

Lätta konstruktioner

VT2 7,5 hp halvfart

Lars Bark och Janne Carlsson





Planering material/komposit-delen

- Föreläsning 1
 - Introduktion till lätta konstruktioner
- Föreläsning 2
 - Materialval och materialindex, kap 5
 - Vad är kompositer?
 - Från fiber till komposit
- Föreläsning 3
 - Kompositer
 - Val av material och form, kap 9
 - Fallstudier – material och form, kap 10
- Föreläsning 4
 - Design av hybridmaterial, kap 11
 - Fallstudier – hybrider, kap 12
 - Kompositberäkning med Excel och SolidWorks

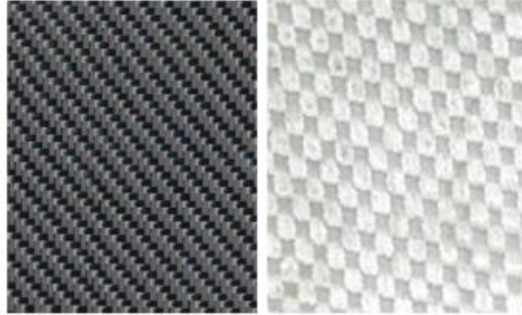


Torsdag 19:e april 13:15 – 16:00

Material/kompositer PPU408

- Eftermiddagens agenda
 - Design av hybridmaterial, kap 11
 - Paus
 - Fallstudier – hybrider, kap 12
 - Paus
 - Kompositberäkning med SolidWorks

Design av hybridmaterial, kapitel 11



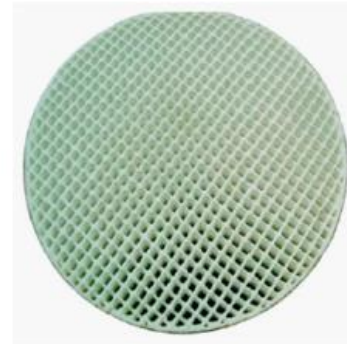
Composite structure



Sandwich structure



Segmented structure



Cellular structure

Hybridmaterial kombinerar egenskaper för två eller fler material

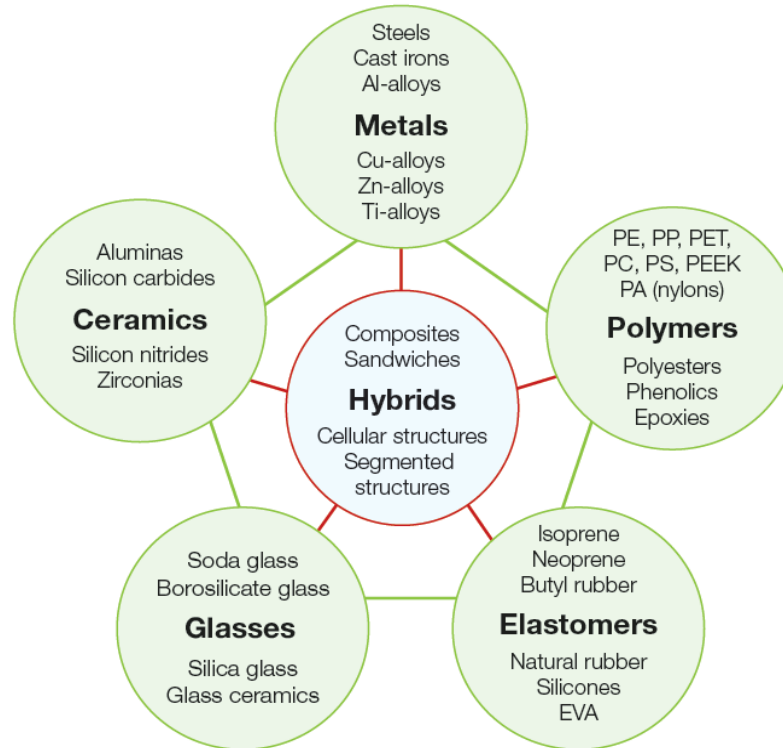


Figure 11.1

Ingredienser för Hybriddesign

Table 11.1 Ingredients of Hybrid Design

Components	The choice of materials to be combined
Configuration	The shape and connectivity of the components
Relative volumes	The volume fraction of each component
Scale	The length scale of the structural unit

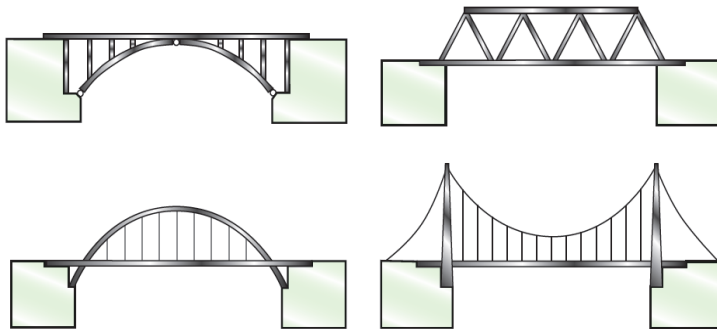


Figure 11.2

- Fyra koncept för en bro. Optimering blir möjligt först efter val av koncept.

Hål i materialrymden

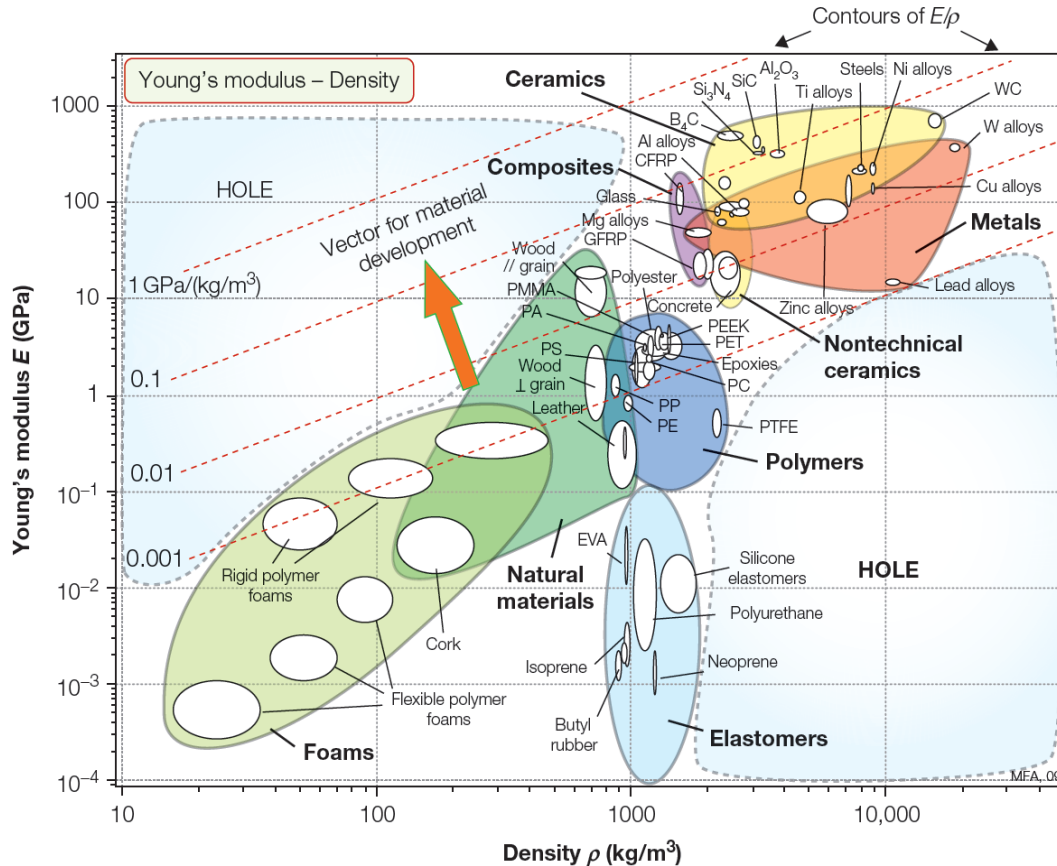


Figure 11.3

- Alla materialegenskapskartor har hittills haft hål.
- Dessa kan fyllas med väldesignade hybrider

Möjligheter med hybridmaterial

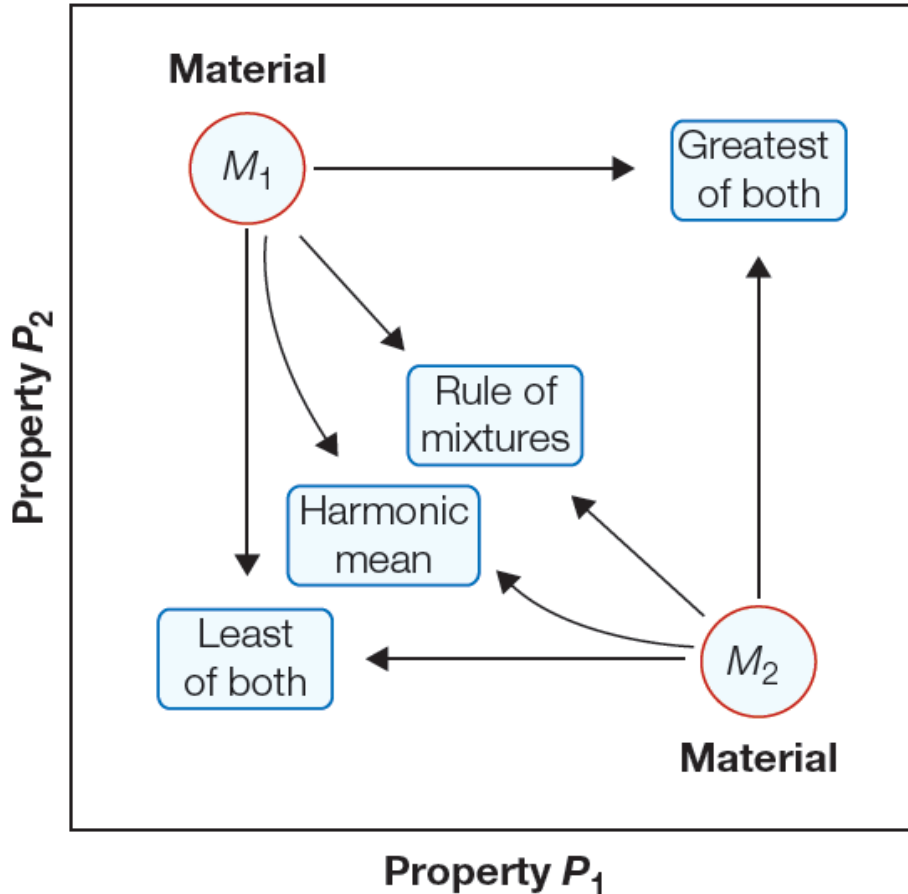


Figure 11.4

- En blandning av två material får en blandning av deras egenskaper
- ”Bäst av båda” när volyms-egenskaper kombineras med ytegenskaper, t.ex förzinkat stål eller glaserad keramik
- ”Blandningsregeln” när volymsegenskaper blandas fås ett medelvärde viktat av volymsandelen, t.ex. fiberkompositer i fiberriktningen
- ”Harmoniskt medelvärde” när svagaste länken dominerar, t.ex. styvheten hos partikelkompositer

