

TRÆINFORMATION

Brandtekniske krav og løsninger i træbyggeri

BRANDDIMENSIONERING AF KONSTRUKTIONER I FORSKELLIGE BYGGESYSTEMER Del 1: Bæreevne under brand, **Rev.**

Jacob Ettrup Petersen

Kompetencechef | Trækonstruktioner

M +45 2880 7489

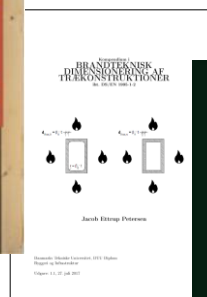
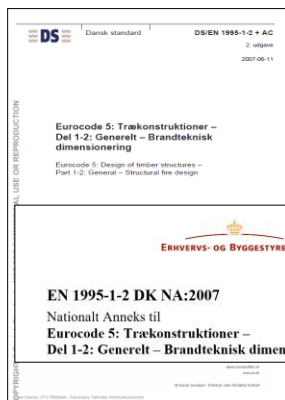
jet@arteliagroup.dk

SIDE 1

1

GRUNDLAG FOR BEREGNING AF BÆRENDE KONSTRUKTIONER

- DS/EN 1995-1-2 + DK-NA
- Supplerende litteratur



SIDE 2

2

GENEREL KLASSIFIKATION

- En bygningsdel klassificeres typisk med
 - **R: Bærende funktion**
 - Sikring af, at konstruktionen bevarer sin bæreevne under brand i et givent tidsrum
 - **E: Integritet**
 - Sikring af, at der ikke opstår flammer eller gasser på den ikke-brandpåvirkede side i et givent tidsrum. E kan typisk bestemmes via tests. E anses dog for opfyldt, hvis I-kravet er beregnet og overholdt iht. DS/EN 1995-1-2 (Eurocode 5, brand), Anneks E.
 - **I: Isoleringskrav**
 - Sikre af, at temperaturen på den ikke-brandpåvirkede side af bygningsdelen ikke overskrider hhv. 140K på hele fladen og 180K lokalt i et givent tidsrum
- E og I slås typisk sammen til ét krav, brandmodstanden EI, for den adskillende funktion.

SIDE 3



3

TEMPERATURFORHOLD UNDER BRAND

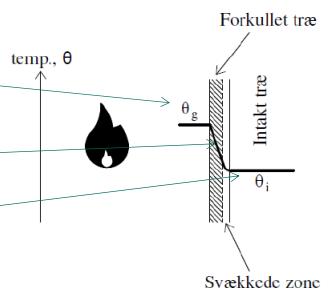
- Ved brandpåvirkning:
 - Forkullingslag (ved ~250-300°C)
 - Forkullingslag virker som "isolering", dvs. temperatur falder gennem denne



θ_g = **Gastemperatur**

**Temperaturfald gennem
forkullingslag og svækkede zone**

θ_i = **Temperatur i intakt konstruktion**



SIDE 4



4



(R) BEREGNINGSMODEL FOR BÆREEVNE

- Styrker
 - Baseret på 20%-fraktil

$$f_{20} = k_{fi} \cdot f_k$$

Tabel 2.1 – Værdier for k_{fi}

Konstruktionsmateriale	k_{fi}
Konstruktions træ	1,25
Limtræ	1,15
Træbaserede pladematerialer	1,15
LVL	1,1
Forbindelser med træbærelastede forbindelsesmidler med sidestykker af træ og træbaserede pladematerialer	1,15
Forbindelser med træbærelastede forbindelsesmidler med sidestykker af stål	1,05
Forbindelser med aksialbelastede forbindelser	1,05

- Regn. styrke i brand

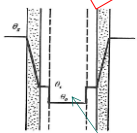
$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}}$$

$\gamma_{M,fi} = 1,0$ jf. DK - NA

SIDE 5

- Simplificeret model for bæreevne gennem trædelen

- Effektivt tværsnit



Effektivt resttværsnit = Mindre tværsnit med højere styrke

- Regnes med et effektivt tværsnit, hvor der ses bort fra forkullet lag + pyrolysezone

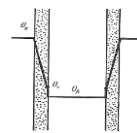
$$d_{ef} = d_{char,0/n} + k_0 \cdot d_0$$

$$k_{mod,fi} = 1,0$$

$d_0 = 7mm$ for normale trækonstruktioner – anderledes for CLT!

J&E

- Styrkeredu



Styrkereduktionsmetoden = Større tværsnit med lavere styrke

N.B.: Gælder kun for 3- og 4-sidet påvirket tværsnit!

