



# En ny träålder

Vad är trä? Och vilken potential finns?

*Magnus Wålinder, Professor*

KTH, ABE-skolan, Institutionen för Bygghvetenskap

*Avdelning Byggnadsmaterial*

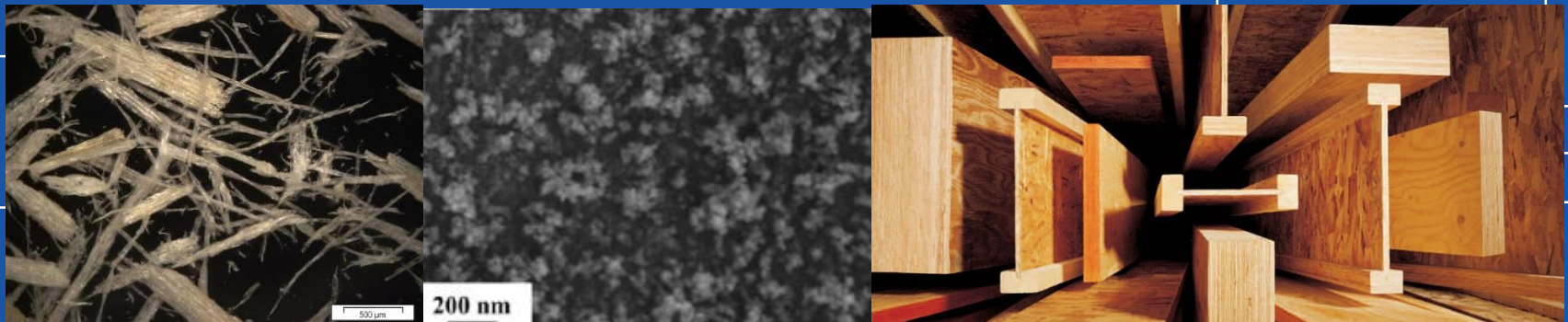
**EnWoBio**

Engineered Wood and Biobased  
Building Materials Laboratory

Öppen föreläsning vid KTH

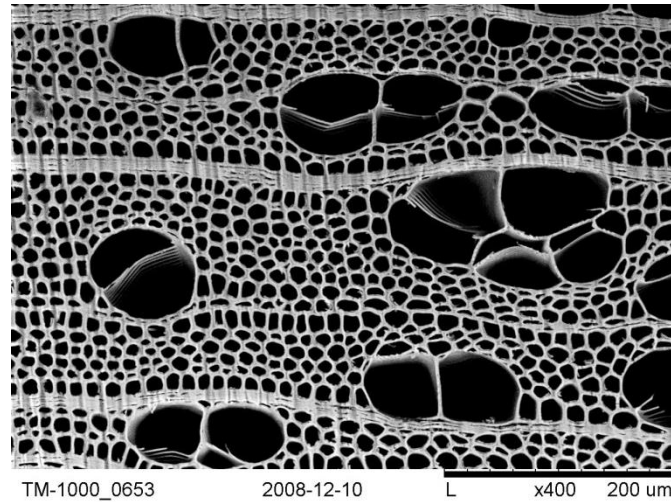
Torsdag 15 november kl. 17:00–18:00

Sal F2, Lindstedtsvägen 26, KTH Campus, Stockholm

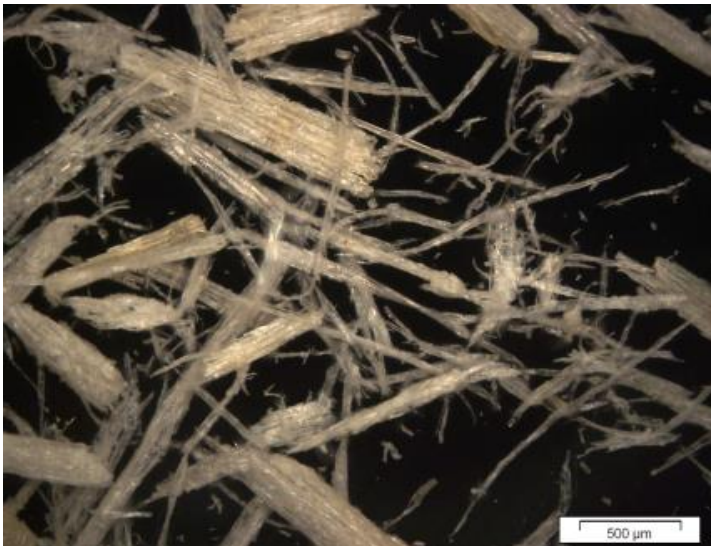


[magnus.walinder@byv.kth.se](mailto:magnus.walinder@byv.kth.se)  
[www.kth.se/profile/walinder/](http://www.kth.se/profile/walinder/)

Magnus Wålinder , [www.kth.se/profile/walinder](http://www.kth.se/profile/walinder)



Undervisning  
Forskning

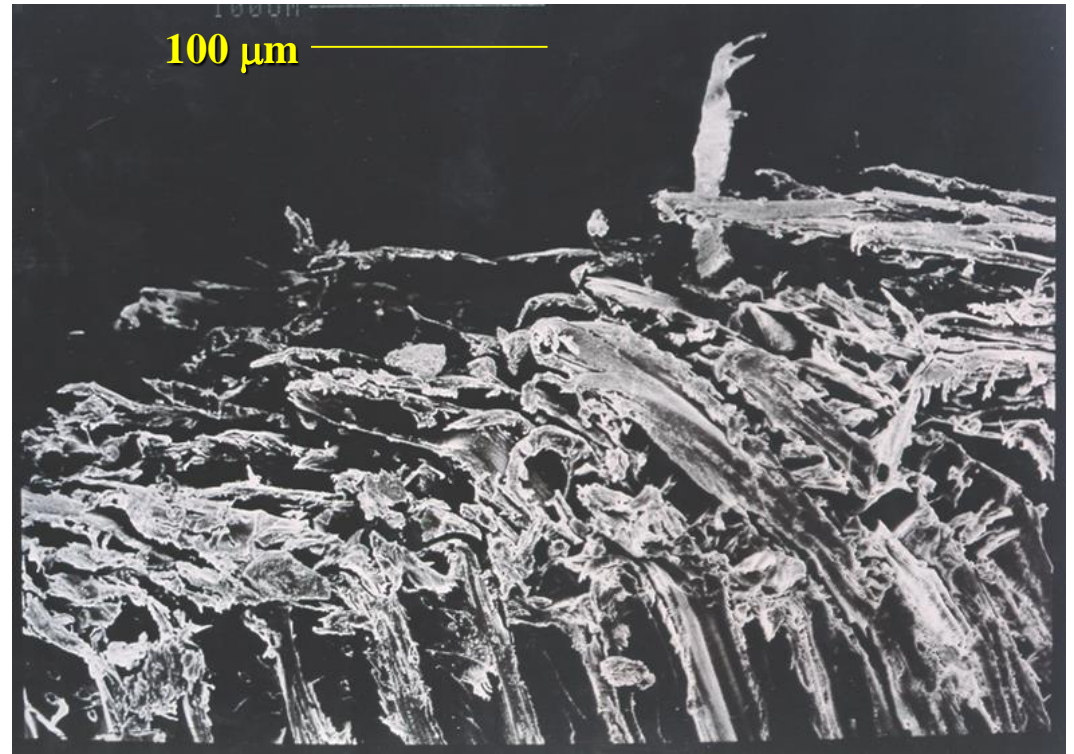
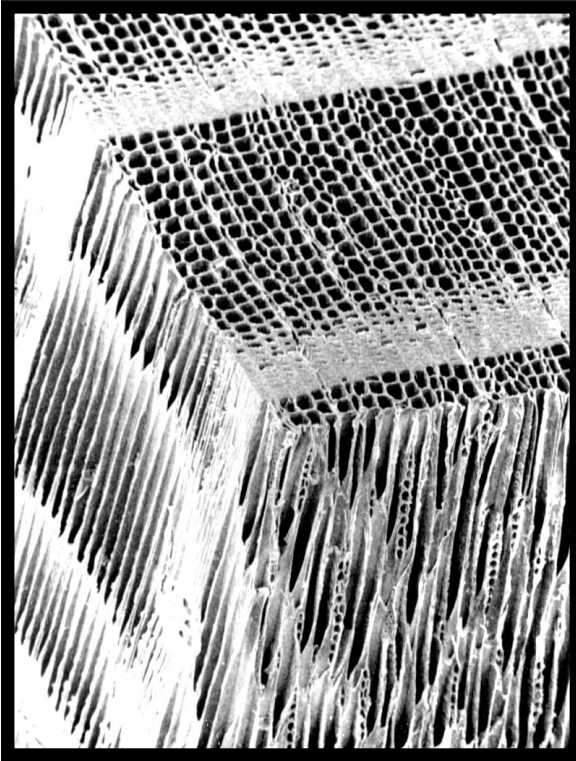


Biobaserade byggnadsmaterial

# Träytors egenskaper och modifiering



# Mikroskopiska trätytor



Lärobokens trätytor

Verkliga tekniska trätytor

“Snuskiigt”

Extremt variabel, både kemiskt och morfologiskt:

- Hög yträhet
- Porös
- Heterogen (tidsberoende, kådämnen)
- Hygroskopisk (tidsberoende)
- Anisotrop

# Disposition

## En ny träålder

1. Introduktion
  - Byggnadsmaterialvetenskap
  - Materialflöden
  - Relation till hållbar samhällsutveckling
2. Vad är trä egentligen?
3. Finns det en outnyttjad träpotential?
4. Sammanfattning

# 1. INTRODUKTION

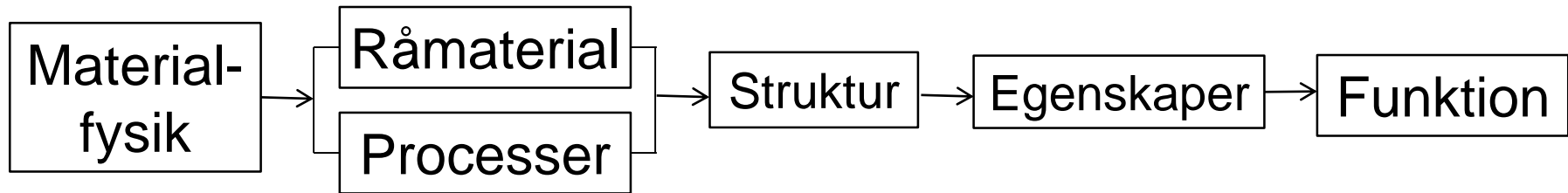
# BYGGMATERIALVETENSKAP

# Byggnadsmaterialvetenskap

Byggmaterial

Samband mellan mikro och makro

Byggnadsverk



Tillämpad materialvetenskap 

 Grundläggande materialvetenskap



# Byggnadsmaterialvetenskap

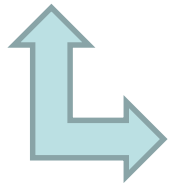
Byggmaterial

Samband mellan mikro och makro

Byggnadsverk



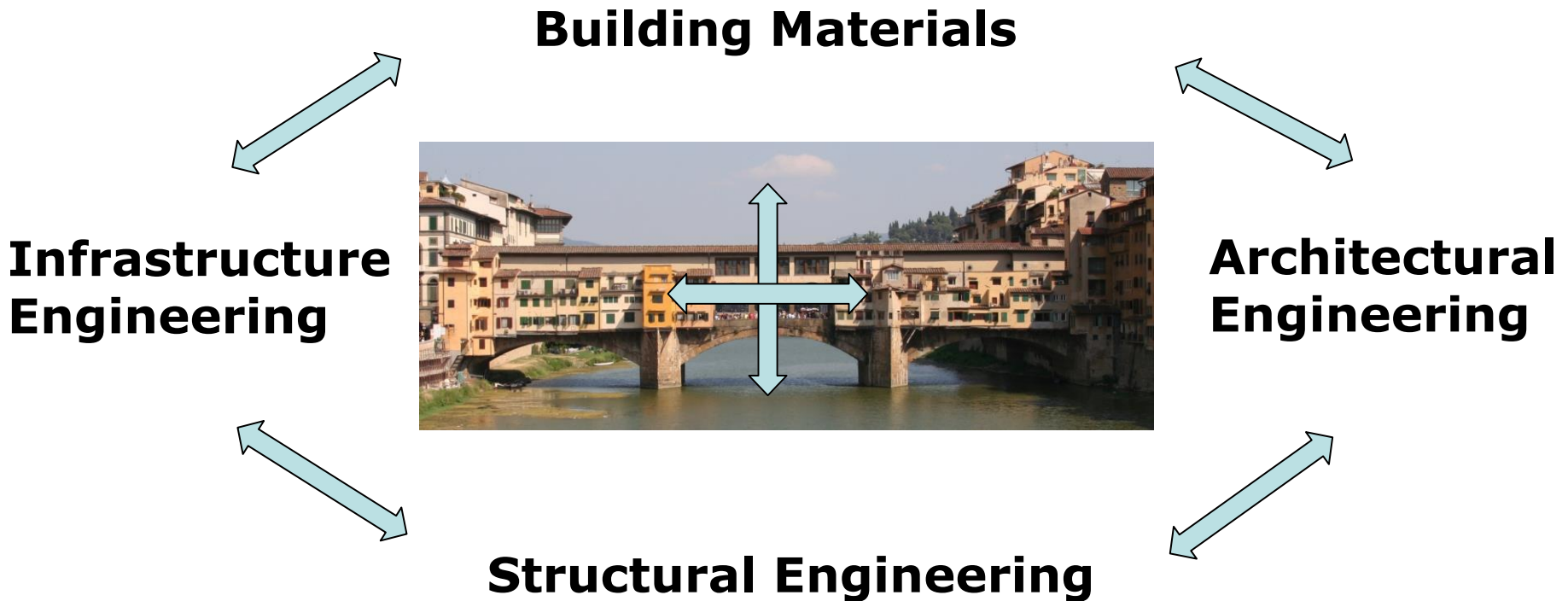
Struktur och komposition vs. prestanda & livslängd i olika byggtillämpningar



Hållbar samhällsutveckling



# Education & research organization



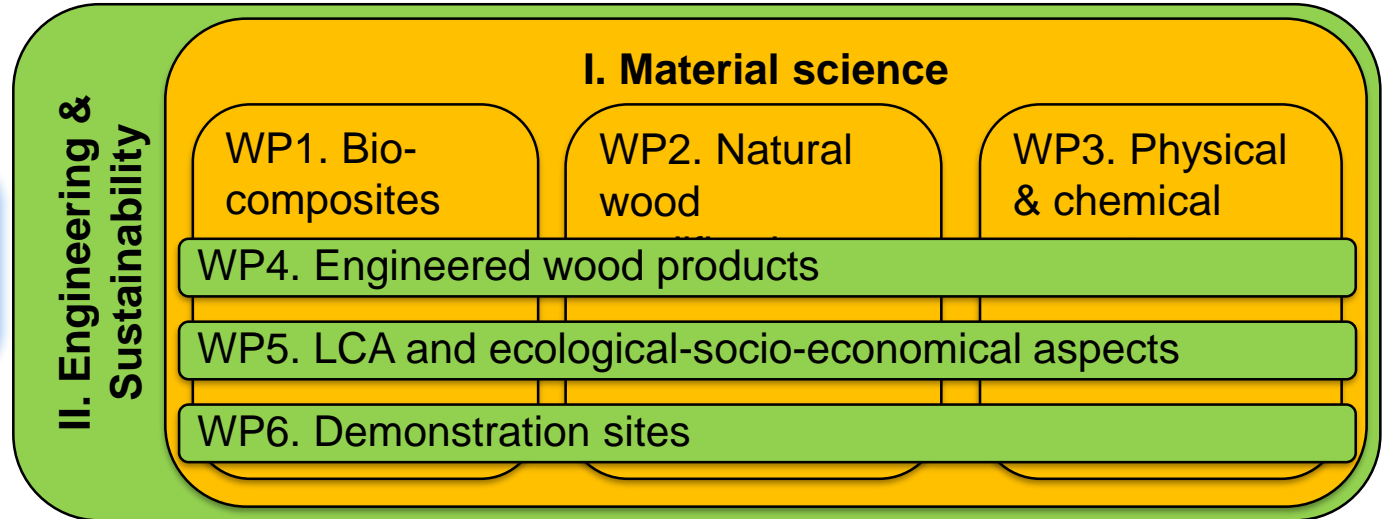
A couple of years ago:  
~1-2 researchers/teachers focused on biobased building materials engineering at KTH



Vision 2020:  
~10 researchers/teachers and ~20 PhD students focus on biobased building materials engineering at KTH

# EnWoBio – Engineered wood & biobased building materials

R&D on engineered biobased building materials, **basic project structure**



- EWP & hybrids
- Durability-modified wood
- Biocomposites



CLT



WPC

FA



# The Biobased building materials group



*Magnus Wålinder*  
Professor



*Roberto Crocetti*  
Adj. Prof. (AP)