Stegmetod för att designa ett hybridmaterial

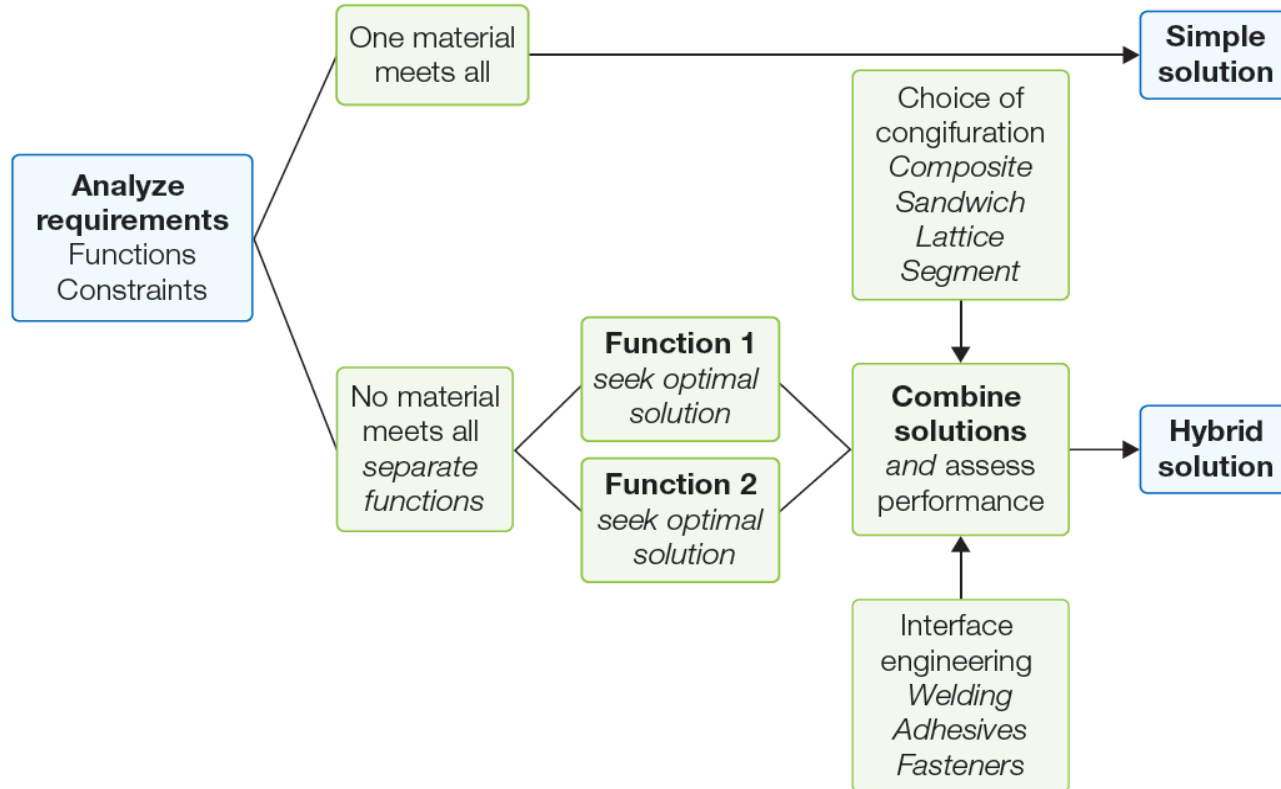


Figure 11.5



Egenskaper för kompositer

- Densitet

$$\tilde{\rho} = f \rho_r + (1-f)\rho_m.$$

ρ_m – matrisens densitet
 ρ_r – förstärkningens densitet
 f – volymsandel för förstärkningen

- Elasticitiesmodul

- Övre gräns

$$\tilde{E}_u = f E_r + (1-f)E_m$$

- Undre gräns

$$\tilde{E}_L = \frac{E_m E_r}{f E_m + (1-f)E_r}$$

E_r – E-modul för förstärkningen
 E_m – E-modul för matrisen
 f – volymsandel för förstärkningen

Exempel med aluminiumkompositer

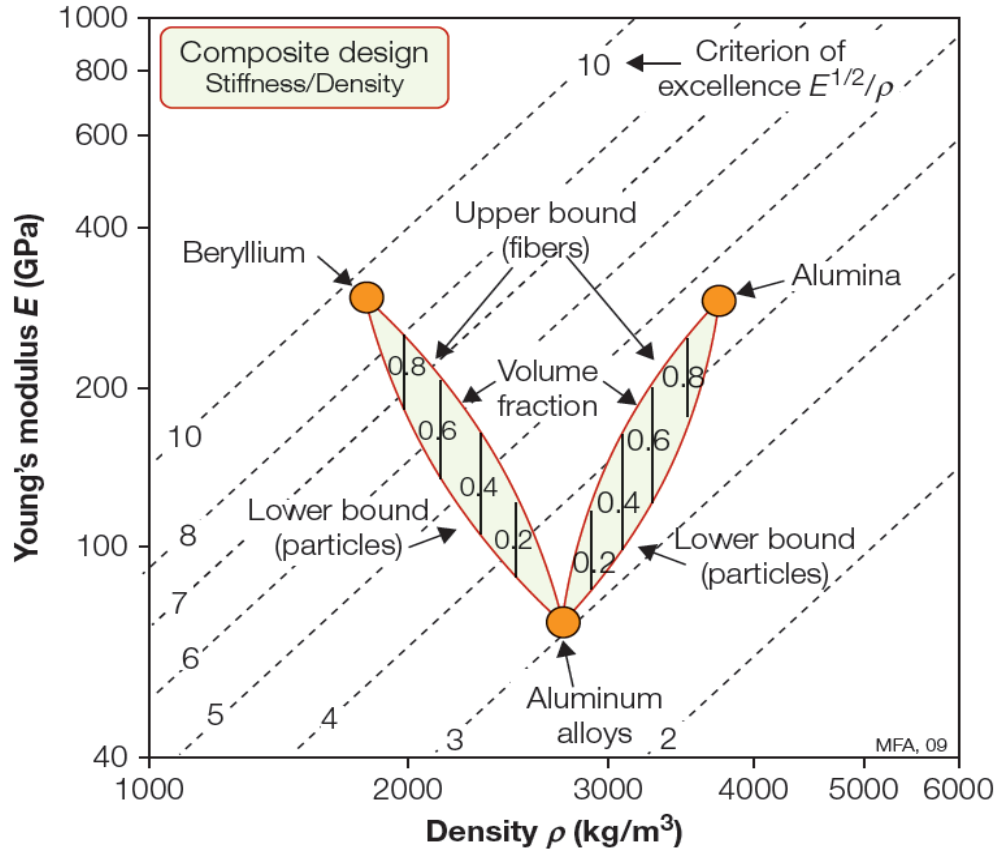


Figure 11.7

Brottmekanismer i kompositer

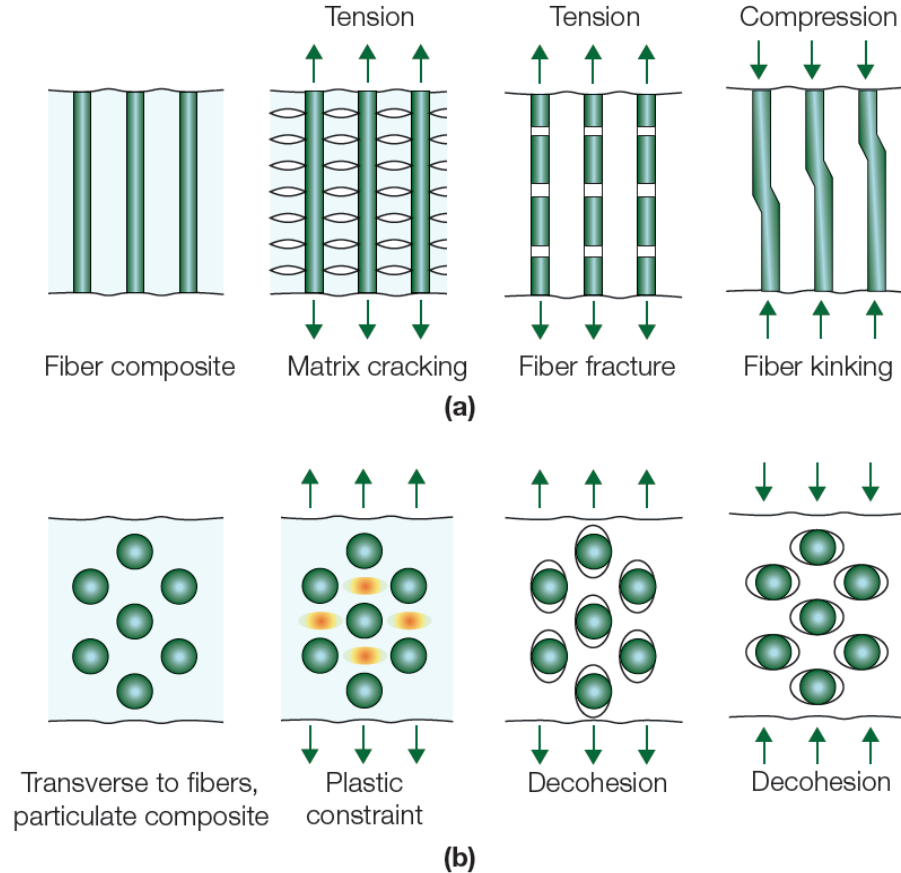


Figure 11.8



Styrka för kompositer

- Dragning – parallellt med fibrerna

- Övre gräns $(\tilde{\sigma}_f)_{u,a} = f(\sigma_f)_r + (1 - f)(\sigma_f)_m$

- Undre gräns

$$(\tilde{\sigma}_f)_{L,a} = \text{Greater of } (f(\sigma_f)_r, (1 - f)(\sigma_f)_m)$$