- Indbr. = forkullet lag: $d_{ef} = d_{char,0/n}$

- Styrker reduceres pga. højere temperatur:

• Bøjning: $k_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{200} \cdot \frac{p}{A_r}$

• Trykstyrke: $k_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{125} \cdot \frac{p}{A_r}$

• Trækstyrke og E-modul: $k_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{330} \cdot \frac{p}{A_r}$

$A_r =$ Areal af resttværsnit i m^2

$p =$ Omkreds af brandpåvirket tværsnit i m^2

5



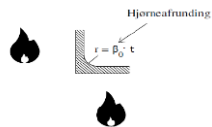
(R) Indbrænding

- Endimensional påvirkning

$$d_{char,0} = \beta_0 t$$

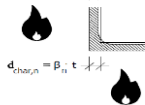
$$b_{min} = \begin{cases} 2 \cdot d_{char,0} + 80 & \text{for } d_{char,0} \geq 13mm \\ 8,15 \cdot d_{char,0} & \text{for } d_{char,0} < 13mm \end{cases}$$

- Ved indbrænding fra flere sider, bevirker det, at hjørner afbrændes fra 2 sider (dvs. afrunding)



- Tænkt indbrænding (indeholder effekt af hjørner og revner)

$$d_{char,n} = \beta_n t$$



$$d_{char,n} = \beta_n t$$

SIDE 6

J&E

Tabel 3.1 – Regningsmæssige indbrændingshastigheder β_0 og β_n for træ, LVL, træbeklædning og træbaserede pladematerialer

	β_0 mm/min	β_n mm/min
a) Nåltræ og beg		
Limtræ med en karakteristisk densitet $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Konstruktions træ med en karakteristisk densitet $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,8
b) Løvtræ		
Konstruktions træ eller limtræ af løvtræ med en karakteristisk densitet $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Konstruktions træ eller limtræ af løvtræ med en karakteristisk densitet $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50	0,55
c) LVL		
med en karakteristisk densitet $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
d) Plader		
Træbeklædning	0,9 ^a	–
Krydsfinér	1,0 ^a	–
Andre træbaserede pladematerialer end krydsfinér	0,9 ^a	–

^a Værdierne gælder for en karakteristisk densitet på 450 kg/m^3 og en pladetykkelse på 20 mm; se 3.4.2(19) for andre tykkelser og densiteter.

(9) For andre karakteristiske densiteter ρ_k og pladetykkelser h_p , mindre end 20 mm kan indbrændingshastigheden beregnes som:

$$\beta_{0,\rho,k} = \beta_0 k_\rho k_h$$

(3.4)

$$k_\rho = \sqrt{\frac{450}{\rho_k}}$$

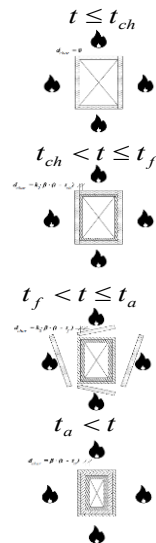
$$k_h = \sqrt{\frac{20}{h_p}}$$

ρ_k er den karakteristiske densitet i kg/m^3
 h_p er pladetykkelsen i millimeter.

6

(R) BESKYTTEDE KONSTRUKTIONER, TIDSINTERVALLER

- Tidsintervaller for beskyttede overflader:
 - Indbrænding er forsinket indtil tidspunktet: t_{ch}
 - Tidspunkt for svigt af beskyttelse: t_f
 - Indbrænding kan begynde, før brandbeskyttelse svigter, men med lavere hastighed end værdier i tabel 3.1
 - Efter svigt forøges indbrændingshastighed indtil: t_a
- Tidspunkt, hvor indbrændingsdybde er lig med den mindste værdi af enten indbrændingsdybden for samme trædel uden brandbeskyttelse eller 25mm: t_a

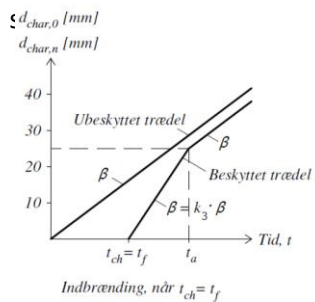


SIDE 7

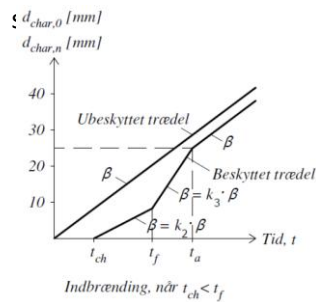
7

(R) BESKYTTEDE KONSTRUKTIONER, TIDSINTERVALLER, INDBRÆNDING

Forløb, hvor indbrænding begynder, når beskyttelse



Forløb, hvor indbrænding begynder, før beskyttelse



SIDE 8

8



(R) BESKYTTEDE KONSTRUKTIONER, INDBR. BEGYNDELSE + SVIGTTIDER

- Et eller flere lag træbaserede pladematerialer eller træbeklædning:

h_p = samlede pladetykkelse [mm]

$$t_{ch} = \frac{h_p}{\beta_0}$$

$$t_f = t_{ch}$$

- Gipsplader, ét lag, type A, F eller H :

