerade.

1.7 Metod

Jag ska studera och sammanställa kunskap från litteratur och muntliga källor kring traditionella fördymlade bjälkar, och sedan utföra fullskaliga praktiska försök baserat på den sammanställda teoretiska kunskapen. Jag ska tillverka två fördymlade bjälkar, en rak och en överspänd. Bjälkarna skall uppfylla samma krav på spännvidd och en i förväg bestämd nyttolast.

Förutom de vanligaste verktygen som en hantverkare förväntas inneha, har en kedjestämmare och ett bandsågsverk använts.

Där inget annat anges är alla foton tagna av författaren och illustrationer upprättade av Liisa Gunnarsson.



Fig. 1 Kedjestämmare

2. Undersökning

Inledningsvis består undersökningen av att kartlägga vilka slags teoretiska kunskaper som krävs för att som hantverkare kunna dimensionera och tillverka en fördymlad bjälke och vilka hjälpmedel som kan användas vid tillverkningen av dessa. Under följande rubriker kommer resultatet av de teoretiska undersökningarna att presenteras och förklaras. Det jag vill redogöra för är hur man kan fördymla en bjälke som skall bära en jämnt fördelad last. Fördelar med fördymlade bjälkar kan bestå i det faktum att det ofta är lättare att få tag på dimensioner som krävs för att tillverka fördymlade bjälkar än att ersätta dessa med helträ.

2.1 Bjälkar, krafter och allmän begreppsförklaring

För att förstå fördelarna med en fördymlad bjälke och hur den fungerar bör man ha en viss förståelse för de krafter som påverkar en bjälke och hur dessa kan motverkas. Om man utgår från en bjälke, t.ex. med dimensionen 150x150 mm (ca 6x6 tum) så kan den bära en viss last vid en viss spännvidd. Läger man, vid samma spännvidd, två sådana bjälkar på varandra så kan de bära två ggr lasten, de bär alltså som två individuella bjälkar. Får man dessa bjälkar att samverka som en bjälke 300x150 mm (12x6 tum) så bär de fyra ggr lasten enligt *Fag bok för tømmerer* (Nilsen, 1944, s 422). Det som behövs för att få två bjälkar att verka som en är något som kan motverka den skjuvkraft som uppstår mellan bjälkarna när de belastas.

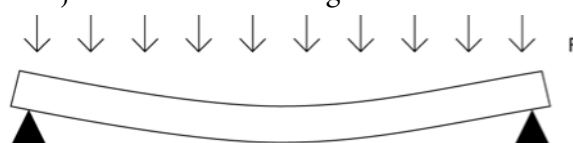


Fig. 2 En bjälke

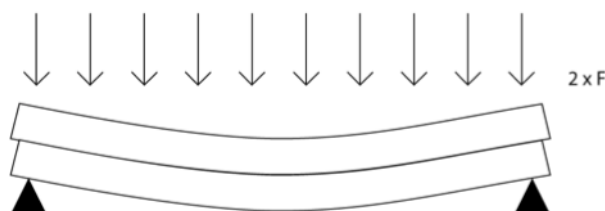


Fig. 3 Två individuella bjälkar

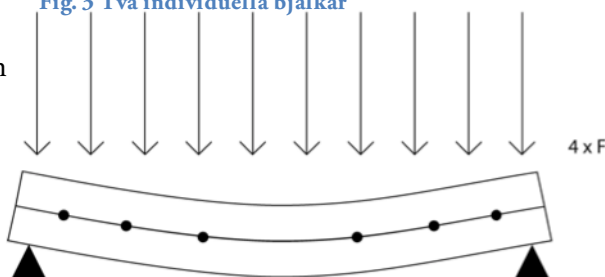


Fig. 4 Två samverkande bjälkar

När bjälkar belastas bär de genom böjning, det vill säga att undersidan är dragen medan ovasidan är tryckt. Med andra ord utsätts alla balkar för en viss deformation (när de belastas) i form av nedböjning. Storleken på denna deformation beror på lasten, spännvidden och dimensionen på bjälken. Det som händer då två bjälkar placeras ovan på varandra är att bjälkarna, var och en för sig, intar en böjd form vilket ger upphov till en skjuvning (glidning eller förskjutning) mellan bjälkarna. Enligt *Bra böckers lexikon* (3e upplagan, 1989, band 21, s.60). är skjuvning; ”ett deformationssätt som innebär ändringen av en ursprungligen rät vinkel hos ett föremål. Skjuvning orsakas av en skjuvspänning, som ligger parallellt med elementets kantlinjer.” Hos en bjälke bestående av två delar uppträder detta som en förskjutning mellan de båda delarna. Tydligast blir det i ändarna, se fig. 5.

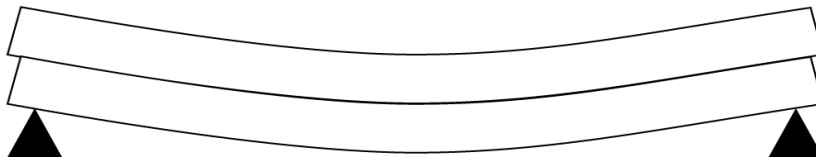


Fig. 5 Förskjutning mellan två bjälkar

En nedböjning av bjälkar vill man i allmänhet undvika trots att trä som material klarar av en förhållandevis stor nedböjning, detta på grund av att den kan orsaka skador på andra material. Här kan även nämnas de regler i BKR (Boverkets Konstruktionsregler), som säger att träbjälklag ska utformas så att obehagliga svängningar för den som vistas i byggnaden icke skall uppkomma, det vill säga ett styvt träbjälklag är önskvärt. När två bjälkar endast ligger på varandra utsätts de, som tidigare nämnts, för en skjuvkraft vilken leder till en förskjutning dem emellan. Om bjälkarna däremot sammanfogas på ett adekvat sätt tvingas de att samverka, och den ”nya” bjälken reagerar som en enhet. Se fig. 4 sida 4.