*Andreas Falk*  
Dr, forskare



*Kristoffer Segerholm*  
Dr, forskare  
RISE



*Kristiina Laine*  
Postdok



*Martin Erlandsson*  
AP (snart)  
20/80 KTH/IVL



*Diego Peñaloza*  
Dr/Lärare



*Maziar Sedighi*  
Postdok, RISE



*Susanna Källbom*  
Dr/Lärare



*Haiyan Yin*  
Industridoktorand  
RISE



*Magnus Larson*  
Doktorand

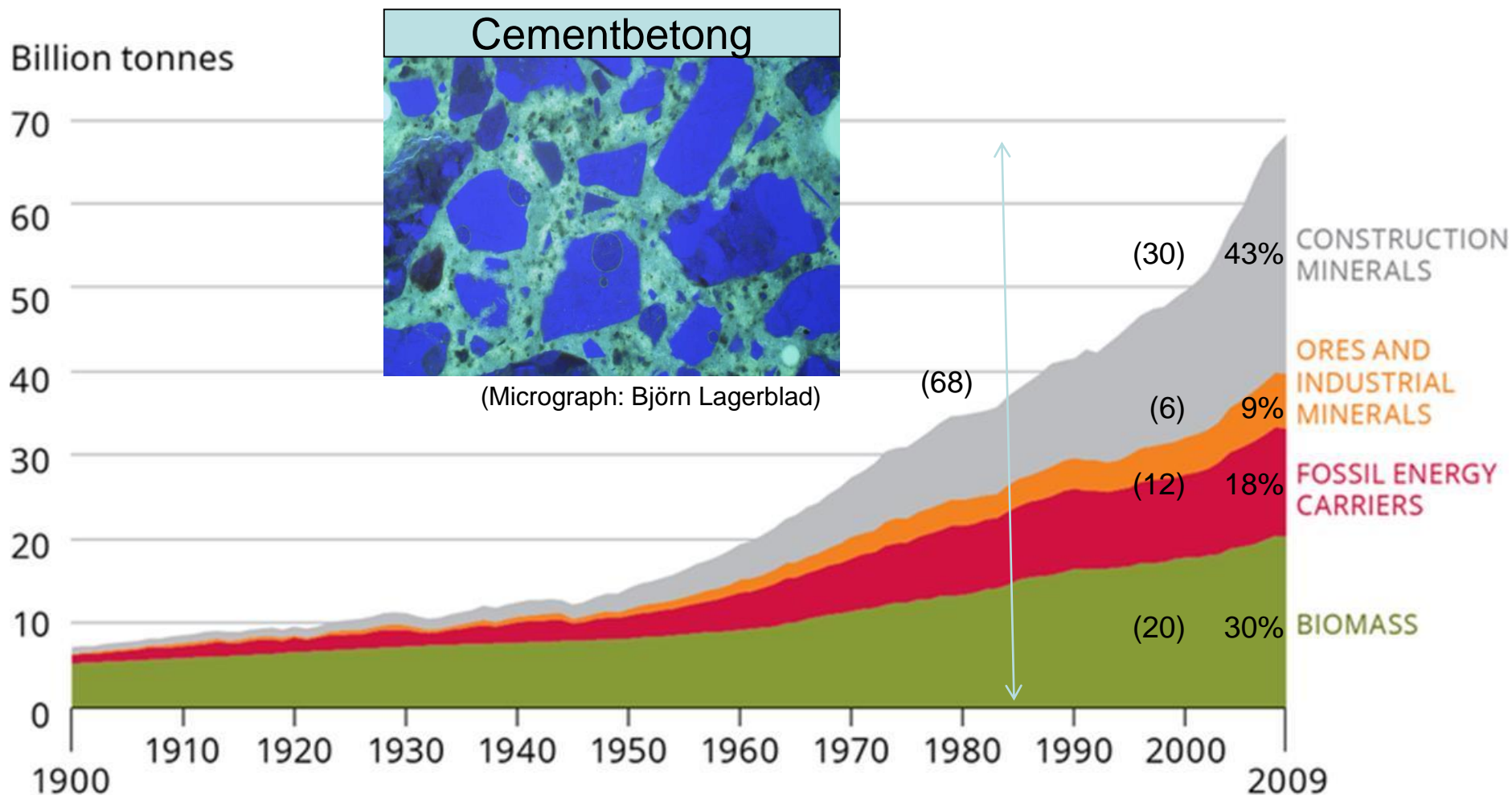


*Olof Frisk*  
Industridoktorand

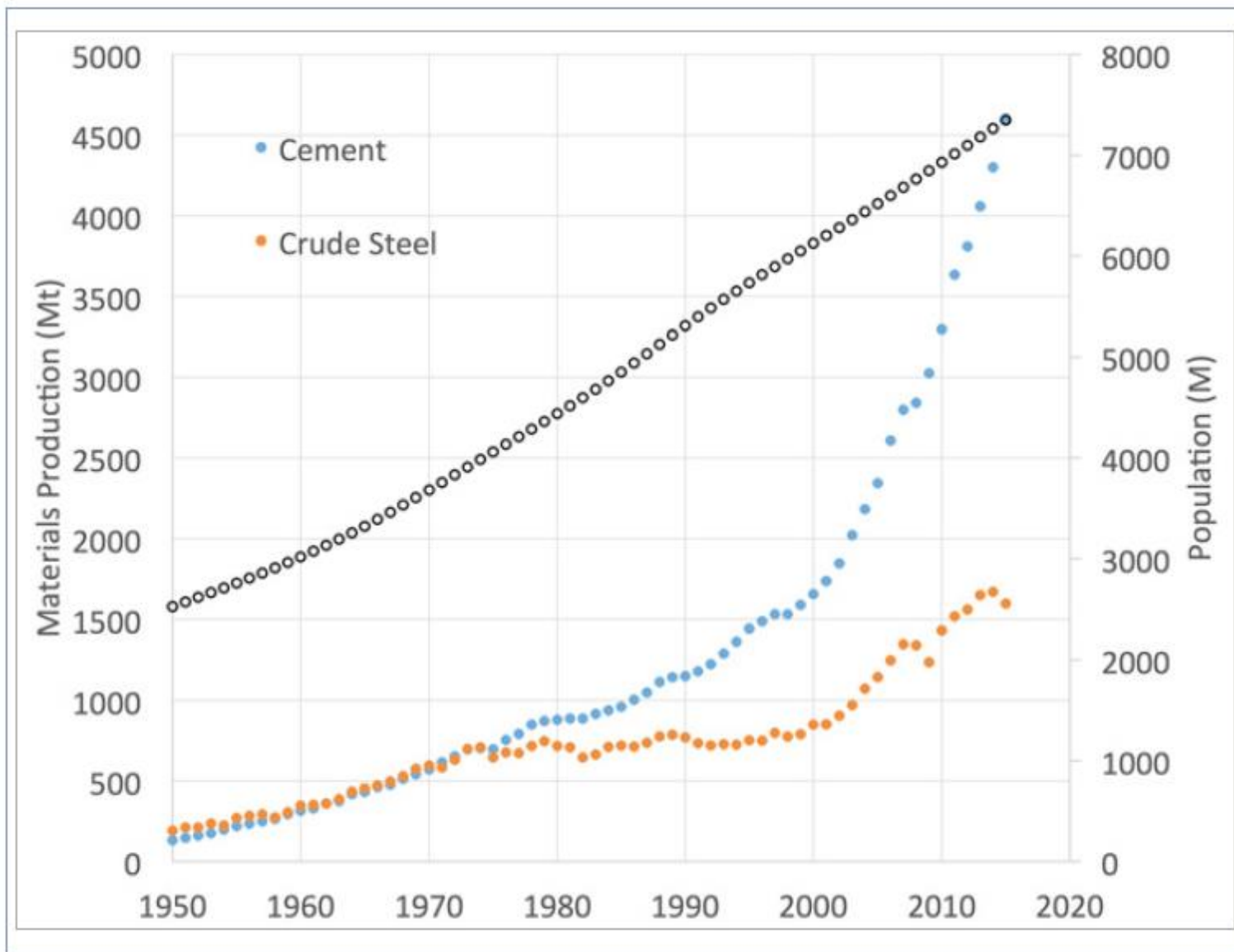
4,2 personår som anställda

# MATERIALFLÖDEN

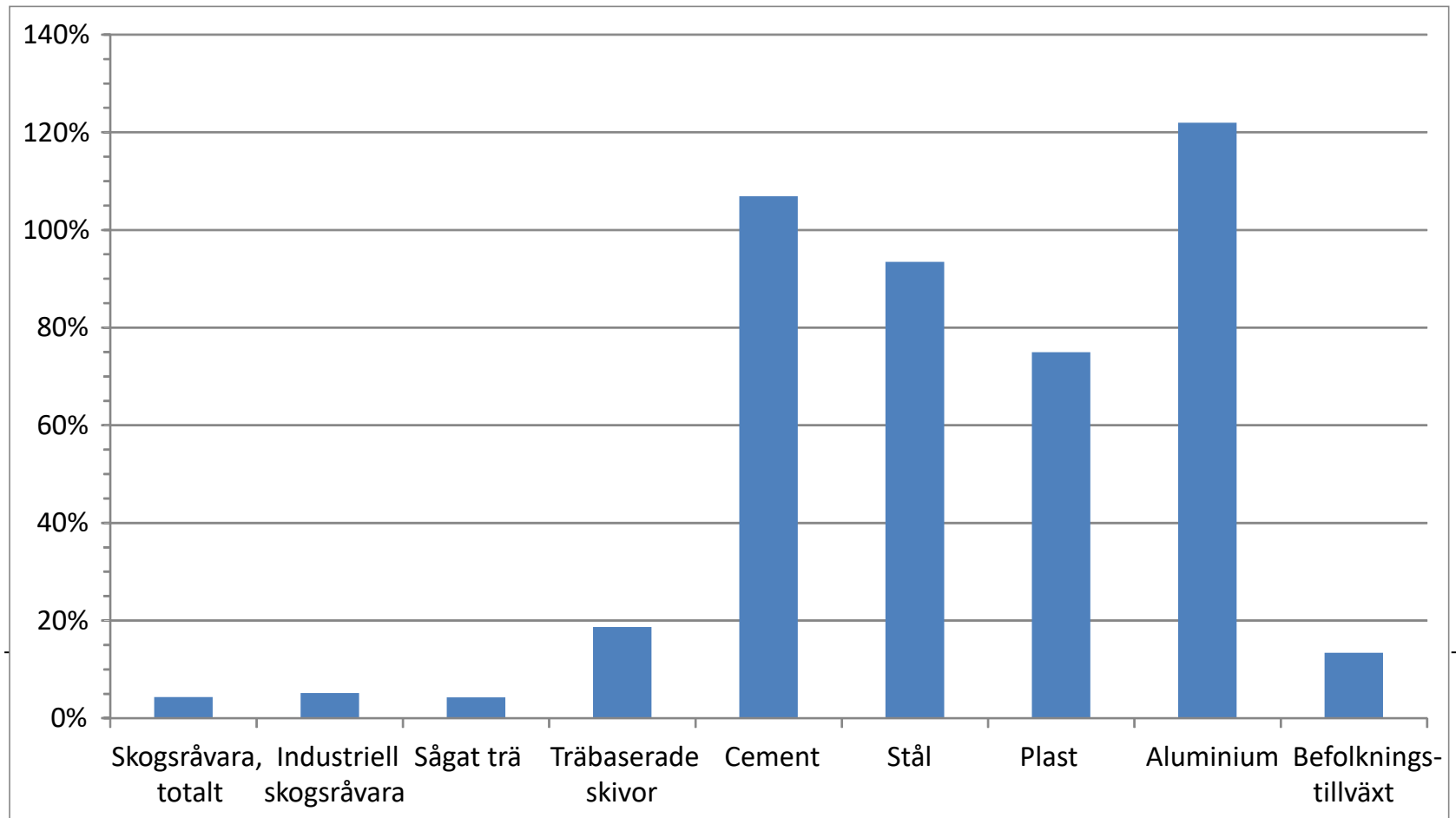
# Konsumtion av råmaterial globalt, 1900-2010



# Produktionsökning av cement, stål, jmf befolkningsökning



# Ökning av världsproduktionen av olika material mellan 2000-2011



Källa: [www.fao.org](http://www.fao.org), [www.plasticseurope.org](http://www.plasticseurope.org),  
<http://www.indexmundi.com/en/commodities/minerals/>



## Världsproduktion av olika material (miljoner ton)

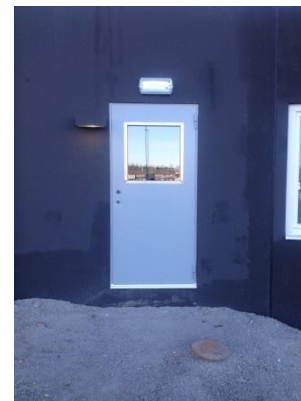
Material	År	
	2000	2011
Skogsråvaror, totalt	2000	2087
Industriella skogsråvaror	900	947
Sågat trä	233	243
Träbaserade skivor	194	230
Cement	1600	3400
Stål	800	1484
Plast	160	280
Aluminium	20	44

Källa: [www.fao.org](http://www.fao.org), [www.plasticseurope.org](http://www.plasticseurope.org),  
<http://www.indexmundi.com/en/commodities/minerals/>

# Typical multi storey building in Sweden



Plastic windows

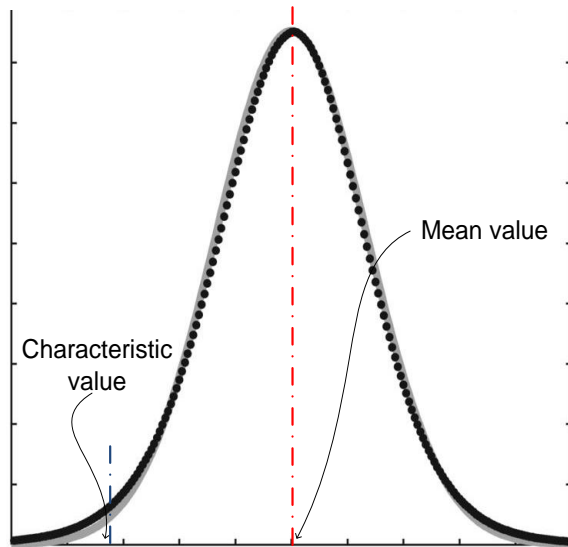


Steel doors

# Globalt sett tappar trä marknadsandelar – varför?



Beständighet?



Variabilitet?

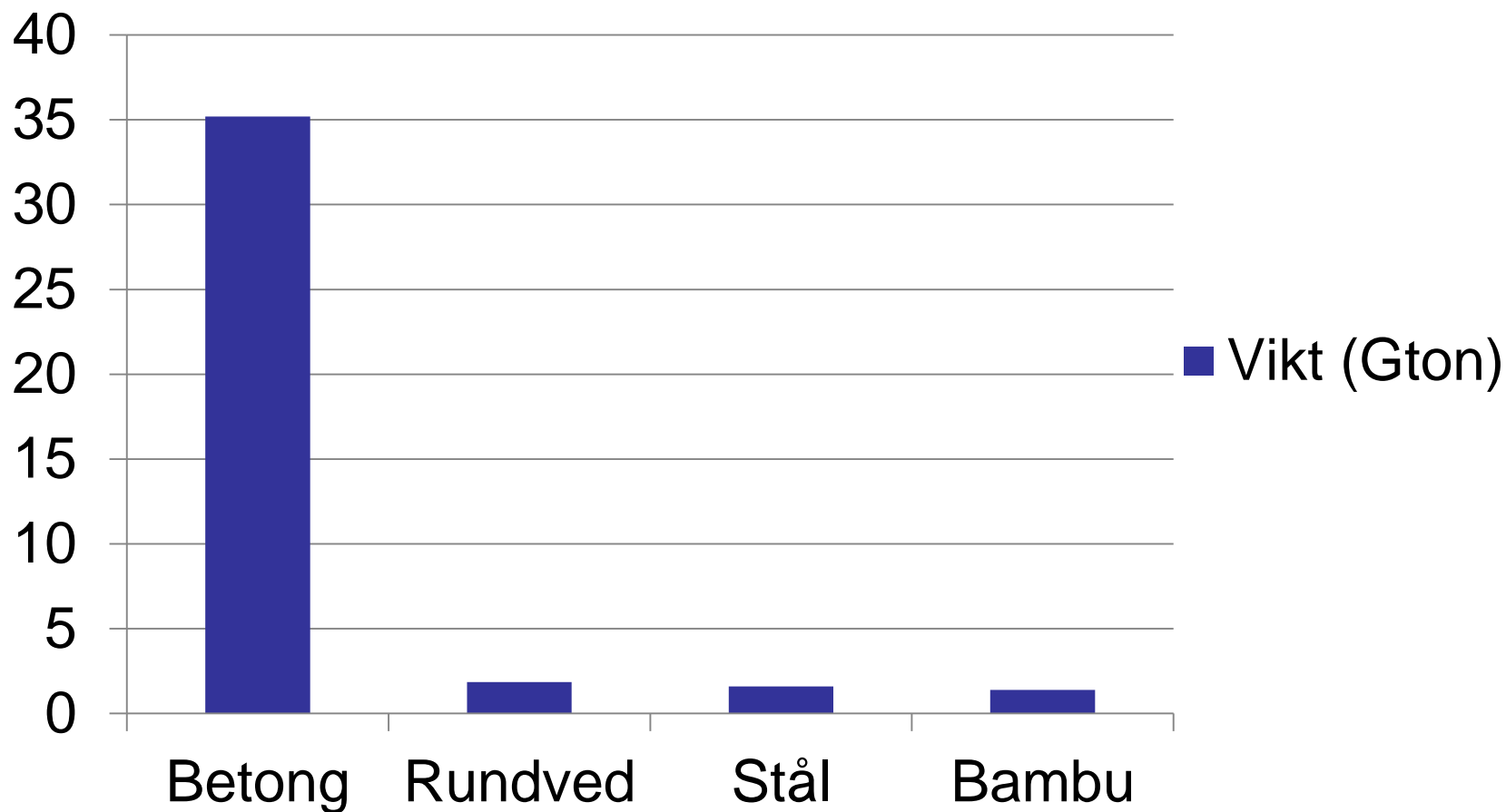


Biobaserade byggmaterial  
som kolsänka?

Men tillgänglighet är  
kanske största  
utmaningen, eller?

# Tillgänglighet av biomassa (trä & bambu)?

## Vikt (Gton)



# RELATION TILL HÅLLBAR SAMHÄLLSUTVECKLING

# **40-40-40-regeln**

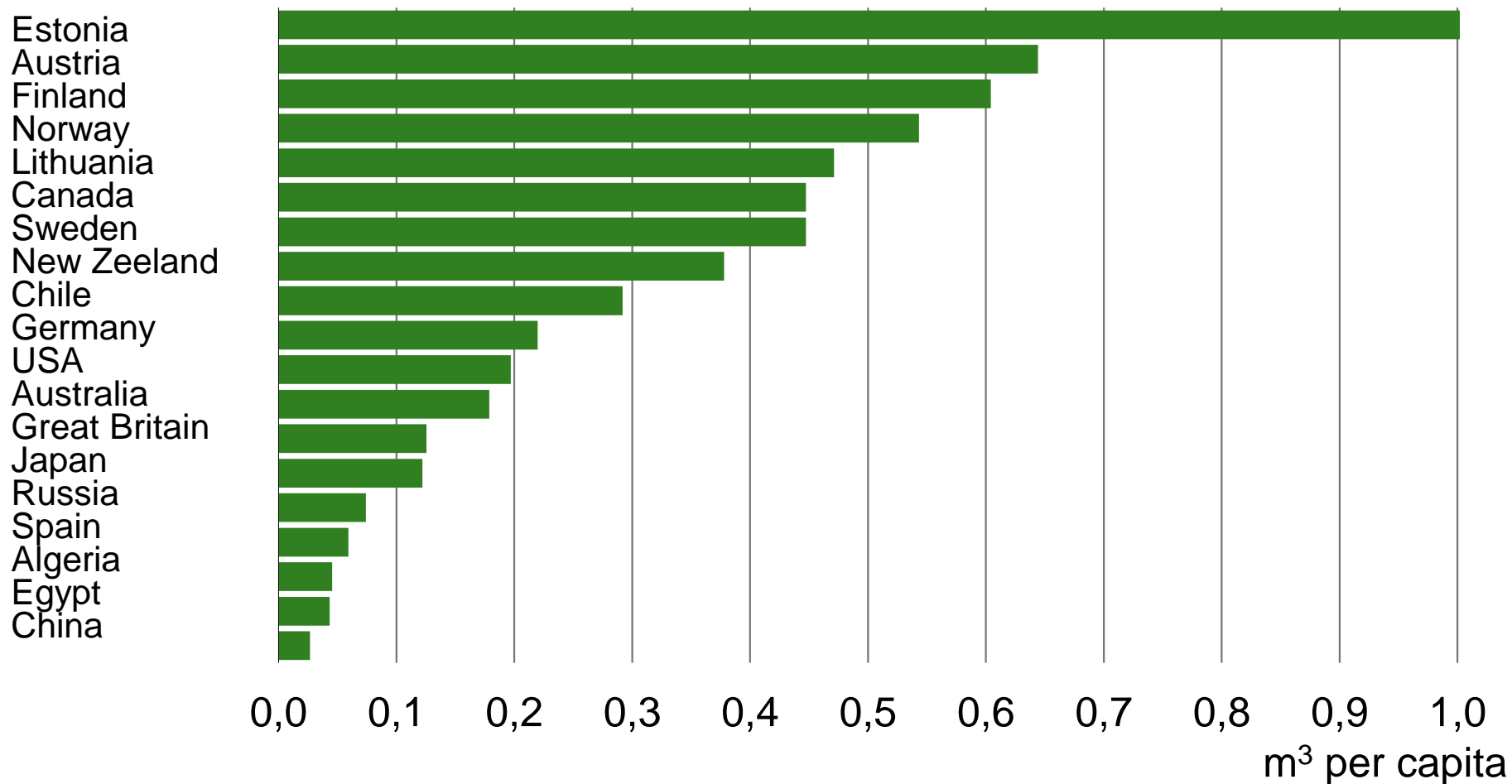
Resurseffektivitet – Hållbar samhällsutveckling?