- Dragning – tvärs fibrerna

- Övre gräns Lesser of $\left\{ \begin{array}{l} (\tilde{\sigma}_f)_{u,t} \approx (\sigma_f)_m \left(\frac{1}{1 - f^{1/2}} \right) \\ (\tilde{\sigma}_f)_{u,t} \approx (\sigma_f)_r \end{array} \right.$

- Undre gräns

$$(\tilde{\sigma}_f)_{L,t} \approx (\sigma_f)_m (1 - f^{1/2})$$

- Kompression – axiellt

$$(\tilde{\sigma}_c)_{u,a} = \frac{1}{9} \frac{(\sigma_f)_m}{2} \approx 14(\sigma_f)_m$$

Styrka

- Styrkan uppskattad för glasfiberarmerad epoxy
- Liten spridning i fiberriktningen
- Stor spridning tvärs fiberriktningen

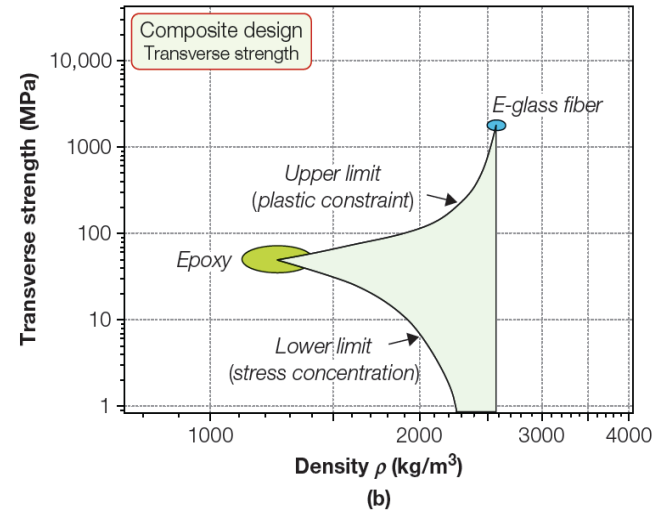
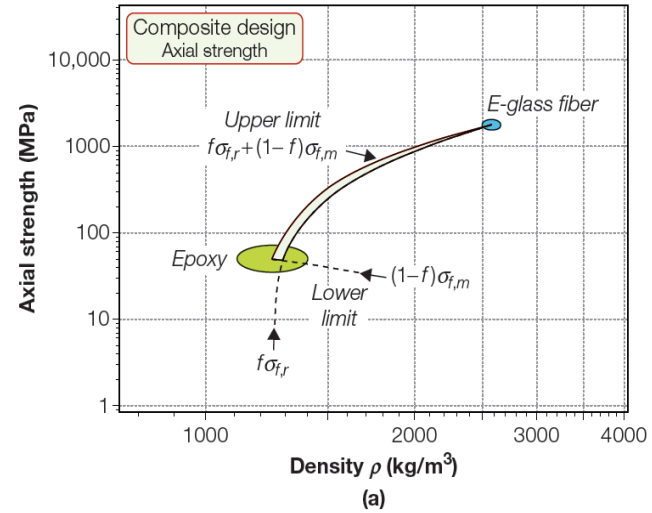


Figure 11.9

Kompositer (PMC&MMC) expanderar materialrymden för styvhet & vikt

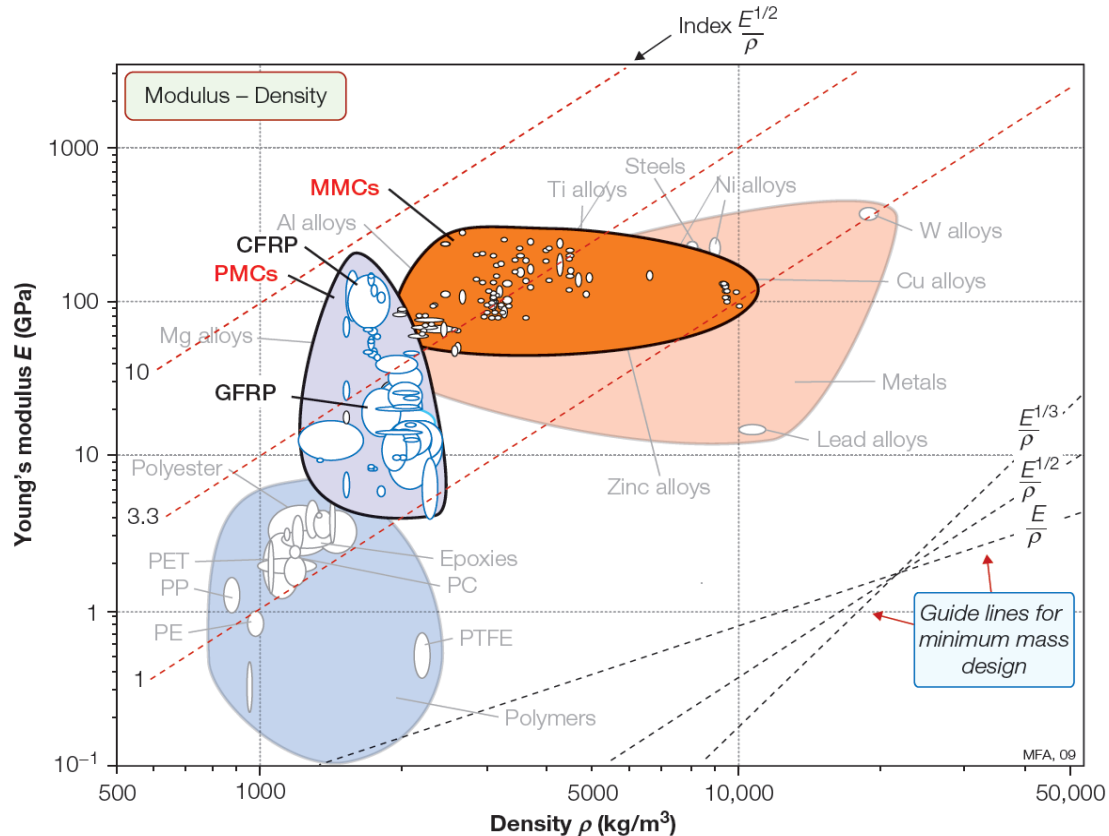


Figure 11.11

Kompositer (PMC&MMC) expanderar även materialrymden för styrka & vikt

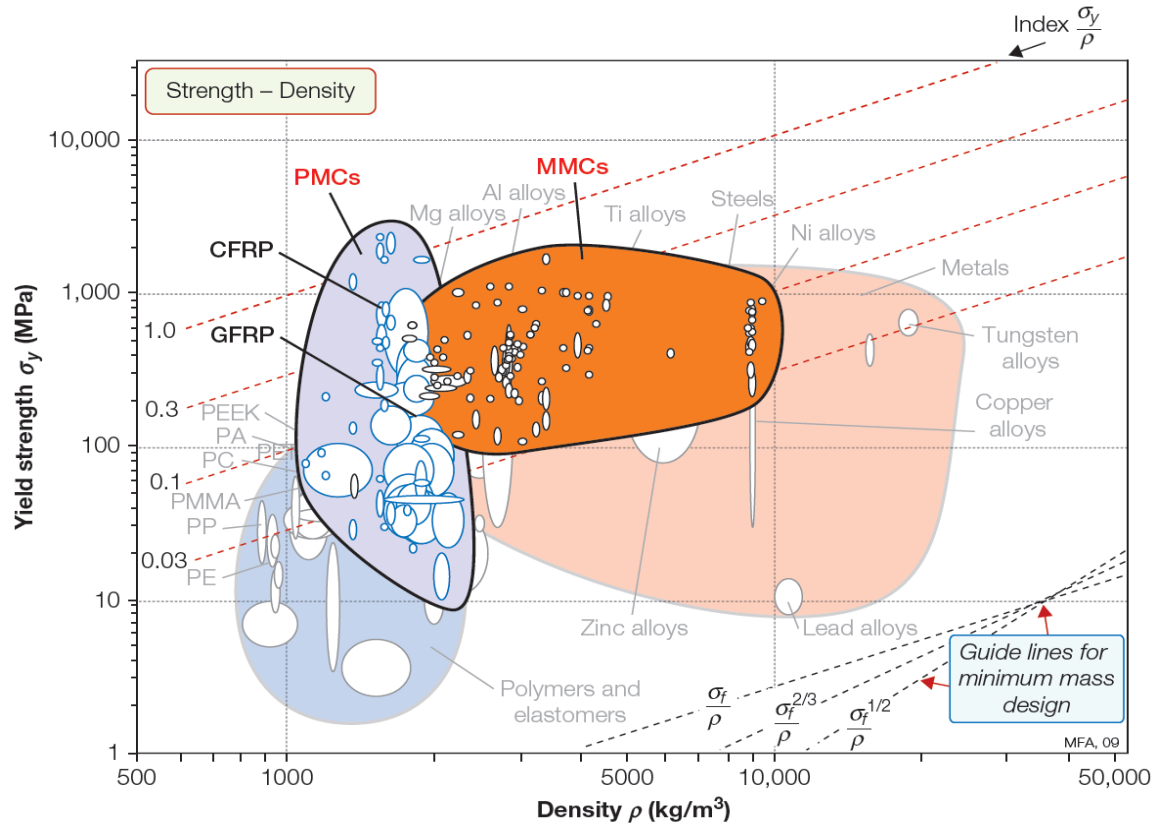


Figure 11.12



Paus

- Kanske dags för en sandwich?
- Vi tar en fikarast på cirka 20 minuter

Sandwichkompositer

- En sandwichpanel kombinerar två material, ett styvt material till täckskikten och ett lätt material som kärnmaterial för att optimera böjstyvheten och styrkan

