

Trykk tvers på fiber

Eurocode 5 - trykk tvers på fiberretning,

- regler
- bakgrunn
- forsøksresultater

Nils Ivar Bovim

UMB, Institutt for Matematiske realfag og Teknologi

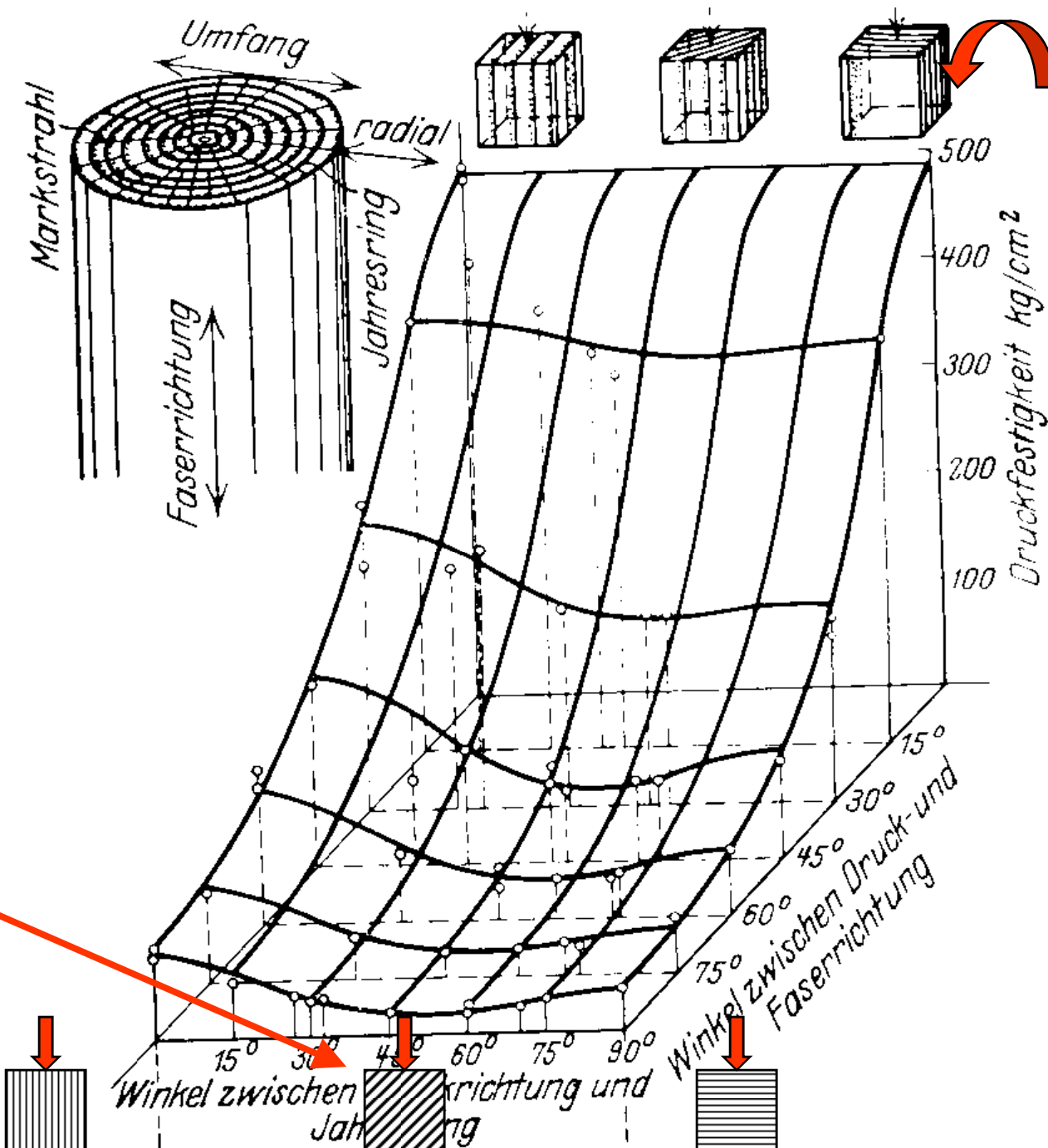
Egen rådgivende ingeniør virksomhet for trekonstruksjoner

Trevirke, trykk tvers på fiber (Kohlmann)

Trykkfasthet i forhold til ulike akseretninger:
 $f_{c,90^\circ}$ ligger på 4 – 8 N/mm²

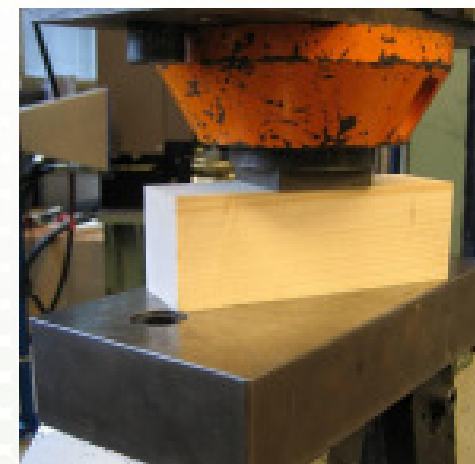
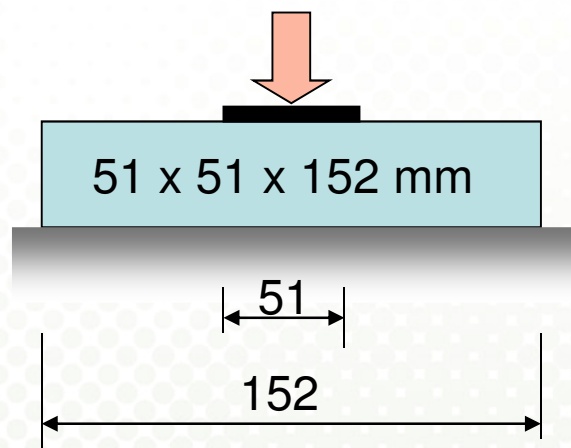
Eksempel:

Brudd ved opplegg i høy trebjelke

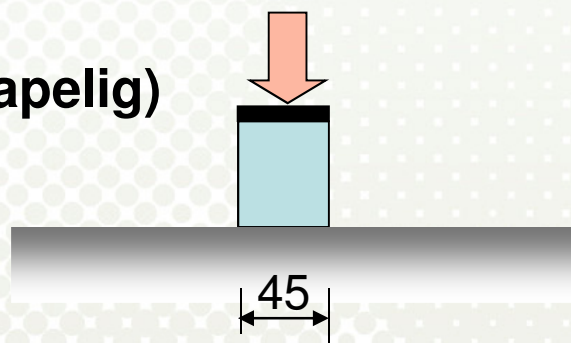


Et "hovedproblem" er skifte av standard testmetode

ASTM – D143
Australsk metode
(teknologisk)



Europeisk (vitenskapelig)
metode EN 408

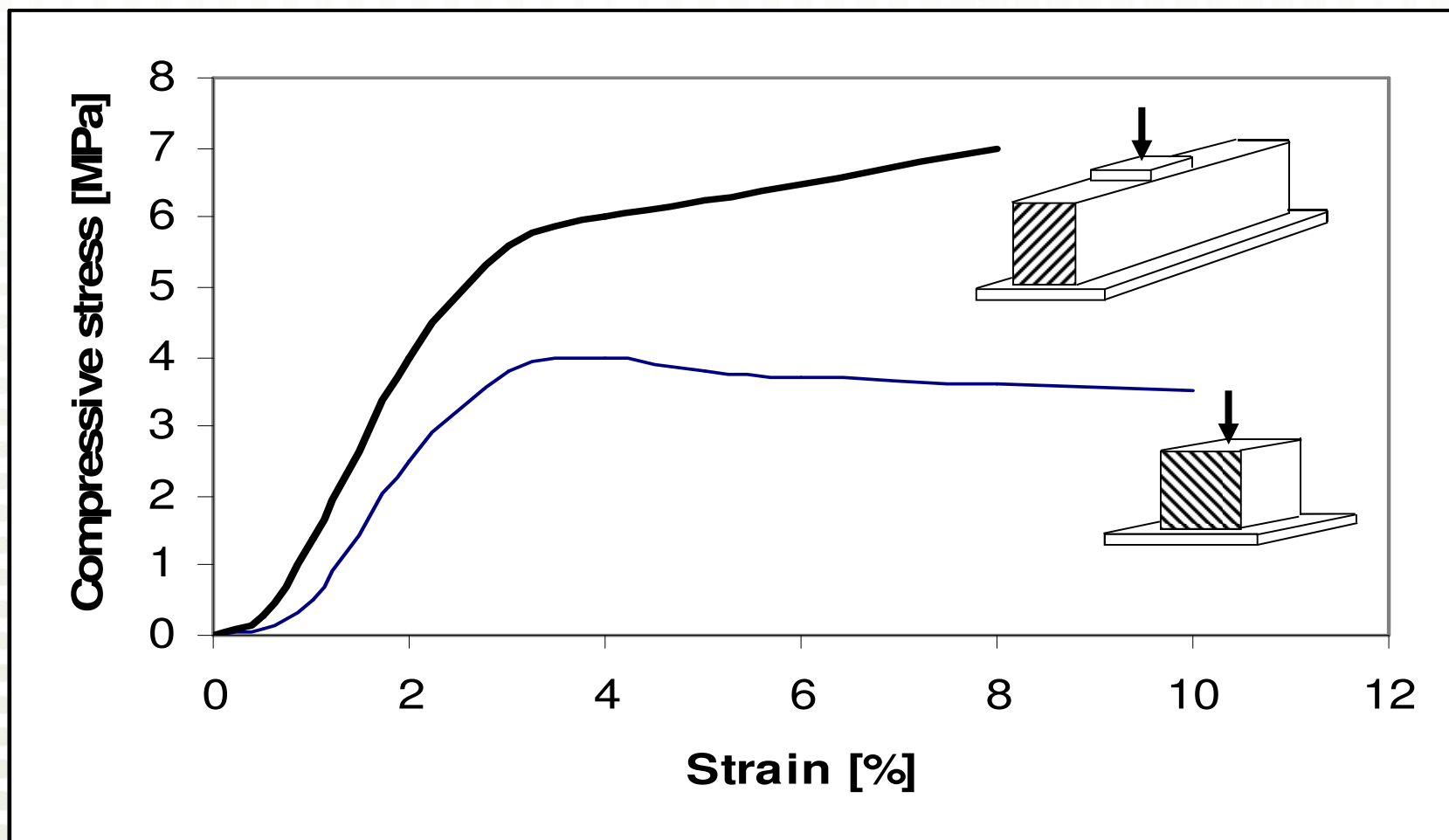


Trykkfasthet tvers fiber = $f_{c,90}$

Poussa et al.
Proc.:CIB-W18-2007:
paper 40-2-2

Typiske resultater fra standard testmetoder

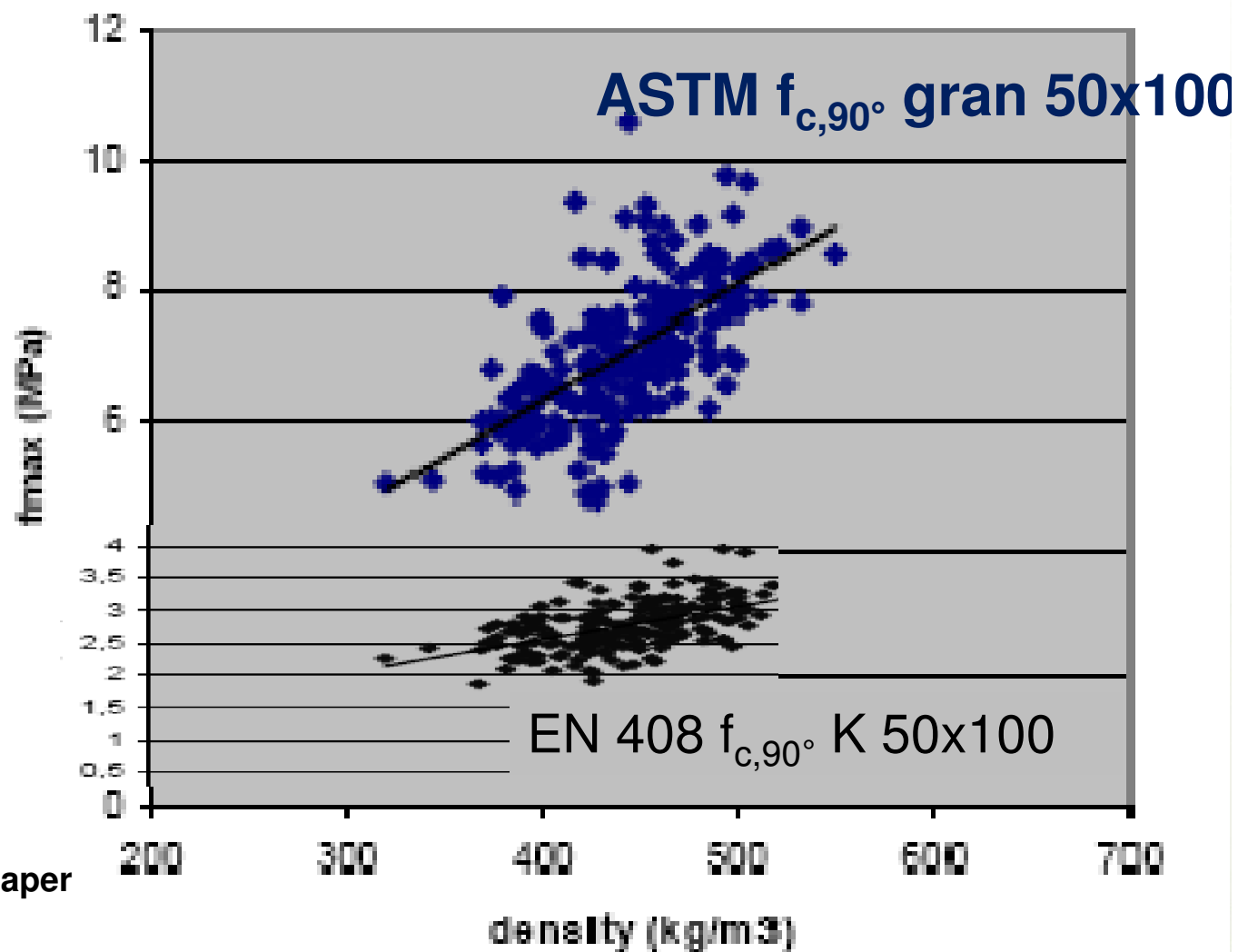
Trykkspenning $\sigma_{c,90}$



Sammenligning av tester vedr. trykk - densitet

ASTM COMP 90deg
(from spruce 50x100)

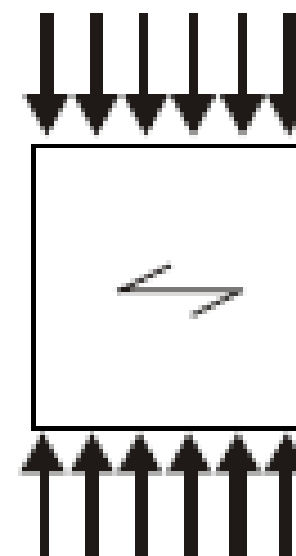
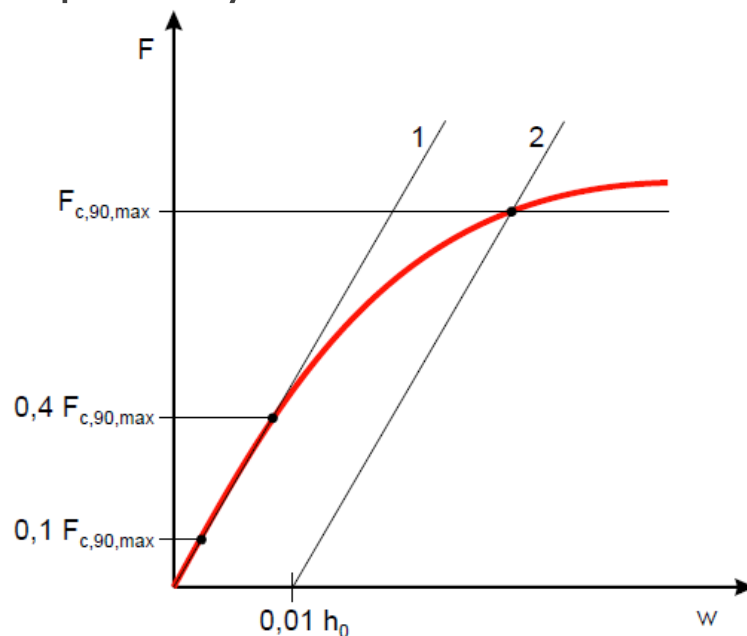
$$R^2 = 0,427$$