# **60-60-60-regeln ?**

# TRENDS IN GLOBAL CO<sub>2</sub> EMISSIONS

## 2016 Report

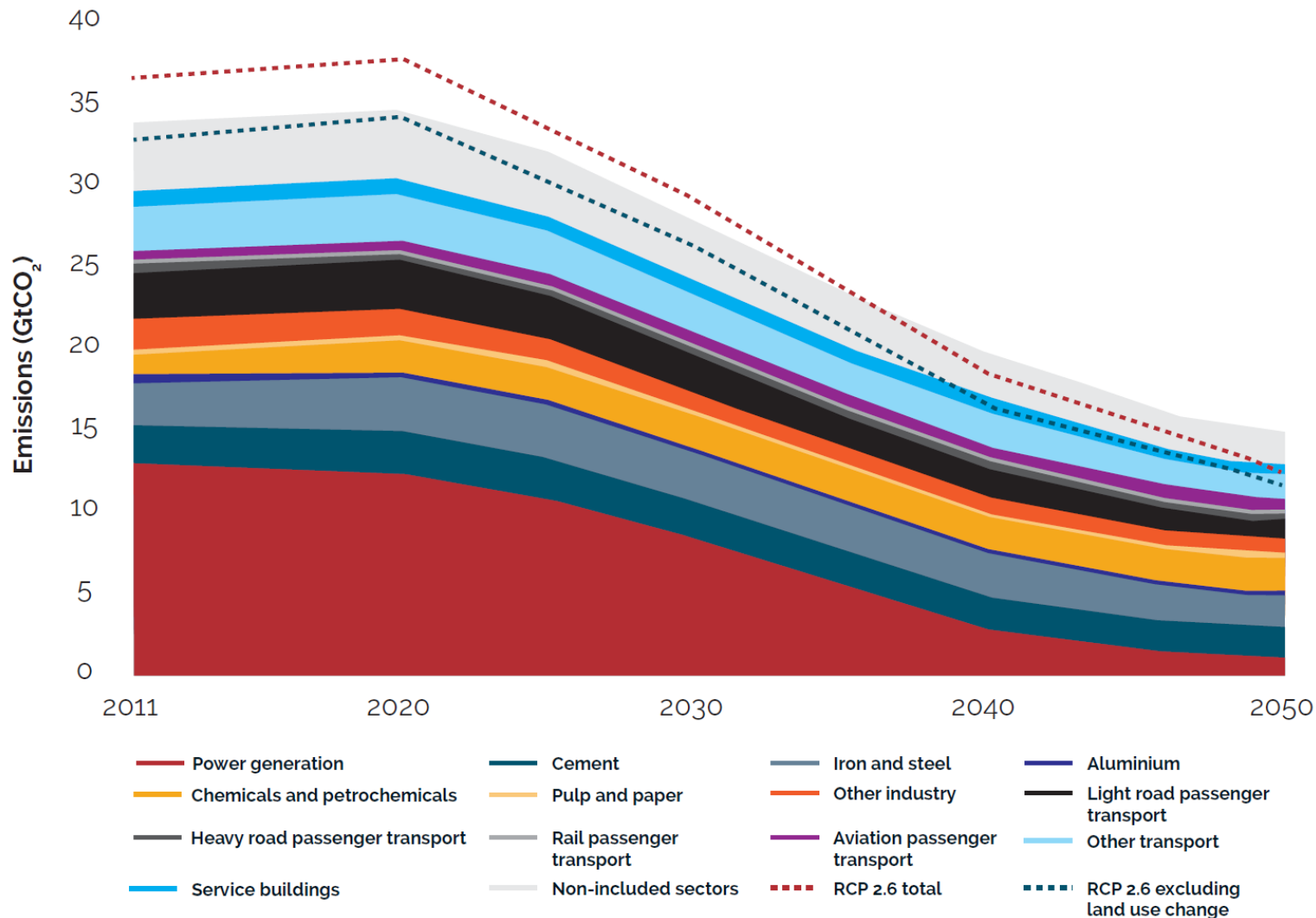
# Consumption of sawn softwoods 2012 - per capita



Source: FAO



# Sektorieell dekarboniserings-koncept, 2011–50



(Source: SECTORAL DECARBONIZATION APPROACH (SDA), May 2015)

## 2. VAD ÄR TRÄ?

# Vad är skillnaden mellan trä och träsubstans?

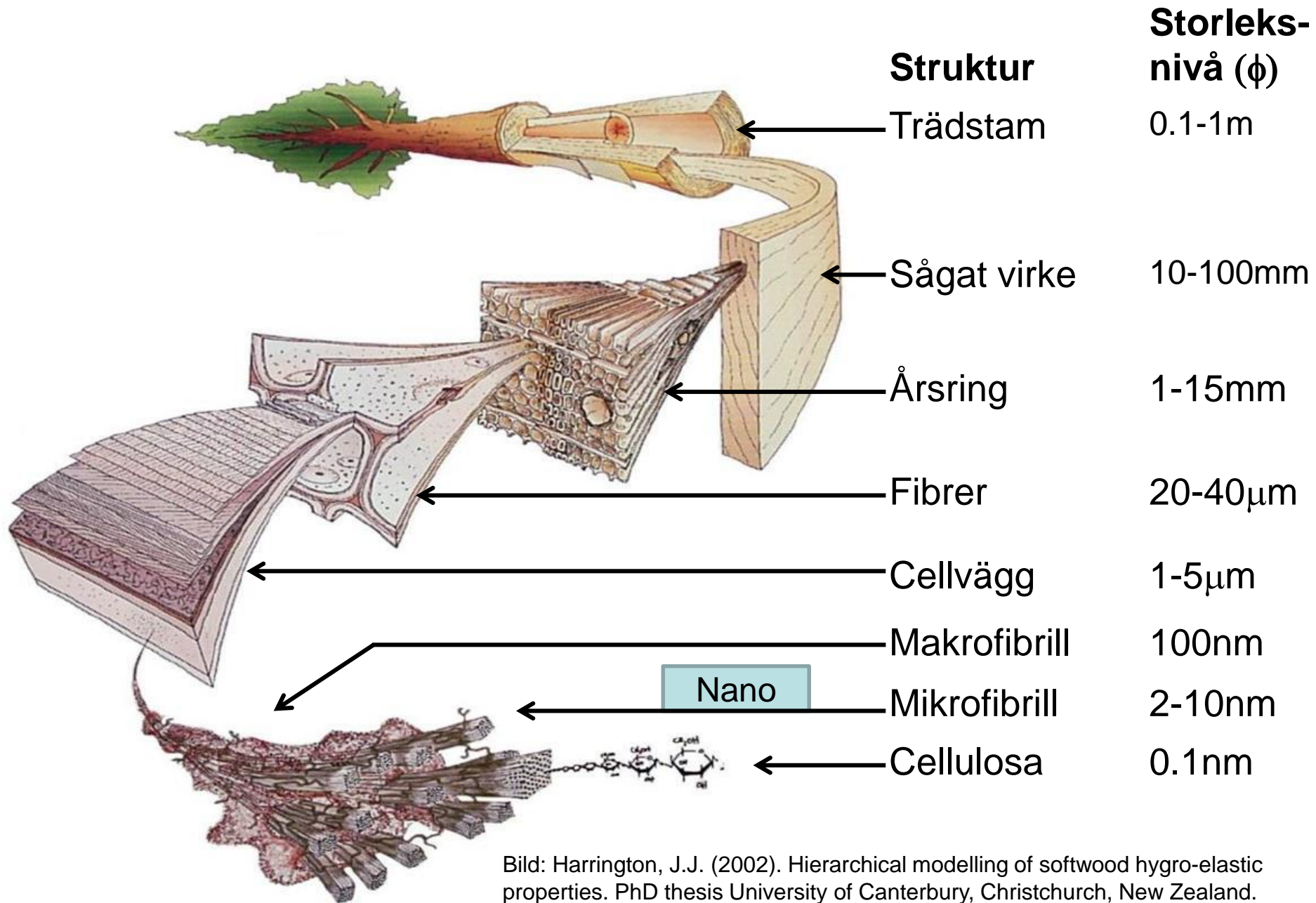
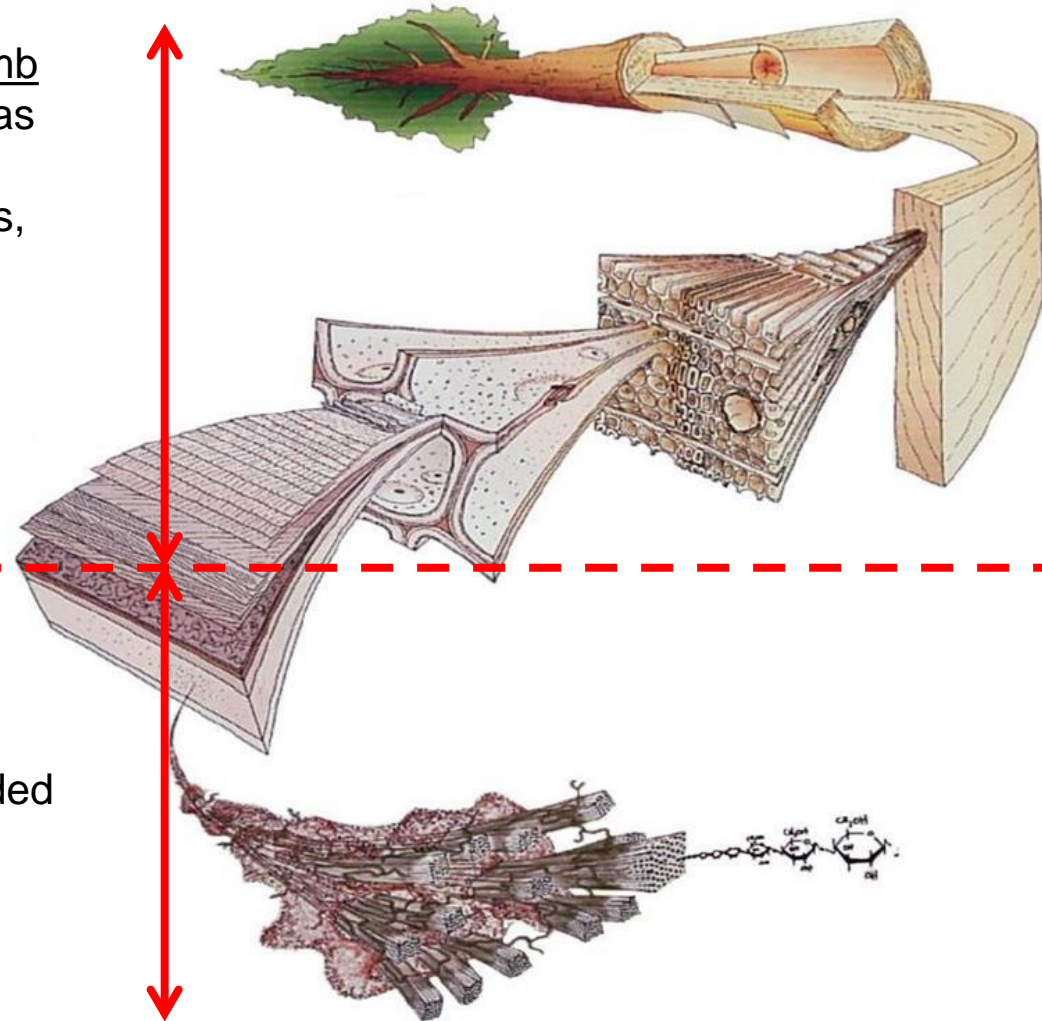


Bild: Harrington, J.J. (2002). Hierarchical modelling of softwood hydro-elastic properties. PhD thesis University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.

# What is wood and wood substance?

## Wood

- Porous
- Heterogeneous (natural cellular honeycomb composed of wood substance structured as EW, LW, HW, SW, etc.)
- High variability ( $\rho \sim 200\text{-}1200 \text{ kg/m}^3$ , knots, extractives content  $\sim 1\text{-}10\%$ )
- Anisotropic
- Hygroscopic
- Biodegradable
- Combustible



## Wood substance

- Nearly non-porous
- Heterogeneous (natural biocomposite composed of reinforcing cellulose embedded in a matrix of hemicellulose and lignin structured as fibrils and laminates)
- Low variability ( $\rho \sim 1500 \text{ kg/m}^3$ )
- Anisotropic
- Hygroscopic
- Biodegradable
- Combustible

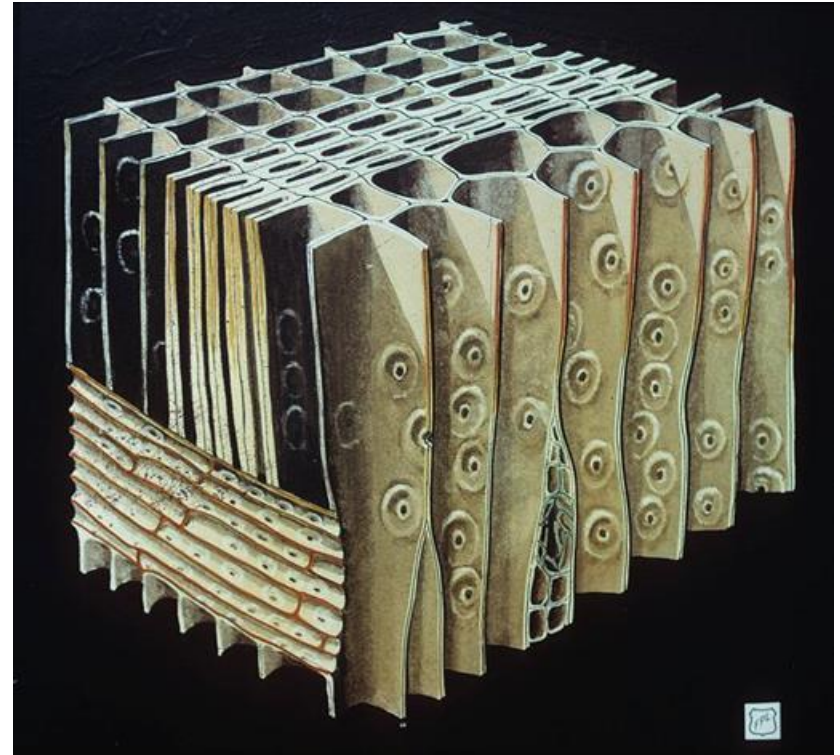
Bild: Harrington, J.J. (2002). Hierarchical modelling of softwood hydro-elastic properties. PhD thesis University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.

# Detta är trä

Av naturen 3D-printad porös biopolymerkomposit utmärkt för bärande konstruktioner



Torkad furu består av ca 2/3 luft, 1/3 träsubstans



Skiss av furu (ca 500 ggr förstoring)

Tallest Redwood, US  
*Sequoia sempervirens*

115.55m

Tallest Giant Ash, Australia  
*Eucalyptus regnans*

98.8m

Big Ben's Tower

96.3m

Tallest tree in Europe  
*Eucalyptus diversicolor*

72m

Tallest tree in UK  
*Pseudotsuga menziesii*

63.7m

Trafalgar Square Christmas tree  
*Picea abies*

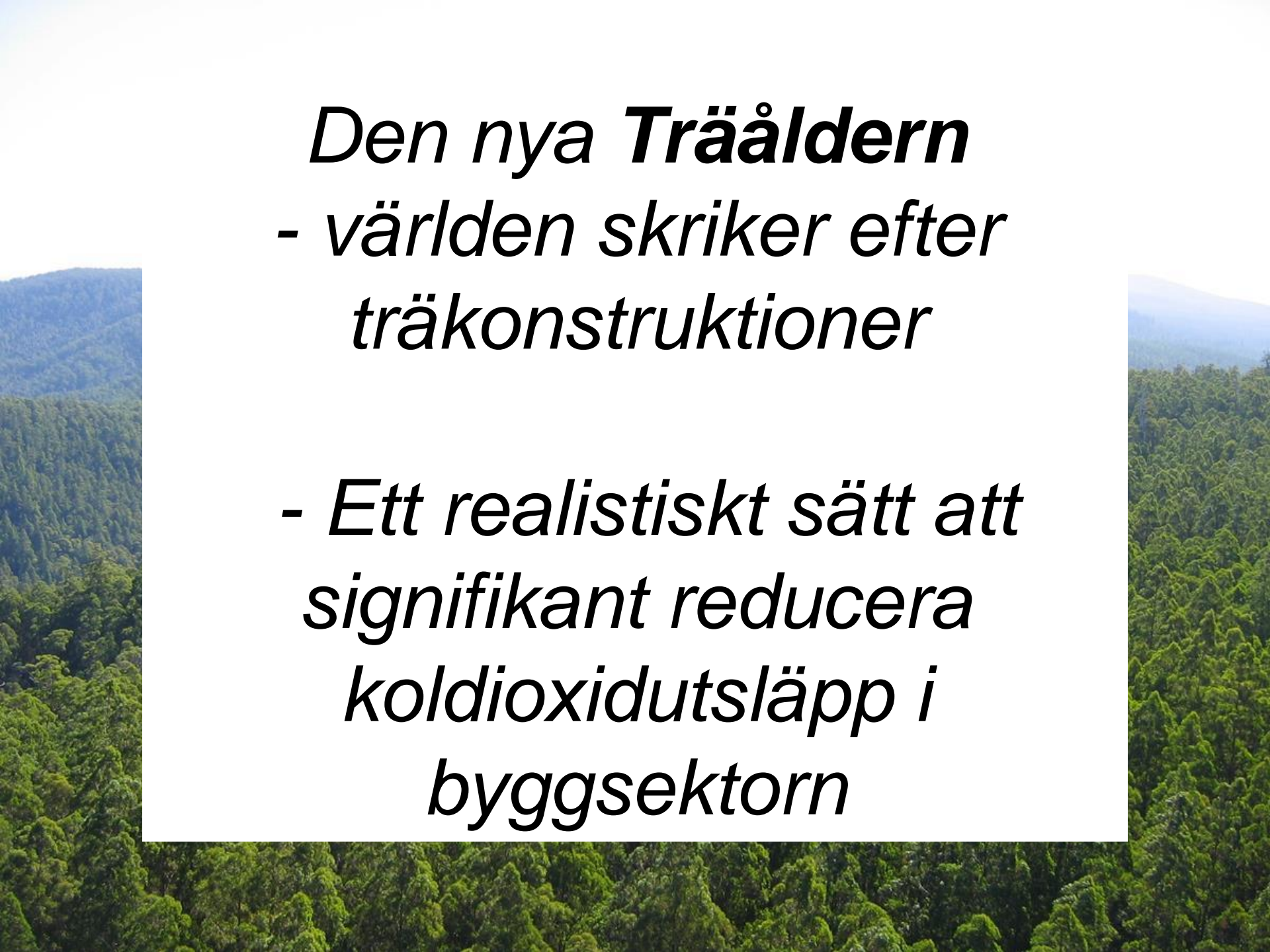
20m

You  
*Homo sapiens*

(Credit: Pierangelo Pirak / BBC Earth: <http://www.bbc.com/earth/story/20141222-the-worlds-new-tallest-tree>)

**Just nu är världens hösta trähus "Mjøstårnet": 80 meter och 18 våningar**, i Brumunddal, en och en halv timmes bilresa norr om Oslo. Innan dess var det **"TREET": 52 meter och 14 våningar**, Damsgårdssundet i norska Bergen.