NOTE: Gipsplader af typen E, D, R og I i henhold til EN 520 har samme eller bedre termiske og mekaniske egenskaber end type A og H.

- Grænsende op til fyldte fuger eller åbne fuger med en bredde på mindre end 2mm:

$$t_{ch} = 2,8 \cdot h_p - 14$$

- Grænsende op til stød med åbne fuger med en bredde på mere end 2mm:

$$t_{ch} = 2,8 \cdot h_p - 23$$

h_p = pladetykkelse [mm]

- Gipsplader, to lag, type A eller H:

h_p = pladetykkelse af yderste lag + 50% af pladetykkelse af inderste lag [mm]

$$t_{ch} = 2,8 \cdot h_p - 14$$

- Gipsplade, to lag, type F:

h_p = pladetykkelse af yderste lag + 80% af pladetykkelse af inderste lag [mm]

$$t_{ch} = 2,8 \cdot h_p - 14$$

- Stenuldsbatts:

$$t_{ch} = 0,07 \cdot (h_{ins} - 20) \cdot \sqrt{\rho_{ins}}$$

h_{ins} = isoleringsmaterialets tykkelse i mm
 ρ_{ins} = isoleringsmaterialets densitet i kg/m³

$$t_f = t_{ch}$$

Type F

t_f angives af producent!
Konservativt:

$$t_f = t_{ch}$$

Type A & H

$$t_f = t_{ch}$$

SIDE 9



9



(R) BESKYTTEDE KONSTRUKTIONER, INDBR. BEGYNDELSE + SVIGTTIDER

Type	Nedfaldstid, t_f (=tch) [min]
Almindelig gipsplade, type A eller H	
- Ét lag, 12,5mm	21,0
- To lag, 2 x 12,5mm	38,5
Brandgipsplade, type F	
- Ét lag, 15mm	28,0
- To lag, 2 x 15mm	61,6

SIDE 10



10

(R) BESKYTTEDE KONSTRUKTIONER, INDBR. BEGYNDELSE + SVIGTTIDER, CLT

Til 3.4.3.3 Indbrændings begyndelse

(2), (3) og (4)DK NA For CLT bestemmes indbrændings begyndelse iht. tabel 3.1B

Tabel 3.1B DK NA værdier for indbrændings begyndelse, t_{ch} , for beskyttede CLT-elementer

Beklædning	Tykkelse af beskyttelsessystem [mm]*		Indbrændings begyndelse, t_a [min]	
	Lag 1, h_1	Lag 2, h_2	Dæk	Vægge
	Gips, Type A	12,5	-	20
	15	-	27	28
	18	-	34	35
	12,5	12,5	35	39
	15	15	45	49
Gips, Type F	12,5	-	24	24
	15	-	30	30
	18	-	37	37
	12,5	12,5	49	49
	15	15	60	60
Gips, Type F + Type A (type F er lag 1)	12,5	12,5	49	49
	15	12,5	55	55
Fibergipsplader	12,5	-	24	24
	15	-	30	30
	18	-	36	37
	12,5	12,5	49	49
	15	15	60	60
	18	18	73	75

*Lag 1 er den eksponerede side

Til 3.4.3.4 Brandbeskyttende beklædnings svigtider

(3) DK NA For CLT bestemmes beklædnings svigtider iht. tabel 3.1C

Tabel 3.1C DK NA værdier for beklædnings svigtider, t_f , for beskyttede CLT-elementer

Beklædning	Tykkelse af beskyttelsessystem [mm]*		Beklædnings svigtid, t_f [min]	
	Lag 1, h_1	Lag 2, h_2	Dæk	Vægge
	Gips, Type A	12,5	-	20
	15	-	27	28
	18	-	34	35
	12,5	12,5	35	45
	15	15	45	55
Gips, Type F	12,5	-	30	35
	15	-	34	48
	18	-	39	63
	12,5	12,5	63	66
	15	15	72	90
Gips, Type F + Type A (type F er lag 1)	12,5	12,5	63	66
	15	12,5	67	78
Fibergipsplader	12,5	-	28	29
	15	-	32	39
	18	-	36	52
	12,5	12,5	55	55
	15	15	63	76
	18	18	73	100