Ref: Poussa et al.
Helsinki CIB-W18 paper
40-2-2

EN 408:2005 Definisjon på maksimal bruddlast for $f_{c,90}$

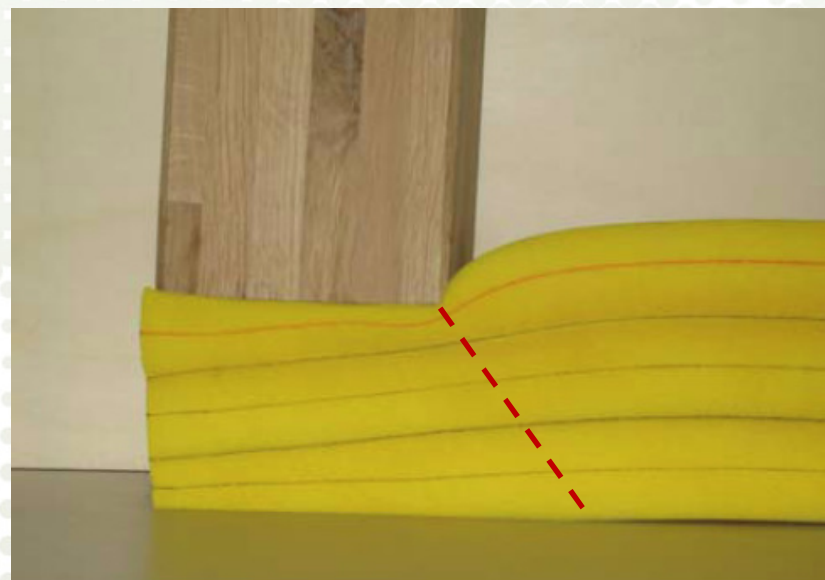
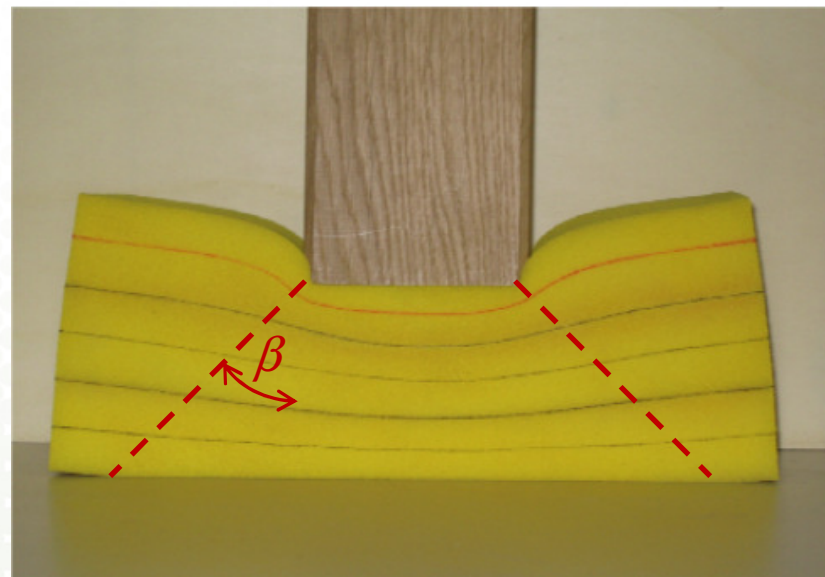
- Ny prøvem metode basert på konstant trykk over hele prøvestykket
- Ny bruddlast-definisjon: tøyning $\varepsilon = 0,01$ (dvs. 1% av h) som svarer til 0,5 mm for 50 mm høyt prøvestykke
- Prøvestykker for test av $f_{c,90}$ for limtre skal ha størrelse: $b \times l = 25\ 000\ \text{mm}^2$, $b_{\min} = 100\ \text{mm}$, $h = 200\ \text{mm}$
- Mindre prøvestykker for heltre



Definition of the maximum compression load perpendicular to the grain in accordance with EN 408:2005

Illustrasjon av såkalt "hengekøye-effekt" pga fibrene

- Når trykkflaten ikke dekker hele prøvestykket, økes bæreflatten etter at lokalt brudd opptrer under lasten
- Spredningsvinkelen er noe omstridt, fra 30° til 56°
- For å få full hengekøye-effekt må vi ha en endeavstand.
- Endeavstanden har litt forskjellig innvirkning på styrke og stivhet



Styrkeklasser NS 3470-1, 5.utgave 1999

 Verdier i N/mm²

Fasthetsverdier		Fasthetsklasser iht. NS-EN 338				
		C14	C18	C24	C30	C40
Bøyning	f_{mk}	14,0	18,0	24,0	30,0	40,0
Strekk						
- i fiberretningen	f_{t0k}	8,0	11,0	14,0	18,0	24,0
- på tvers av fiberretningen	f_{t90k}	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
Trykk						
- i fiberretningen	f_{c0k}	16,0	18,0	21,0	23,0 ⁴⁾	26,0 ⁴⁾
- på tvers av fiberretningen	f_{c90k}	4,3	4,8	5,3	5,7	6,3
Skjær ¹⁾	f_{vk}	1,7	2,0	2,5	3,0	3,8
For stabilitetsberegninger ²⁾ :						
	E_0	4 700	6 000	7 400	8 000	9 400
For beregninger av forskyvninger ³⁾ og deformasjoner						
	E_0	7 000	9 000	11 000	12 000	14 000
	E_{90}	230	300	370	400	470
	G	440	560	690	750	880
Densitet (kg/m ³)	ρ_k	290	320	350	380	420
Densitet (kg/m ³)	ρ_{mid}	350	380	420	460	500

¹⁾ Rulleskjærfastheten kan settes lik $f_{vk}/2$.
²⁾ De angitte verdier representerer 5 % fraktilverdier. E_{90} kan settes lik $E_0/30$.
³⁾ De angitte verdier representerer middelverdier.
⁴⁾ For nordisk gran og furu kan f_{c0k} settes 27,0 N/mm² for C 30 og 32,0 N/mm² for C 40.