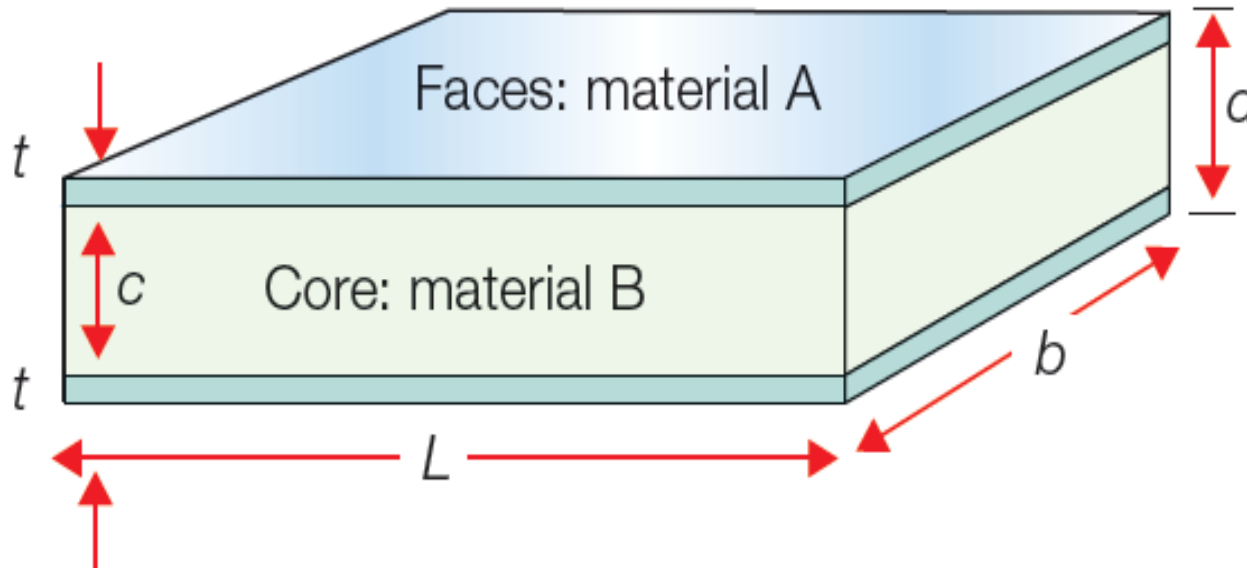


Figure 11.13



Ekvivalenta egenskaper för ett sandwichmaterial

- Exempel från provning

Tests on a carbon-aramid sandwich panel used as flooring in Boeing aircraft gave the results in the following table.

Face material	0.25 mm carbon/phenolic
Core material	3.2 mm cell, 147 kg/m ³ , aramid honeycomb
Panel weight per unit area, m_a	2.69 kg/m ²
Panel length, L	510 mm
Panel width, b	51 mm
Panel thickness, d	10.0 mm
Flexural stiffness, EI	122 Nm ²
Failure moment, M_f	196 Nm

The equivalent density from Equation (11.13) is

$$\tilde{\rho} = \frac{m_a}{d} = 269 \text{ kg/m}^3$$

The equivalent modulus \tilde{E} from Equation (11.14) is

$$\tilde{E} = \frac{12 EI}{b d^3} = 28.8 \text{ GPa}$$

The equivalent flexural strength $\tilde{\sigma}_{flex}$ from Equation (11.15) is

$$\tilde{\sigma}_{flex} = \frac{4 M_f}{b d^2} = 154 \text{ MPa}$$

Ekvivalenta egenskaper för ett sandwichmaterial



- Densitet

$$\tilde{\rho} = f\rho_f + (1 - f)\rho_c$$

- Styvhet

$$\frac{1}{\tilde{E}_{flex}} = \frac{1}{E_f \left\{ \left(1 - (1 - f)^3 \right) + \frac{E_c}{E_f} (1 - f)^3 \right\}} + \frac{B_1}{B_2} \left(\frac{d}{L} \right)^2 \frac{(1 - f)}{G_c}$$

B1, B2 är konstanter som beror på belastningen se Tabell 11.3

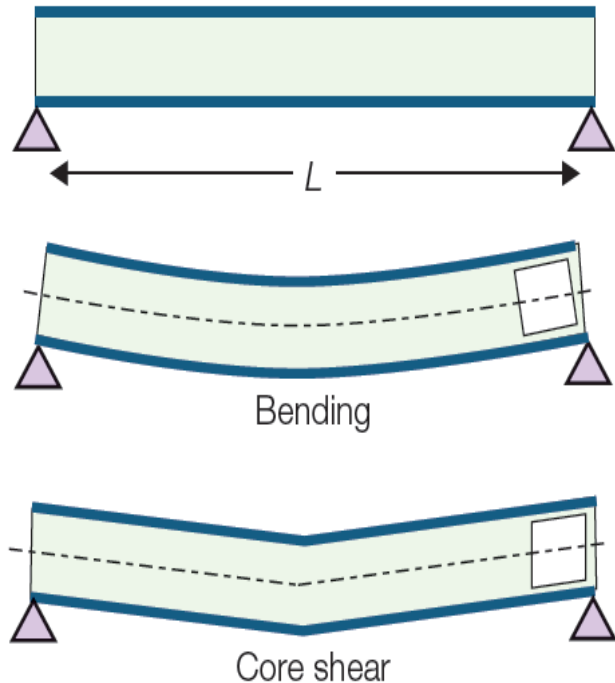
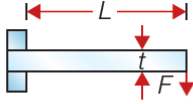
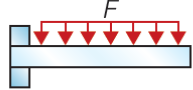
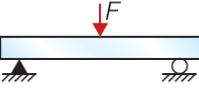
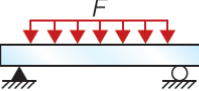
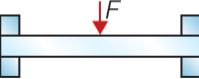
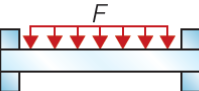


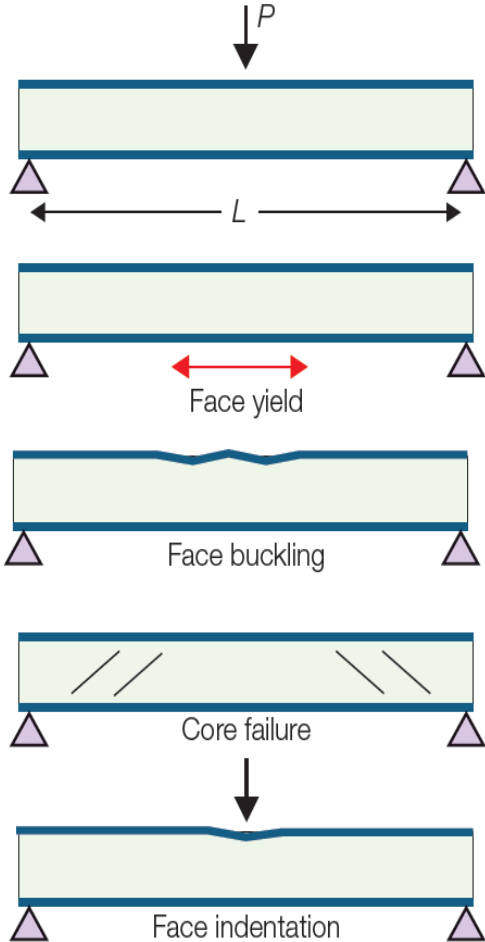
Figure 11.14

Konstanter för olika belastning

Table 11.3 Constants to Describe Modes of Loading

Mode of Loading	Description	B_1	B_2	B_3	B_4
	Cantilever, end load	3	1	1	1
	Cantilever, uniformly distributed load	8	2	2	1
	Three-point bend, central load	48	4	4	2
	Three-point bend, uniformly distributed load	384/5	8	8	2
	Ends built in, central load	192	4	8	2
	Ends built in, uniformly distributed load	384	8	12	2

Brottmekanismer för sandwichpaneler



- Det finns flera brottmekanismer för sandwichpaneler
- Brottmekanismen med lägst styrka ger oss den ekvivalenta brottböjspänningen

- Plasticering av täckskikt

$$\tilde{\sigma}_{flex1} = \left(1 - (1-f)^2\right) \sigma_f + (1-f)^2 \sigma_c$$

- Buckling av täckskikt

$$\tilde{\sigma}_{flex2} = 1.14 f (E_f E_c^2)^{1/3}$$

- Skjuvning av kärnan

$$\tilde{\sigma}_{flex3} = \frac{B_4}{B_3} \left\{ 4 \frac{L}{d} (1-f) \tau_c + f^2 \sigma_f \right\}$$