# 3. FINNS DET EN OUTNYTTJAD TRÄPOTENTIAL?

- 
- Den nya Träåldern*
- *världen skriker efter träkonstruktioner*
  - *Ett realistiskt sätt att signifikant reducera koldioxidutsläpp i byggsektorn*



# Sveriges träålder började för ca 10 000 år sen



Svensk-Danska  
Tråkanoter för ca  
6000 år sen

# Helt biobaserade byggnader och städer (biocities)?

## Nja!

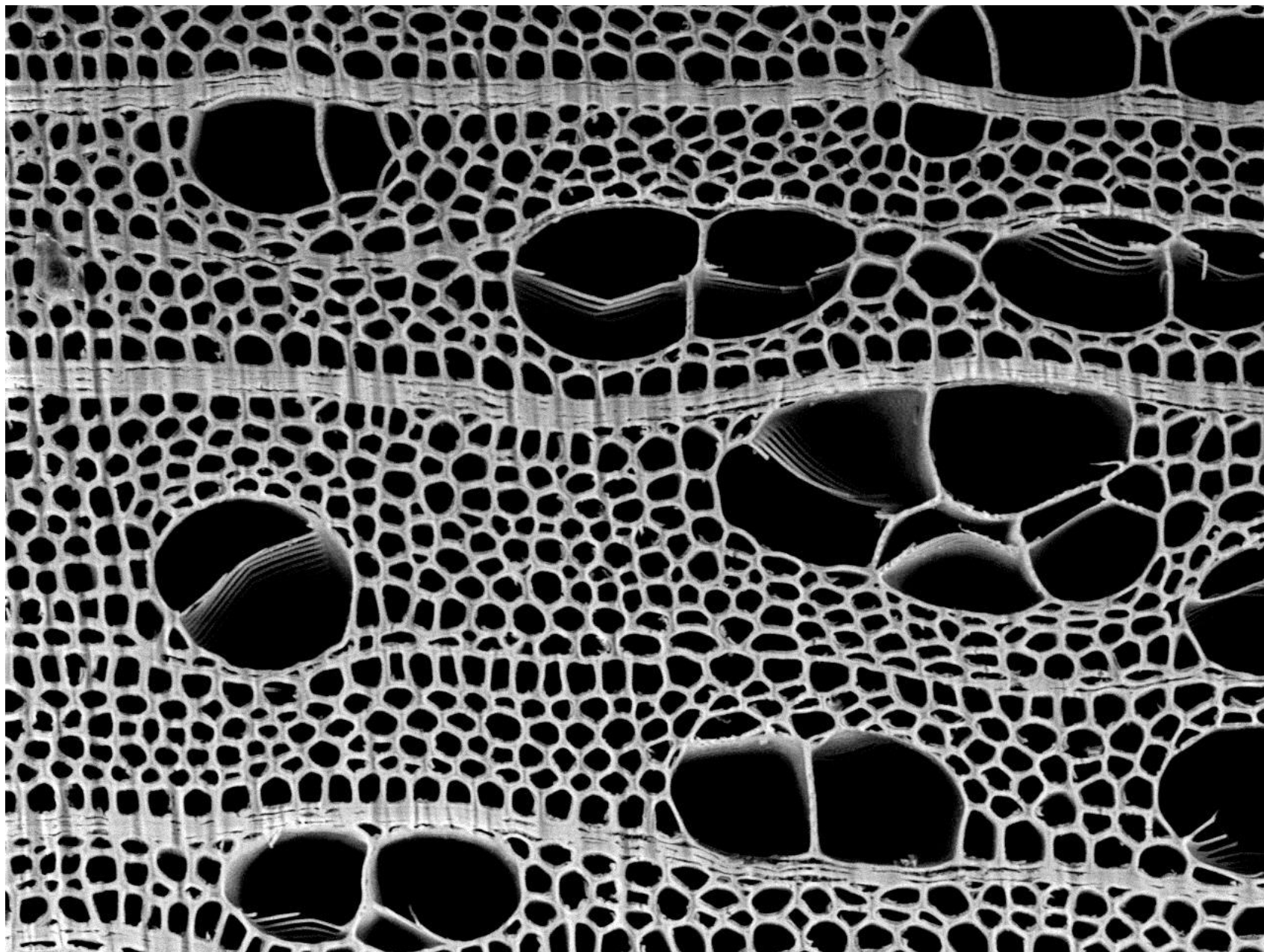
**Större andel  
realistiska  
byggmaterial**

- EWP
- Biokompositer
- Modifierat trä
- Hybridteknik



(Bild: Larsson och Kaiser)

# REALISTISKA BIOBASERADE BYGGMATERIAL

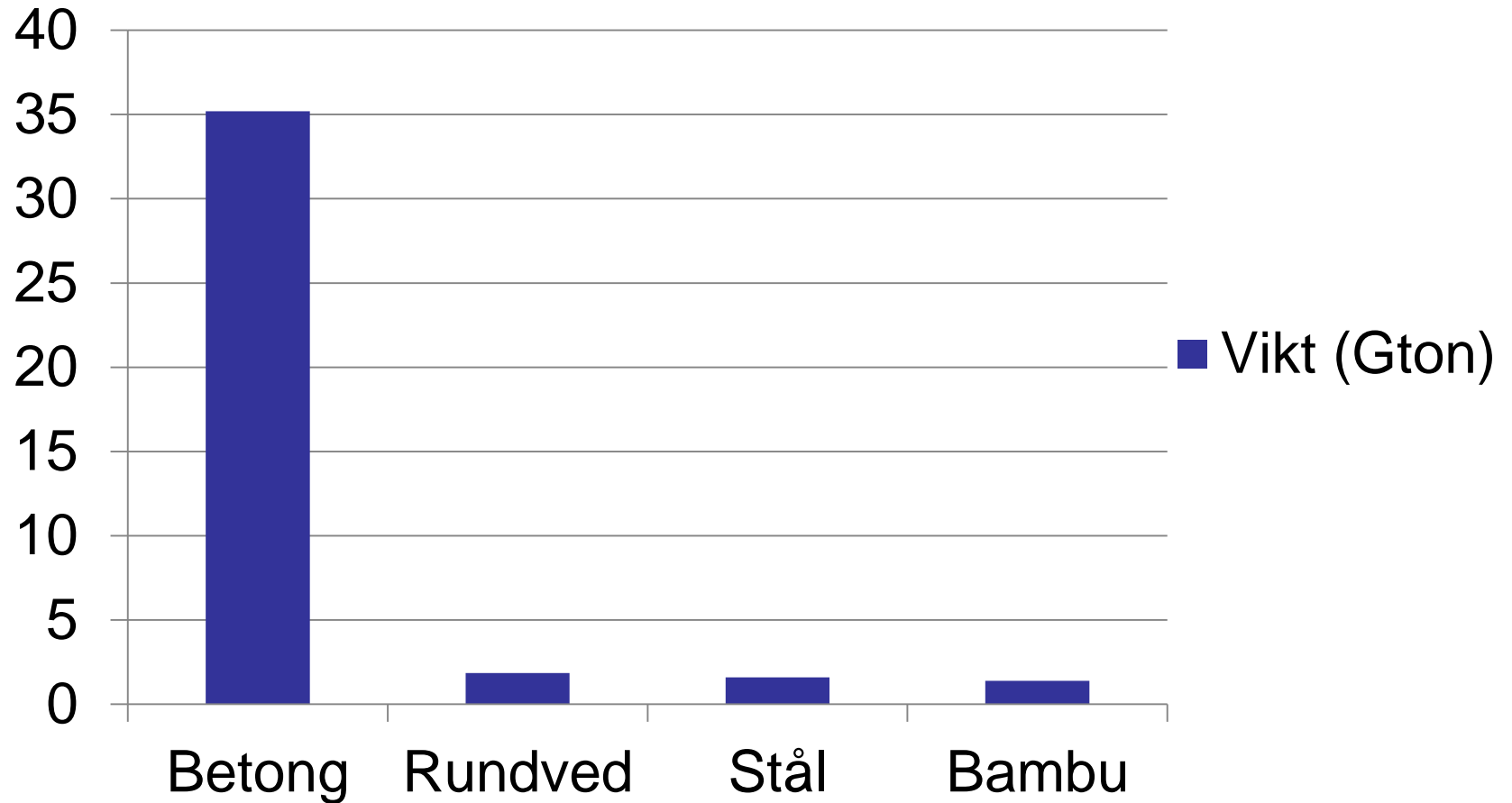


TM-1000\_0653

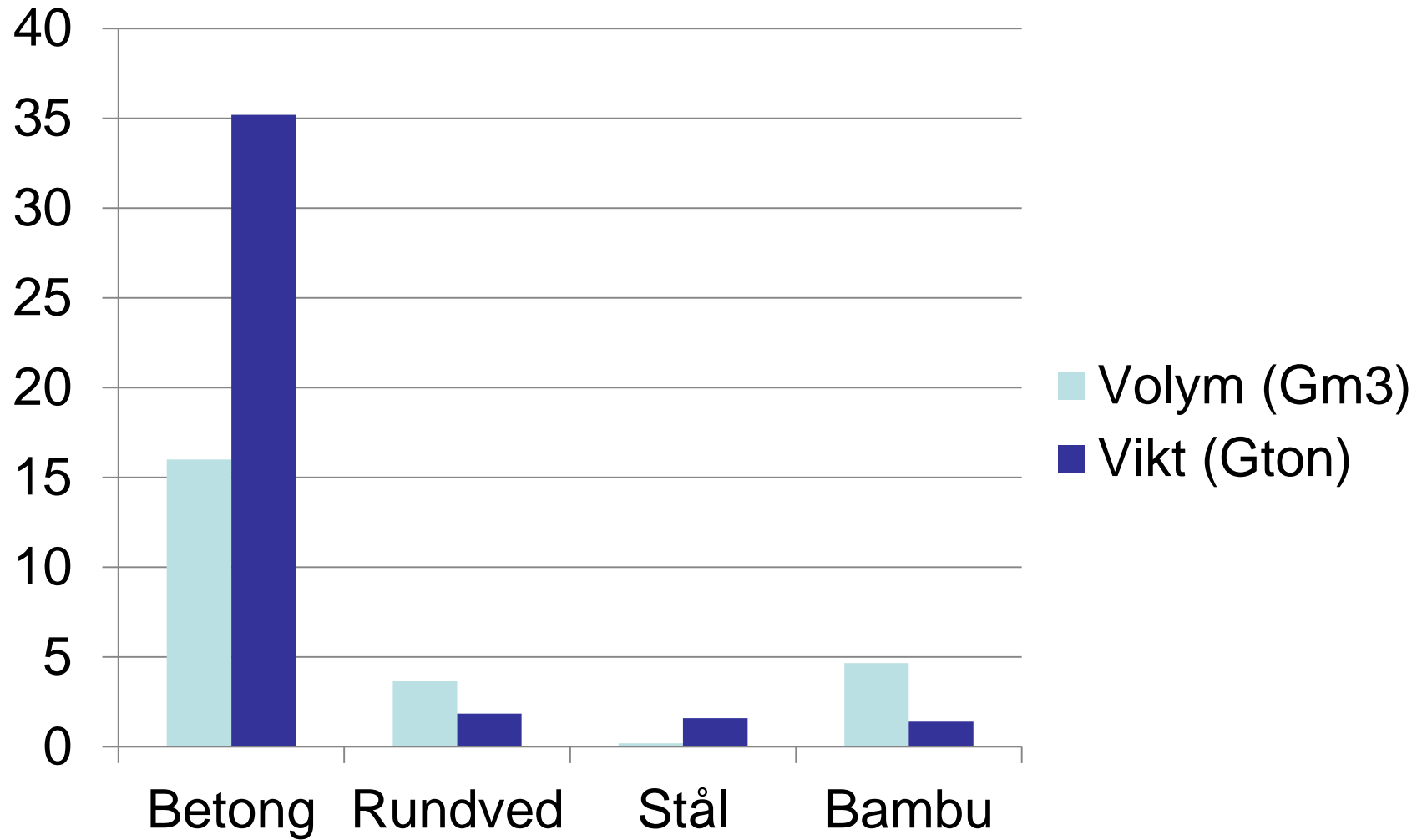
L x400 200 um

## Vikt och volym

### Vikt (Gton)

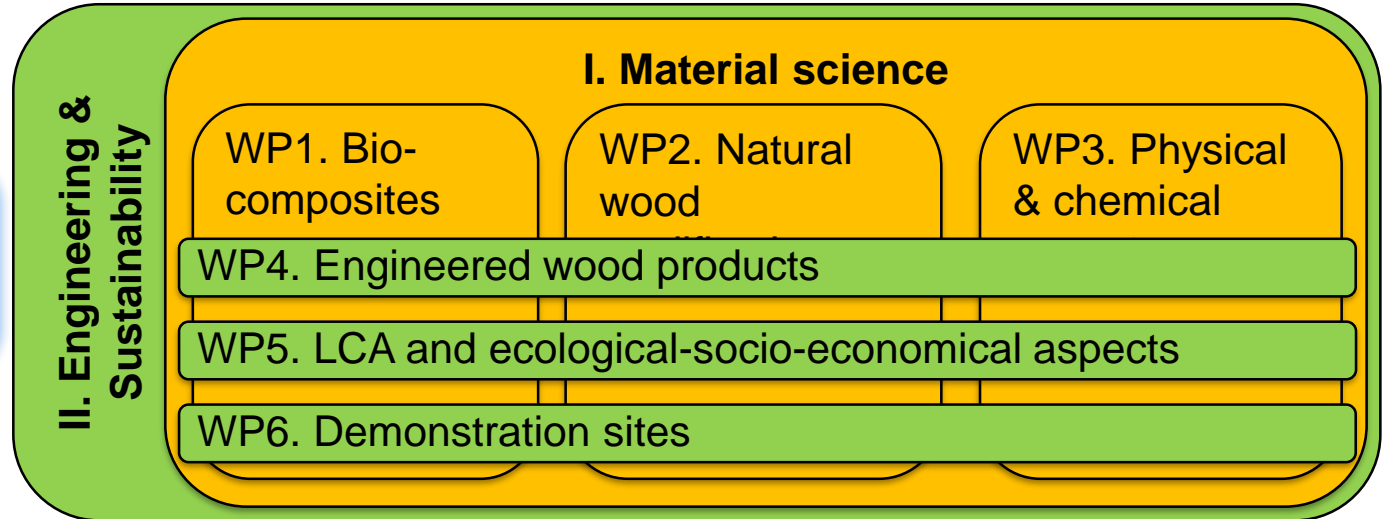


## Vikt och volym



# EnWoBio – Engineered wood & biobased building materials

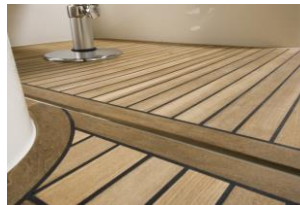
R&D on engineered biobased building materials, **basic project structure**



- EWP & hybrids
- Durability-modified wood
- Biocomposites



CLT



FA

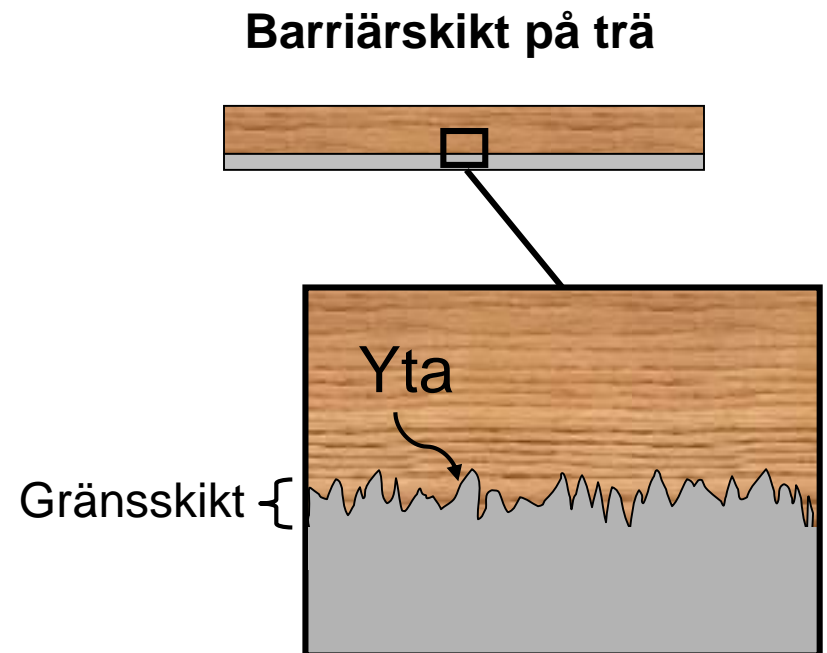
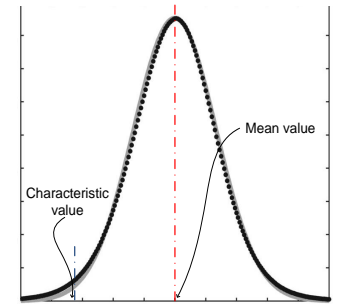


WPC



# Minskad tränedbrytning och variabilitet säkras genom

- Designbaserade koncept
- Träskyddsmedel med biocider
- Modifiering utan biocider
- Hybrider/kombinationer med andra material
- Fysiska barriärer (ex. ytbehandling)





# Småhus



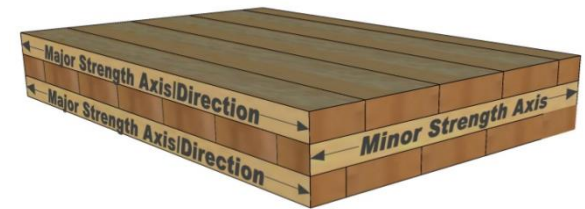
<http://www.traradhuset.se/?u=/section/1958>