Tabell 13 – Karakteristiske fasthetsverdier, stivhetsmoduler samt densitet for limtre.

 Verdier i N/mm²

Tverrsnittoppbygging:		Kombinert			Homogent		
Fasthetsklasser ¹⁾		GL28c	GL32c	L40	GL28h	GL32h	GL36h
Bøyefasthet	f_{mk}	28	32	36	28	32	36
Strekk							
- i fiberretn.	f_{rok}	16,5	19,5	22,5	19,5	22,5	26
- på tvers av fiberretn.	f_{r90k}	0,4	0,45	0,5	0,45	0,5	0,6
Trykk							
- i fiberretn.	f_{c0k}	24	26,5	29	26,5	29	31
- på tvers av fiberretn.	f_{c90k}	5,3	5,7	6,3	5,3	5,7	6,3
Skjær	f_{vk}	2,7	3,2	3,0	3,2	3,8	4,3
For stabilitetsbereninger ²⁾ :							
	E_0	10200	11100	11900	10200	11100	11900
For beregning av forskyvninger ³⁾ :							
	E_0	12600	13700	14700	12600	13700	14700
	E_{90}	390	420	460	420	460	490
	G	720	780	850	780	850	910
Densitet (kg/m ³)	ρ_k	380	410	430	410	430	450

¹⁾ Oppbygging av tverrsnitt som tilfredstiller de av Norsk Limtrekontroll, evt. være spesifisert i

²⁾ De angitte verdier representerer 5%-fraktilverd

³⁾ De angitte verdier representerer middelverdier

For standard limtrekvalitet **L40** produsert av bedrift tilsluttet Norsk Limtrekontroll kan verdier for fasthetsklasse GL36c benyttes, med unntak av verdien for $f_{v,k}$ som da settes lik **3,0** N/mm²

Tidligere verdier for $f_{c,90,k}$ fra EN 1194:1999

Tabell 13 – Karakteristiske fasthetsverdier, stivhetsmoduler samt densitet for limtre.

Verdier i N/mm²

Tverrsnittoppbygging:		Kombinert			Homogent		
Fasthetsklasser ¹⁾		GL28c	GL32c	GL36c	GL28h	GL32h	GL36h
Bøyefasthet	f_{mk}	28	32	36	28	32	36
Strekk							
- i fiberretn.	f_{t0k}	16,5	19,5	22,5	19,5	22,5	26
- på tvers av fiberretn.	f_{t90k}	0,4	0,45	0,5	0,45	0,5	0,6
Trykk							
- i fiberretn.	f_{c0k}	24	26,5	29	26,5	29	31
- på tvers av fiberretn.	f_{c90k}	5,3	5,7	6,3	5,3	5,7	6,3

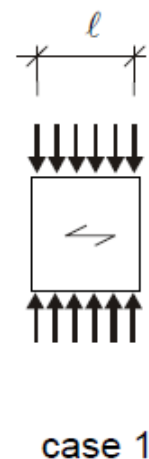
Strength class of the glulam			GL24h	GL28h	GL32h	GL36h
Tensile strength of the board acc. to EN 1194:1999	$f_{t,0,1k}$	[N/mm ²]	14,5	18,0	22,0	26,0
homogeneous build-up glulam	$f_{m,g,k}$	[N/mm ²]	24,0	28,0	32,0	36,0
	$E_{0,g,mean}$	[N/mm ²]	11600	12600	13700	14700
	$E_{90,g,mean}$	[N/mm ²]	390	420	460	490
	$f_{c,90,g,k}$	[N/mm ²]	2,70	3,00	3,30	3,60

Tab. 1: Glulam strength classes defined in EN 1194:1999 and appropriate mechanical properties

Trykk tvers på fibrene – nye regler i NS-EN 1995-1-1

Viktige observasjoner fra forsøk:

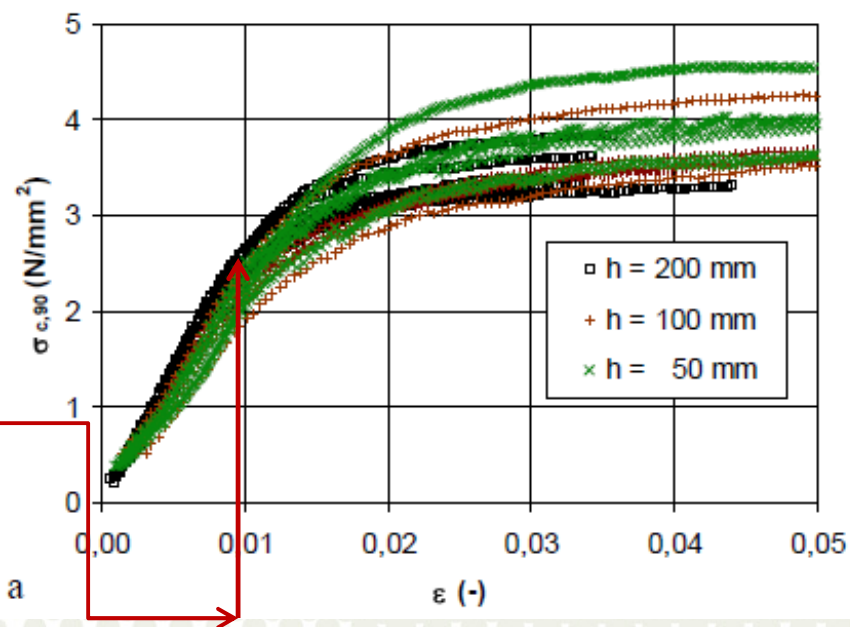
- For prøvestykker der trykkflate og svill-lengde er like, opptrer det trykkbrudd med relativt lave verdier. Ingen lastøkning oppnås etter sammentrykningsbrudd
- Prøvestykkets høyde betyr svært lite for bruddspenningen, se diagram til høyre
- Spenningen er følgelig – og ikke uventet – tilnærmet konstant over hele prøvestykket
- Proporsjonalitetsgrensen for deformasjoner ligger på ca.1% tøyning. Ved spenning svarende til 2 % tøyning øker deformasjonene dramatisk



