

Konstruktionsdesign i hybrid- och träkonstruktioner

Roberto Crocetti, Professor
NOVANA AB

Vad betyder "HYBRID" egentligen?

Ordet hybrid betyder enligt “Ordbok öfver Svenska språket, 1850”:

“Alstrad af två särskilda arter”

Egentligen är de flesta byggnadsverk i världen någon form av *hybrid*, då dessa är ”skapade av två (*eller flera*) särskilda arter”

Hur som helst:

***hybrid-konceptet* är väl inget nytt här i världen**

Stål kan betraktas som en (genialisk) hybrid, på materialnivå (?)

Järn



Gjutjärn



"The iron bridge", England, 1779, spännvidd ca 30m

Smidesjärn



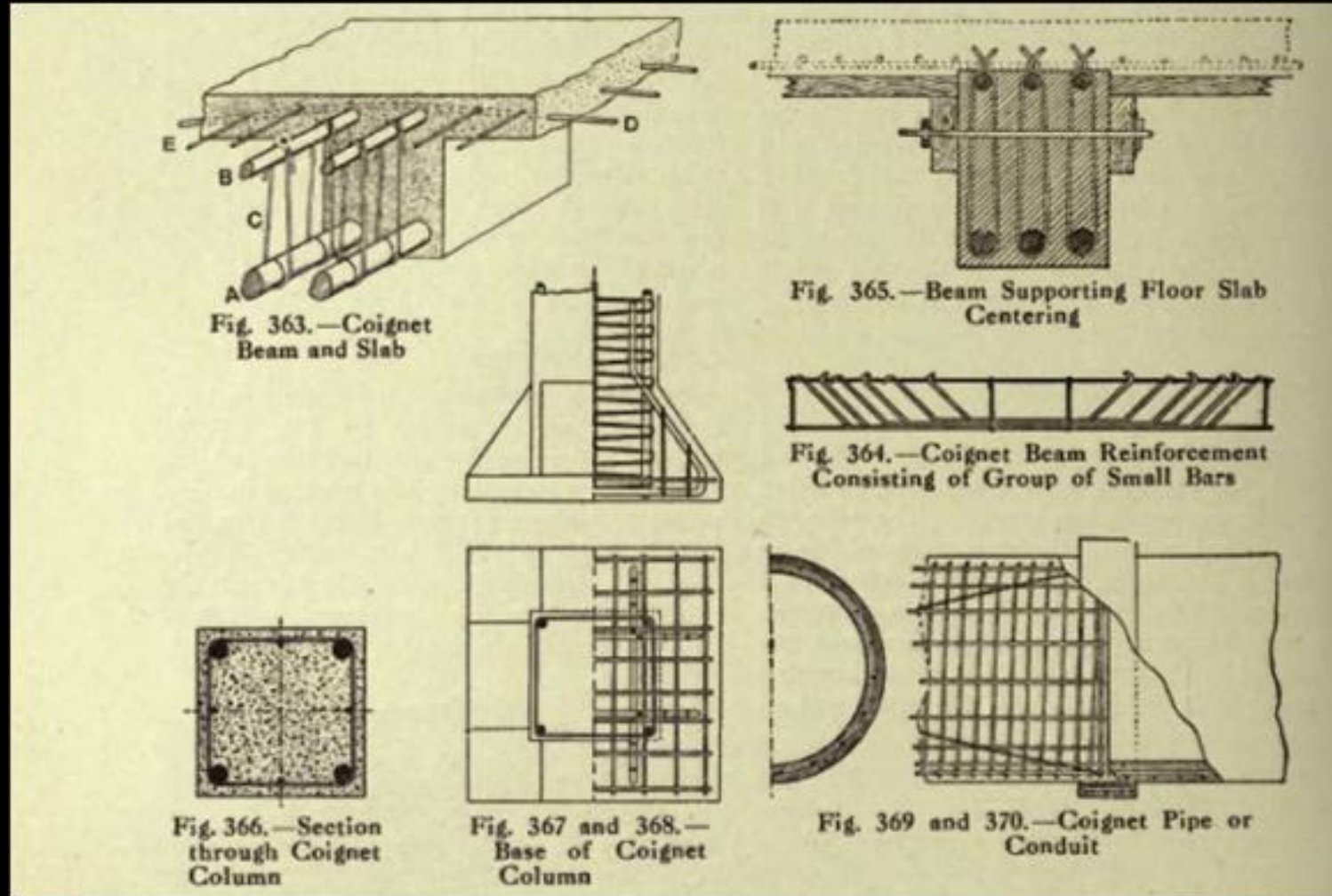
Eiffeltornet, Frankrike, 1889, höjd ca 300 m

"Akashi-Kaikyo Bridge, Japan, 1998, spännvidd 1991 m.

Stål



Armerad betong kan betraktas som en (lysande) hybrid, på komponentnivå (?)



Fransmannen Francois Coignet gav 1861 ut en bok som beskriver en rad tillämpningar och användningar av armerad betong.

Från "grundmaterial" till hybrid: övergång från betong till armerad betong



Pantheon, oarmerad betong med bindemedel av vulkanaska (Diameter 43 m)



Sandöbron, armerad betong, världens längsta spann för en betongbro (264 m) då den invigdes år 1943

Burj Khalifa, (mestadels i) armerad betong, världens högsta byggnad (828 m) då den invigdes år 2010



...och trä då? Vi kan redan bygga det här idag...



Mjøstårnet, Norge, 18 våningar, höjd: över 80 m



Tynsetbro, Norge, spännvidd 71 m

vi har ju superbra träprodukter idag



Fanerträ och plywood



Limträ



KL-trä



1) kan vi göra trämaterial, träkomponenter och träkonstruktioner ännu bättre?

2) Varför ska vi göra det?

Fanerträ och plywood

Limträ

KL-trä

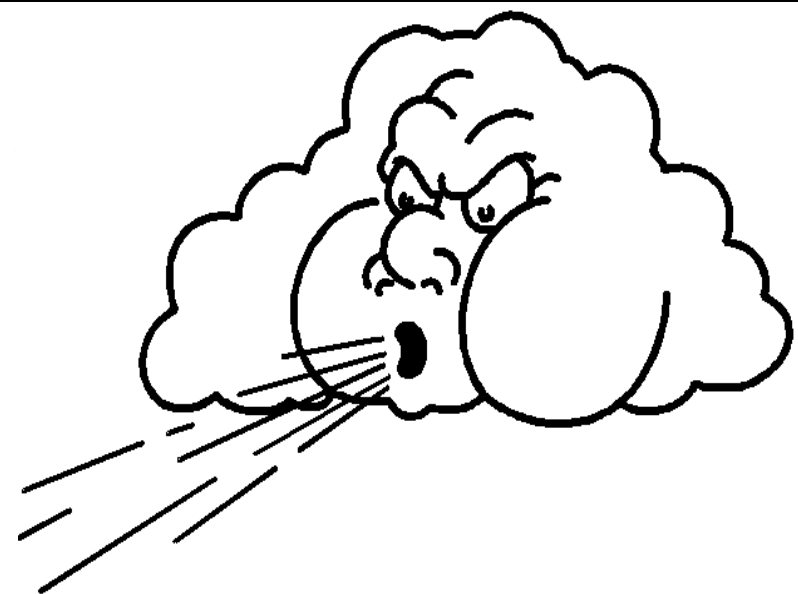
Innehållsförteckning

- Några fördelaktiga egenskaper hos trä
- Några mindre fördelaktiga egenskaper hos trä
- Varför trähybrider?
- Exempel på existerande träbaserade hybrider
- Exempel på idéer om träbaserade hybrider

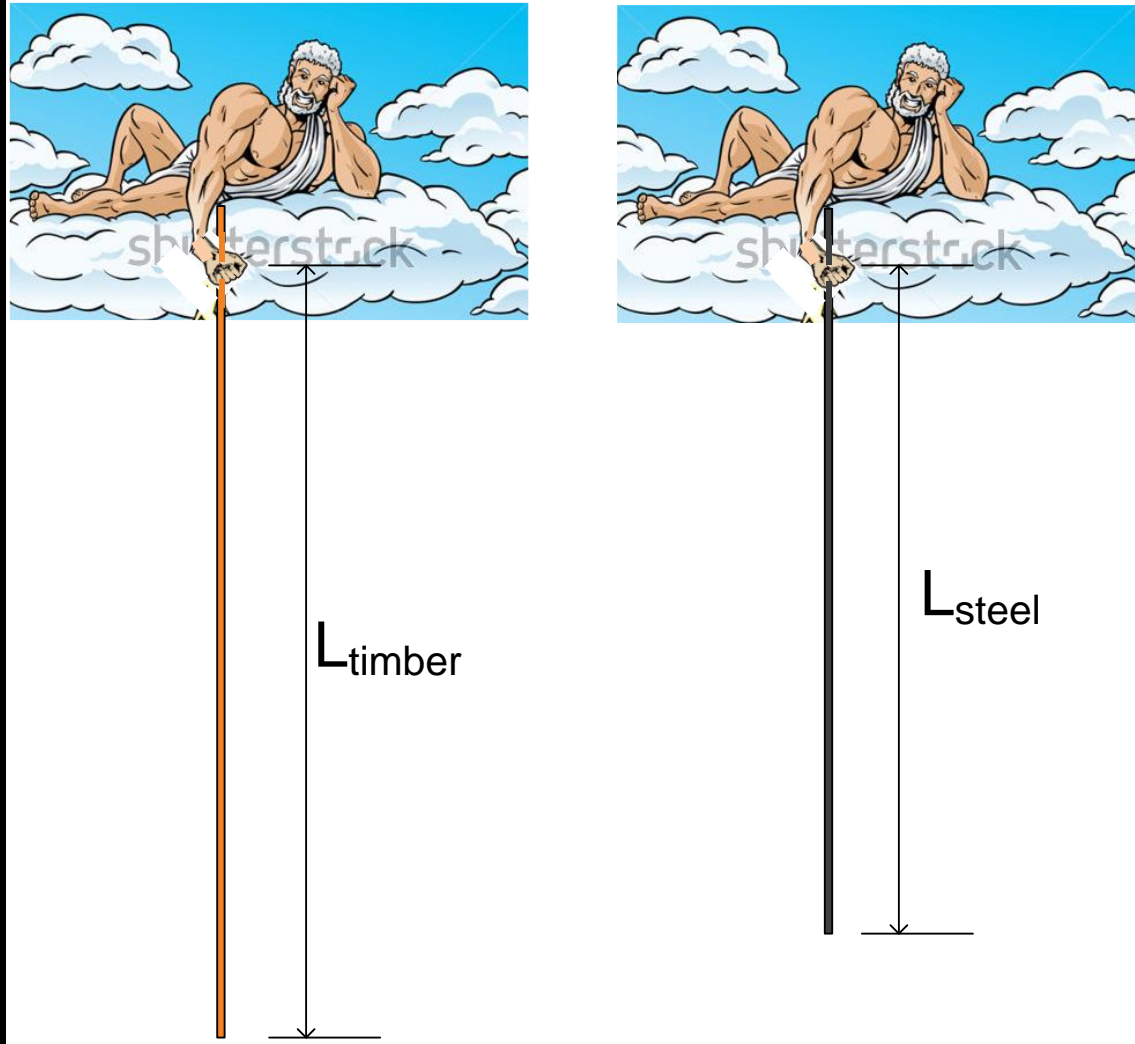
Några av träets fördelaktiga egenskaper

- Många miljöfördelar
- Hög hållfasthet och styvhet i förhållande till sin vikt
- Låg vikt – vilket innebär att det är relativt lätt att prefabricera, frakta och montera
- Formbarhet
- ...och mycket mera (estetik, ekonomi, tillgänglighet, bearbetningsbarhet, osv.)