*Lag 1 er den eksponerede side

SIDE 11



11

(R) BESKYTTEDE KONSTRUKTIONER, HASTIGHEDER

• Indbrændingshastigheder

- For $t_{ch} \leq t \leq t_f$: $\beta_{t_{ch} \leq t \leq t_f} = k_2 \cdot \beta$
 - Gipsplader, type F (andre typer er $t_{ch} = t_f$): $k_2 = 1 - 0,018 \cdot h_p$
 - Et lag: $h_p =$ lagets tykkelse i mm
 - Flere lag: $h_p =$ tykkelse af det inderste lag i mm
 - Stenuld:

Tabel 3.2 - Værdier for k_2 for konstruktioner beskyttet med stenuddbatts

Tykkelse h_p , mm	k_2
20	1
≥ 46	0,6

- For $t_f \leq t \leq t_a$: $\beta_{t_f \leq t \leq t_a} = k_3 \cdot \beta = 2 \cdot \beta$
- For $t > t_a$: $\beta_{t > t_a} = \beta$

SIDE 12



12

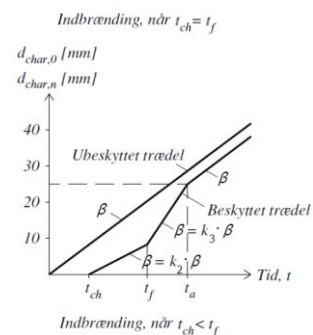
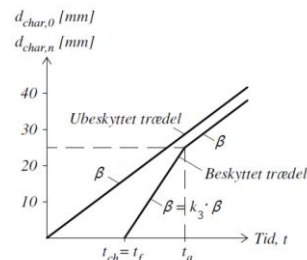
(R) BESKYTTEDE KONSTRUKTIONER, t_a

• Tidsgrænsen, t_a :

- $t_{ch} = t_f$:
$$t_a = \min \left\{ \begin{array}{l} 2 \cdot t_f \\ \frac{25}{k_3 \cdot \beta_n} + t_f \end{array} \right.$$
- $t_{ch} < t_f$:
$$t_a = \frac{25 - (t_f - t_{ch}) \cdot k_2 \cdot \beta_n}{k_3 \cdot \beta_n} + t_f$$
- k_2 og k_3 som på forrige sider

SIDE 13

J&E



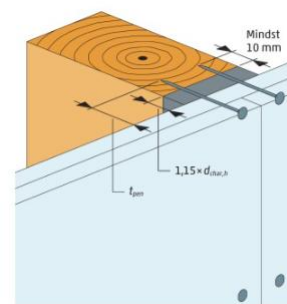
13

Fastgørelse af plader

- Fastgørelsen skal føres 10mm ind i det uforkullede træ
- Tykkelsen af forkullingslaget bør øges med 15% for at kompensere for øget varmetransport

$$t_{pen} = 10 \text{ mm} + 1,15 d_{char,h} \quad (9)$$

- Ståltråd, skinner og tilsvarende, der skal fastholde isoleringen, skal også fastgøres, så deres befæstigelse når 10mm ind i det uforkullede træ



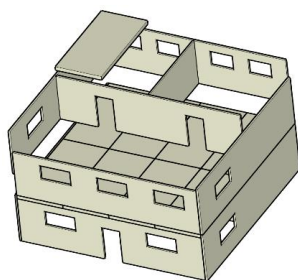
Figur 7.8 Fastgørelsen af pladebeklædning skal nå mindst 10 mm ind i uforkullet træ. Det er tykkelsen af det forkullede lag til tiden t_s , der skal anvendes.