Figure 11.15

Optimering av en lätt och styv panel

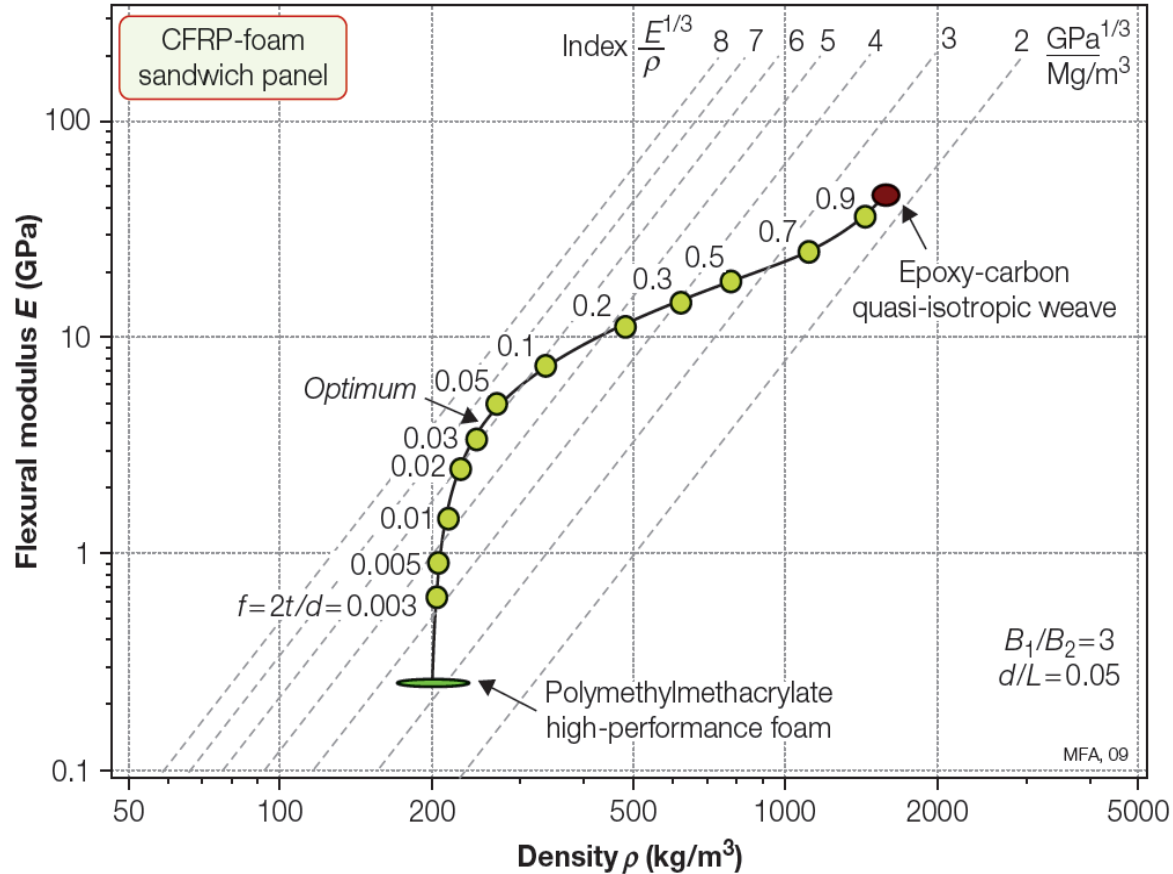


Figure 11.18

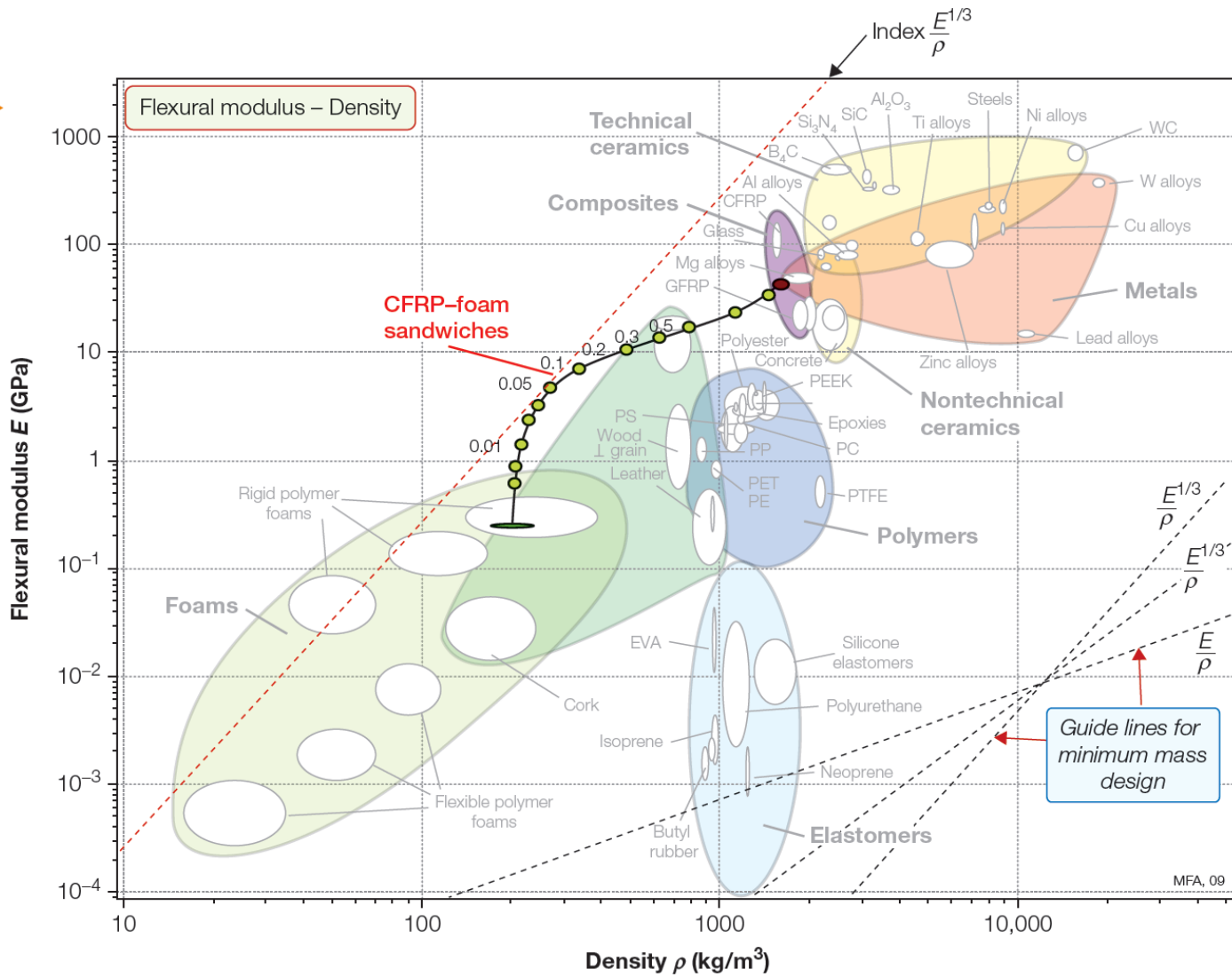


Figure 11.20

Optimering av en lätt och stark panel

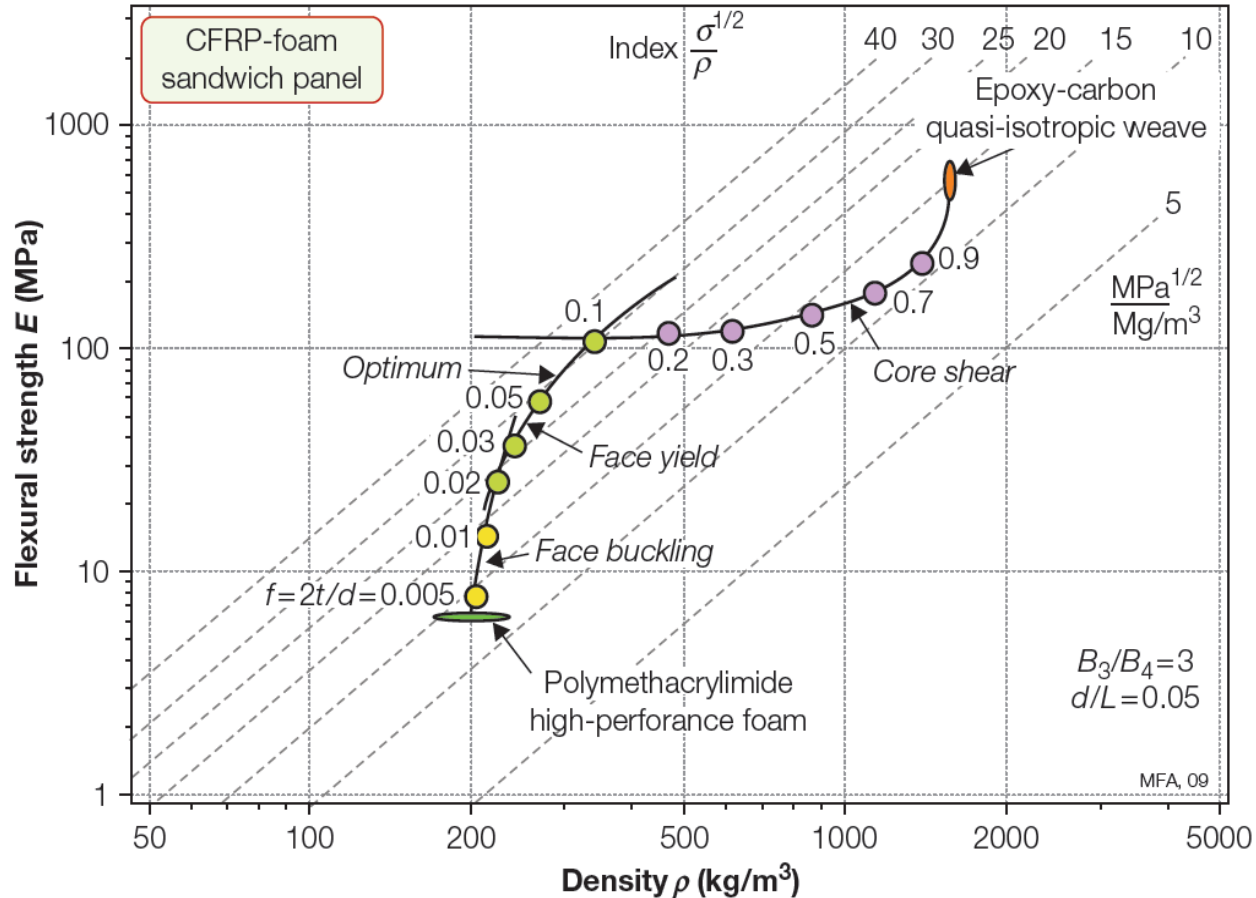


Figure 11.19

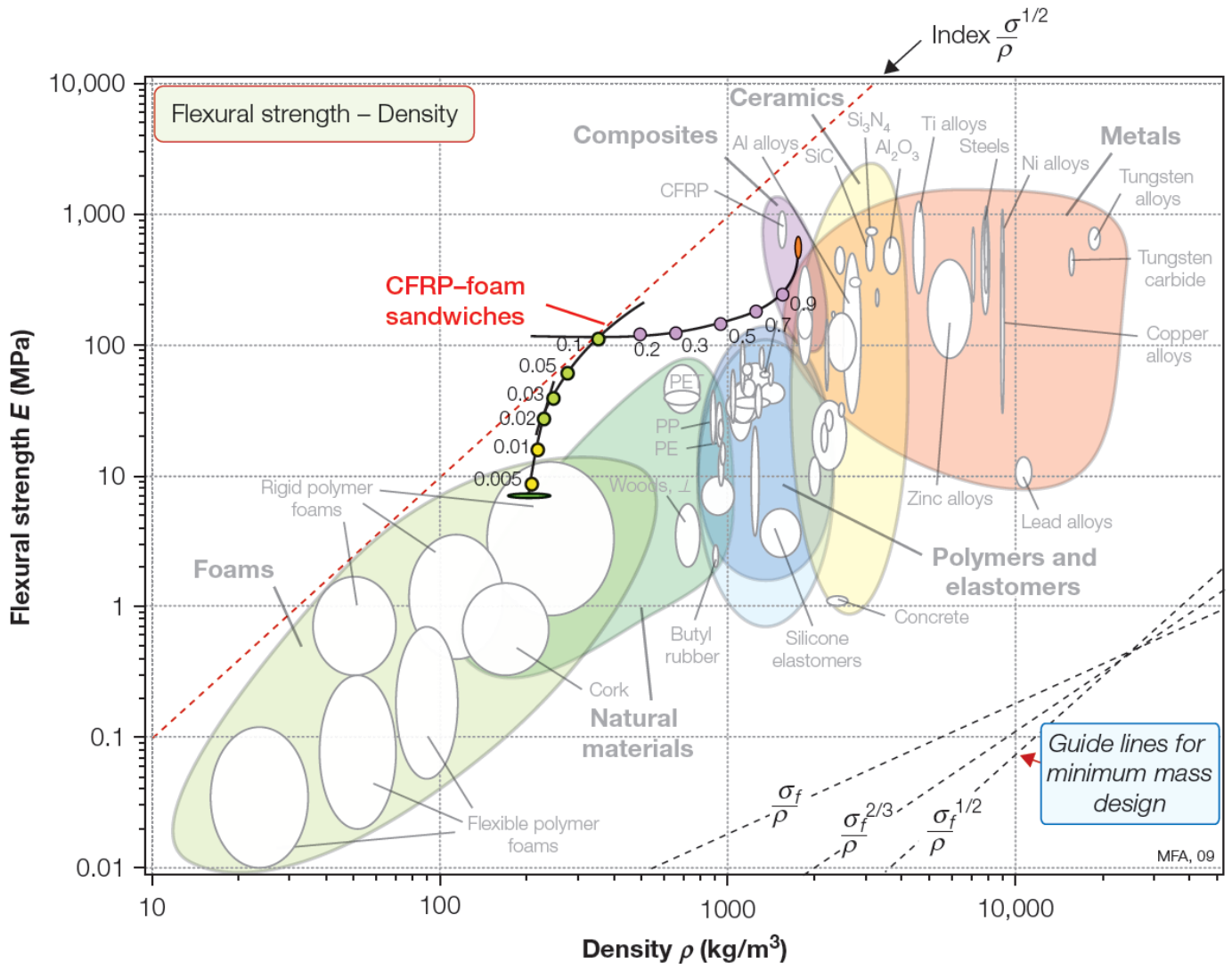


Figure 11.21



Paus

- En liten bensträckare

Fallstudier: Hybrider





Exempel: Metallmatrixpanel

Table 12.1 Design Requirements for the Material of the Panel

Function	Light, stiff beam
Constraint	Magnesium matrix
Objective	Maximize stiffness to weight in bending (index $E^{1/2}/\rho$)
Free variable	Choice of reinforcement and volume fraction

Table 12.2 Superposition Rules for Composite Density and Modulus*

Property	Lower Bound	Upper Bound
Density	$\tilde{\rho} = f \rho_r + (1-f) \rho_m$ (exact)	