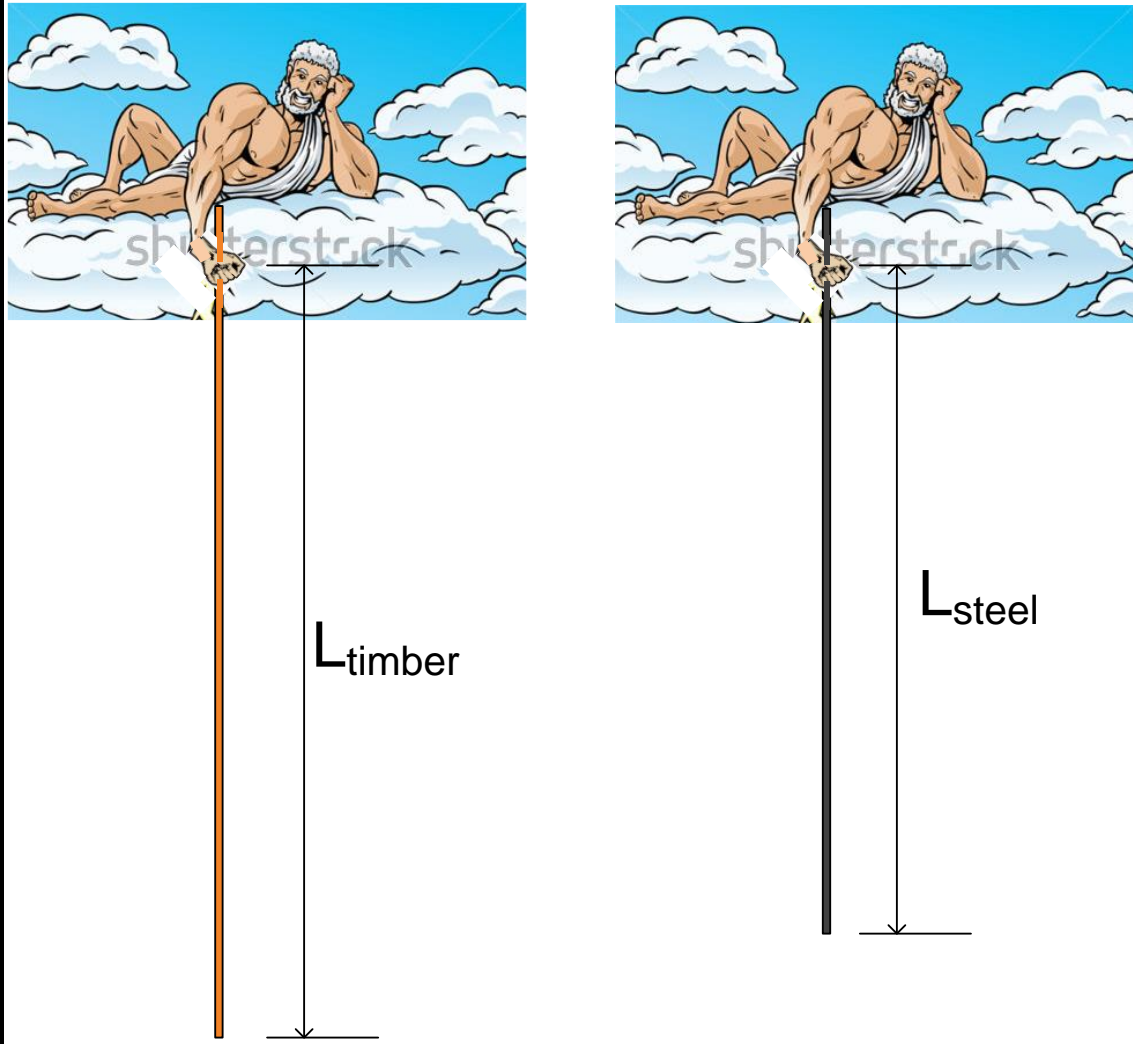
***Träs hållfasthet
och styvhet i
förhållande till
sin vikt***



Kritisk längd vid ett dragbelastat element

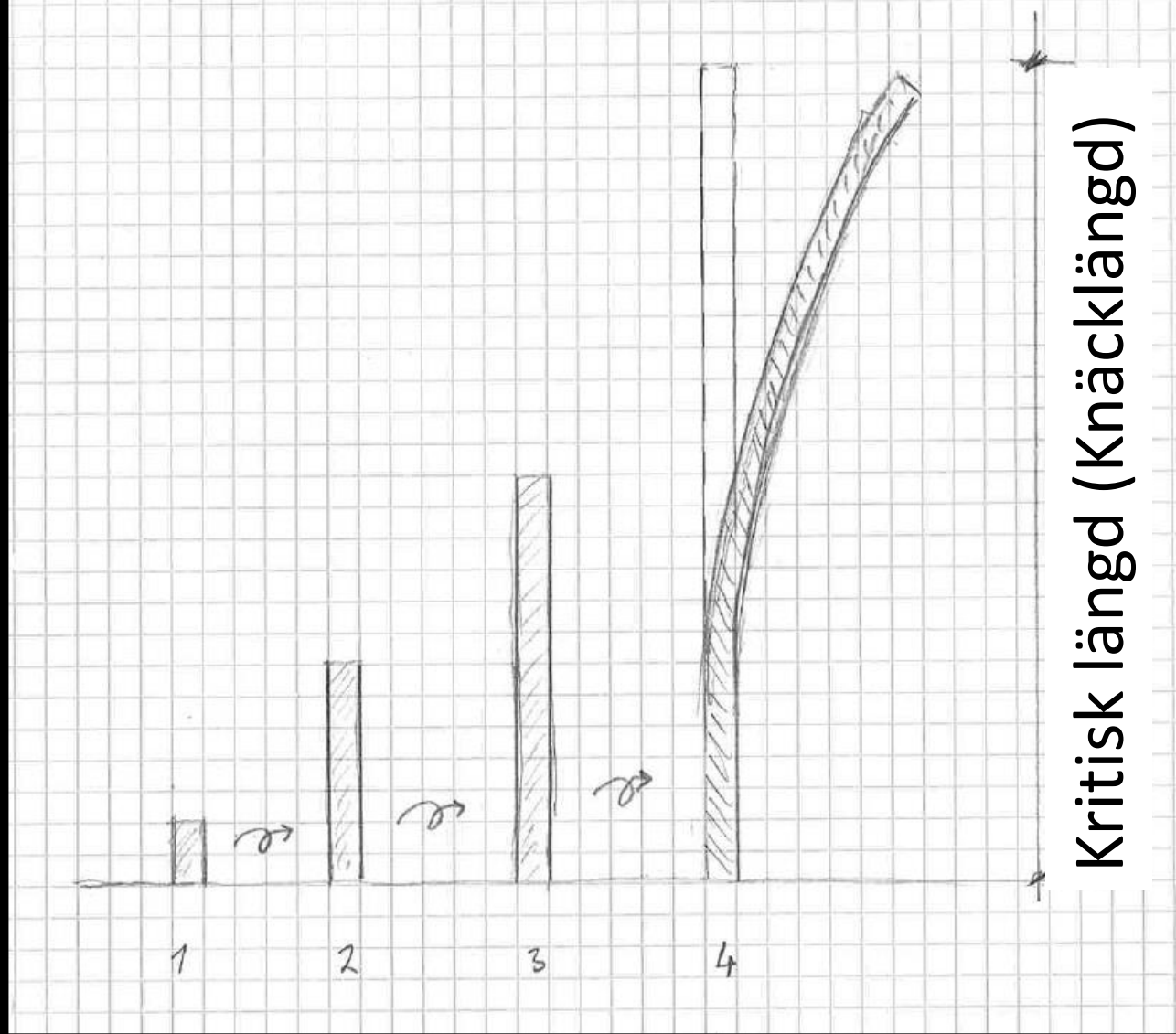


Kritisk längd vid ett dragbelastat element



$$\text{Kritisk Längd } (L_{cr}) = \frac{\text{Materialets hållfasthet}(f)}{\text{Materialets tungthet}(\rho \cdot g)}$$

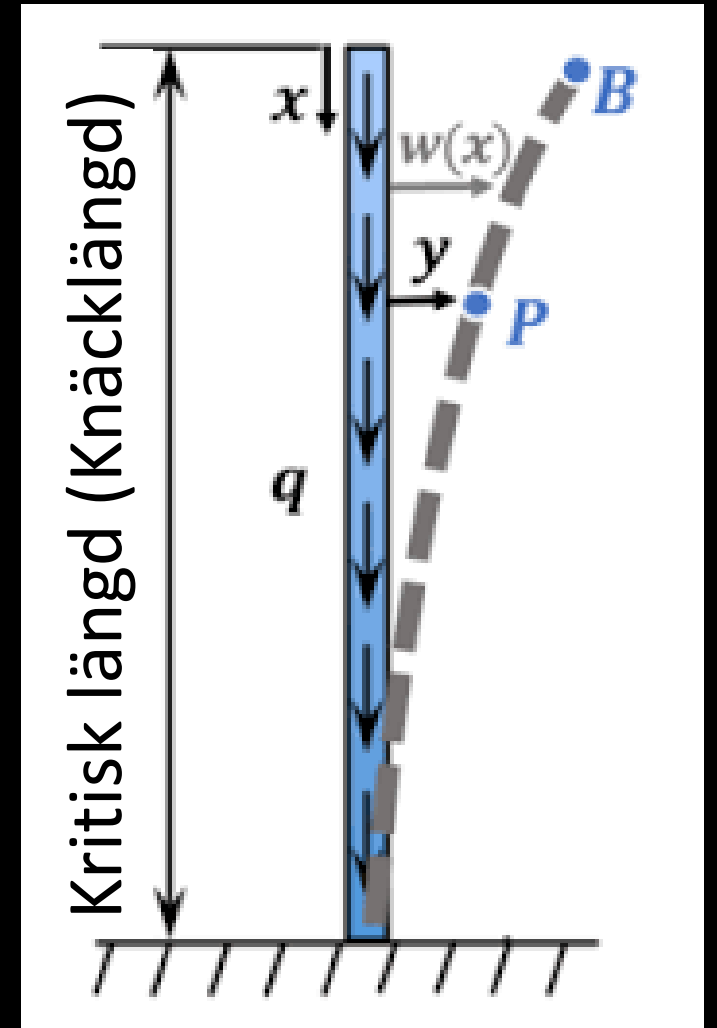
Kritisk knäcklängd (av endast egenvikt)