# Större andel engineered wood products (EWP)



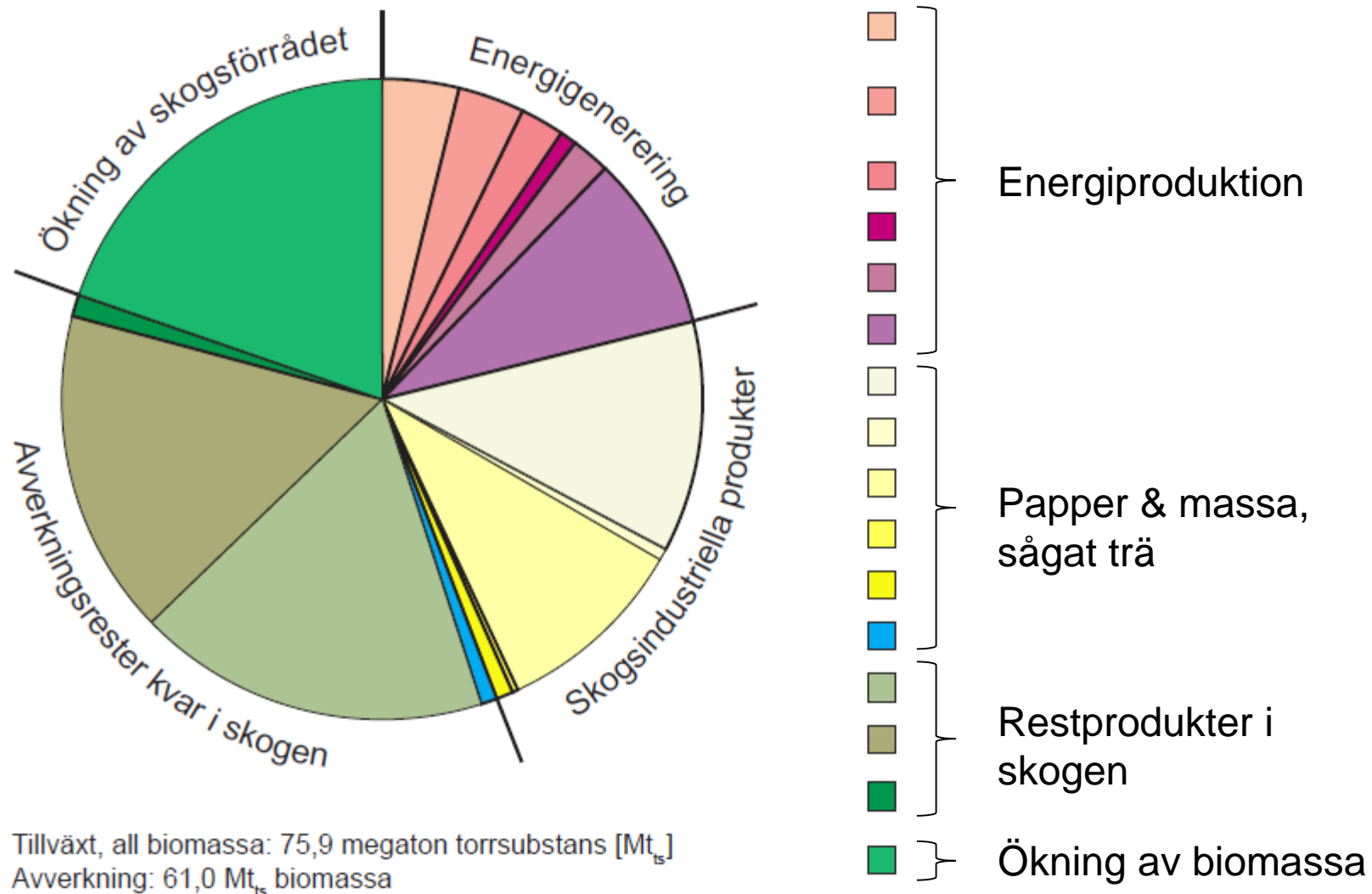
Väggelement: KL trä, cederspån

KL-trä



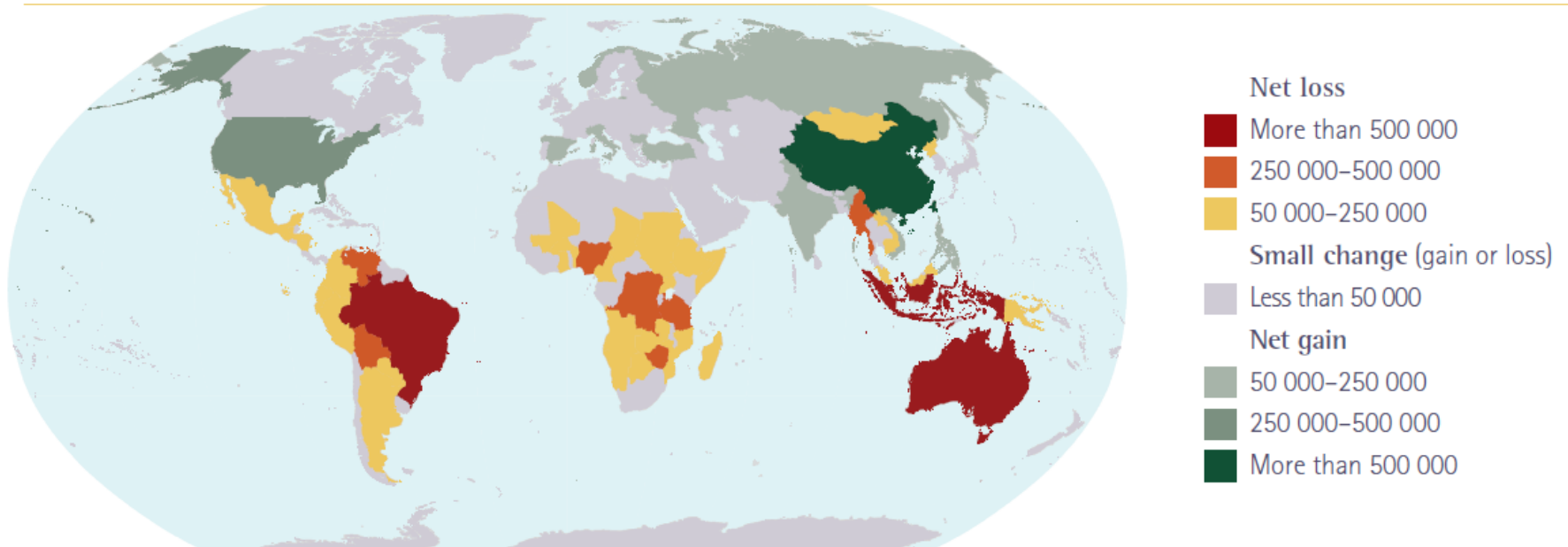
Ingenjördesignade  
träbaserade byggmaterial  
(EWP)

# Biomassaflöden, Sverige



(Nilsson 2004)

# Är trä ett förnybart material?



Nettoförändring av skogsareal per land, 2005-2010 (ha/år)

Source: [www.fao.org/forestry/fra2010](http://www.fao.org/forestry/fra2010)

# 8-våningshus Strandparken i Sundbyberg



KL trä



Väggelement: KL trä,  
cederspån

Ny handbok för KL-trä:

<https://www.svensktra.se/siteassets/6-om-oss/publikationer/pdf/svt-kl-trahandbok-2017.pdf>

Oktober 2013



Februari 2014



# Större andel träbaserad hybridteknik



(Foton av Roberto Crocetti)



# Brock Commons, Canada, 2016

- Trä-betong-stål-hybrid
- 18 våningar
- KL-trä + limträ
- Betongkärnor

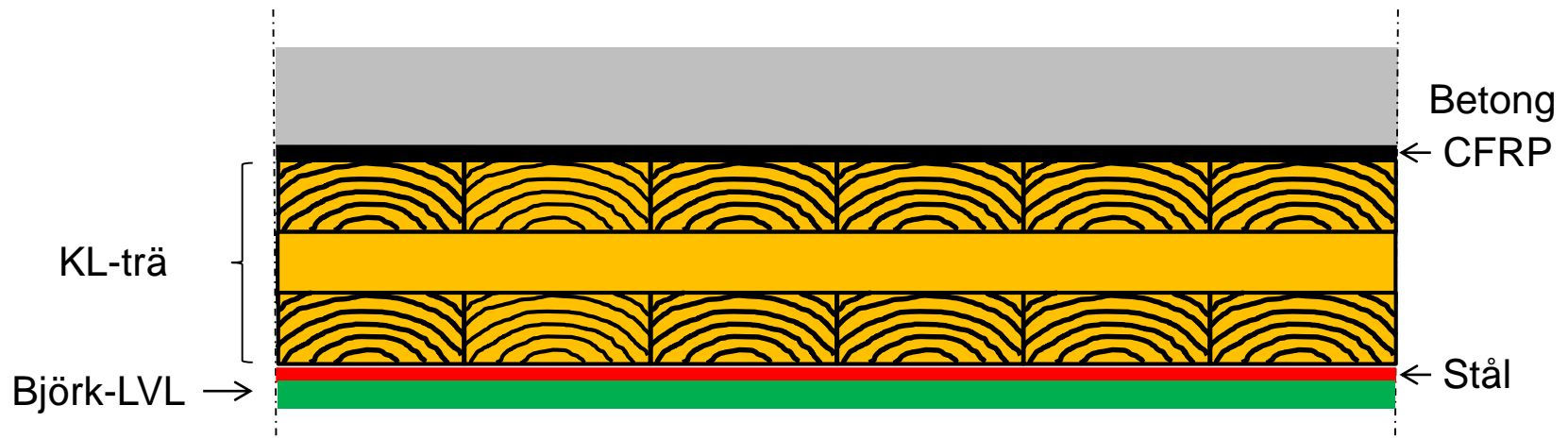


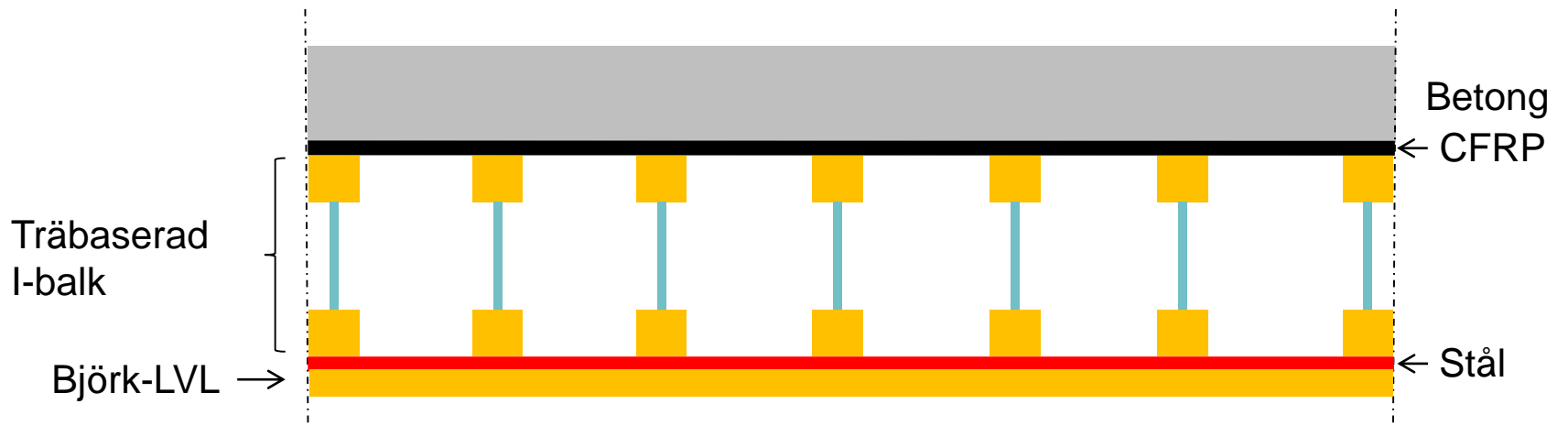
(Bildkälla:naturallywood.com)

[https://www.youtube.com/watch?v=GHTdnY\\_gnmE](https://www.youtube.com/watch?v=GHTdnY_gnmE)  
<https://www.youtube.com/watch?v=rYwl6wHcRVc>

# Varför hybridteknik på byggsystemnivå?

- Drastiskt ökad resurseffektivitet och minskat kolfotavtryck för byggsektorn
- *Designa en mix mellan komponenter av trä och icke-trä för optimala byggsystem med förbättrade egenskaper och resurseffektivitet än varje komponent var för sig*





# Träpris till Linda Stenbergs och Jennifer Nordlöfs exjobb

## Årets vinnare

den 11 oktober 2018 09:14 | Av Nils Lindstrand | Tipsa redaktionen

### Bra idé höll och prisbelönas

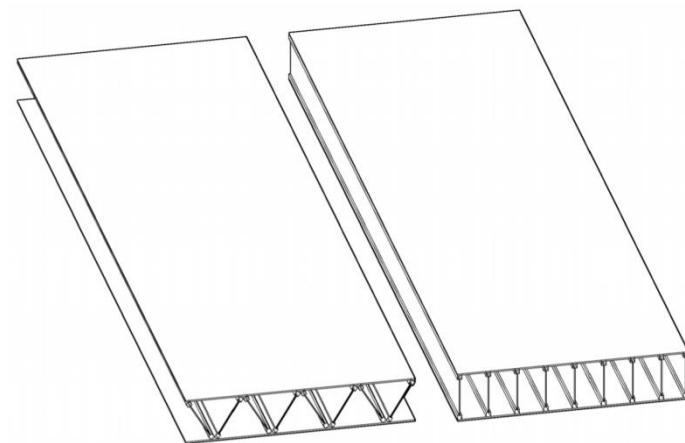
Det kan bli möjligt att minska höjden på bjälklag i stora tråhus genom att vinkla I-balkarna och kombinera dem med kilformade lister. Beräkningarna tyder på att man även skulle kunna minska dimensionerna på vinklade lättbalkar i bjälklagen och därmed minska tjockleken ytterligare.

De här resultaten kunde Linda Stenberg och Jennifer Nordlöf belägga i sitt examensarbete vid KTH, "Vinklade lättbalkar i bjälklag – En lösning till minskad bjälklagshöjd". Nu har detta examensarbete belönats med årets Träteknologipris. En kvalificerad jury var enig, och hyllar både relevansen och kvaliteten på arbetet.



Linda Stenberg och Jennifer Nordlöf får årets Träteknologipris.

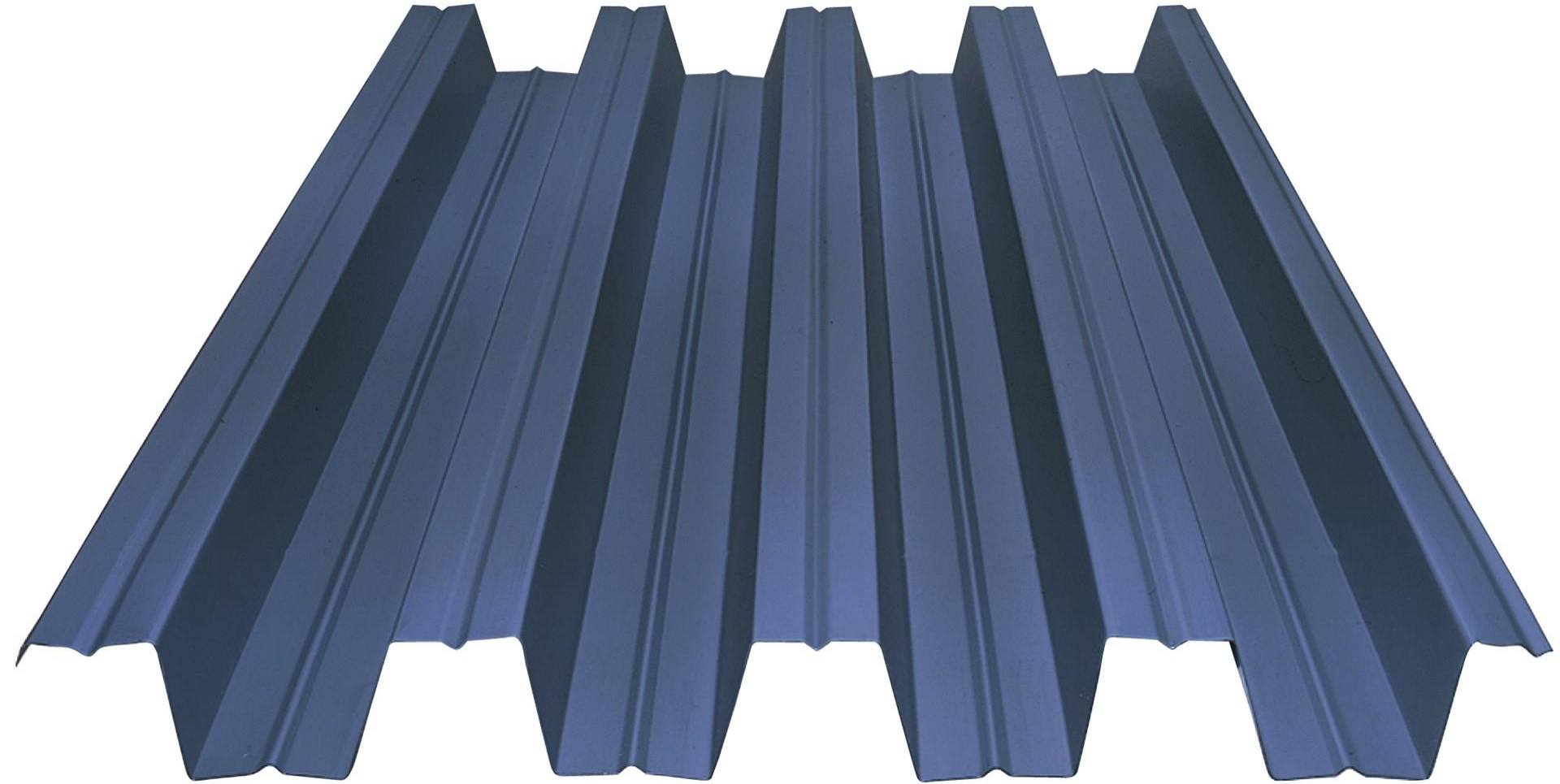
Foto Nils Lindstrand, NTT Woodnet.



<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-231578>

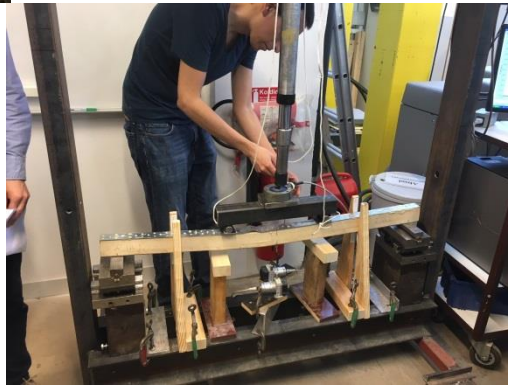
Handledare: Roberto Crocetti, KTH Byggnadsmaterial

# Profilerad (korrugerad) tunnplåt



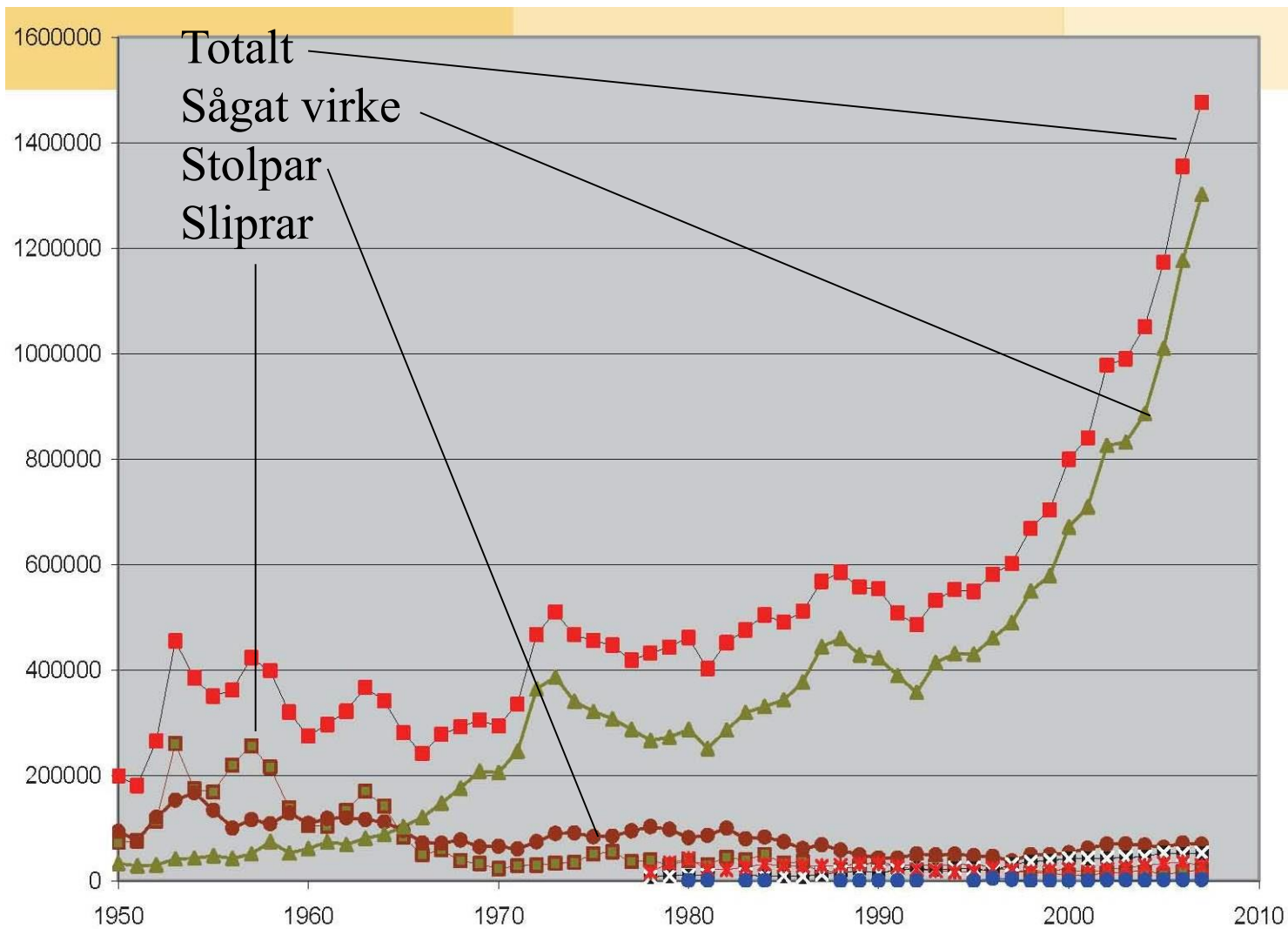
För ondulerade (eller sandwichformade) trä-stål hybrider