Modulus	$\tilde{E}_L = \frac{E_m E_r}{f E_m + (1-f) E_r}$	$\tilde{E}_U = f E_r + (1-f) E_m$

* Subscripts *m* and *r* mean “matrix” and “reinforcement”; *f* = volume fraction.

Möjliga metallmatriskompositer

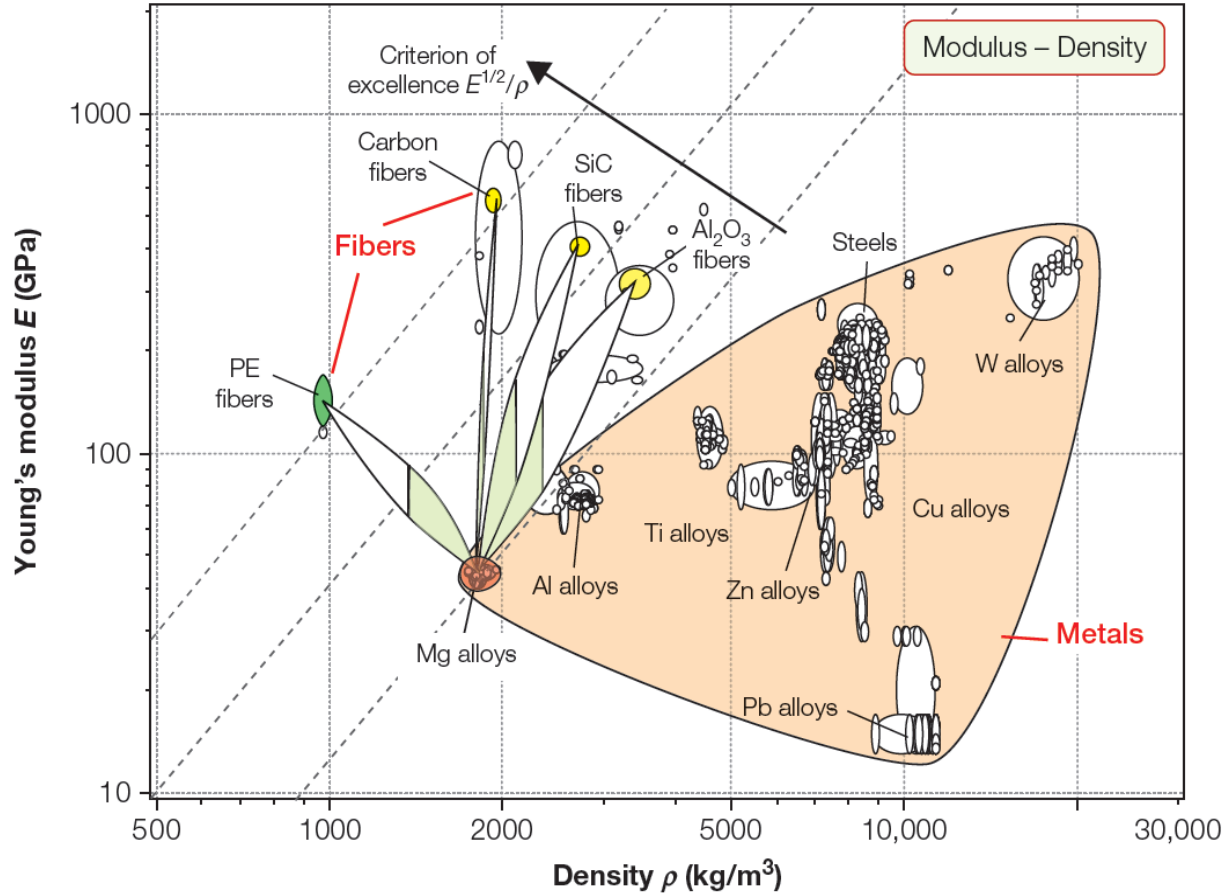


Figure 12.1

Kompositberäkning i Solidworks

Här följer en kort beskrivning av hur en komposit kan beräknas i SolidWorks.

Beräkningen utgår från ett enkelt lastfall, som på bilden.



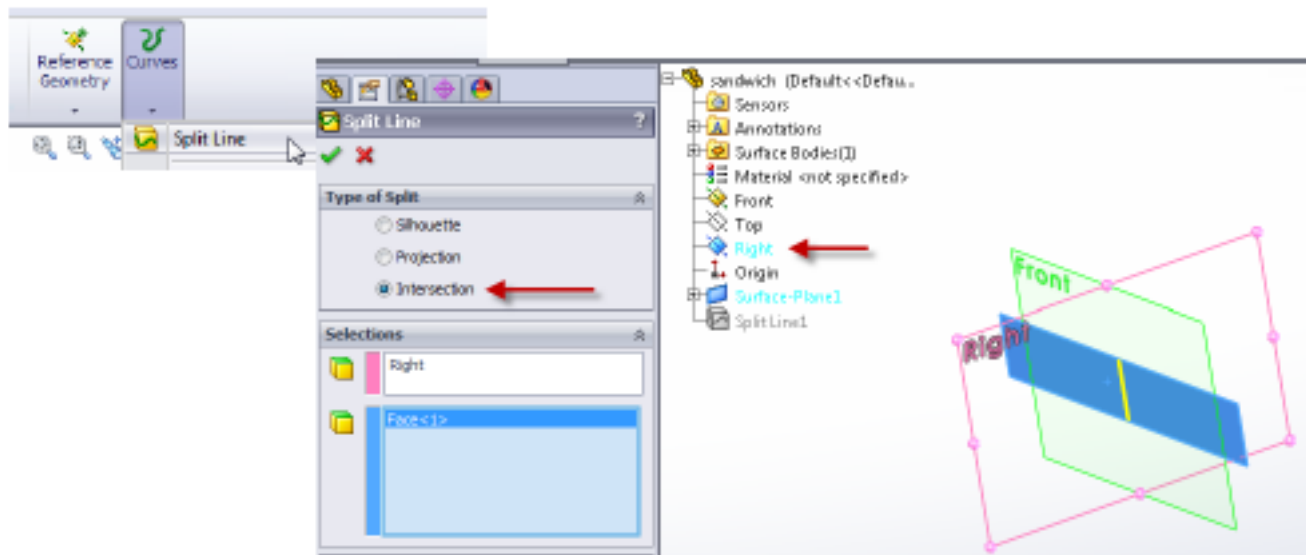
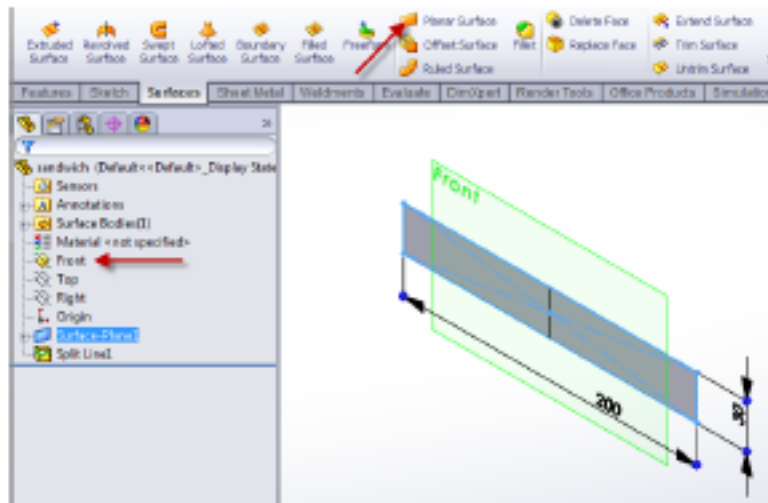
Kriterier

- Modell som kan definieras med en jämntjock yta
- Materialdata, linjärt ortotropiskt
- Randvillkor

Ytmodell

Skapa modellen som en Surface, dvs. en 2D-yta. Exemplet utgår från en enkel platta 30x200, skapad symmetriskt på Front Plane för att koordinataxlarna ska stämma med materialdefinitionen längre fram.