Den tekniska förbindningen som motverkar skjuvkraften har gjorts på flera olika vis genom tiderna. Förutom de redan nämnda förtandade och fördymlade bjälkarna har man i modern tid limmat eller använt sig av Wt-t skruvs sammanfogning.

En förtandad bjälke består av två delar där den enas undersida är tandad likt en såg, och motsvarar tandningen på den andres ovansida. Sammanfogningen kompletteras med genomgående bult eller dyl.

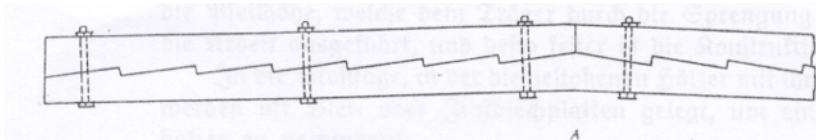


Fig. 6 Förtandad bjälke

En fördymlad bjälke består av två eller flera på varandra liggande bjälkar som förenas med så kallade nötter. Dessa har till uppgift att motverka skjuvspänningen. Bjälkarna hålls dessutom samman av järnbult eller liknade. Virket är oftast furu eller gran.

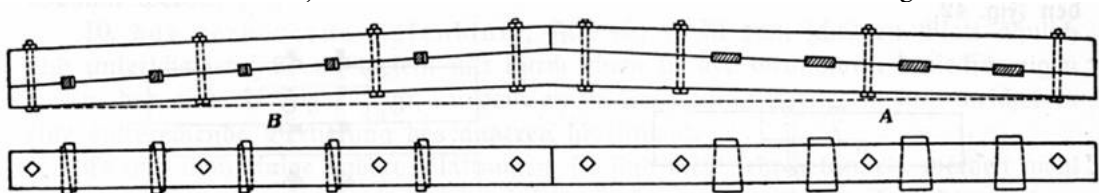


Fig. 7 Fördymlad bjälke, överspänd. Från *Das deutsche Zimmerhandwerk* (1912 s.50)

En nöt är den del som håller två ovanpå varandra placerade bjälkar fixerade i längdled till varandra, alltså motverka den skjuvkraft som uppstår bjälkhalvorna emellan. För var nöt finns ett uttag/hål gjord i ovanpå-, respektive underliggande bjälke, se bild ovan. En nöt kan med fördel utföras som ett kilpar, i företrädesvis järn eller ek, så som beskrivs i *Tidskrift för praktisk byggnadskonst och mekanik mm* (1852, s.71). Man slår då in en kil från vardera hållet i urtaget. Fördelen med dessa kontrakilade nötter är att de klarar en större feltolerans i förhållande till storleken på hålet, jämfört med nötter i ett stycke.



Fig. 8 Kontrakilar

En limträbjälke eller limträbalk, sammanfogas med lim på ett sådant sätt att skjuvningen mellan bitarna blir nästintill obefintlig.

En Wt-t skruv sammanfogad bjälke bygger på samma princip som en fördymlad bjälke men istället för nötter används Wt-t skruv. Till skillnad mot nötterna motverkas skjuvspänningen genom att skruvarna blir dragna. Wt-t skruv är ett produktnamn på en dubbelgängad skruv med olika stigningshöjd i respektive ända, som idag säljs av SFS Intec i Sverige.



Fig. 9 Wt-t skruv

2.2 Dimensionering

Under rubriken frågeställning, ställs frågan om de dimensionerings-tabeller som finns för dimensionering av bjälkar kan användas av dagens hantverkare vid dimensionering av bjälkar och bjälklag enligt dagens krav. I Graméns bok *Lantmannabyggnader, Handbok i lantbyggnadskonst* (1920, s.123-124) finns en sådan tabell och enligt byggnadsingenjören Lennart Palmquist på Varbergs byggkonsult AB ger denna tabell rimliga dimensioner och är praktiskt användbar, detta trots att dimensionerna inte är baserade på det sätt på vilket man idag räknar ut bjälkdimensioner. Det har även bekräftats av Carl Thelin (Dr. tekn.) *Kompetenssamordnare - Byggnadsvård & kulturmiljö* på Tyréns i Växjö. Dimensioneringstabellerna i Graméns bok är dock avsedda för bjälkar i ett stycke, alltså inte för spännbjälkar som är sammansatta av två eller flera bjälkar. Enligt den norska byggnadsläran *Fagbok for tømrere* (Nilsen, 1944, s. 422), reduceras bärförmågan hos

spännbjälkar så att motståndsmomentet (bärförmåga) förminskas med 20 respektive 40 procent hos en fördymlad bjälke bestående av två respektive tre lika delar, jämfört med en bjälke av samma dimension i ett stycke. I praktiken innebär detta att en fördymlad bjälke, bestående av två lika delar, som skall ersätta en bjälke i helträ måste vara tio procent högre för att kompensera för den förlorade bärförmågan. Detta har bekräftats av Anders Frøstrup, och kan härledas ur formeln för motståndsmomentet; $W = 1/6 b \times h^2$ (Nilsen 1944, s. 422). Vad vi med den här formeln kan räkna ut är höjden på en helträbalk med ett motståndsmoment (W_{sp}) som är 20 procent högre än ursprungsbalkens (W), denna höjd motsvarar då höjden på motsvarande spännbjälke (h_{sp}).

$$W_{sp} = 1,2W = 1/6 \times b \times h_{sp}^2 \quad \rightarrow \quad 6 \times 1,2 ((b \times h^2) / 6) = b \times h_{sp}^2$$

$$\rightarrow$$

$$h_{sp} = h \sqrt{1,2}$$

$$h_{sp} = 1.09h \approx 1.1h$$

$$h_{sp} \approx 10\% \text{ högre än } h$$

Som exempel kan man tänka att en befintlig bärlina med tvärsnittet 200x100 mm skall ersättas med en motsvarande fördymlad bjälke. Den fördymlade bjälken måste då vara tio procent höger, det vill säga 220x100 mm för att uppnå samma motståndsmoment som den ursprungliga bjälken.

$$h = 200 \quad \rightarrow \quad h_{sp} = 1.1 \times 200 = 220$$

Vidare innebär detta att de dimensioner som redovisas i Graméns bok måste adderas med tio procent för värdet på h när man använder denna tabell som utgångspunkt vid dimensionering av fördymlade bjälkar.