# Minskad variabilitet



# BESTÄNDIGHETS- MODIFIERAT TRÄ

# Produktion av impregnerat trä i Sverige 1950-2007, m3



(Källa: Träskyddsföreningen)



# Värmebehandlat trä

## Vanliga produkter:

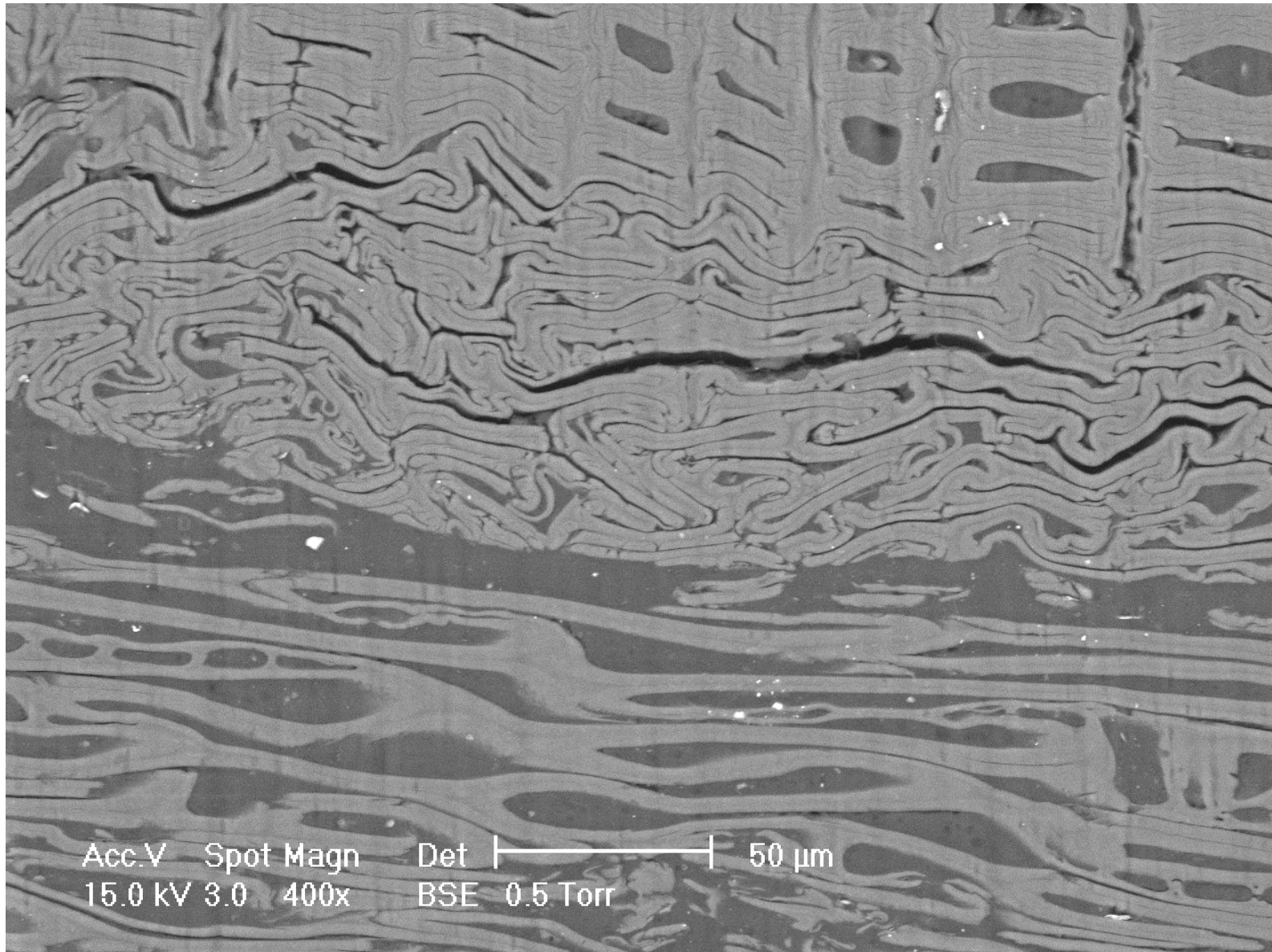
- Fasader
- Altaner och räcken
- Snickeriprodukter
- Utomhusmöbler
- Bastuinredning



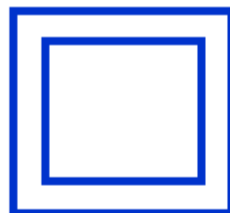
Figure 20-4. The colour of heat-treated pine. Treatment temperatures from 120 to 220°C at 20°C intervals. Treatment time (photo: VTT).



# Termo-hydro-mekanisk modifiering av trä

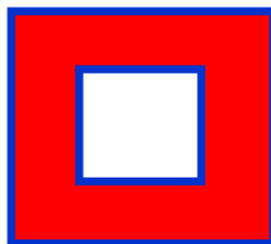


# Kemisk modifiering av trä



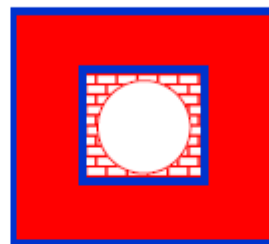
Obehandlad fiber  
(tvärsnitt av)

**Kemisk modifiering**



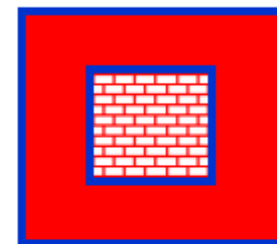
Kemisk modifiering  
av fiberväggen enbart

Ex. acetylering av trä, värmebehandlat trä



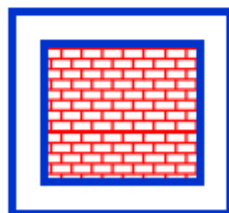
Kemisk modifiering  
+ deposition på fibervägg

Ex. furfurylering av trä



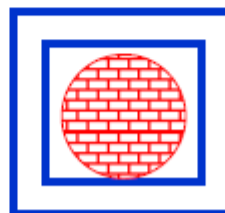
Kemisk modifiering  
+ lumen-fyllande polymer

**Plast-trä**

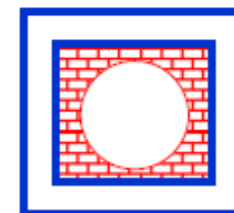


Lumen-fyllande  
polymer, enbart

Ex. trä-plast-kompositer (WPC)



Lumen-fyllande  
polymer, enbart



Enbart deposition  
på fiberväggen

(Bild: Mats Westin, SP)

# Acetylerat trä



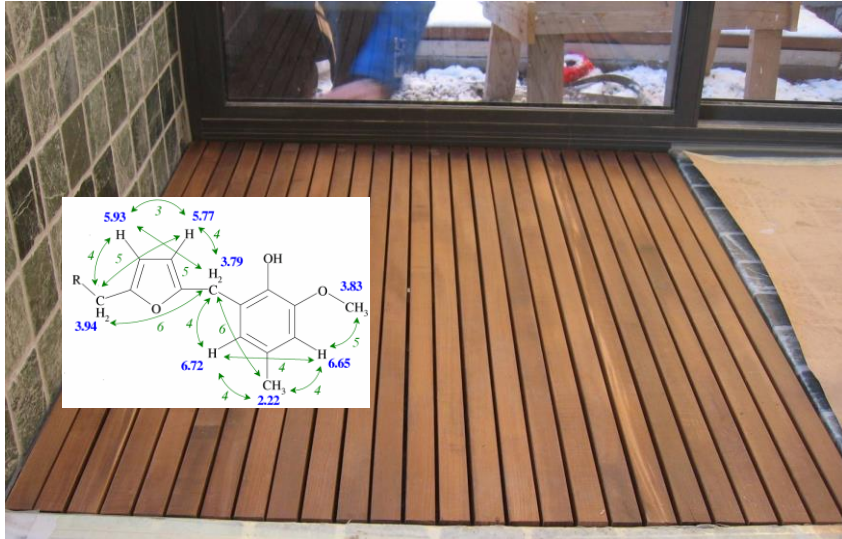
## Vanliga produkter:

- Altaner och räcken
- Snickeriprodukter
- Fasader

**Bärande större konstruktioner?**



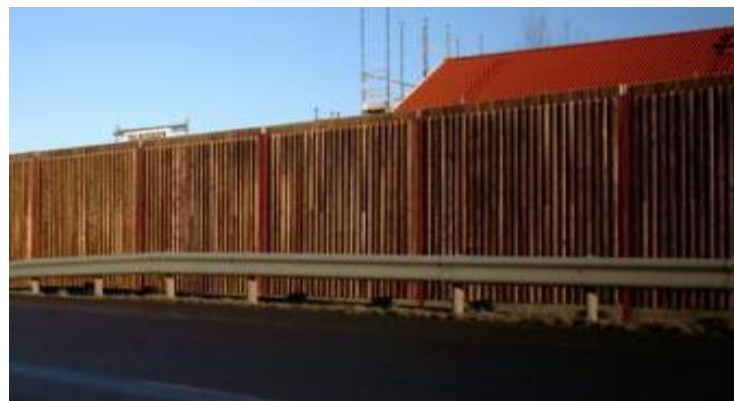
# Furfurylerat trä



## Vanligaste produkterna:

- Altaner och räcken
- Fasad
- Båtdäck
- Golv i offentliga miljöer
- Snickeriprodukter
- Trädgårdsmöbler