Kritisk knäcklängd

(av endast pelares egenvikt)

$$\text{Kritisk Längd } (L_{cr}) \propto \left(\frac{\text{Materialets E-modul } (E)}{\text{Materialets tungthet } (\rho \cdot g)} \right)^{\frac{1}{3}}$$



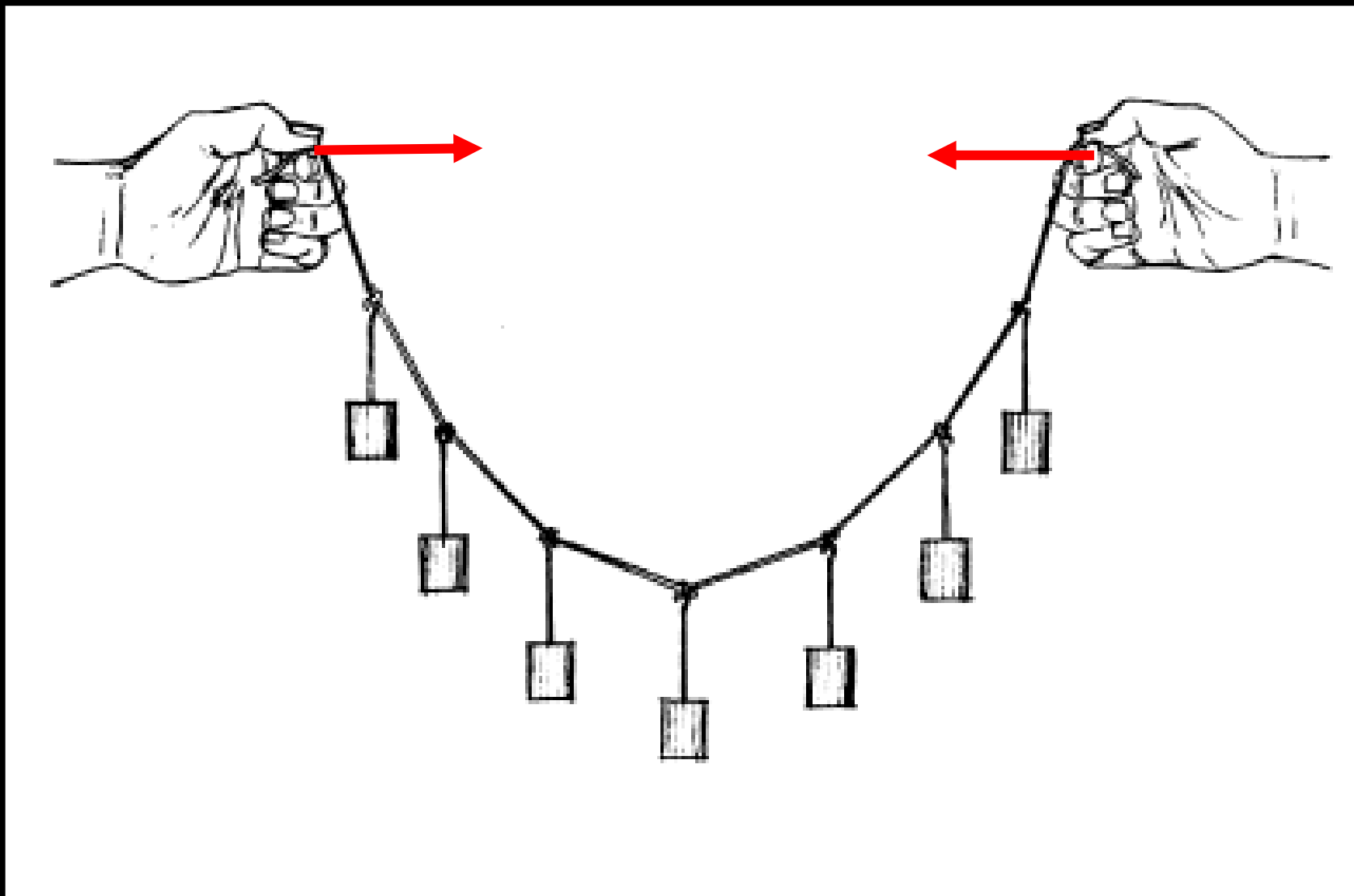
Specifik hållfasthet/styvhet samt materialeffektivitet

| Material | Strength f [MPa] | Density ρ [kg/m ³] | Young's modul E [GPa] | Efficiency ratio for tension/comp ⁽¹⁾ f/ρ | Efficiency ratio for compression (also considering buckling) $(E/\rho)^{1/3}$ |
|----------------------------|-----------------------|--|-------------------------------|--|--|
| Softwood | 20-30 | 350 - 450 | 11-13 | 44 – 85 | 3 – 3.3 |
| Carbon steel | 235 - 355 | 7800 | 210 | 30 – 45 | 3 |
| Concrete | 30 - 50 | 2500 | 30 | 1 – 2 ⁽²⁾ | 2.3 |
| CRFP (carbon fibres) | 500 - 1400 | 1600 | 70 - 300 | 300 – 900 ⁽³⁾ | 5 – 6 |

Några exempel på hur man kan använda de höga specifika styvhets- och hållfasthetsvärdena i träkonstruktioner

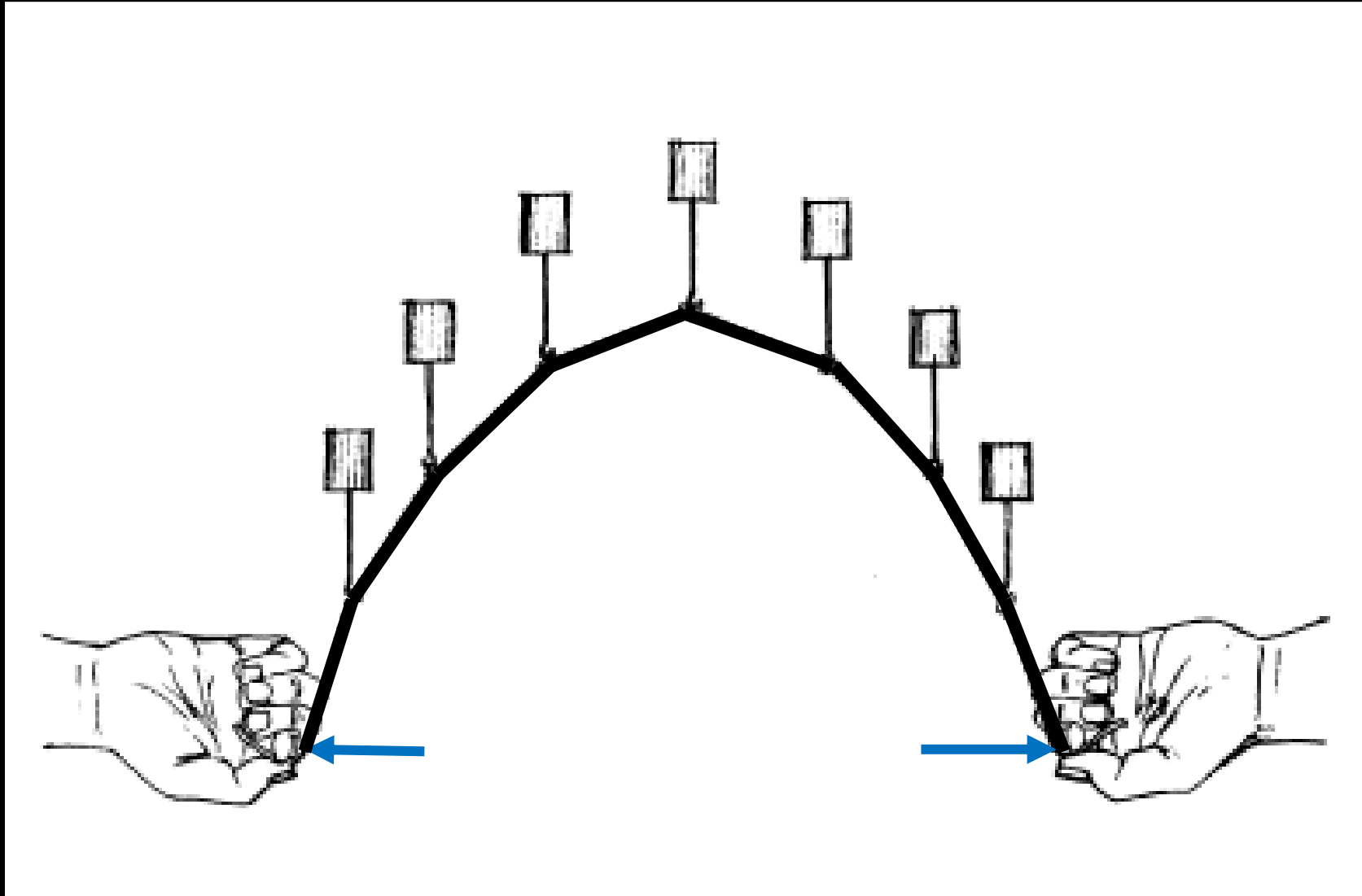
- ”Tryckta” konstruktioner
- ”Dragna” konstruktioner