2.3 Beräkning av nötter

För att kunna tillverka en fördymlad bjälke av två bjälkar måste vi utöver bjälkens längd, bredd och höjd, veta antalet samt storleken på nötterna, som krävs för att uppväga skjuvkraften. Detta innebär att man måste i varje enskilt fall känna till spännvidd och last, vilka ger oss dimensionen på en motsvarande bjälke i helträ (dim. tabell). Från denna dimension kan vi härleda dimensionen för en fördymlad bjälke. För att kunna räkna ut antalet nötter behöver man bland annat veta kapaciteten per nöt. Denna kapacitet härleds från nötternas storlek, vilken man i princip kan bestämma fritt. Man behöver även känna till skjuvspänningen i den fördymlade bjälken, för att kunna bestämma antalet nötter. För att förklara och illustrera dessa beräkningar används ett teoretiskt exempel med följande förutsättningar:

Spännvidd, L: 7 m

Last, F: 20 kN

Detta ger oss en dimension på 120 x 300 mm i helträ enligt tabellerna i Graméns bok. Så som tidigare nämnt måste vi addera tio procent på höjden för att kompensera för de förluster i motståndsmomentet som uppstår, så som förklarats ovan. Detta innebär:

$$\text{Dim. (fördymlad bjälke): } 120 \times 330 \text{ mm} \quad 330 = 300 \times 1,1$$

$$\text{Dim. / halva: } 120 \times 165 \text{ mm} \quad 165 = 330 / 2$$

Följaktligen borde den tänkta fördymlade bjälken bli 120 x 330 mm, eller rättare sagt 2 st 120 x 165 mm i färdigt utförande. Men många gånger får man i praktiken lov att anpassa sig till det virke som finns att tillgå, i det här fallet skulle det kunna innebära att man väljer dimensionen 6 x 6 tum.

När det gäller storleken på nötterna kan man i teorin välja vilken tvärsnittsarea som helst, men storleken och materialets tryckhållfasthet står i direkt relation till dess kapacitet och detta påverkar i sin tur antalet nötter, vilket man bör hålla på en rimlig nivå. I den här undersökningen används en förteckning som beskriver ett fast förhållande mellan bjälken och nötternas storlek, och återfinns i den tjeckiska boken *Tesařství: Tradice z pohledu dneška* (Kohut 1996 s. 193). Detta är den enda text jag har hittat där information om nötternas storlek anges i fasta förhållanden. Om man håller sig till de avgränsningar som är uppsatta för detta arbete så säger den nyss nämnda tjeckiska texten att horisontella nötter skall ha en kvadratisk tvärsnittsdimension där

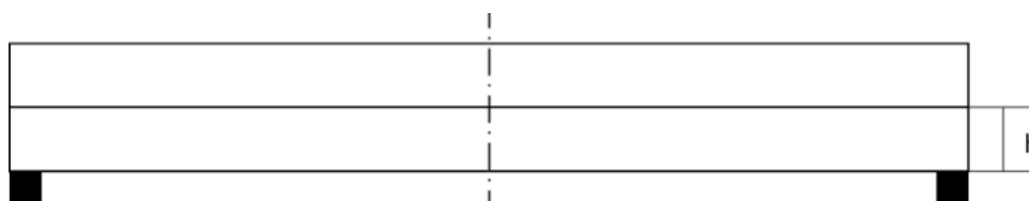


Fig. 10

sidan på nöten är $h/3$, då h är en bjälkes höjd (se fig. 10).

Ett annat förhållande som också anges i den nyss nämnda texten är dimensionen på de bultar som håller ihop den fördymlade bjälken i vertikal led. Detta förhållande anges som $h/15 - h/10$. I samtal och diskussioner med handledare och andra personer bekanta med ämnet, har dessa förhållanden bedömts vara rimligt som utgångspunkt. Detta innebär följande:

Tvärsnitt, nöt: 55 x 55 mm	$55 = 165 / 3$ ($N_{\text{sida}} = h / 3$)
Tvärsnittsarea per nöt, $A_{\text{nöt}} : 3025 \text{ mm}^2$	$3025 = 55 \times 55$ ($A_{\text{nöt}} = N_{\text{sida}} \times N_{\text{sida}}$)

Då h är höjden på en bjälkhalva i mm.

För att kunna räkna ut nöten kapacitet behöver vi veta dess tvärsnittsarea (se ovan) samt tryckhållfastheten för valt materialet per kvadratmillimeter. Här används nötter tillverkade av ek, detta innebär:

Kap per nöt, $N_{\text{kap}}: 22,17 \text{ kN}$	$22,17 = 3025 \times 7,33 / 1000$ ($N_{\text{kap}} = (A_{\text{nöt}} \times k) / 1000$)*
---	---

$k = (\text{Karakteristik tryckhållfasthet för ek tvärs fiber} \times \text{Korrektionsfaktor}) / \text{Materialkoefficient}^*$

→

$$k = (11 \text{ N/mm}^2 \times 0,8) / 1,2 = 7,33 \text{ N/mm}^2^*$$

Vi vet nu spännvidd, last och bjälkens dimension samt varje nöts kapacitet, men vidare behövs en del beräkningar göras för att bestämma antalet nötter. För att kunna räkna ut

* Formler, korrektionsfaktor och koefficientvärde enligt Anders Frøstrup.

antalet nötter behöver vi veta hur stor den totala skjuvkraften är mellan bjälkhalvorna enligt formeln:

$$\text{Skjuvkraften, } S = (3 / (4 \times h)) \times M_{\max}^*$$

Då h är höjden på en bjälkhalva i meter och M_{\max} är Max momentet.