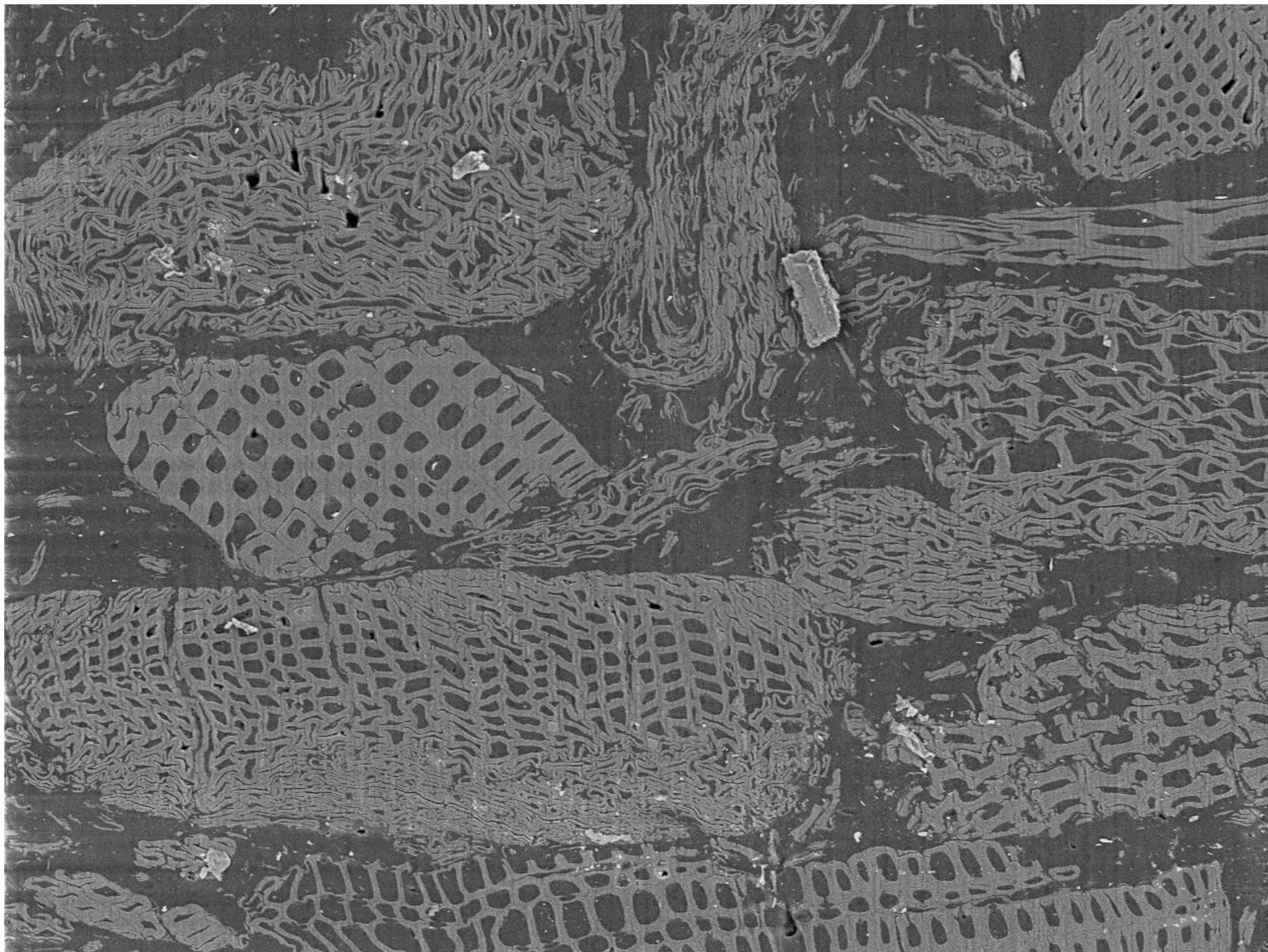
**Bärande större konstruktioner?**



# Älvsbackabron, Skellefteå, Spännvidd: 130 m



Dock en mycket liten andel trä i svensk infrastruktur



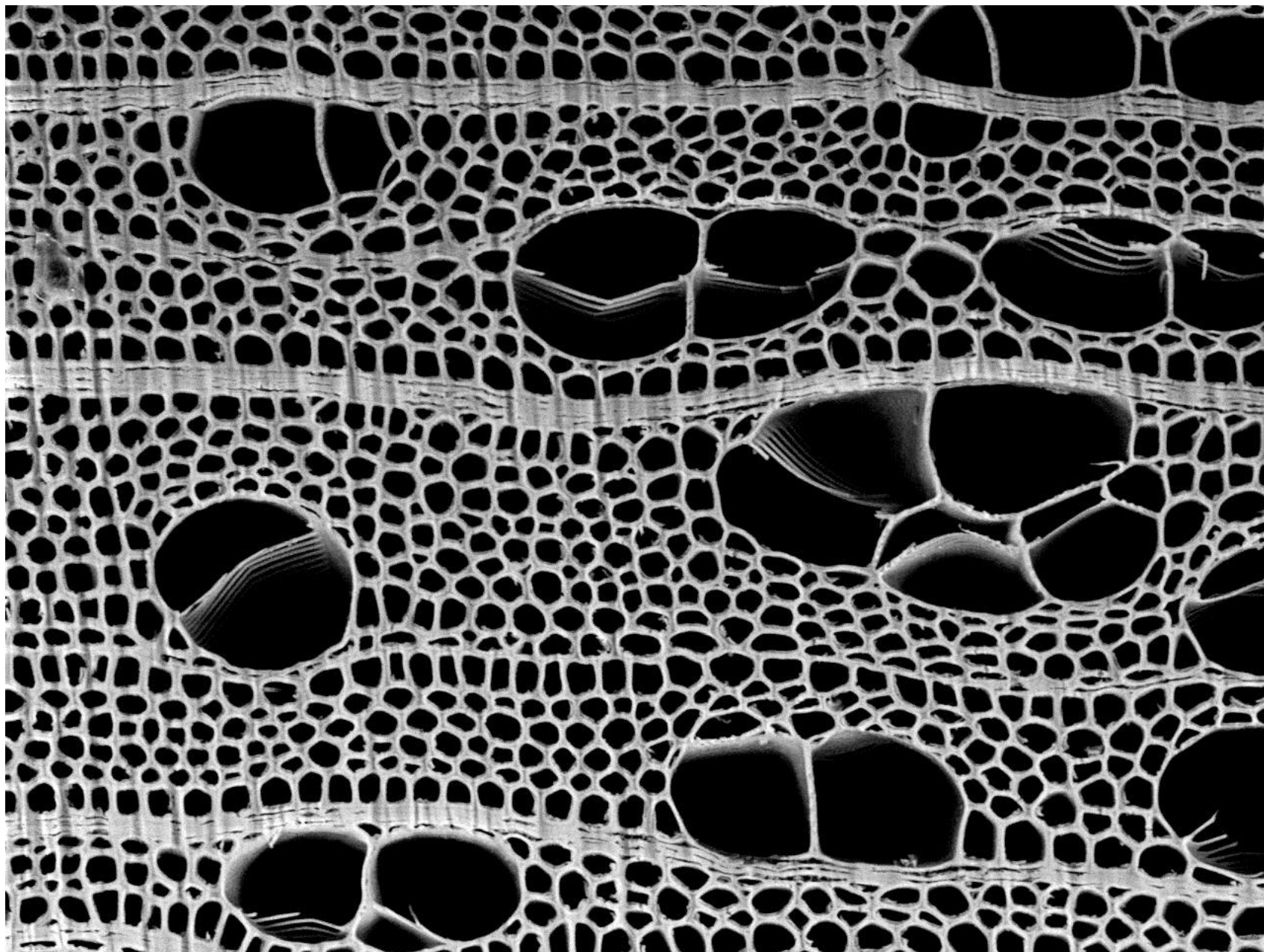
TM-1000\_2513

2010-06-01

L

x250

300 um



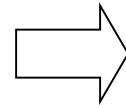
TM-1000\_0653

L x400 200 um



# BIOKOMPOSITER

## 3D thermoformed biocomposites (WPC)

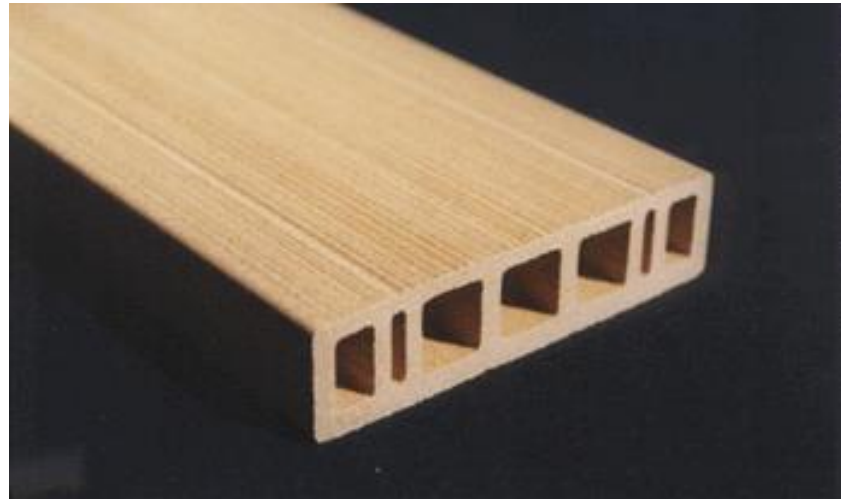
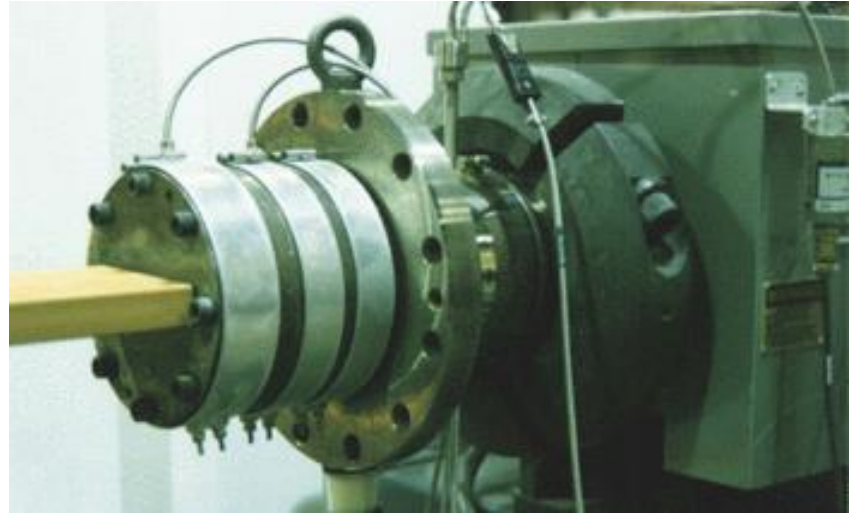
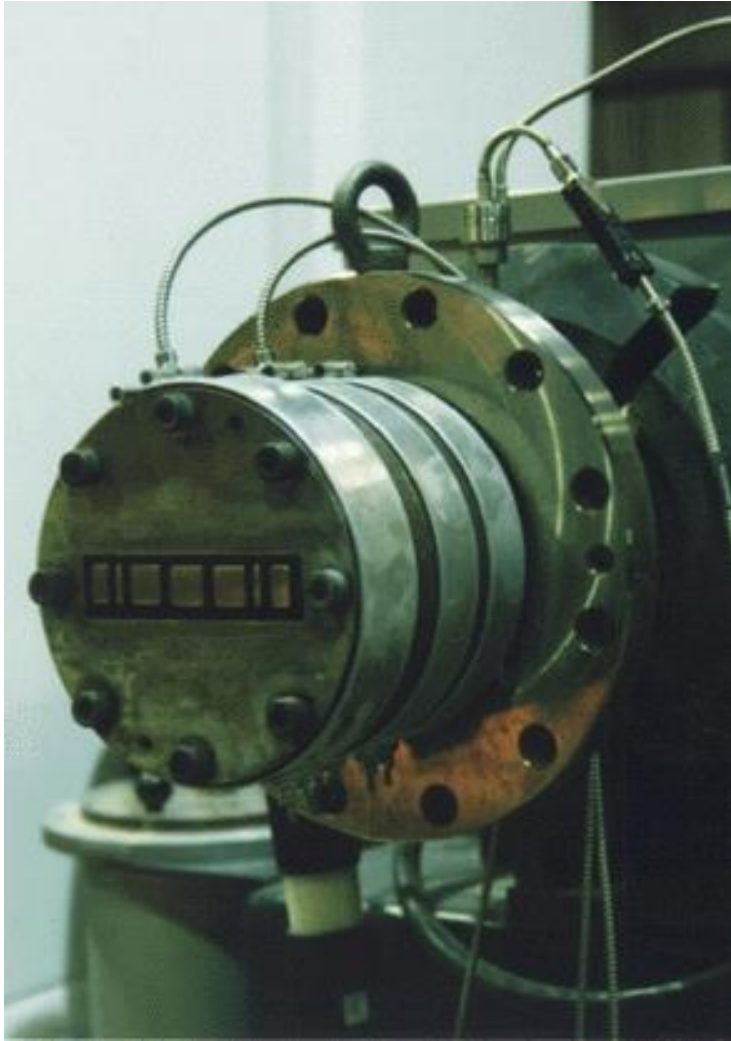


Heat  
&  
pressure

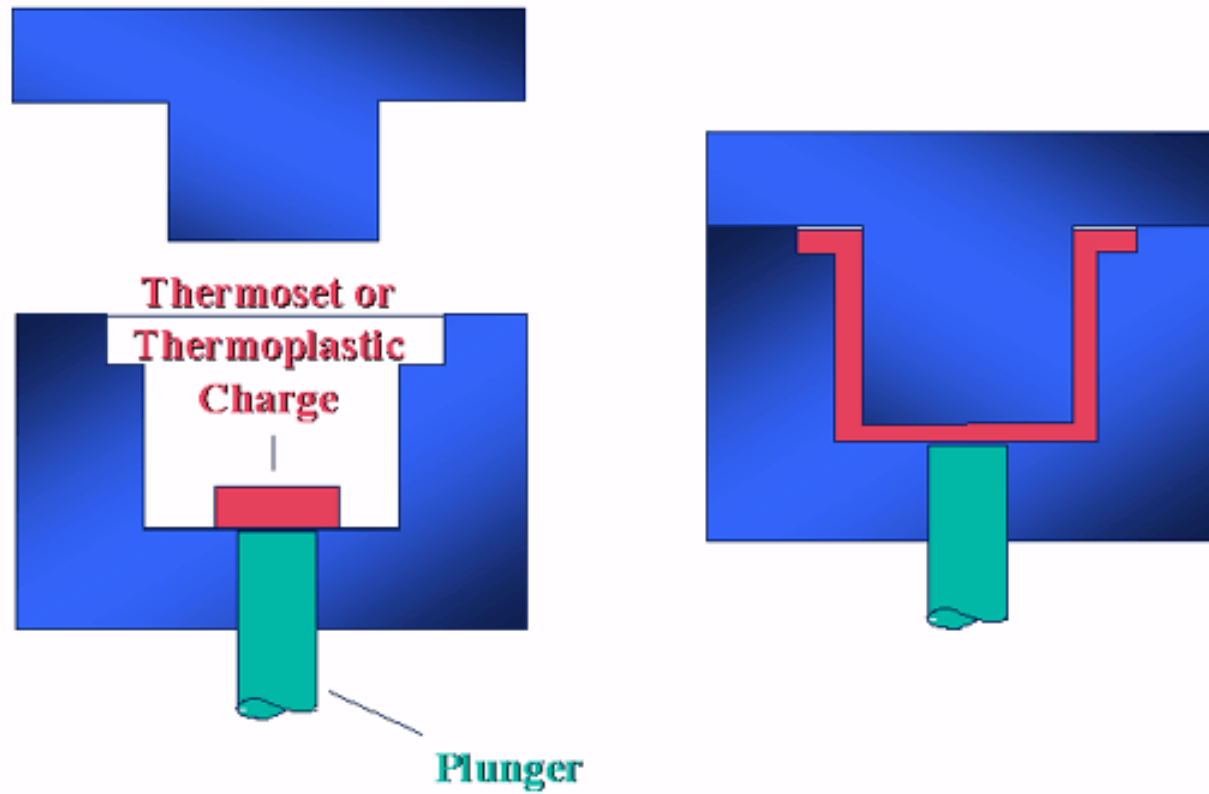


Typical wood plastic composites  
(WPC) profiles

# Extrudering (strängsprutning) av WPC



# Formpressing



# WPC-produkter



Utomhusdäck, räcken, staket



Infrastruktur  
(kabelrännelock)



Fönster, dörrar, tak,  
panel



WPC pallets



Dörrar

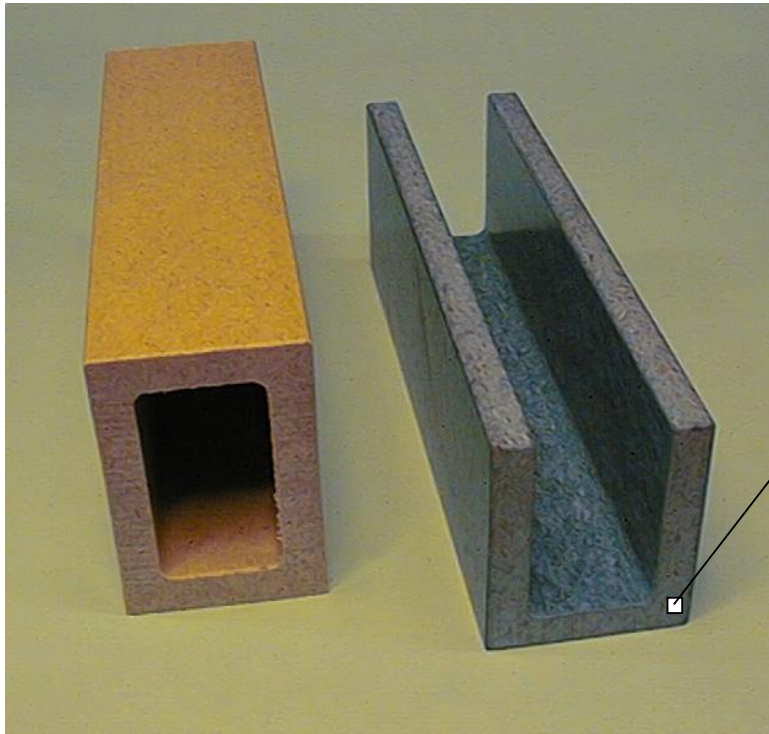


Utomhusmöbler



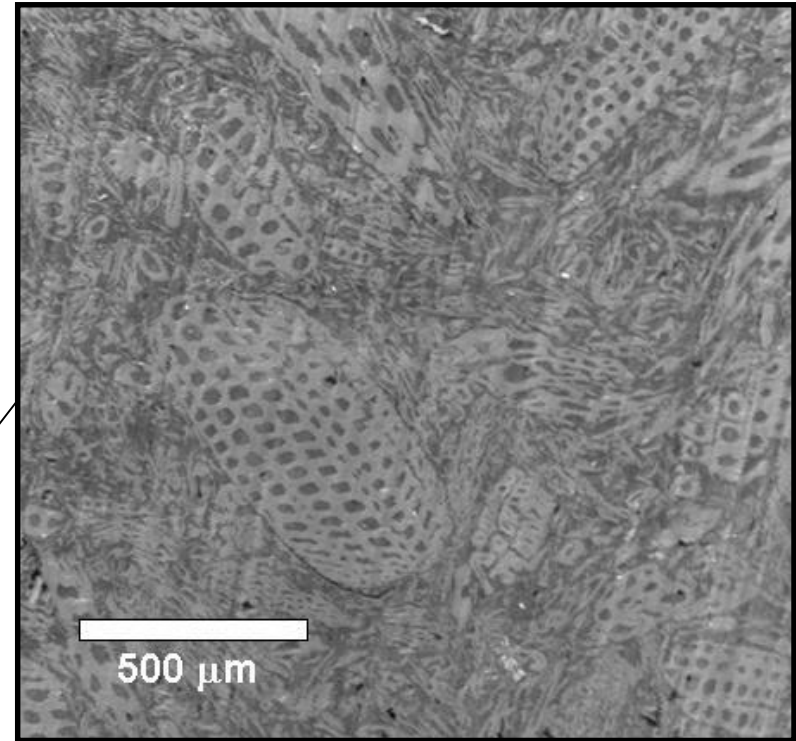
Lekustrustning

# WPC mikrostruktur



## Extruderad WPC

70 % trä, 25 % polypropen och 5 % processadditiv



## Mikromorfologi

Provberedning med UV-laser-ablatering



25kV X100

100µm 083079

(Micrograph: Kristoffer Segerholm)

**3. Wood/polypropylene composite**

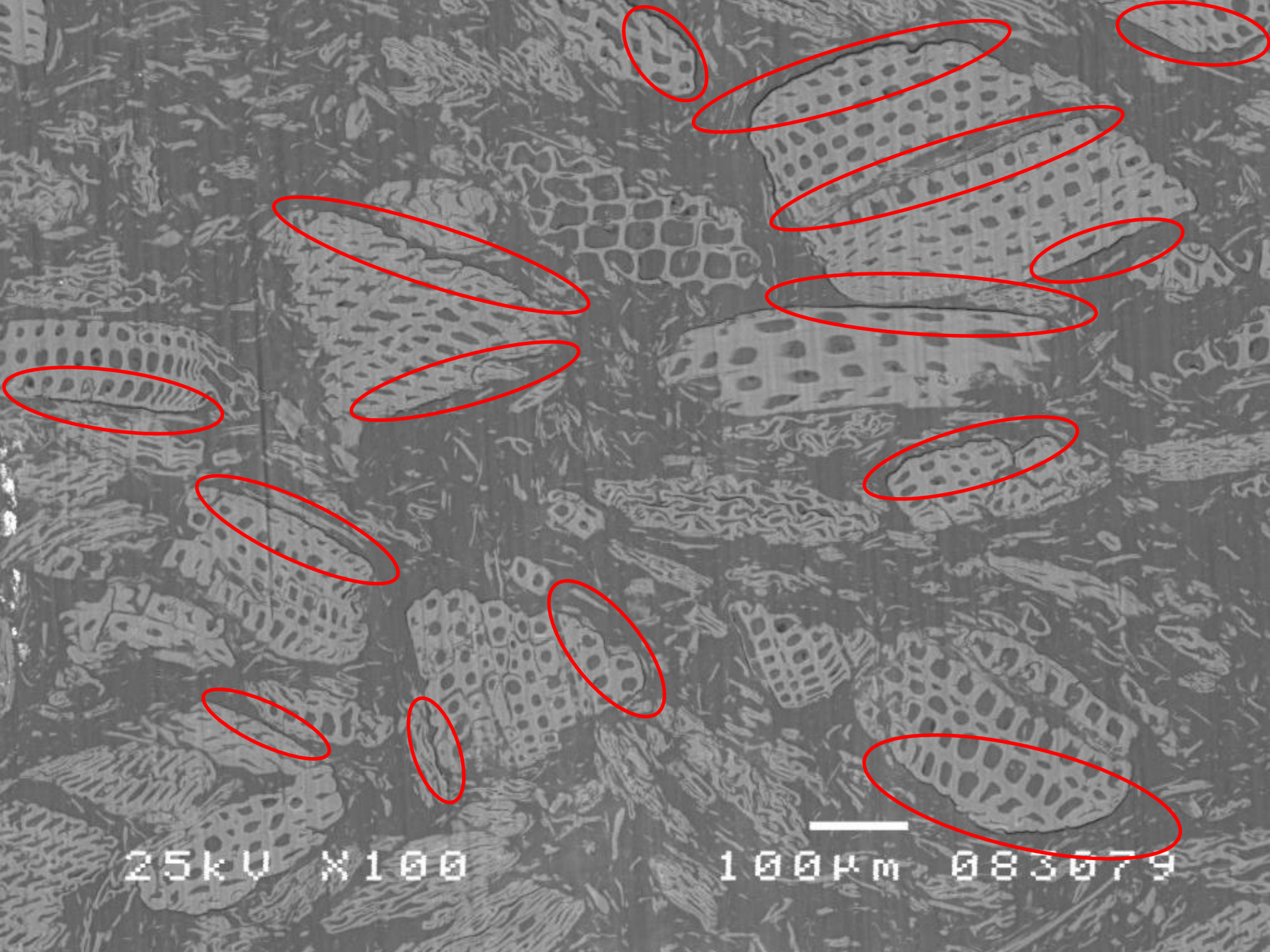
Material	Measured		Volume	Vol. %	Theoretical	
	density	Weight %			density	Porosity
PP pellets		30,0%	0,331	38,8%	905	
Wood substance		70,0%	0,467	54,6%	1 500	
Pores		0,0%	0,057	6,6%	1	
<b>Total</b>	<b>1 170</b>	100,0%	0,855	100,0%	1 253	6,6%

1 m<sup>3</sup> har 819 kg wood substance

**3. Wood/polypropylene composite**

Material	Measured		Volume	Vol. %	Theoretical	
	density	Weight %			density	Porosity
PP pellets		50,0%	0,552	64,6%	905	
Wood substance		50,0%	0,333	39,0%	1 500	
Pores		0,0%	0,021	2,4%	1	
<b>Total</b>	<b>1 103</b>	100,0%	0,907	106,1%	1 129	2,3%