Prøvemethode for $f_{c,90,k}$ i hht EN 408:2005

Tester viser 5%-fraktilverdier på (95% av resultatene ligger høyere enn denne verdien) :

$$f_{c,90,k} = 2,7 - 3,6 \text{ N/mm}^2$$



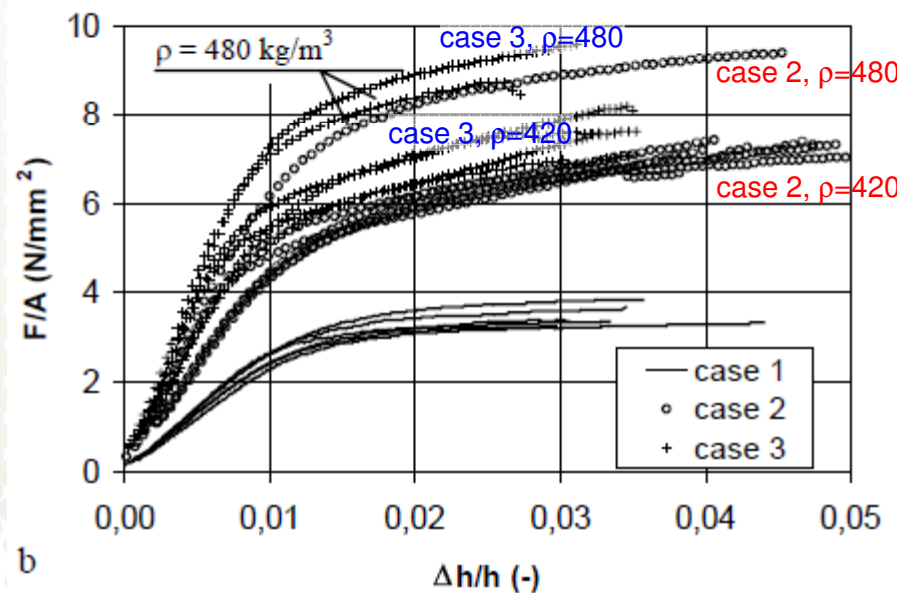
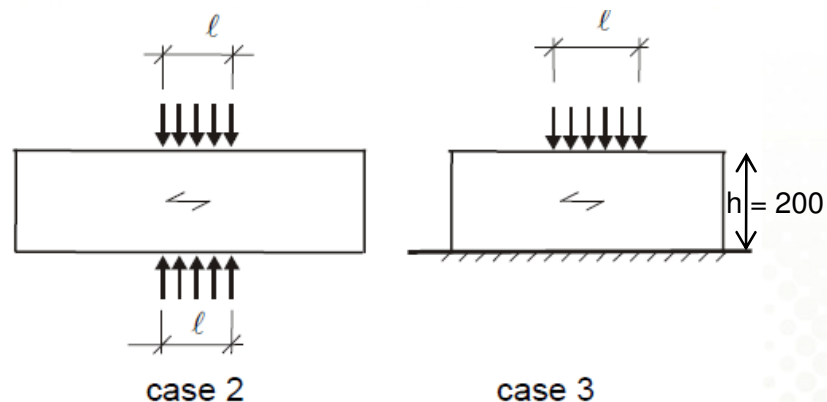
Spennings - tøyingsdiagram

Trykk tvers på fibrene – delvis belastet prøvestykke

Viktige observasjoner fra forsøk med prøvestykker der trykkflaten dekker bare en del av prøvestykket

- Trykkspenningen på y-akse gjelder lokalt trykk under lasten ($b \times l$)
- Først opptrer det et lokalt trykkbrudd under platen, deretter får man en lastøkning og økte deformasjoner.
- Virkesender og -deler utenfor trykkflaten gir økt bruddlast (case 2 og 3 sml. med case 1)
- Metoden i NS-EN 1995-1-1 baseres på at effekten av økt trykkflate kan uttrykkes som

$$A_{ef} = b \cdot \left[l + \min(30; l; a_{venstre}; \frac{l_{1,venstre}}{2}) + \min(30; l; a_{høyre}; \frac{l_{1,høyre}}{2}) \right]$$