För att räkna ut max momentet, behöver man först räkna ut lastintensiteten på bjälken enligt nedan:

$$\begin{array}{ll} \text{Lastintensiteten, } q: \text{ ca } 2,85 \text{ kN} & 2,85 = 20 / 7 \\ & (q = F / L) \end{array}$$

Då F är lasten i kN och L är längden på bjälken i meter

Max momentet räknas sedan ut enligt följande:

$$\begin{array}{ll} M_{\max}: 17,45 \text{ kN} & 17,45 = 2,85 \times 7^2 / 8 \\ & (M_{\max} = q \times L^2 / 8)^* \end{array}$$

Detta ger oss skjuvkraften:

$$\begin{array}{ll} \text{Skjuvkraften, } S: 79,3 \text{ kN} & 79,3 = (3 / (4 \times 0,165)) \times 17,45 \\ & (\text{se formel ovan}) \end{array}$$

Den kraft som nötterna på varje sida om mitten på bjälken ska kunna ta upp för att förhindra skjuvningen är således 79,3 kN. Detta ger oss möjligheten att räkna ut antalet nötter per bjälkhalva, enligt följande:

$$\begin{array}{ll} \text{Nötter, } N_{\text{antal}}: 3,57 \text{ per bjälkhalva} & 3,57 = 79,3 / 22,17 \\ & (N_{\text{antal}} = S / N_{\text{kap}})^* \end{array}$$

Antalet nötter bör i detta fall avrundas till 4 st per bjälkhalva för att ej riskera att en försvagning uppstår.

2.4 Placering av nötter

Utav den genomgångna litteraturen till undersökning är det bara en källa som beskriver eller talar om hur nötterna ska placeras. I boken *Fagbok för tømre* (Nilsen, 1944, s. 423) beskrivs hur nötterna (eller de element som har till uppgift att motverka skjuvspänningen) kan placeras med hjälp av en momentkurva (en parabel). När nötterna placeras efter denna kurva så fördelas skjuvspänningen lika på varje nöt, och minskar risken för spjälkning, eller kollaps av en eller flera nötter. Detta förfarande förklaras i följande exempel, se nästa sida.

* *Formler enligt Anders Frøstrup.*

2.4.1 Hur man ritat en parabel

Rita upp bjälkarna och upplagen i skala (t.ex. 1:10), rita en lodrät linje i mitten av bjälkarna (mittlinje). Rita sedan ut en momentkurva (en parabel) mellan mittlinjen och ena upplagets insida, rita den så att bjälkarnas mittlinje motsvarar parabelns symmetrilinje (parabelns höjd är godtycklig).

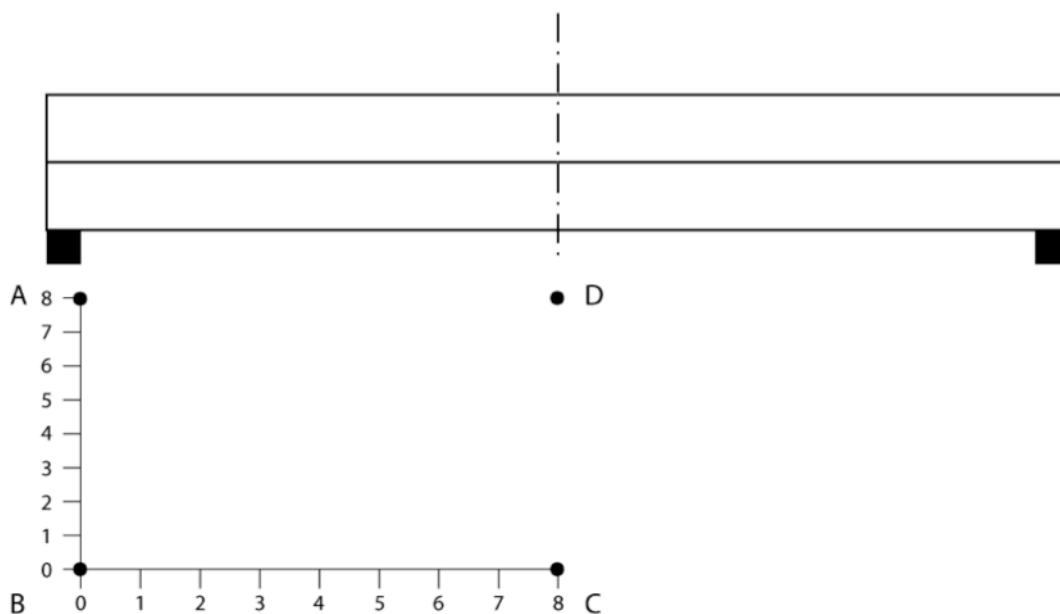


Fig. 11

Rita ut punkterna A och D vars avstånd bestäms av avståndet mellan upplaget och bjälkens mittpunkt. Rita sedan ut linjen A-B (höjden är godtycklig, men görs den för liten kan ritningen bli svårsläslig) och linje D-C som sammanfaller med bjälken mittlinje (denna linje utgör även parabelns symmetrilinje). Dra sedan en linje, parallellt med A-D, mellan B och C. Dela sedan in linjerna A-B och B-C i lika många, lika delar. Det är viktigt att antalet delar längs linje A-B och B-C är lika många, men de behöver inte vara av samma storlek längs med A-B samt B-C. Ifall ritningen görs i skal 1:10 är ett lämpligt antal delar 10-15 (desto fler delar desto mer exakt parabel).