1 m<sup>3</sup> has 551 kg wood substance



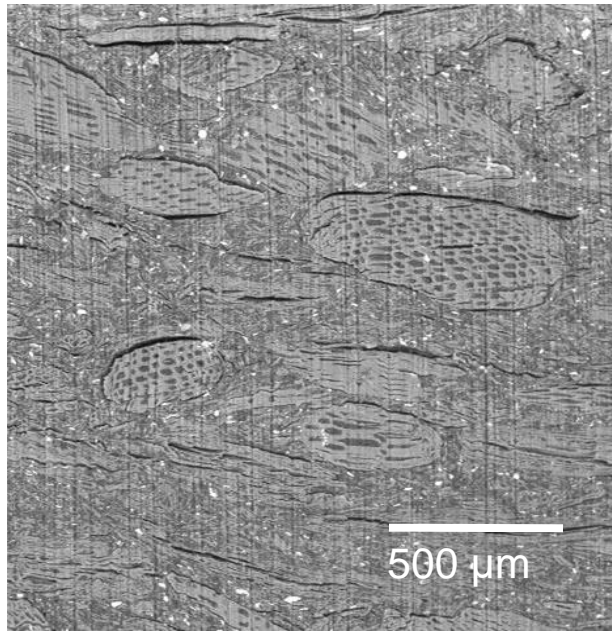
25kV X100

100µm 083079

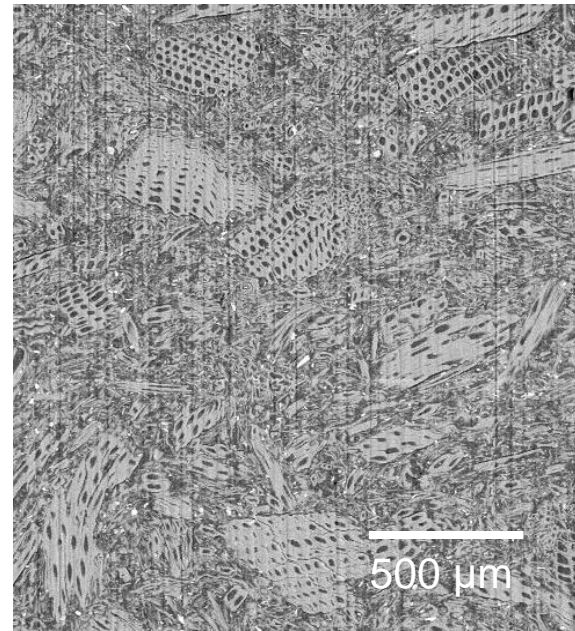


# Effects of moisture-drying cycles in surfaces of WPCs

Micromorphology of WPC with ca  
70% wood content, ca 30% PP



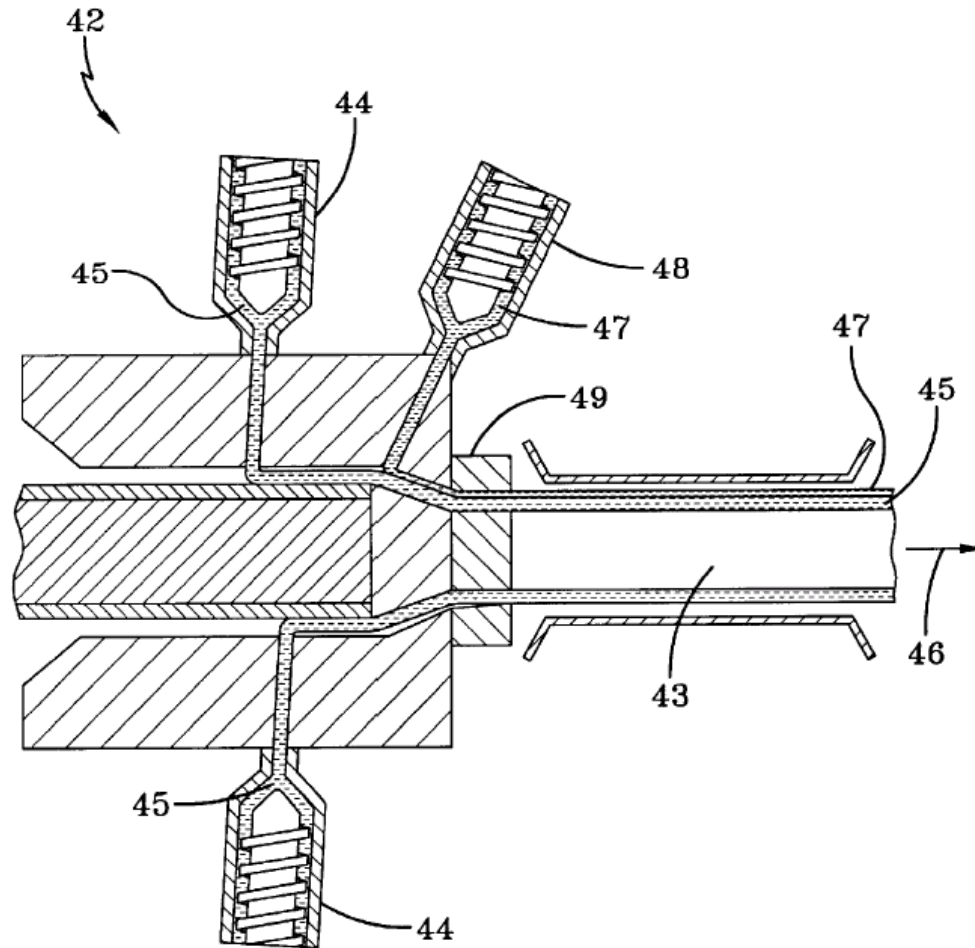
Untreated wood component



Acetylated wood component

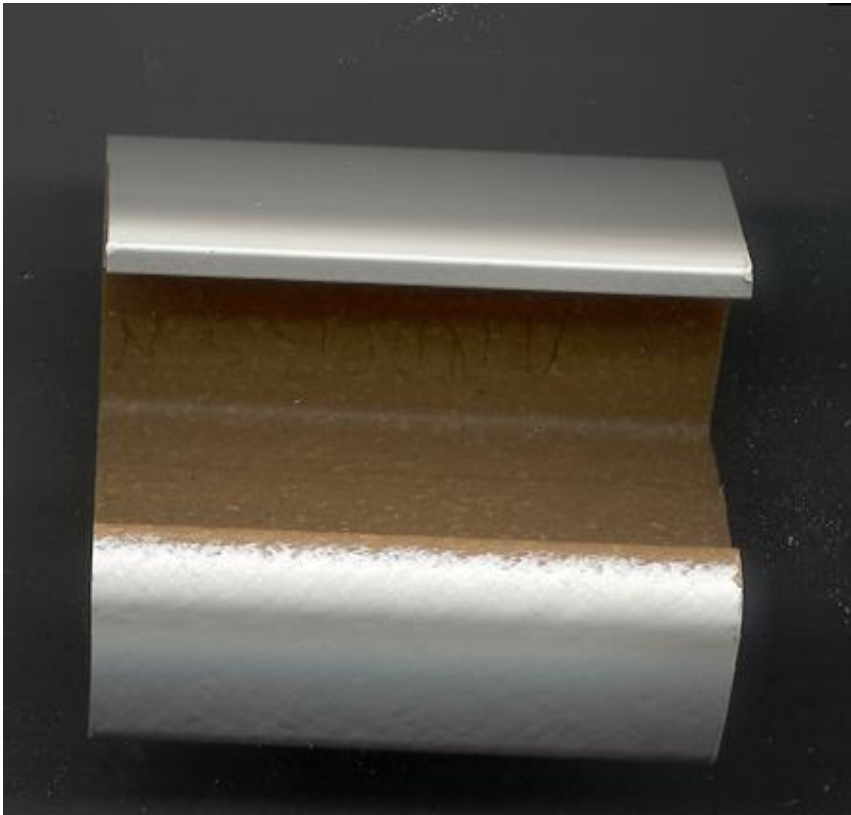
**(Segerholm 2007)**

# Flerlagerkonstruktioner genom co-extrudering



U.S. Patent, June 17, 2003

## Co-extruderad list



# YTMODIFIERING AV TRÄ

# Weathering - Cracking in outdoor use of wood



## Causes

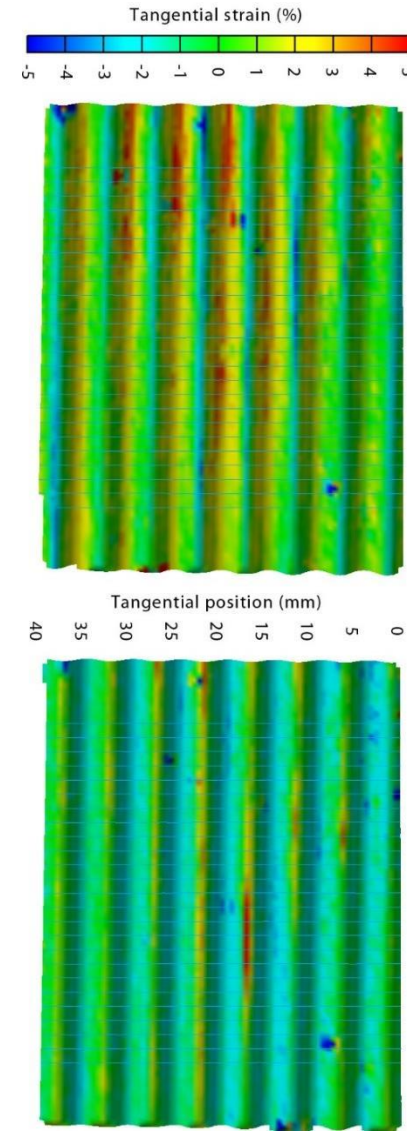
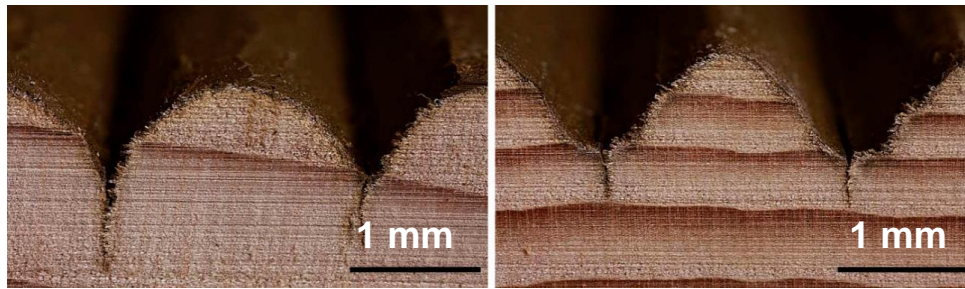
- Cyclic wetting and drying
- UV light

## But?

# Reduced cracking by profiling



Profiled wood surface



Wetting

(red colour: swelling; blue colour: shrinkage)

Drying

# Superamfifob ytbehandling på trä

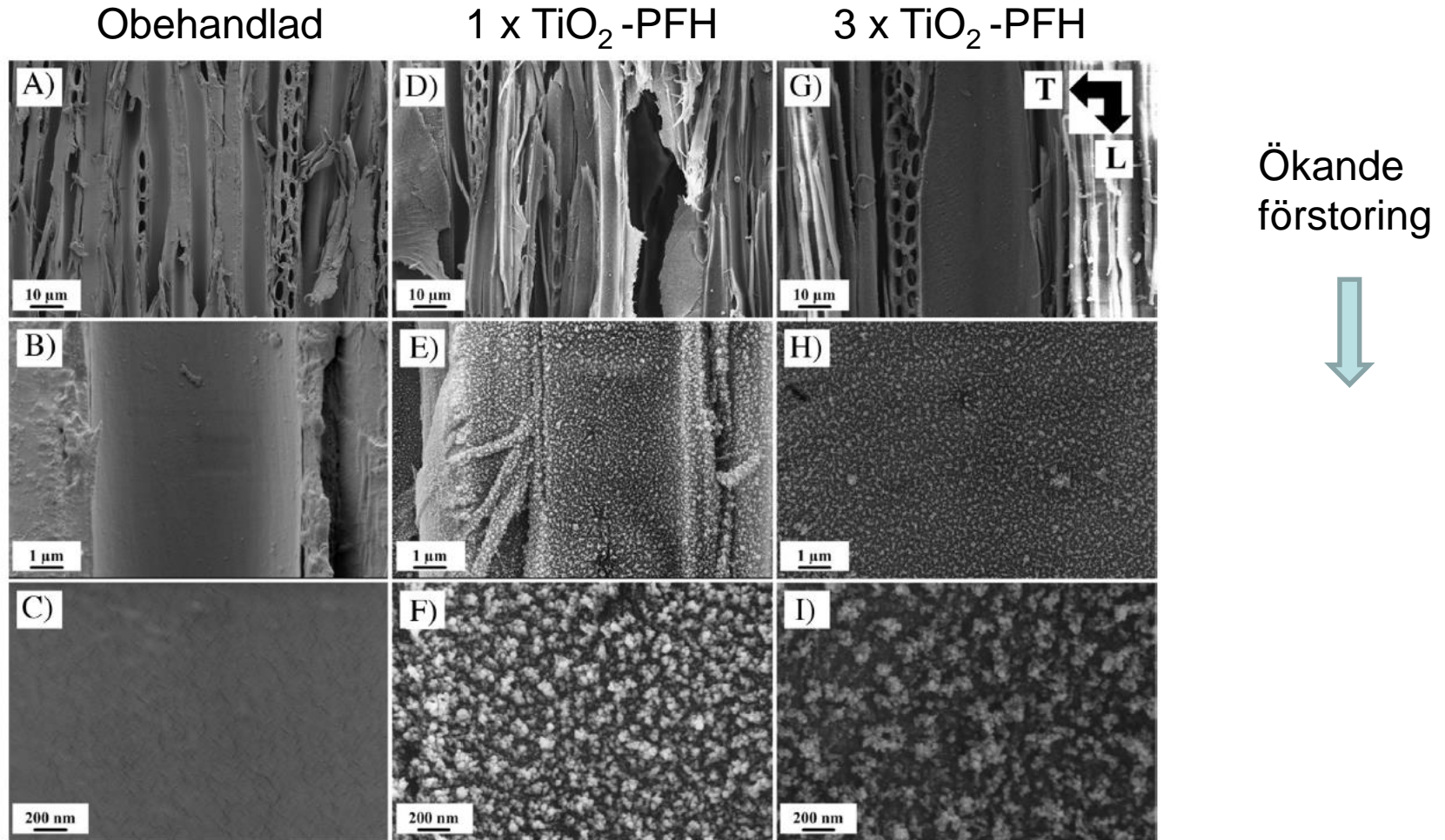


Fig. 1. FEG-SEM images of wood (A–C), 1 x TiO<sub>2</sub>-PFH (D–F) and 3 x TiO<sub>2</sub>-PFH (G–I) coated wood. The wood fibers are oriented in the longitudinal direction (L).

Touminen et al 2016. Applied Surface Science 389 (2016) 135–143.

**Maziar Sedighi Moghaddam, Postdok-projekt  
Finansiering från Troedsson**

[Vattendroppe](#)

[Olivoljaedroppe](#)

[Självrengörande effekt av vattendroppe](#)

# 4. SAMMANFATTNING



# Sammanfattning?



Skogsindustrin  
Betongbranschen  
Stålbranschen  
Byggindustrin  
Stockholms stad  
Akademiska hus  
KTH

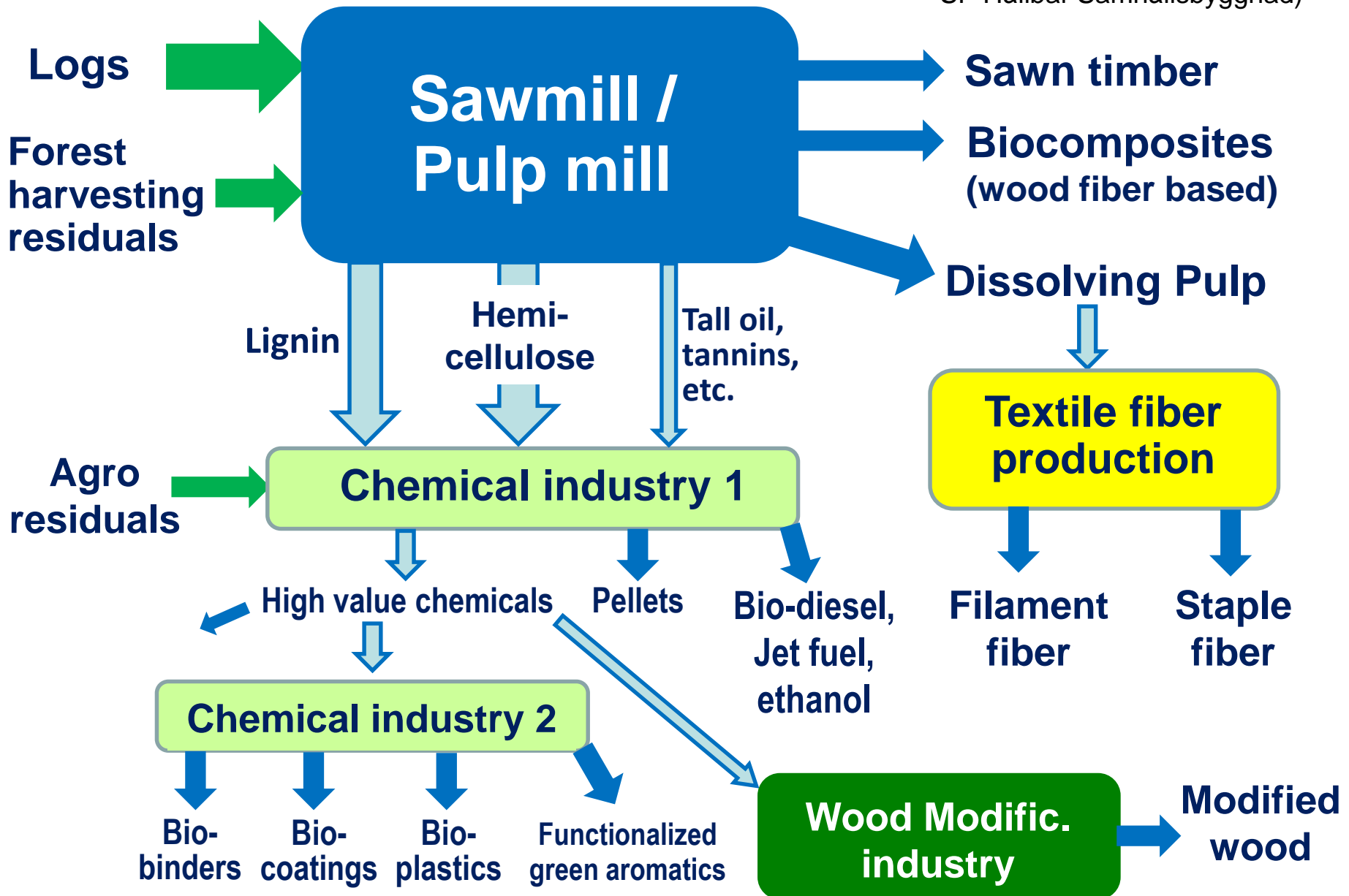
Upprop?



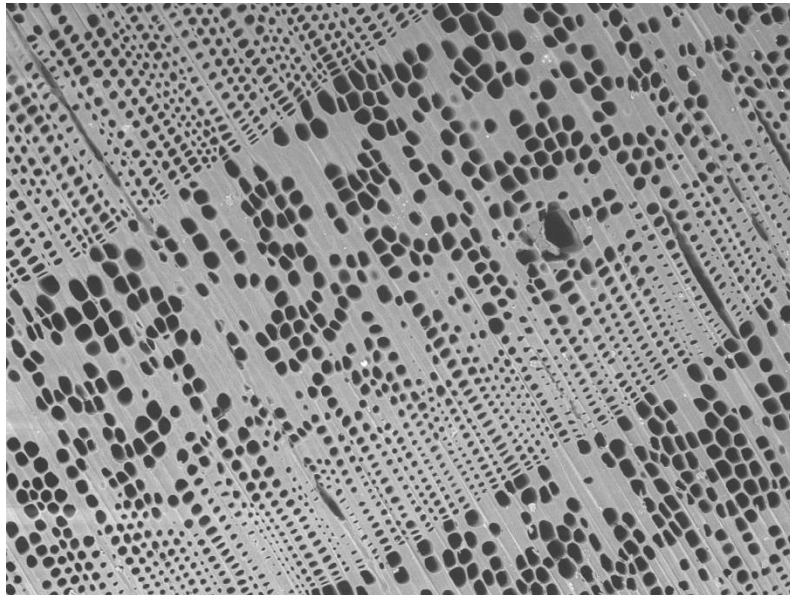
*Tack för uppmärksamheten!*

# Example of a forest mega-biorefinery concept

(Bild: Dr. Mats Westin, FoU-chef, SP Hållbar Samhällsbyggnad)

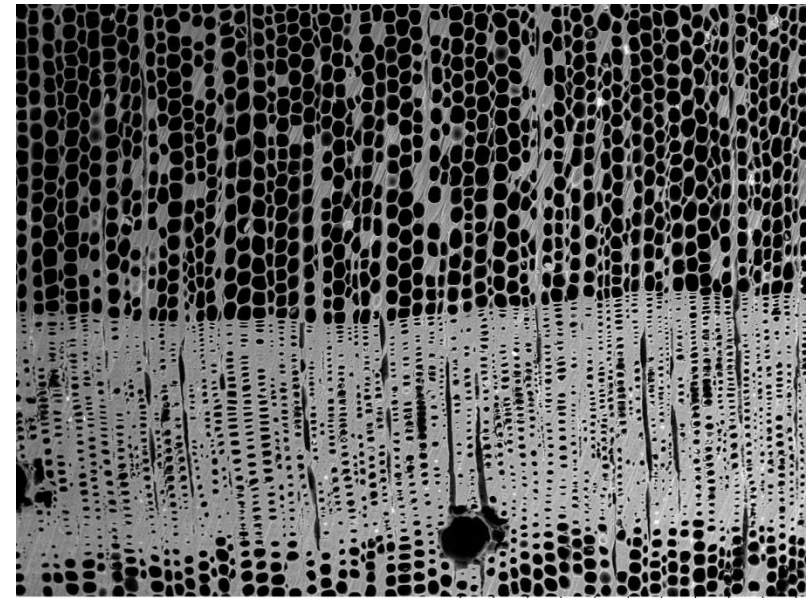


# Furfurylated Scots pine sapwood



TM-1000\_0568 2008-12-08 L x120 500 um

WPG ~80%



TM-1000\_0637 2008-12-09 L x100 1 mm

WPG ~30%

(Wålinder et al. (2009): Micromorphological studies of modified wood)

## Bilar i koliberkomposit baserad på träets lignin?



# Makroskopisk nivå