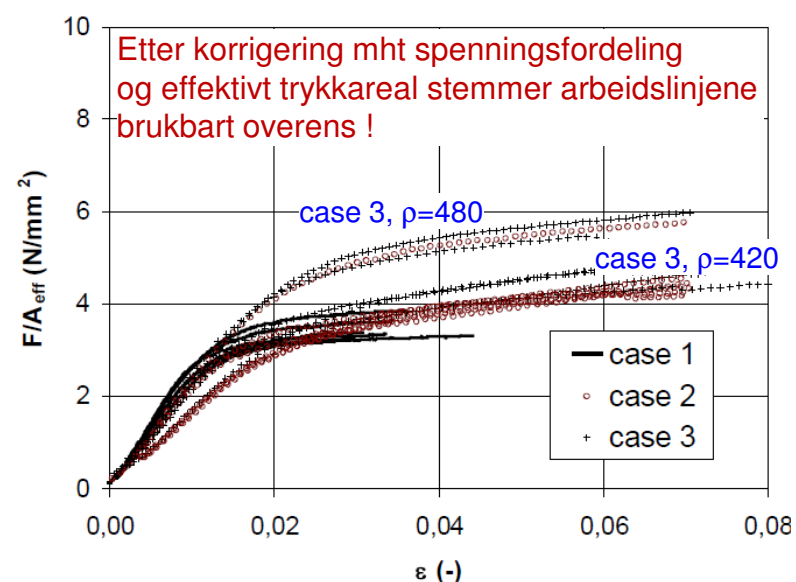
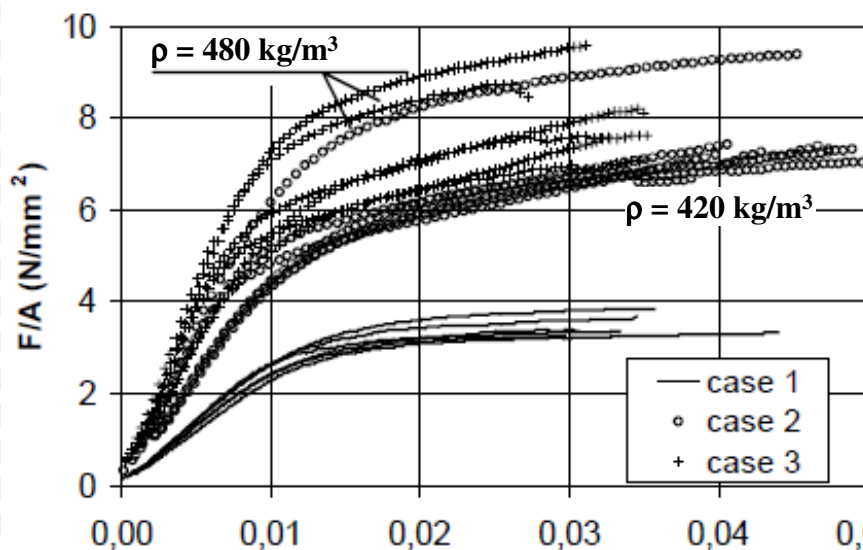
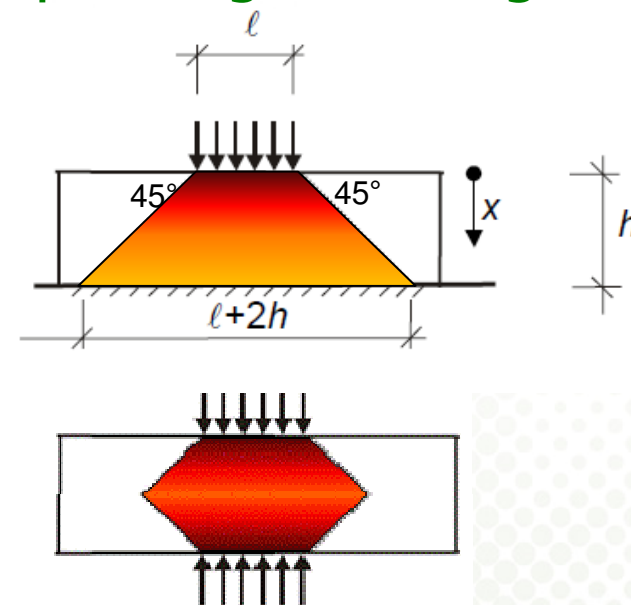


Spennings – tøyingsdiagram
Virkestykkelse $h = 200$ mm

Tverrtrykk tester – omregning pga spenningsfordeling

Vi tar hensyn til at spenningen spres 45° ut fra oppleggsflaten

- Dermed vil spenningen og relativ sammentrykning avta fra trykkflaten og innover i prøvestykket
- Korrigerer sammentrykningen tilsvarende jevnt fordelt spenning som case 1 og trykkspenning tilsvarende A_{ef}
- Resultat for 200 mm høyt prøvestykke er vist i figurene nedenfor



Trykk tvers på fibrene – nye regler i NS-EN 1995-1-1

- a) For midtopplegg i kontinuerlige bjelker og andre steder der tverrtrykkbrudd medfører at bæreevnen reduseres utføres kontroll i bruddgrensetilstanden :

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{b \cdot A_{ef}} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$$

der $k_{c,90} = 1,0$ og effektiv trykkflate A_{ef} er:

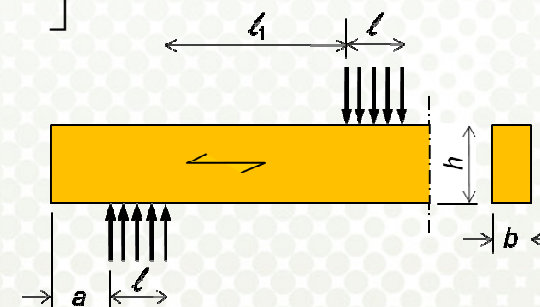
$$A_{ef} = b \cdot \left[l + \min\left(30; l; a_{venstre}; \frac{l_{1,venstre}}{2}\right) + \min\left(30; l; a_{høyre}; \frac{l_{1,høyre}}{2}\right) \right]$$

- b) For sviller og endeopplegg, der noe sammentrykning kan aksepteres, gjøres en spenningskontroll som tilsvarer at spenning i bruksgrensetilstanden ikke skal overstige $\sigma_{c,90,k}$ som gir maksimal sammentrykning på 1%

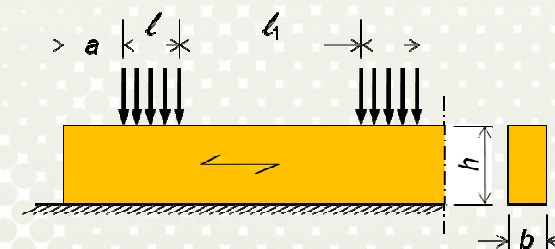
Bruksgrensekravet samsvarer med en økning av dimensjonerende trykkfasthet i bruddgrensetilstanden som beregnes ut fra at gjennomsnittlig lastfaktor $\gamma_f \approx 1,35$ og materialfaktor $\gamma_m = 1,3$ som samlet gir

$$k_{c,90} = 1,35 \cdot 1,3 = 1,75$$

På grunn av risiko for årring-brudd i trevirke er maks. verdien for $k_{c,90}$ redusert til 1,5 for vanlig trevirke.