Lina belastad med jämnt utbredd last



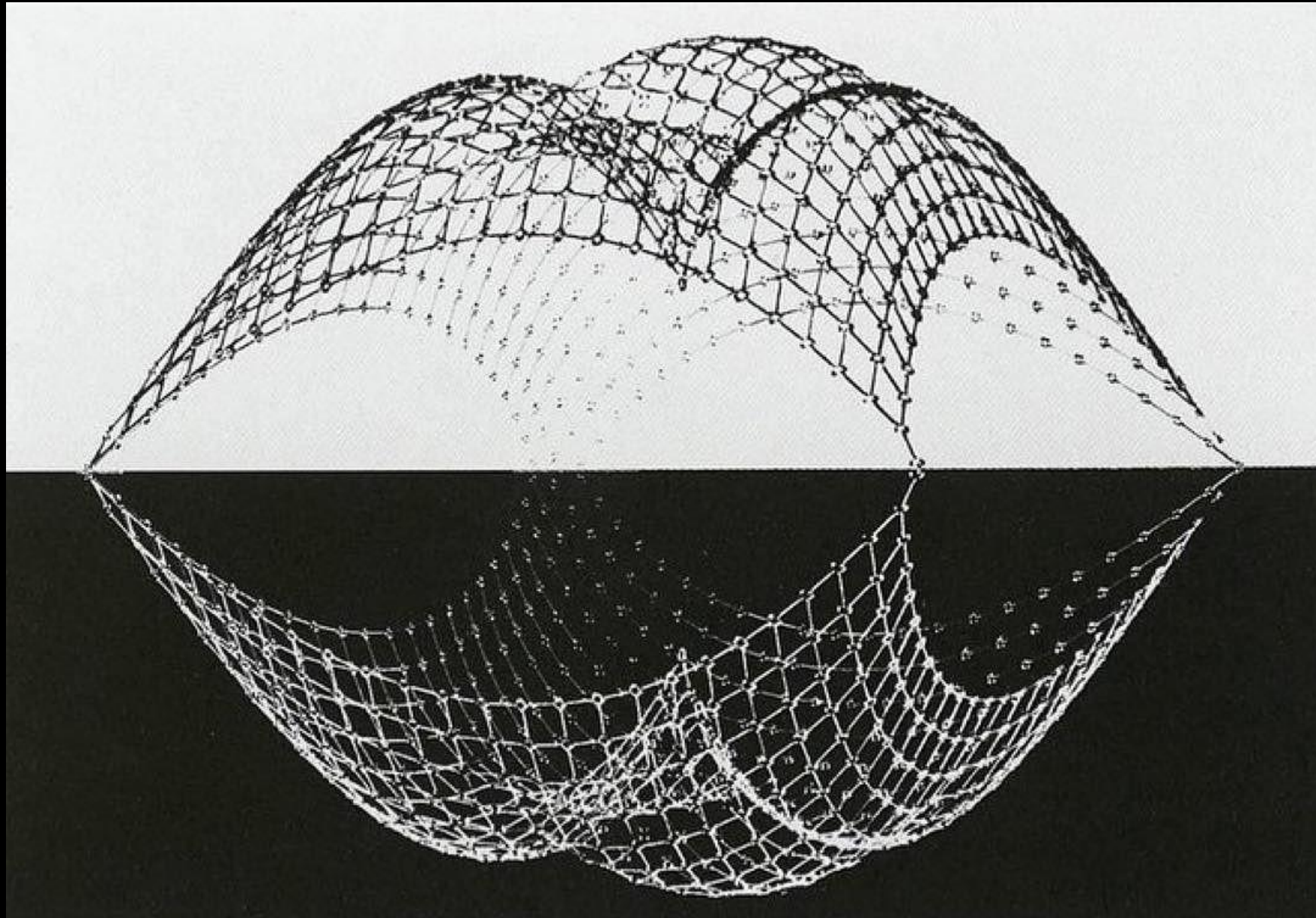
Denna form
ger upphov till
bara dragning
i linan – inget
moment!

Upp-och-ned vänd lina (dvs "båge") belastad med jämnt utbredd last



Denna form
ger upphov till
bara tryck –
inget moment!

Drag och tryck tvåfaldighet - Strukturell effektivitet



Exempel på

- "Tryckta" konstruktioner
- "Dragna" konstruktioner

Världens största träkupol: "Superior Dome"



Geodetisk kupol
Arena i Northern Michigan
University, Michigan, USA.
Diameter: 163 m
Pilhöjd: 49 m
Byggår: 1995

Europas största spännvidd för en träkonstruktion



Objekt: 2 geodetiska kupoler (Kollager)
Ort: Brindisi, Italien
Diameter: 143 m
Pilhöjd : 44 m
Byggår: 2014



Exempel på

- "Tryckta" konstruktioner
- "Dragna" konstruktioner

Spännbandsbro, Essing, Tyskland

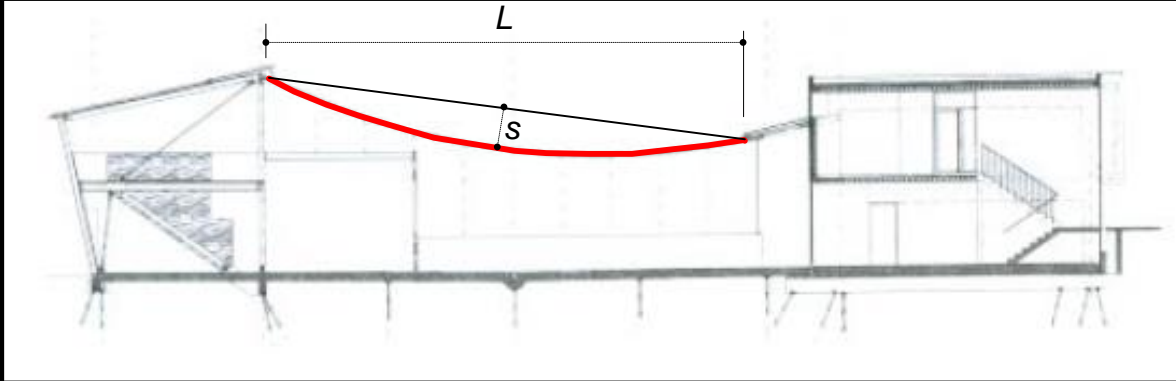


Största spännvidd: 74 m

Bärande konstruktion: Spännbandskonstruktion bestående av 9 parallella limträbalkar 220x650

Ca 90% av lasten tas genom dragnig, resterande 10% genom böjning

Hängande trätak, Hohenems, Österrike



Spännvidden är $L \approx 20$ m, Material: LVL-skivor, Skivors tjocklek: 39 mm

Nedhängningen $s \approx 1,7$ m (det vill säga $s/L \approx 0,12$);

Taket följer kedjelinjen

För att öka takets styvhet och även för att motverka den uppåtriktade vindens lyftkraft har ett lager av grus lagts på taket

Hängande trätak, Hohenems, Österrike



LVL (korslimmat fanerträ), $t=39\text{mm}$!
Spännvidd: ca 20m

Spännbandstak: Grandview Heights Aquatic, BC, Canada



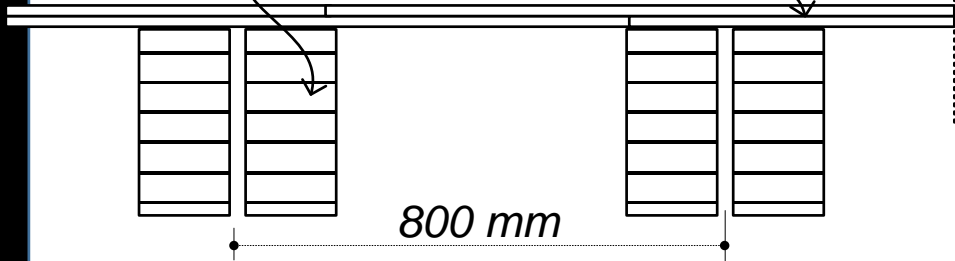
Taket består av två fack med spännvidder $L_1=45$ m och $L_2=55$ m, respektive. Kvoten mellan nedhängningen och spännvidden är ca 0,11



Krökt limträbalk

130x266

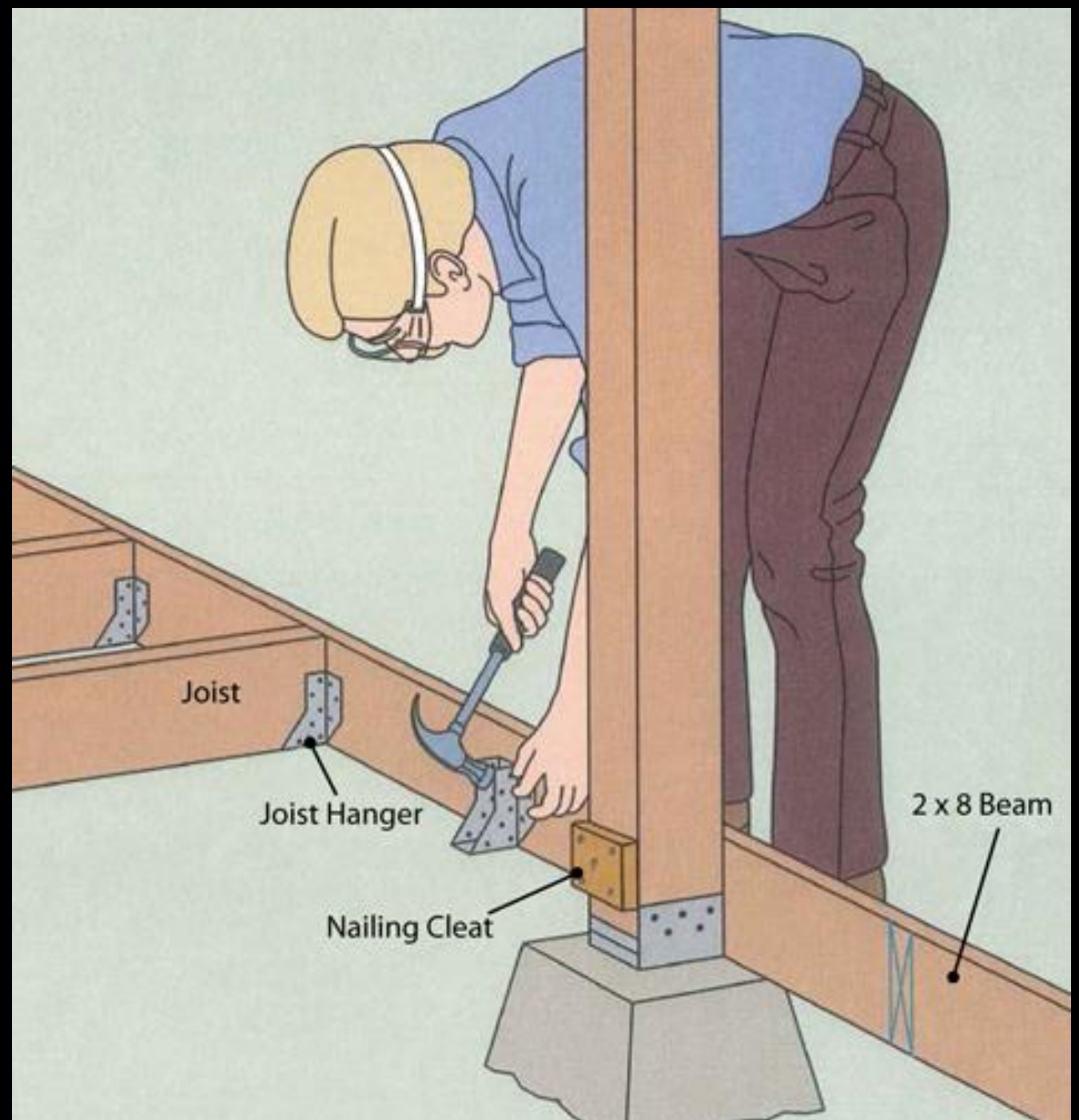
Plywoodskiva



Förankringsanordning



***Låg egenvikt – lätt
att prefabricera och
att montera***



Bro över motorväg E18, Hägernäs, 2007



Treledsbåge

Spännvidd: 34 m,

Längd: 42 m

Bro över Nynäsbanan, Haninge



Treledsbåge

Spännvidd: 35 m

Montering: mars 2017

Bro över Nynäsbanan, Haninge



Bron lyftes på plats på mindre än en timme

Flervånings bostadshus i UBC Vancouver, Kanada, 2017



- Studentlägenheter
- 2 våningar per vecka
- Bärande system: Limträ+ KL-trä + Betong (sidostabilisering)
- 18 våningar