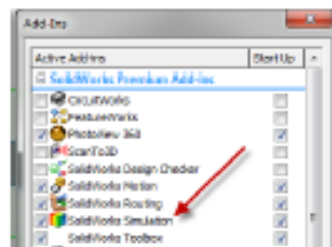
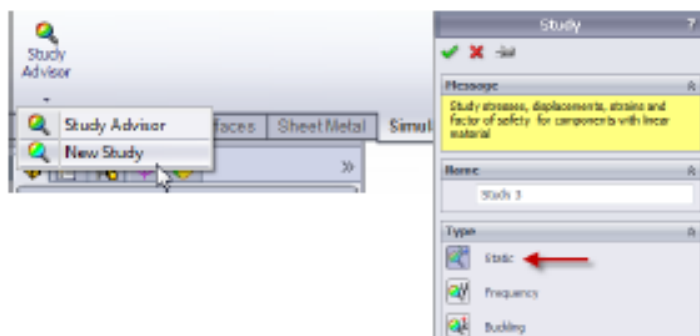
Krafter läggs på utefter kanter, i en punkt där kanter möts, eller på en hel yta. Eftersom kraften ska angripa mitt på ytan, behövs en kant. Denna skapas enklast med en Split Line, där Right Plane skär modellen.



SW Simulation

Modulen aktiveras genom Tools > Add-ins...

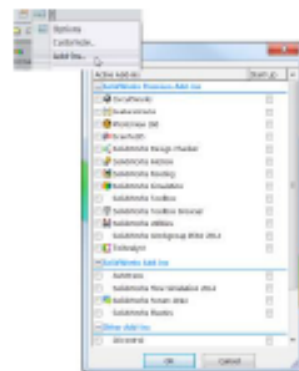
En beräkning kallas "Study", och i exemplet används Static som utgångsläge.



Eventuellt kan problem uppstå om endast "Static" är aktiverat. Normalt ska det se ut som på bilden ovan, där ett antal olika analystyper finns med (Frequency, Buckling...).

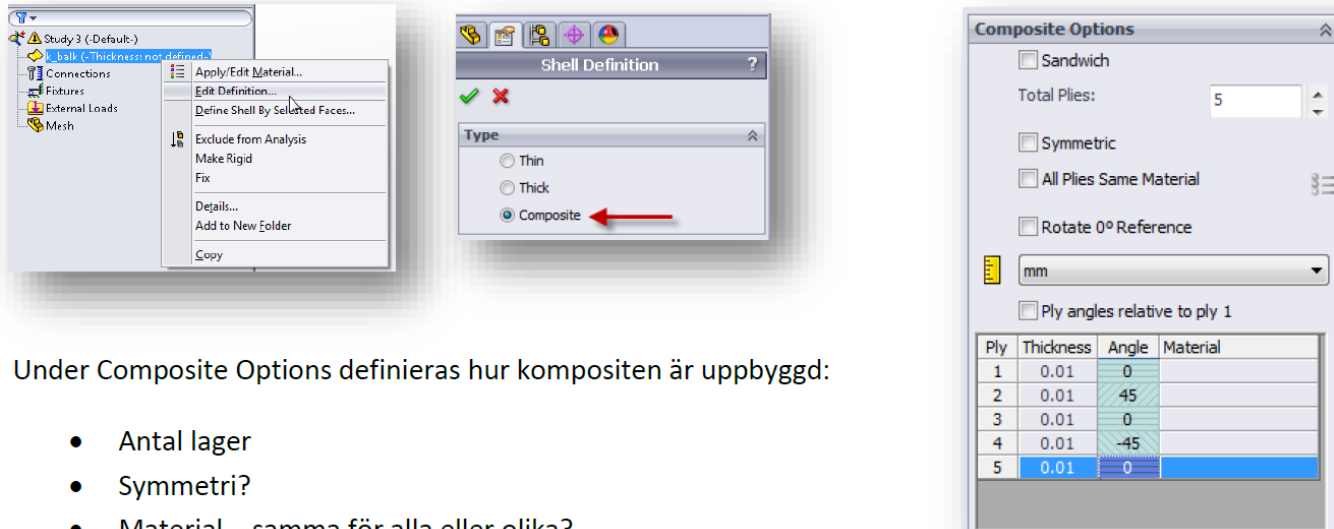
Syns endast "Static" beror det på en bugg i licenshanteraren. Detta kan oftast (inte alltid) lösas genom att:

- Avmarkera allt i Add-in-rutan
- Starta om SolidWorks
- Därefter aktivera endast Add-in "Simulation".



Definition av komposit

Högerklicka på ikonen som representerar ytan och välj Edit Definition och därefter Composite.



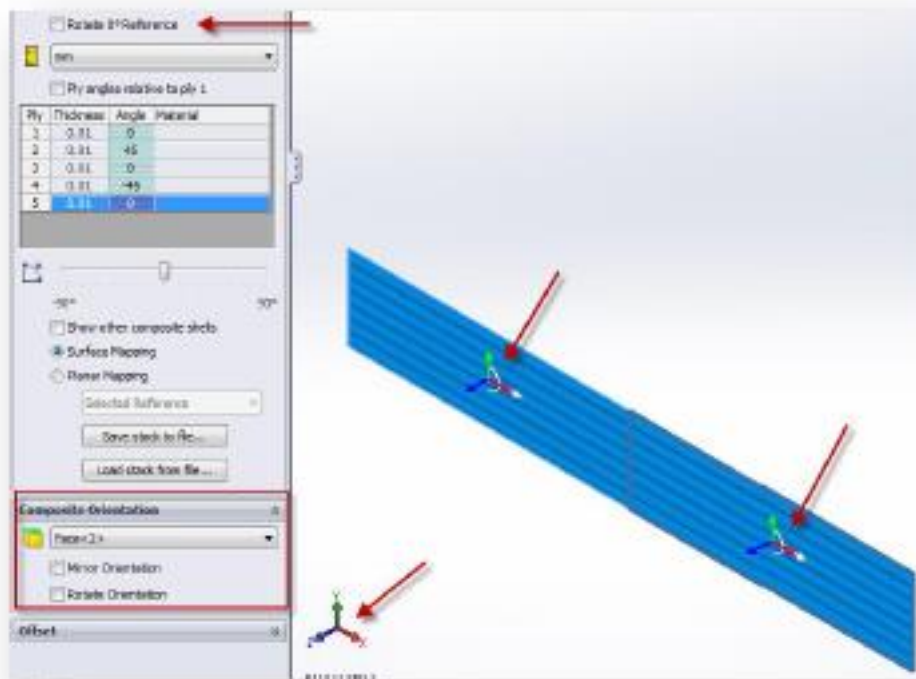
Under Composite Options definieras hur kompositen är uppbyggd:

- Antal lager
- Symmetri?
- Material – samma för alla eller olika?
- Lagertjocklek
- Lagrets vinkel

På bilden är fem lager upplagda. Material och lagertjocklek ännu ej satt.

Koordinatsystem

Det är viktigt att koordinaterna stämmer överens med hur materialet är tänkt att ligga. För att slippa förvirring är det enklast att låta kompositen orienteras enligt koordinatsystemet i SW. Använd "Composite Orientation".



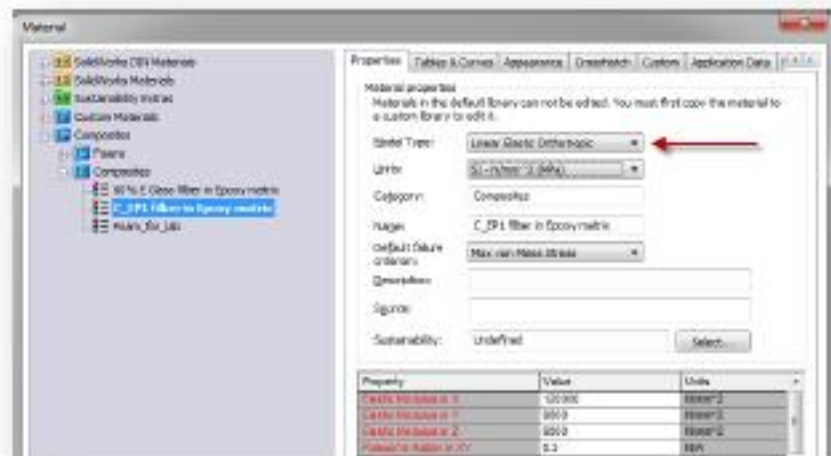
Material

Enklast är förstås om alla lager har samma material. Klicka på materialikonen för att välja/redigera material.