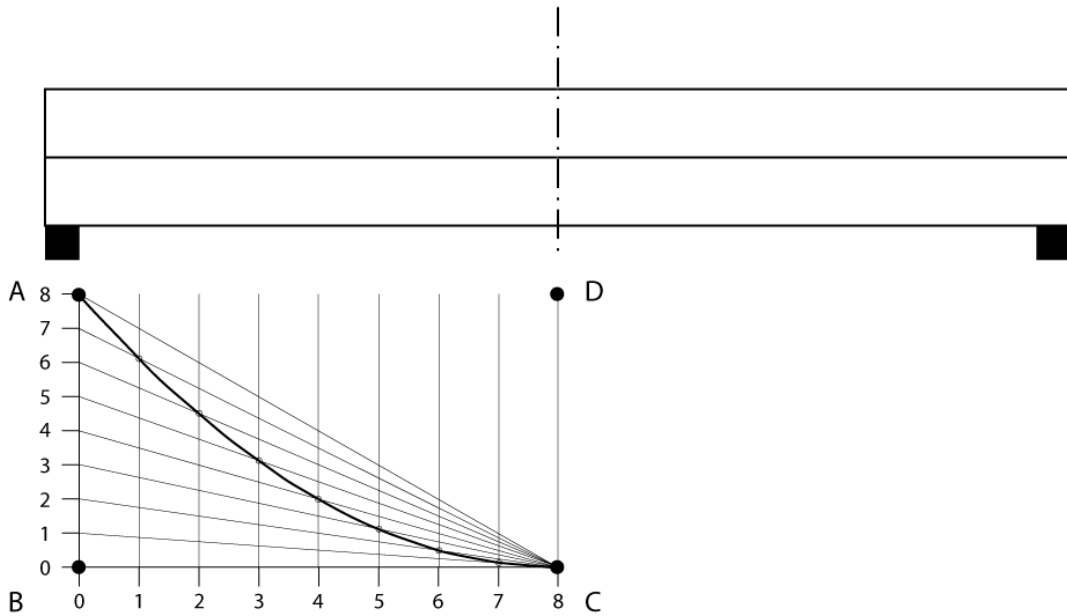


Fig. 12

Sedan dras linjer från skärningspunkten C till de punkter som gjorts längs linje A-B, se fig. ovan. När det är gjort dras vertikala linjer från punkterna på sträcka B-C tills de skär linjerna från C mot A-B, enligt fig. ovan. Skärningspunkterna förbinds så som figuren visar. Voila, så har man en halv parabel. *Geometrisk Ritning*, brev nr 6, (1938) s. 12-13

När parabeln är utritad, delas symmetrilinjen in i lika många, lika delar, som antalet nötter. Varje del markeras sedan med en punkt på mitten, dessa punkter längs symmetrilinjen är utgångspunkter för nötternas placering. Dra nu horisontella linjer från punkterna på parabelns (momentkurvas) symmetrilinje till själva parabeln, rita sedan lodräta linjer från de nya skärningspunkterna längs parabeln till bjälkarnas horisontella mittlinje, enligt fig. nedan. Dessa punkter visar vart nötternas centrum är. Här kan påpekas att avståndet mellan bjälkens ände och nöten närmst änden bör ej vara mindre än 25 cm, detta för att virket inte ska spjälkas. Märk väl att denna metod gäller för bjälkar med jämnt fördelad last, vid punktlast gäller andra förutsättningar.

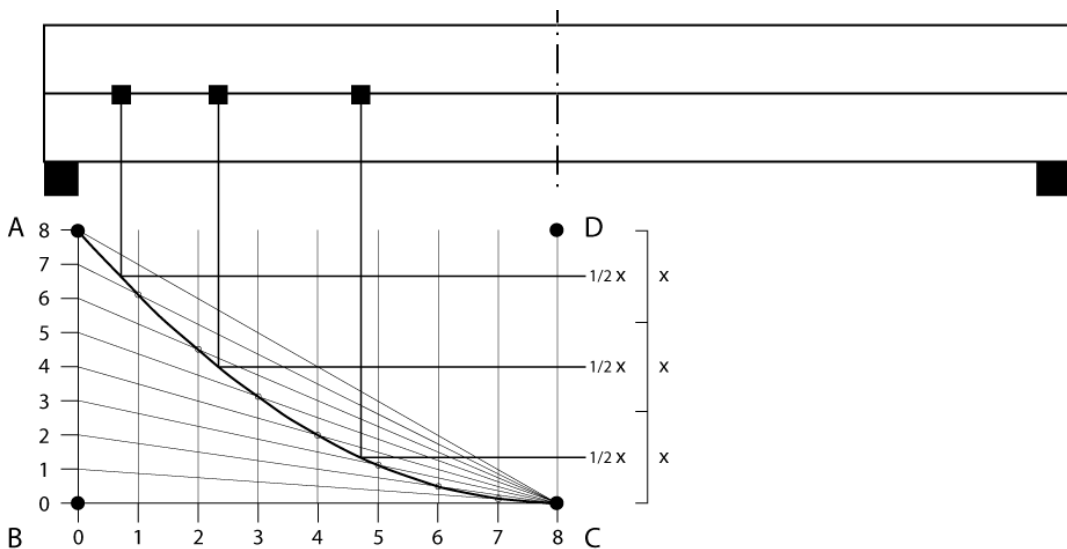


Fig. 13

3 Praktisk undersökning

För att visa hur man kan gå till väga för att tillverka spännbjälkar har en praktisk del genomförts. Två trätekniskt sammanfogade bjälkar, vardera bestående av två lika bjälkar, har tillverkats. I följande text benämns bjälkarna som A respektive B, då A är den raka och B den överspända.