Lätt att forma

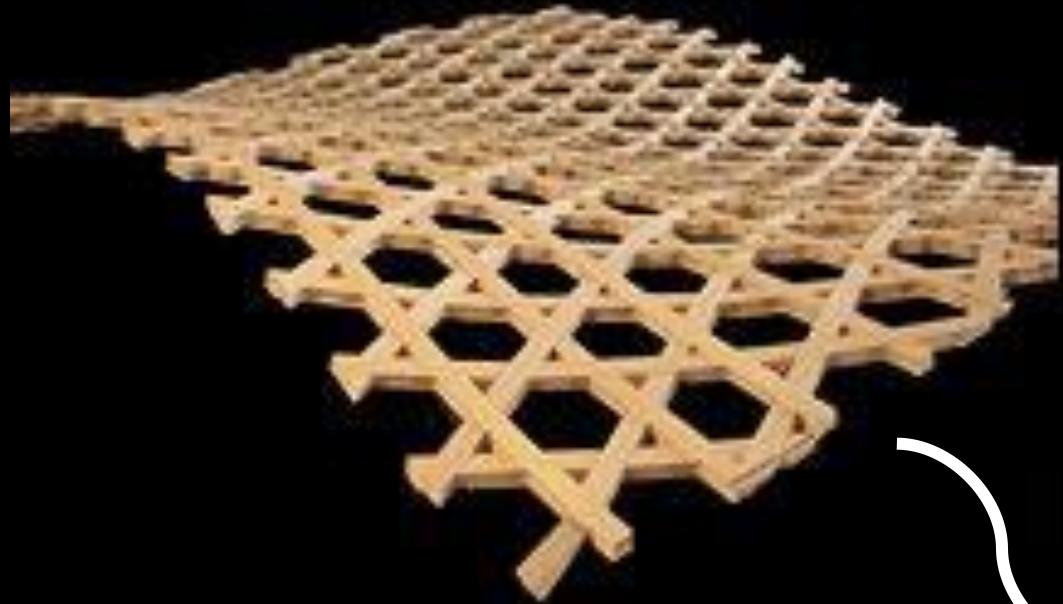
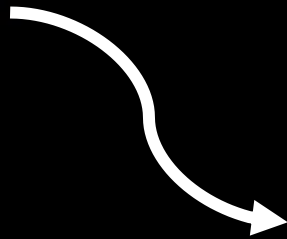


Truss beams, Gardemoen airport, Oslo

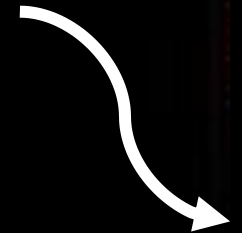
Inspirationen kan komma från en kinesisk hatt



The inspiration from a Chinese hat



The mesh



.....

...och så kan det bli efter ett tag



The Centre Pompidou in Metz, France, 2010
Architect: Shigeru Ban, Japan
Engineer: Hermann Blumer, Switzerland

Men trä har även en del mindre positiva egenskaper som man måste ta hänsyn till!

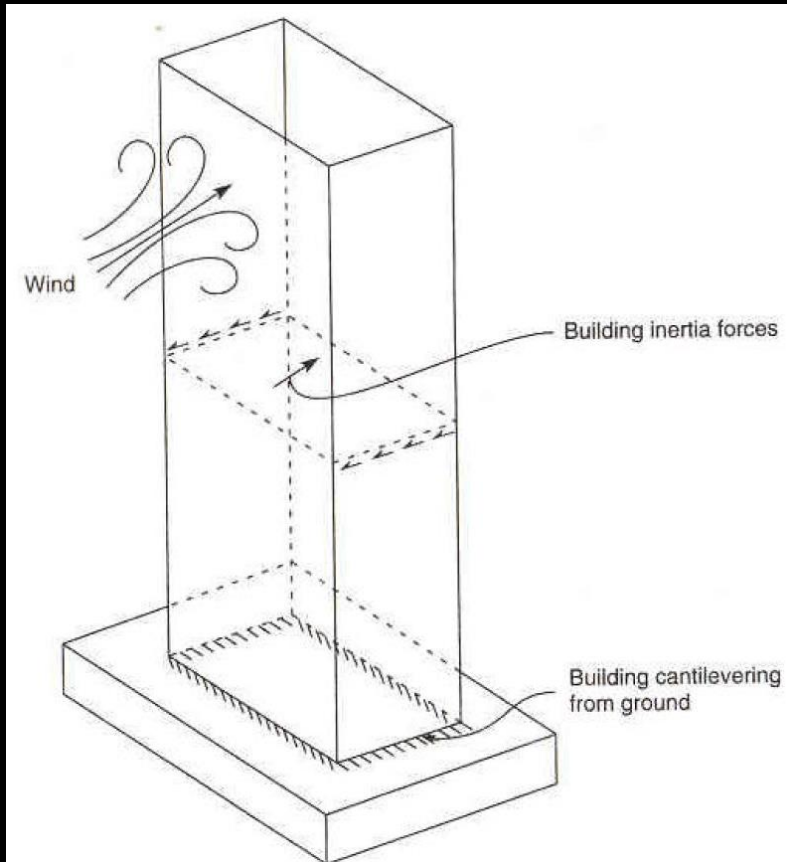
Men trä har även en del mindre positiva egenskaper som man måste ta hänsyn till!

Här kommer det några sådana:

Några mindre positiva egenskaper hos trä

1. Låg egenvikt
2. Låg E-modul
3. Hög spridning i mekaniska egenskaper
4. Låg duktilitet
5. Låg naturlig beständighet
6. Förband generellt dyrare och mindre effektiva än motsvarande förband i t.ex. stålkonstruktioner