Befintligt material

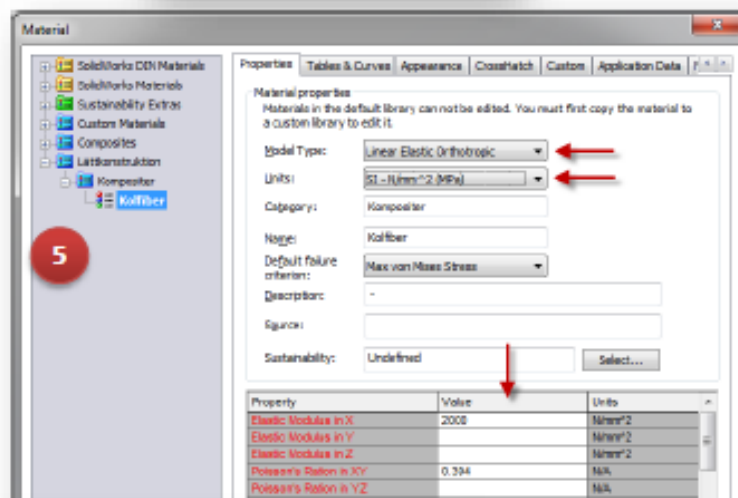
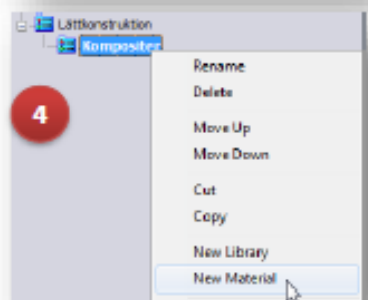
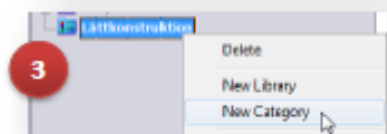
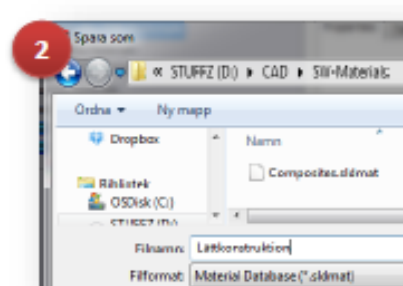
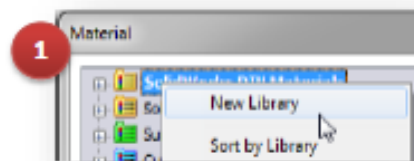
Välj ur listan. Se till att rätt materialmodell är vald: Linear Elastic Orthotropic.



Nytt material

Förutsätter att materialdata finns från leverantör, CES Selector eller annan källa.

1. Skapa ett nytt materialbibliotek(Högerklick > New Library)
Lägg biblioteket någonstans där du kommer åt det – hemkatalog, egen dator...
2. Skapa en ny kategori(Högerklick > New Category)
3. Skapa nytt material(Högerklick > New Material)
4. Byt materialmodell till linjärt ortotropiskt, och enhet till MPa.
5. Mata in data för E-modul i x, y, z osv.
6. Lägg till sökvägen till ditt materialbibliotek i Tools > Options > File Locations.

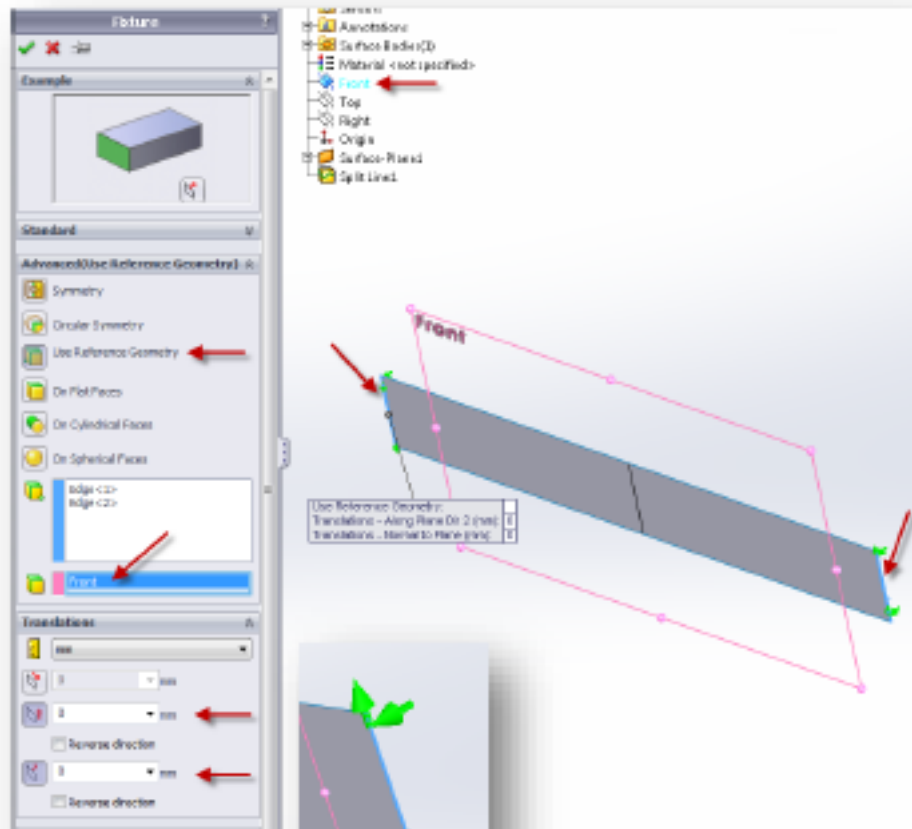
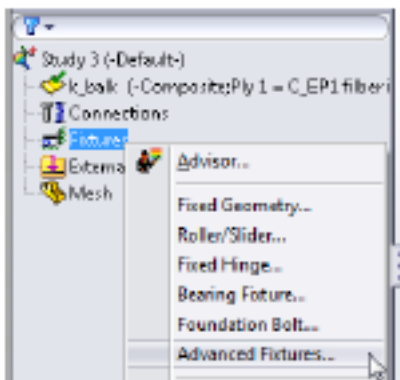


Upplägg för beräkning



Fixtures

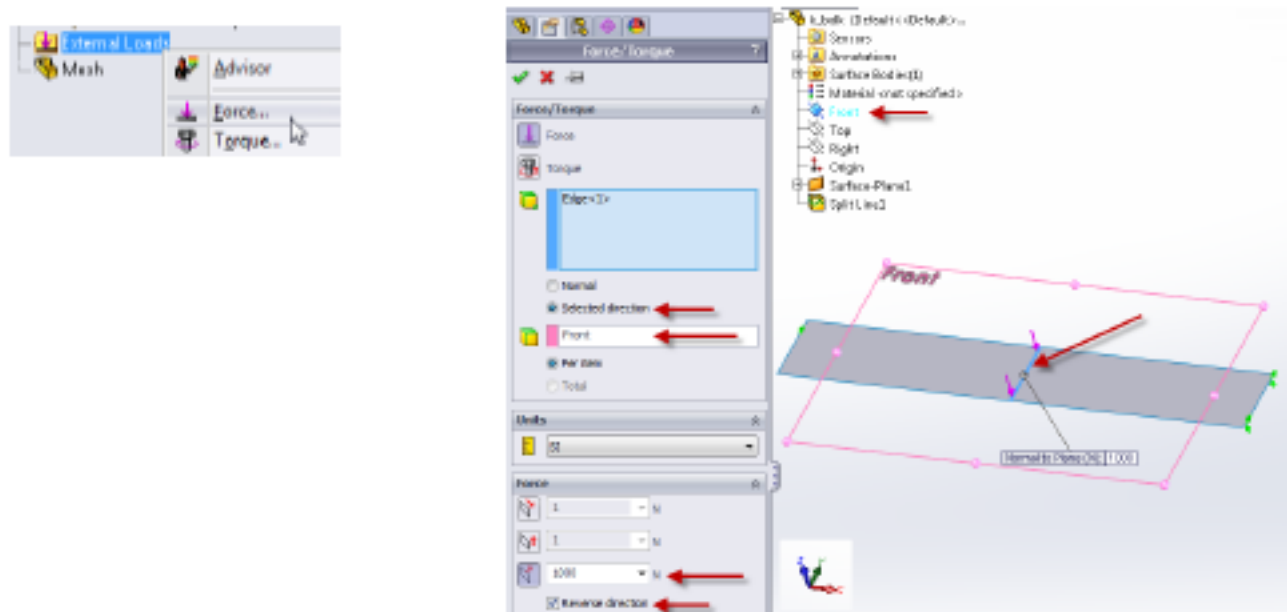
Balkens ändrar ska inte vara fast inspända. Högerklicka på Fixtures och välj Advanced Fixtures. Markera Reference Geometry, välj de två kanterna på modellen och Front Plane som referensriktning. Den första riktningen får vara fri – omarkerad – och de andra två sätts till 0. Resultatet blir att ändarna kan röra sig i X-riktning men inte i Y eller Z.



Loads

Högerklicka på External Loads, välj Force. Markera linjen där kraften ska angripa, och Front Plane som referensriktning. Ange kraft i normalens riktning, välj Reverse om kraften går åt fel håll.

Exemplet använder 1000 N.



Mesh

Operationen delar upp modellen i finita element. Flytta inställningen närmare "Fine" för att få en noggrannare beräkning.



Kör simuleringen

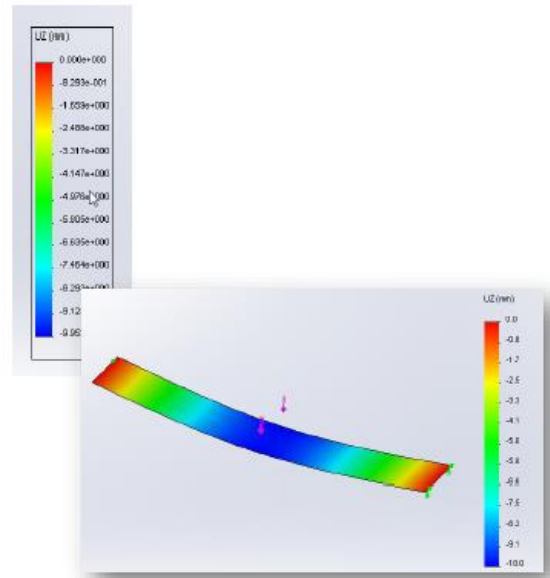
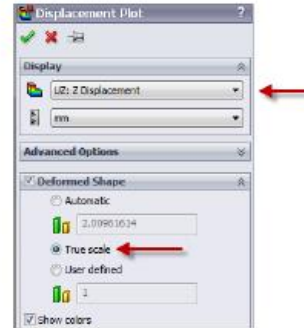


Analysera resultatet

Displacement

Högerklicka på Results-mappen och välj Displacement Plot. Ange Z som riktning, och True scale, därefter Ok.

Dubbelklicka på färgskalan och byt till "Floating" och en decimals noggrannhet. Resultatet bör se ut som på nedersta bilden.



Stress

Högerklicka på Results, välj Stress Plot. Klicka på häftstiftet för att hålla dialogrutan öppen. Byt till X normal stress, MPa och därefter ett lager i taget. Ok:a efter varje lager (grön bock) för att se plotten. Markera "Display results in ply direction" om färgerna inte visas korrekt. (Möjlig bugg.)