3.1 Förutsättningar

Så som tidigare nämnts under rubriken *Avgränsningar* skulle de praktiska försöken vara konstruerade för en och samma spännvidd och last. Spännvidden bestämdes till 5,2 m mellan upplagen vilket gav bjälken en längd på 5,5 m, då upplagen var tänkta att vara 0,15 m vardera. Furuvirket som fanns att tillgå var ca 6 x 6 tum och 6 m långt och därefter bestämdes den nyss nämnda spännvidden. En last som ansågs vara rimlig för denna dimension och spännvidd sattes till 30 kN, jämnt fördelad.

Spännvidd: 5,2 m

Last: 30 kN

3.2 Dimensionering

Eftersom att förutsättningarna var så som ovan beskrivits så var dimensionerna mer eller mindre redan bestämda, men baklänges räknad kan man i princip säga att dimensionen bestämdes utifrån spännvidden på 5,2 m och lasten på 30 kN och med hjälp av dimensioneringstabellerna i Graméns bok samt enligt tidigare redovisade kompensationsberäkningar enligt Anders Frøstrup, blev den totala dimensionen 12 x 6 tum. Se redovisning nedan.

<i>Dim. (helträ bjälke): 270 x 170 mm</i>	<i>(detta för en last på 3005 kg och en spännvidd på 5,5 m enligt tabell)</i>
<i>Dim. (fördymlad bjälke): 297 x 170 mm</i>	<i>297 = 270 x 1,1 (+10% på bjälkens höjd)</i>
<i>Dim. / halva: 146 x 170 mm</i>	<i>146 = 297 / 2</i>

I praktiken ger detta dimensionerna:

Bjälke, totalt: 12 x 6 tum (ca 310 x 155 mm)

Bjälke, halva: 6 x 6 tum (ca 155 x 155 mm)

Längd, L: 5,5m

3.3 Beräkning av nötter

Eftersom det på förhand var bestämt att de förhållanden som presenteras i den tjeckiska boken *Tesařství: Tradice z pohledu dneška* (Kohut 1996 s. 193) skulle användas så blev nötterna 52 x 52 mm, bestående av två kontrakilar med en längd något större än

bjälkens bredd, alltså ca 200 mm långa. Detta innebar att kapaciteten för varje nöt blir 19,50kN, se sammanställning och uträkning nedan.

Tvärsnitt, nöt: 52 x 52 mm	$52 = 155 / 3$
(Tvärsnittsarea per nöt: 2704 mm ²)	$2704 = 52 \times 52$
Kapacitet per nöt: 19,50 kN	$19,50 = 2704 \times 7,33 / 1000$ ($N_{kap} = (A_{nöt} \times k) / 1000$)

Som redovisats i kapitel 2 räknas sedan lastintensiteten samt max momentet ut för bjälken och detta ger oss möjligheten att bestämma den specifika skjuvkraften för detta fall, se sammanställning och uträkning nedan.

(Lastintensiteten, q: ca 5,45 kN)	$5,45 = 30 / 5,5$ ($q = F / L$)
(M_{max} : 20,60 kN)	$20,60 = 5,45 \times 5,5^2 / 8$ ($M_{max} = q \times L^2 / 8$)
Skjuvkraften: 99,68 kN	$99,68 = (3 / (4 \times 0,155)) \times 20,60$ ($3 / (4 \times h/1000)) \times M_{max}$)

Med en skjuvspänning på 99,68 kN borde antalet nötter totalt sett uppgå till 10 st i en färdig bjälke. Se uträkning nedan.

Nötter per bjälkhalva: 5,11 / bjälkhalva	$5,11 = 99,68 / 19,50$ ($N_{antal} = S / N_{kap}$)
--	---

Nötter per bjälke: 10 st

Eftersom jag inte var på det klara med alla beräkningar när jag började producera de fördymlade bjälkarna så resulterade det i att antalet nötter bara uppgår till åtta stycken, inte tio som det borde. Jag anser dock att det för undersökningen inte är av anmärkningsvärd betydelse eftersom misstaget kan ses som en ändring av förutsättningarna. Om man räknar baklänges kommer man fram till att de fördymlade bjälkar som har producerats i undersökningen är beräknade för en last på 20 kN istället för 30 kN. Om man då tänker sig att det är en ny förutsättning för undersökningen så är bjälkarna fortfarande aktuella och kan användas som en del i undersökningen.

3.4 Placering av nötter

En viktig fråga för undersökningen var hur man kan bestämma placeringen av nöterna. Enligt Anders Frøstrup finns det två sätt att bestämma nöternas placering, det ena görs genom ett så kallat *skjerdigramm* och det andra, som även presenteras i *Fagbok för tomrere* (s.422) är genom att begagna sig av en momentkurva. Det senare av dessa metoder är vald att presenteras och användas i denna undersökning. Inledningsvis gjorde jag många försök att rita ut en parabel (momentkurva) för att kunna göra en korrekt placering av nöterna på ritning. Då dessa försök gjordes bestämdes ett teoretiskt antal nötter, 4 st. per bjälkhalva, som ej var baserat på uträkningar men som ansågs vara lämpligt för övningsexemplet. Antalet nötter följde sedan med när jag praktiskt började tillverka de fördymlade bjälkarna, vilket resulterade i ett för litet antal nötter i de färdiga bjälkarna, trots det korrekta användandet av utplaceringsmetoden.