1. Låg egenvikt
2. Låg E-modul

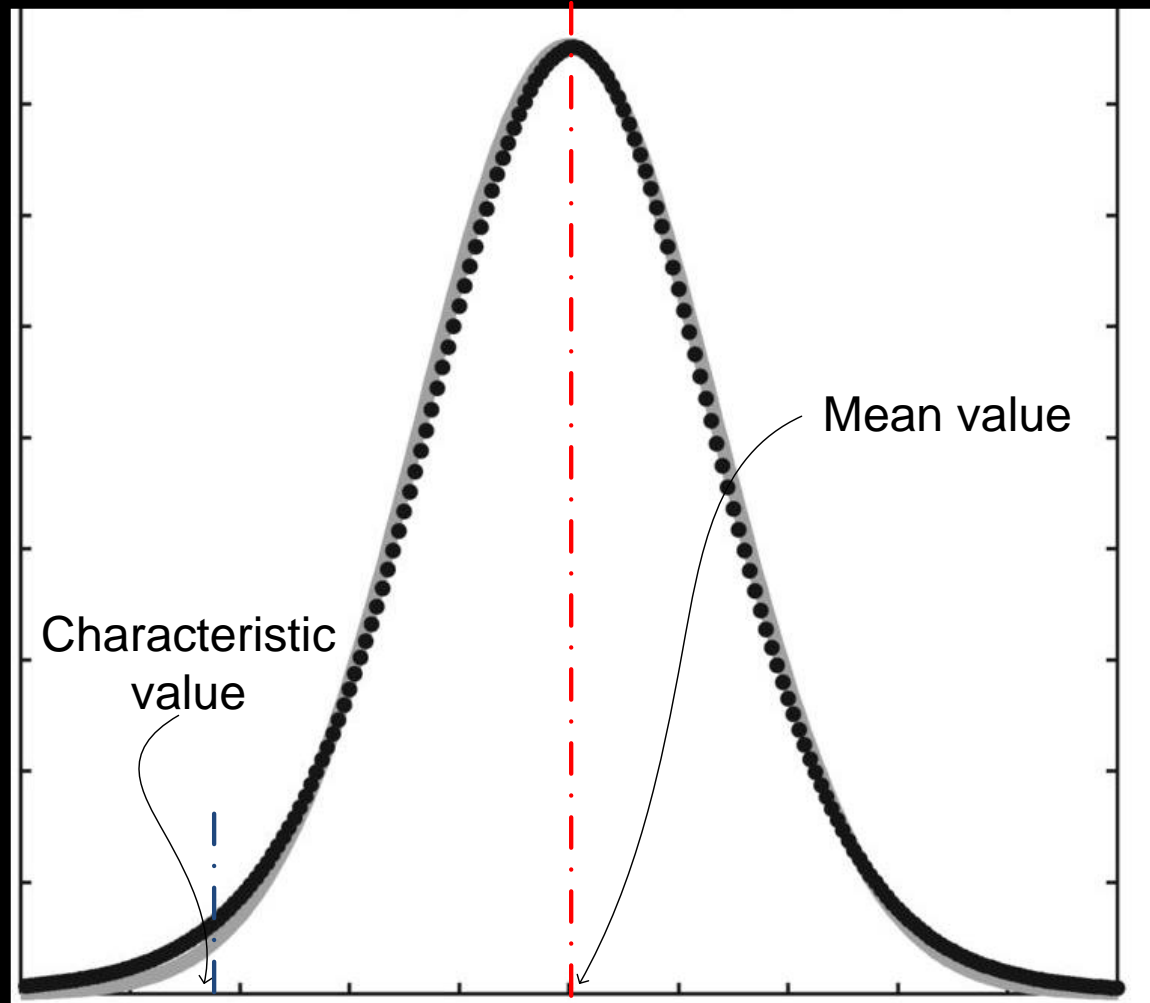


Risk för stjälpning
och
Risk för vindinducerade vibrationer



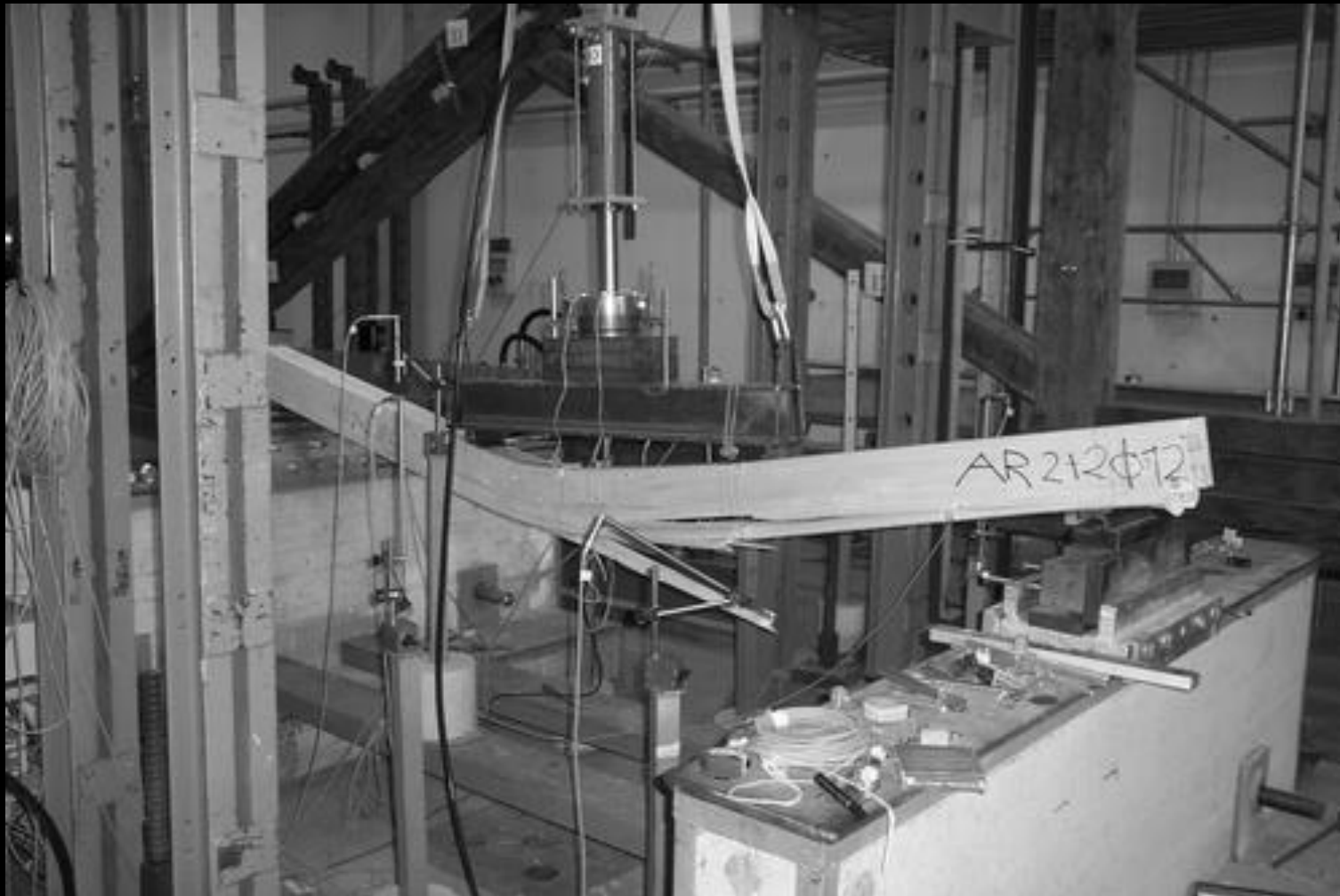
Akustik, svikt och vibrationer i bjälklag
Hög konstruktionshöjd i bjälklag

3. Stor spridning i mekaniska egenskaper

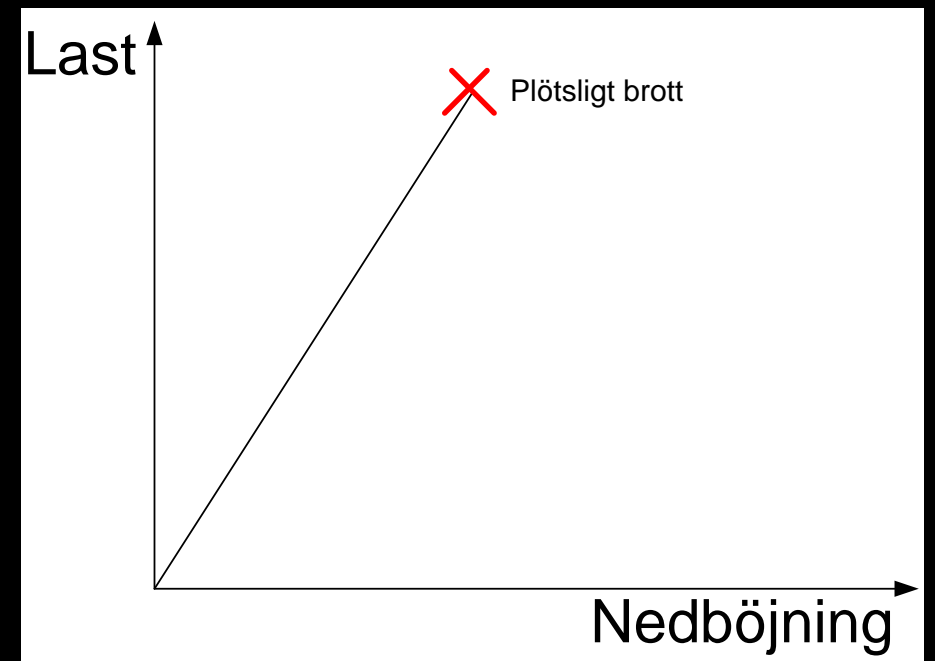


Stor spridning i resultat → lågt karakteristiskt hållfasthetsvärde

4. Låg duktilitet



Sprött brott, som regel



5. Låg naturlig beständighet (oftast p.g.a. felaktigt projektering)

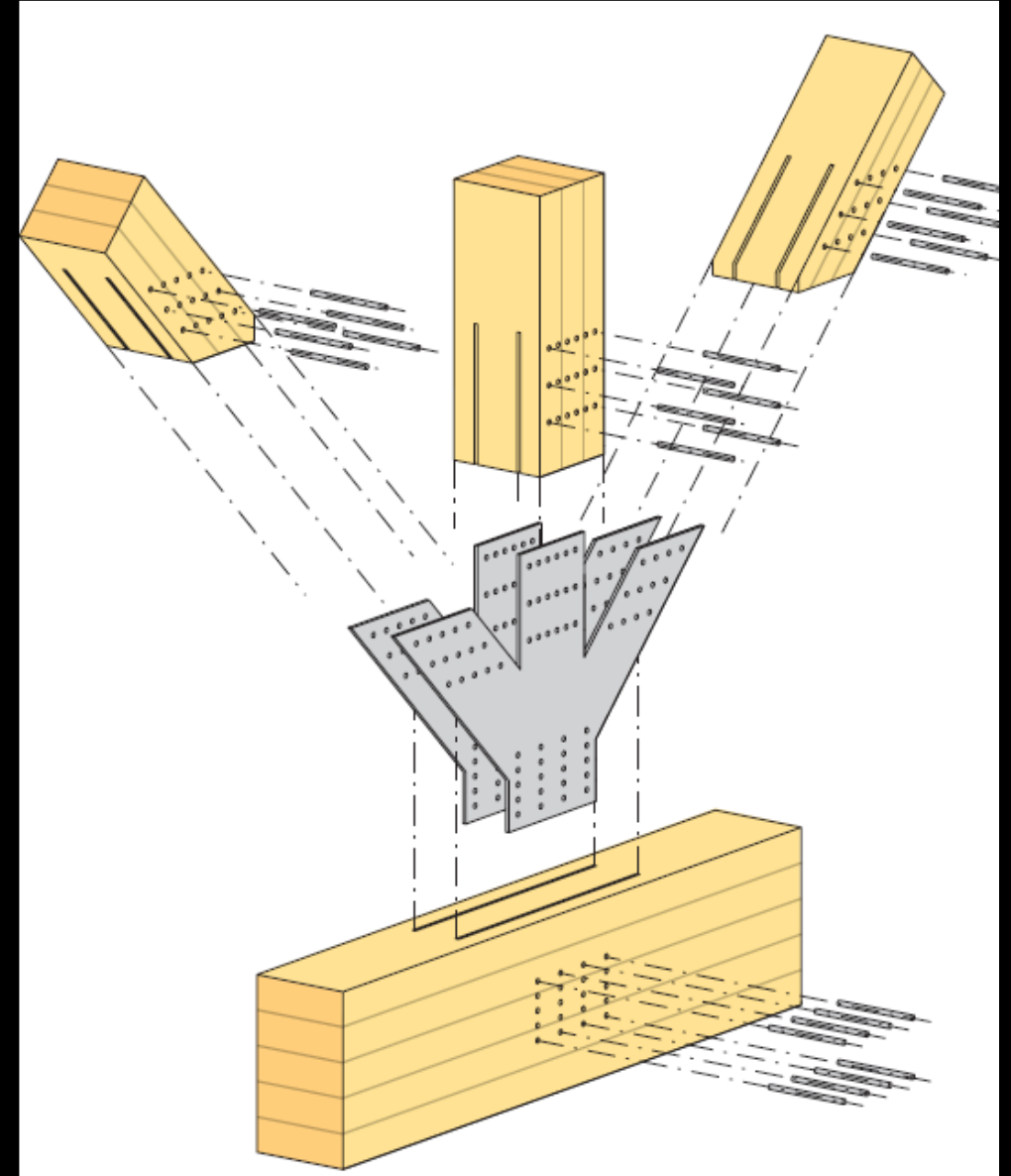


7. Relativt komplexa (läs: dyra) förband

1. Oftast kan ett träförband överföra bara begränsad last p.g.a:

- låg hålkantshållfasthet
- låg skjuvhållfasthet
- Låg draghållfasthet vinkelrätt fiberriktning

2. Svårt att göra momentstyva förband



Lösningen till detta?

Lösningen till detta?

Träbaserade hybrider (?)