Endeopplegg



Sviller

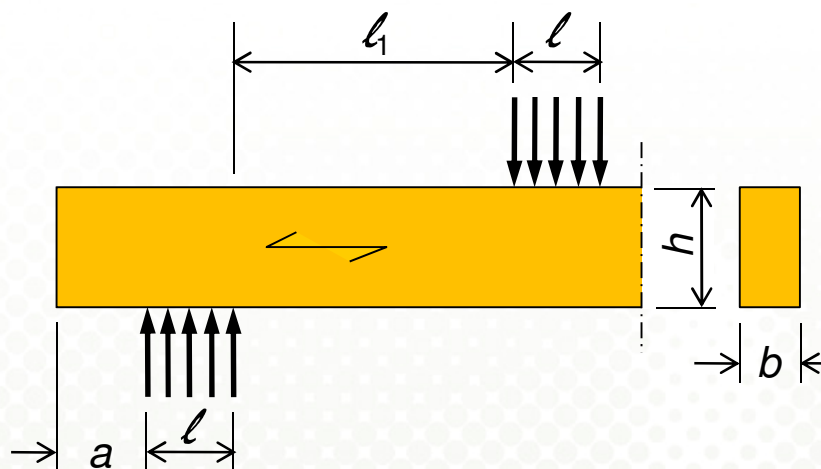
b) NS-EN 1995-1-1 skiller mellom endeopplegg og sviller mht. $k_{c,90}$

For endeopplegg gjelder

$$k_{c,90} = 1,75 \text{ for limtre}$$

$$k_{c,90} = 1,50 \text{ for heltre}$$

På grunn av risiko for årring-brudd er verdien for $k_{c,90}$ redusert til 1,5 for trevirke

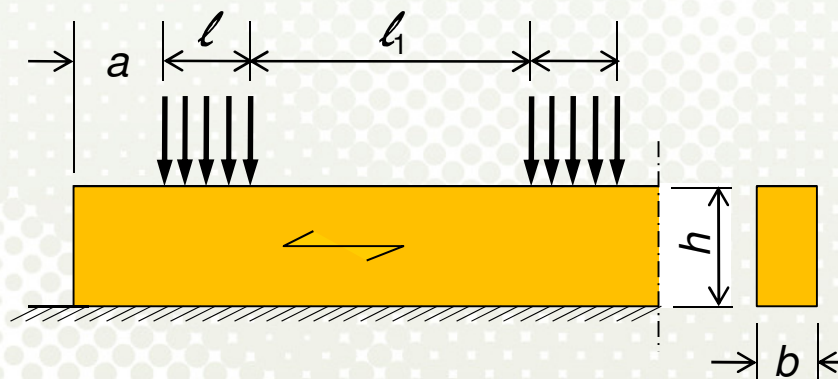


For sviller på kontinuerlig underlag gjelder

$$k_{c,90} = 1,50 \text{ for limtre}$$

$$k_{c,90} = 1,25 \text{ for heltre}$$

Kontinuerlig opplegg gir større deformasjon enn endeopplegg og derfor er verdiene for $k_{c,90}$ redusert med 0,25



Trykk tvers på fibrene – NS-EN 1995-1-1 Forslag

Trykkflatelengde i fiberretningen		36	48	73	98	123	148	173	198
Lef		96	108	133	158	183	208	233	258
Økning lokal kapasitet	Brudd + bruk	2,67	2,25	1,82	1,61	1,49	1,41	1,35	1,30
Økning pga kun def.	Brukskrav	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Trykkfasthet C24	$f_{c,90,k} = 2,5$	8,3	7,0	5,7	5,0	4,6	4,4	4,2	4,1
Dim kap. G+Snø		5,1	4,3	3,5	3,1	2,9	2,7	2,6	2,5
I forhold til NS3470-1		67 %	59 %	53 %	53 %	56 %	62 %	60 %	58 %
NS 3470-1 (1999)		1,760	1,680	1,513	1,347	1,180	1,013	1,000	1,000
Trykkfasthet C24	$f_{c,90,k} = 5,3$	9,3	8,9	8,0	7,1	6,3	5,4	5,3	5,3
Dim kap. G+Snø		7,6	7,3	6,6	5,8	5,1	4,4	4,3	4,3
For lave sviller og for virke armert med spikerplater er ikke argumentet om årring-brudd relevant									
Burde være EC5	Brukskrav 1,75	7,18	6,06	4,91	4,34	4,01	3,78	3,63	3,51
I forhold til NS3470-1		94 %	83 %	75 %	74 %	78 %	86 %	84 %	81 %
Hvis umulig å nå frem med 1,75-faktor argumentet bør NAD kunne angi $\gamma_m=1,0$ for slike situasjoner (regneteknisk t									
Tilpasset EC5	Gamma m 1,0	6,67	5,63	4,55	4,03	3,72	3,51	3,37	3,26
I forhold til NS3470-1		87 %	77 %	69 %	69 %	73 %	80 %	78 %	75 %