3.5 Tillverkning av fördymlade bjälkar

Först valdes fyra stycken bitar ut (till de fördymlade bjälkarna A och B) av det virke som var rakast och minst kvist i, sedan valde jag att lägga virket så att eventuell rygg kom uppåt i den mån det var möjligt med hänseende till kvistar och andra dylika faktorer. När jag väl valt ut dessa virkesbitar och parat ihop dem, valde jag att rikta upp de ytor på bjälkarna som skulle komma att ligga samman, i bandsågverket, för bästa passform. Sedan ändkapades bitarna i ena änden för att kunna användas som utgångspunkt vid måttsättning. Efter det sammankopplades bjälkarna a1 och a2 med tvingar varpå all måttsättning och utritning av nötter gjordes med måtten från ritningen. Urtagen för nötterna i bjälke A gjordes med hjälp av en kedjestämmare, ett problem med detta förfarande bestod i att få kedjestämmaren att jobba parallellt med anslagsytan mellan bjälkhalvorna a1 och a2. Detta löstes genom en gigg som såg till att kedjestämmaren jobbade parallellt med anslagsytan mellan bjälkhalvorna a1 och a2. Denna procedur fick dock göras från bägge håll då kedjestämmaren ej nådde helt genom bjälken/bjälkarna.

Bjälke B gjordes efter samma princip fast med den skillnaden att när bjälkhalvorna b1 och b2 hade ändkapats i en ände och sammankopplats med tvingar lades dom på distansklossar på ett plant underlag. Därefter spändes bägge ändarna fast med spännband i underlaget, vilket gjorde det möjligt att med två kraftiga kontra- kilar på mitten överspanna bjälken med ca 1 ¼ tum. När detta väl var gjort, gjordes all måttsättning och utritning av nötterna, enligt mått från ritningen. När allt var uttrit så plockades bjälke B isär så att bjälkhalvorna b1 och b2 var fria från varandra, detta möjliggjorde att göra urtagen för nötterna med en cirkelsåg och stämjärn istället, vilket kan anses vara till fördel då det är vanligt förekommande verktyg och inte så dyra investeringar, så som en kedjestämmare. När urtagen för nötterna väl var gjorda så kopplades b1 och b2 ihop igen för att sedan överspännas på nytt. När bjälke B väl återfått sin överspänning kunde jag dock konstatera att urtagen i respektive bjälkhalva inte stämde överens till den grad som kan tänkas vara önskvärd vilket innebar en del efterjusteringar med stämjärn.

För att motverka det vridmoment som uppstår i nöten när den belastas och som därmed vill trycka isär bjälkhalvorna måste man motverka detta på något vis. Det kan till exempel göras med hjälp av gängstång (bult), brickor och mutter. Andra möjliga lösningar är stål/järn band runt den fördymlade bjälken. I detta fall hade jag bestämt att genomgående gängstång med bricka och mutter, bult, skulle användas. För att försäkra mig om att erforderlig sammanhållningskraft skulle uppnås valde jag att placera bulten enligt illustration fig. 14.

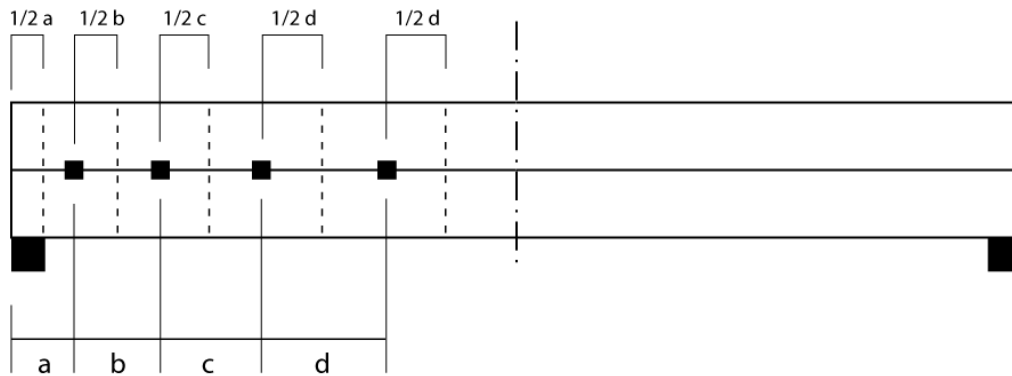


Fig. 14 Bultplacering

Efter det att alla urtag för nötterna var gjorda och alla nötter var tillverkade, kontrollerade jag att de båda bjälkhalvorna befann sig i rätt förhållande till varandra. Varefter jag borrade genomgående hål där jag på förhand hade bestämt att dessa skulle vara för att sedan dra igenom bult. Först där efter kunde jag driva i nötterna. När bjälken nu var klar kunde jag konstatera att bjälken överböjning minskat från $1 \frac{1}{4}$ tum till ca $\frac{1}{2}$ tum.

3.8 Nedböjning

Med tanke på antalet bjälkar som tillverkats i undersökningen så är det svårt att göra en säker redovisning om nedböjningen av fördymlade bjälkarna. Men som avslutande del i undersökningen så har de två fördymlade bjälkarna provbelastats med 466 kg eller 4,66 kN, dessutom gjordes ett test med två bjälkar (6"6" x 2 st) ej sammansatta och en enkel bjälke 6"6" som referens. Förutsättningarna för dessa tester var följande: 5,2 m spännvidd och 4,66 kN last. Testerna gick till så att en bjälke placerades på upplag varpå en lina spändes upp från ände till ände för att fungera som referenslinje. Därefter mättes avståndet från referenslinjen till bjälkens underkant.



Fig. 15 Belastning

Efter det belastades bjälken med vikter, totalt 4,66 kN, varpå avståndet mellan bjälkens underkant och referenslinjen mättes igen. Resultaten blev som följer:

	Avstånd ref.linje – bjälke underkant. Utan belastning	Avstånd ref.linje – bjälke underkant. Med belastning
Bjälke A	49 mm	54 mm
Bjälke B	41 mm	45 mm
Bjälke 2st 6"6"	45 mm	58 mm
Bjälke 6"6"	45 mm	68 mm

De slutsatser som kan dras från dessa resultat är att bjälke A och B (de fördymlade bjälkarna), vid jämförelse med de två ovanpå liggande icke sammansatta bjälkarna, tycks fungera som varsin enhet, så som väntat var. Ser man till skillnaden mellan de fördymlade bjälkarna och bjälken bestående av en 6"6", så är nedböjningen ungefär 4

ggr större. Detta skulle kunna härledas till det som skrivs i *Fage bok for tømmrer* (1944) s. 422, att bärigheten hos en bjälke, bestående av två lika delar som samverkar har en bärighet som är fyra ggr större än hos en enkel bjälke av halva dimensionen.