Hybridmaterial

Acetylerad Svensk furu



- Avsevärt ökade beständighetsegenskaper
- Laboratorieförsök på dymlingsförband, LTH
- Två forskningsprojekt (FORMAS + VINNOVA-Bioinnovation) kommer igång under hösten

Hybrid

Dymlingsförband med stor dymling och pålimmade ställaskar



Dymlingsförband (bara en stor dymling)

Ställaskar på bägge sidor med vulkaniserat gummilager, skruvlimmade till träet

Provkroppen belastad i dragning.

Brottlast: ca. 1000 kN, ganska nära träelementets draghållfasthet

Doktorandprojekt på LTH

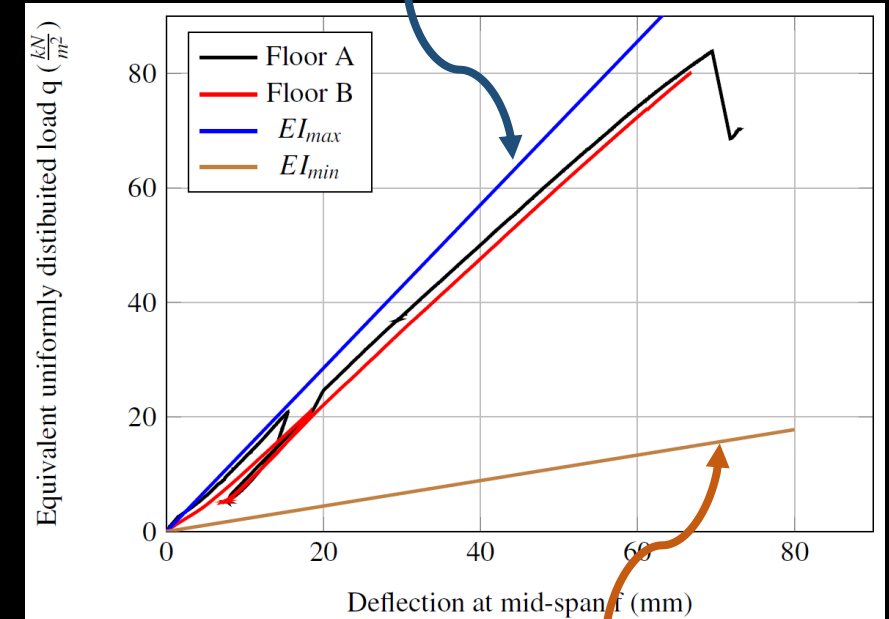
Hybridkomponent 1

Prefabricerat samverkansbjälklag i trä och betong

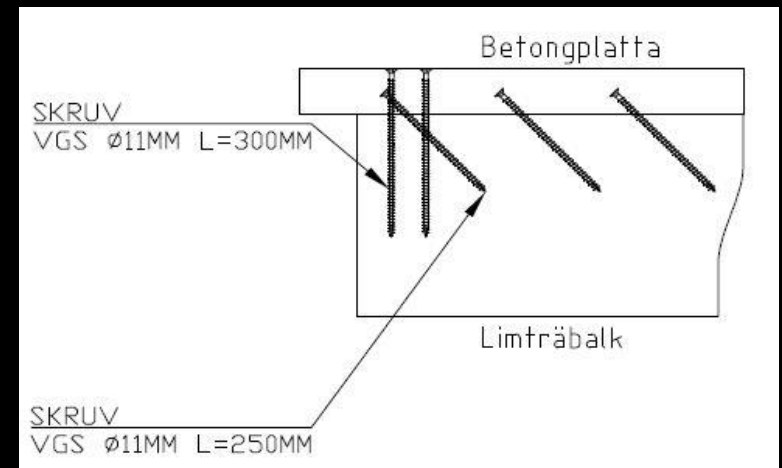


- Stor styvhetsökning → minskar problem med svikt och vibrationer
- Egenviktsökning → bättre stabilitet mot stjälpning, bättre akustiska egenskaper
- Reducerad bjälklagshöjd → bättre ekonomi

100% samverkan



0% samverkan



Hybridkomponent 2

Limträbalk förstärkt med pålimmad stålplåt (eller FRP)



- Limträbalkar 115x270, L=6m, både oförstärkta och förstärkta med stålplåt 10x80 mm²
- Ökning av både hållfasthet och styvhet med ca. 80%
- Duktig brottmod om stålplåten är limmad på den dragna sidan
- Liten spridning i laboratorieresultat

Andra möjliga hybridkonstruktioner?

Andra möjliga hybridkonstruktioner?

Jovisst, en del finns redan på plats, andra finns bara i "idévärlden"

Parabelformade underspända balkar (hybridkomponent trä-stål)



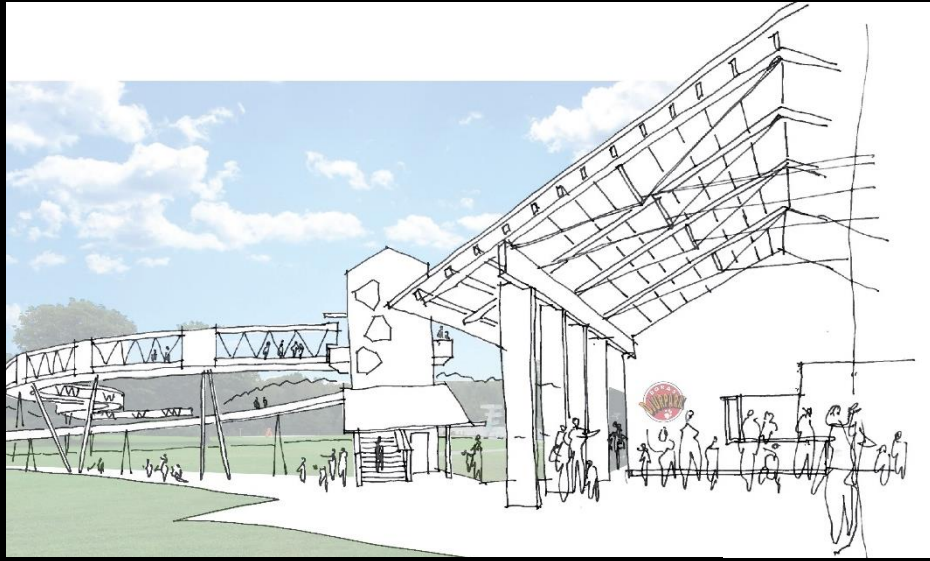
Courtesy Wiehag

Parabelformade underspända balkar (hybridkomponent trä-stål)

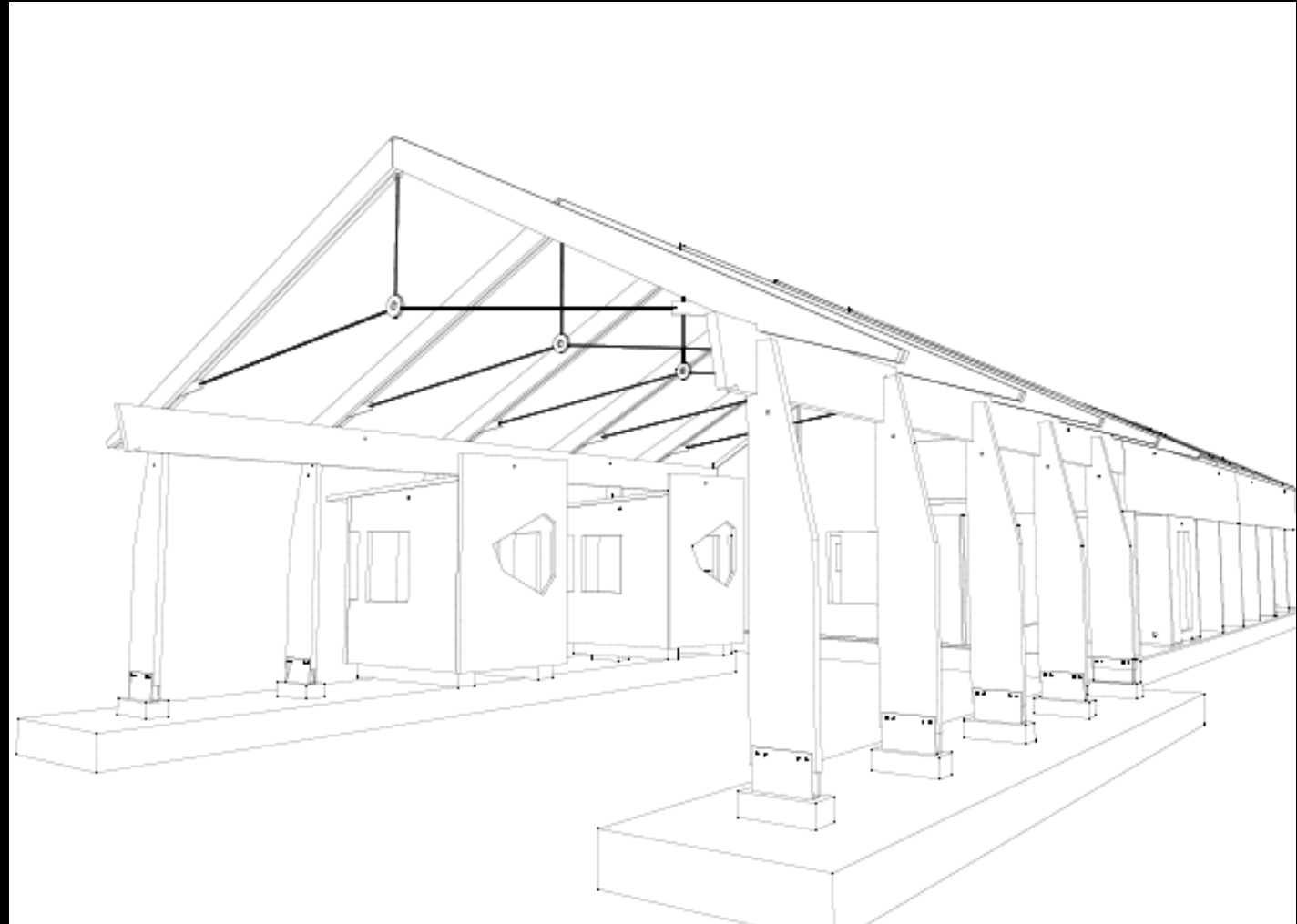


Traversinabron, Jürg Concett

Takstol, djurparken i Borås (hybridkomponent trä-stål)



Courtesy Landström arkitekter

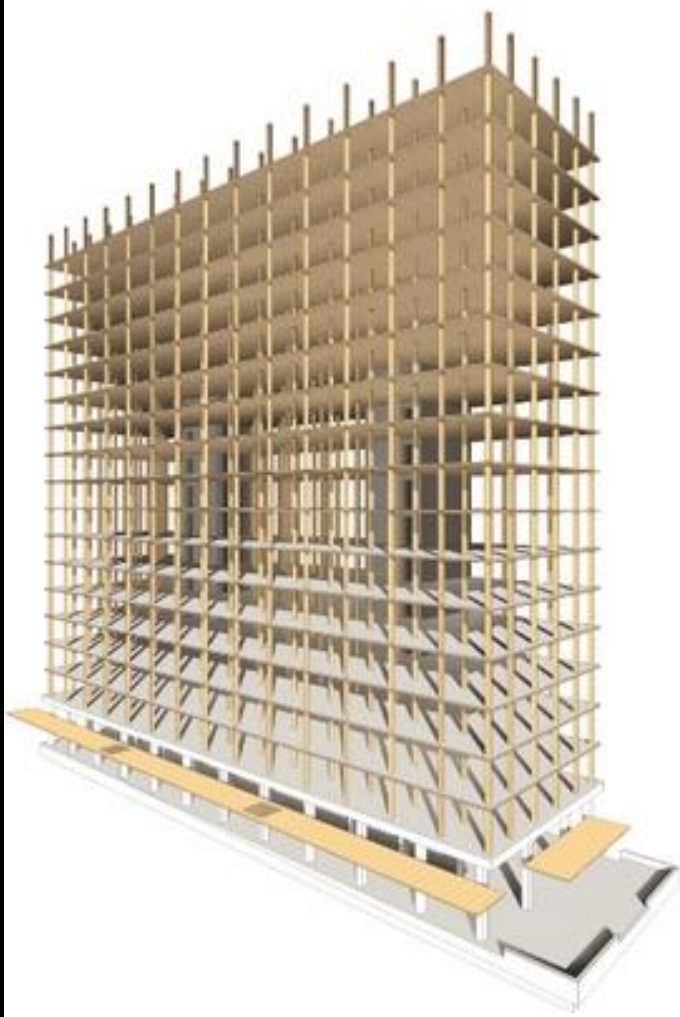


Takstol (hybridkomponent trä-stål)



Hybrida system av trä och betong, 18-våningshus i Vancouver

ACTON OSTRY ARCHITECTS INC.



hybrid mass timber and concrete core structure



CLT floor slabs with glulam columns and steel connectors



partial encapsulation during construction



completed construction



northwest view

Andra möjliga hybridkonstruktioner?

Lägg märke till möblerna



?

Jo, de var gjorda av wellpapp!



Wellpappstruktur



Korrugierat liv



"honey-comb" liv

Hållfasthet av vikt papper (jmf. "folded structures")



(a)



(b)

...och om man gjorde bjälklag och takelement med liknande system?

Kanske genom att kombinera trä och stål?

Eller kanske genom att kombinera olika träprodukter?

Någon har redan börjat producera en produkt baserad på denna princip



| Height (mm) | Cross section | REI* (min) | Shape | Length/pitch | Span (m) | 7.5m | 10.0m | 12.5m | 17.5m | 20.0m | 22.5m | 25.0m | 27.0m |
|-------------|---------------|----------------|-------|---------------|----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 228 | | 30 - 30 - | | L/0 L/1035 | | | | | | | | | |
| 280 | | 30 60 30 60 | | L/0 L/776 | | | | | | | | | |
| 380 | | 30 60 30 60 | | L/0 L/621 | | | | | | | | | |
| 485 | | 30 60 30 60 | | L/0 L/443 | | | | | | | | | |
| 560 | | 30 60 30 60 | | L/0 L/388 | | | | | | | | | |
| 610 | | 30 60 30 60 | | L/0 L/345 | | | | | | | | | |
| 730 | | - 60 - 60 | | L/0 L/310 | | | | | | | | | |
| 800 | | - 60 - 60 | | L/0 L/287 | | | | | | | | | |

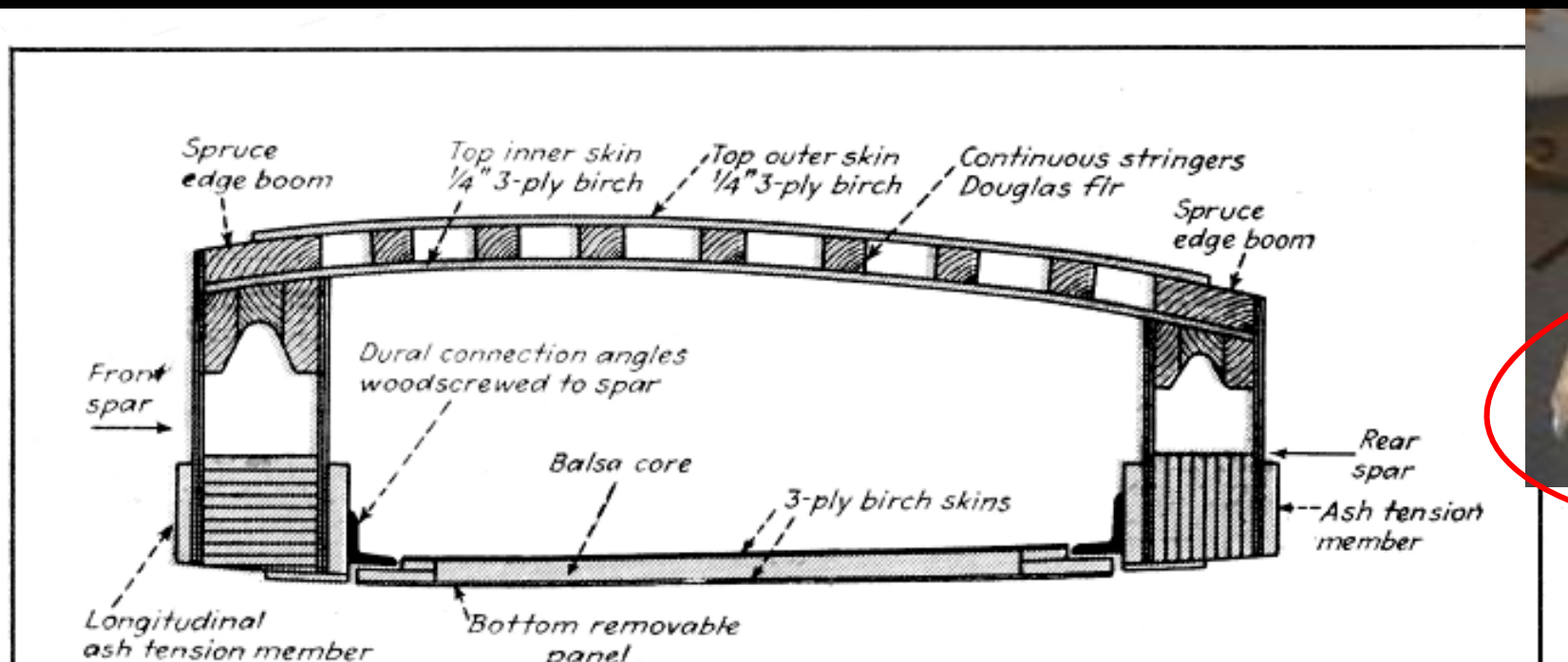
*REI= Fire resistance class. The elements are made optionally with a camber radius of R=970 m

...och om man skulle titta på hur man använde trä förr?

Detta skapades för ca 80 år sedan..



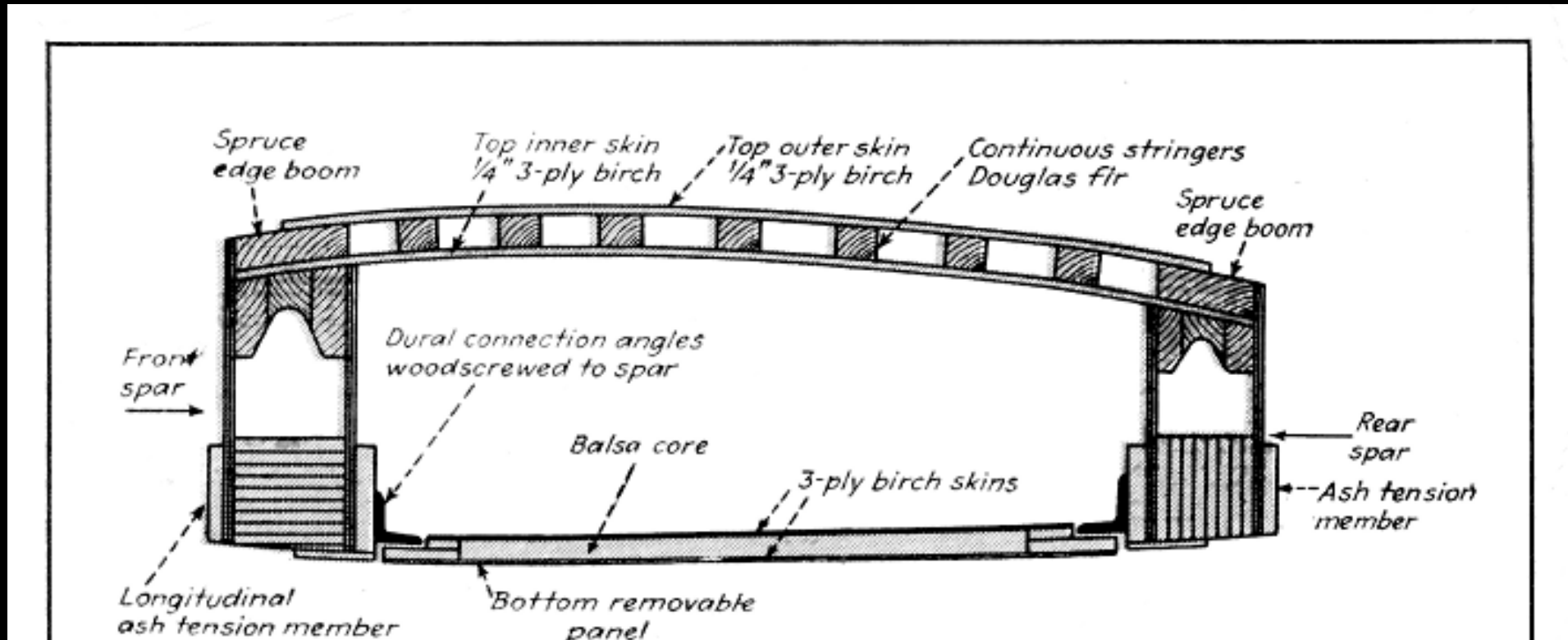
DH98 Mosquito



Tvärsnitt genom en vinge nära infästningen till flygkroppen

Lägg märke till kombinationen av olika material!

Inspiration till nya hybrida bjälklag? Väggar? Annat?





en vacker Morgan-trähybridbil



Tack för uppmärksamheten!