3.9 Resultatsammanfattning

Den befintliga kunskapen är utvärderad och sammanställd till ett kortfattat och tydligt dokument som kan användas som en arbetsbeskrivning vid tillverkning av en fördymlad bjälke. I arbetet presenteras och förklaras de teoretiska kunskaper som behövs i tillverkningen av en traditionellt fördymlad bjälke med raka nötter.

Tidsmässiga slutsatser är svåra att dra då jag bara tillverkade två bjälkar, dessutom har de tillverkats på olika sätt. En rimlig uppskattning av tidsåtgång för tillverkning och ritningsarbete är 12-14 tim för en fördymlad bjälke. Det är rimligt att anta att den angivna tiden kan förkortas om en hel serie av lika bjälkar ska produceras.

Vid provbelastningen visade sig att båda fördymlade bjälkarna hade ungefär samma nedböjning. Skillnaden mellan de båda bjälkarna är att efter belastning blir den överspända bjälken rak eller i bästa fall fortfarande behåller sin överspända form, dock med något mindre överhöjning. En överspänd bjälke är en fördel då den motverkar nedböjning på grund av bjälkens egenvikt och för den nyttolast bjälken är avsedd för.

4. Avslutning

4.1 Diskussion & slutsatser

Så som nämndes i problemformuleringen är kunskapen om tillverkningen av fördymlade bjälkar dåligt spridd bland dagens hantverkare. Detta arbete är relevant då det beskriver och förklarar den information och kunskap som behövs för att kunna tillverka en traditionellt fördymlad bjälke samt ger en vägledning vid det praktiska genomförandet.

Jag har använt två maskiner som inte kan anses vara en del av en hantverkares gängse maskinpark. En kedjestämmare förkortar arbetstiden avsevärt men är relativt dyr. Om ett större projekt skall utföras är kostnaden dock inte orimlig med hänsyn till tidsbesparingen. Ett bandsågverk behöver inte användas om virket från början är rakt.

Användningen är något begränsad, då arbetet bara behandlar bjälkar avsedda för jämnt fördelad last, vilket kan ses som en nackdel då det många gånger behövs bjälkar som ska bära punktlaster.

Så som nämns i t.ex. avgränsningarna så tas skråställda nötter ej upp i arbetet, vilket skulle vara intressant men eftersom tiden ej ansågs tillräcklig har detta utelämnats trots att det finns kunskap som säger att skråställda nötter är mer effektiva än raka nötter. Däremot har raka nötter bättre motståndskraft vid dynamisk (rörlig) last.

Man kan använda sig av Wt-t skruvar för att på liknade sätt, som det fördymlade bjälkarna, åstadkomma en bjälkförstärkning. Metoden för användandet av Wt-t skruv, så som jag uppfattat den, kan på många vis liknas vid den traditionella metoden för fördymlade bjälkar fast med skillnaden att skruven motverkar glidningen mellan bjälkarna genom drag, inte genom tryck som är fallet för nötterna i en fördymlad bjälke. Det skulle vara intressant att undersöka huruvida Wt-t skruv kan underlätta tillverkning av fördymlade bjälkar. Detta med tanke på att metoden för Wt-t skruv lämpar sig väl vid bjälkförstärkning i redan befintliga konstruktioner.

Det är svårt att få tag på helträbjälkar i stora dimensioner. Detta tillsammans med att det i vissa situationer inte är lämpligt med limträbalkar eller dylikt på grund av restaureringsetiska aspekter gör att det finns ett stort användningsområde för fördymlade bjälkar.

5. Käll- och litteraturförteckning

Tryckta källor

Bra böckers lexikon, band 21. 3e upplagan, 1989, Höganäs, Bokförlaget Bra Böcker

Gramén, Lars Nilsson (1918). *Lantmannabyggnader: handbok i lantbyggnadskonst.* 2. uppl. Stockholm: Fritze

Nielsen, Peder (red.) (1944). *Fagbok for tømrere.* Oslo: Grundt Tanum

Kohout, Jaroslav, Tobek, Antonín (1996) *Tesařství: Tradice z pohledu dneška.* Praha: Grada publishing

Geometrisk ritning, Brev 6 (1938) Malmö. Hermods

Tidskrift för praktisk byggnadskonst och mekanik mm. (1852) 3e årgången. Stockholm, Robert Acrels Förlag

Muntliga källor

Informant 1: Anders Frøstrup, Timber AS i Tønsberg, Norge

E-brev: Flertal e-brev under perioden 6 april till 2 juni 2010

Samtal: 25 mars 2010

Informant 2: Lennart Palmquist, byggnadsingenjör på Varbergs byggkonsult AB

E-brev: 13 april 2010

Informant 3: Ylva Sandin

E-brev: 9 mars och 26 maj 2010

Samtal: 2 mars 2010

Referens litteratur

Rothstein, E. E. von (1875). *Handledning i allmänna byggnadsläran med hufvudsakligt afseende på husbyggnadskonsten samt kostnadsförslagers uppgörande.* 2. öfversedda, tillökta och delvis omarb. uppl. Stockholm: Beijer.

Stål, Carl (1854). *Utkast till allmän byggnadslära.* Fahlun.

Hökerberg, Otar (red.) (1947). *Husbyggnad.* [2]. Stockholm.