SIDE 14

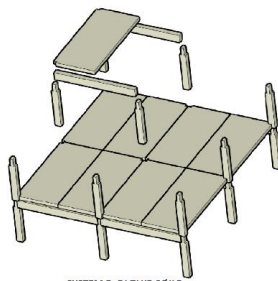
J&E

14

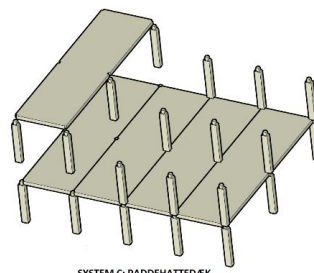
BYGGESYSTEMER



SYSTEM A: SKIVEBYGGERI



SYSTEM B: BJÆLKE-SØJLE



SYSTEM C: PADDEHATTEDÆK

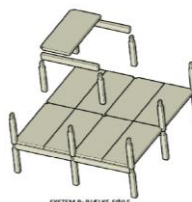
SIDE 15



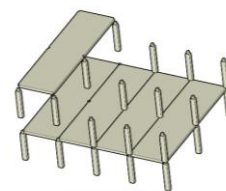
15

(R) SYSTEM B & C: SØJLER & BJÆLKER

- Dæk: Udføres i CLT, se senere
- Søjler & bjælker
 - Overfladeareal = lille i forhold til samlede konstruktion =>
 - Ofte valgfrit, om søjler & bjælker inddækkes eller blotlægges
- Indbrænding i ubeskyttede søjler og bjælker fra hver brandeksponeret side:
 - R30: $d_{ef} = 0,7\text{mm}/\text{min} \cdot 30\text{min} + 7\text{mm} = 28\text{mm}$
 - R60: $d_{ef} = 0,7\text{mm}/\text{min} \cdot 60\text{min} + 7\text{mm} = 49\text{mm}$
 - R120: $d_{ef} = 0,7\text{mm}/\text{min} \cdot 120\text{min} + 7\text{mm} = 91\text{mm}$



SYSTEM B: BJÆLKE-SØJLE



SYSTEM C: PADDEHATTEDÆK

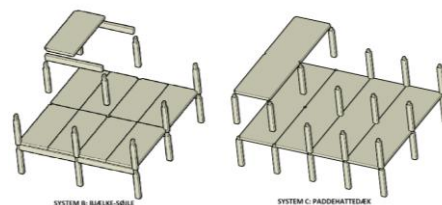
SIDE 16



16

(R) SYSTEM B & C: SØJLER & BJÆLKER

- Beskyttede søjler & bjælker
- 25mm forkullingslag: $25\text{mm}/(2 \cdot 0,7\text{mm}/\text{min}) = 17,9\text{min}$
- Indbrænding, beskyttet med 15mm brandgips ($t_f = 28\text{min}$)
 - R30: $d_{ef} = 2 \cdot 0,7\text{mm}/\text{min} \cdot (30-28)\text{min} + 7\text{mm} = 9,8\text{mm}$
 - R60: $d_{ef} = 25\text{mm} + 0,7\text{mm}/\text{min} \cdot (60 - 17,9 - 28)\text{min} + 7\text{mm} = 41,9\text{mm}$
 - R120: $d_{ef} = 25\text{mm} + 0,7\text{mm}/\text{min} \cdot (120 - 17,9 - 28)\text{min} + 7\text{mm} = 83,9\text{mm}$
- Nødvendig tværsnitsforøgelse pr. side ved 15mm brandgips
 - R30: $d_{ef} + 15\text{mm} = 9,8\text{mm} + 15\text{mm} = 24,8\text{mm}$
 - R60: $d_{ef} + 15\text{mm} = 41,9\text{mm} + 15\text{mm} = 56,9\text{mm}$
 - R120: $d_{ef} + 15\text{mm} = 83,9\text{mm} + 15\text{mm} = 98,9\text{mm}$
- N.B.: $\beta_n = 0,7\text{mm}/\text{min}$ for limtræ



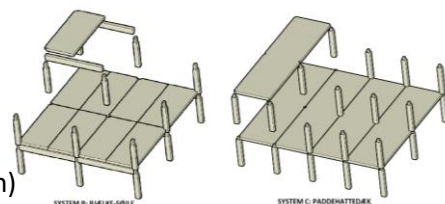
SIDE 17



17

(R) SYSTEM B & C: SØJLER

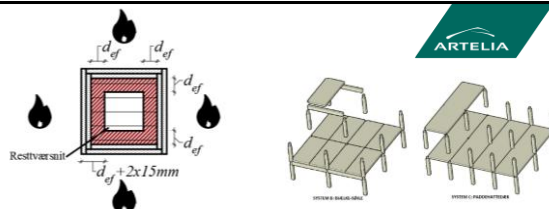
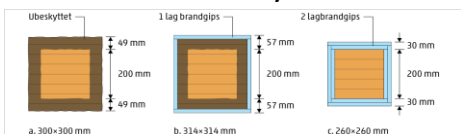
- Beskyttede søjler & bjælker
- 25mm forkullingslag: $25\text{mm}/(2 \cdot 0,7\text{mm}/\text{min}) = 17,9\text{min}$
- Indbrænding, beskyttet med 2 x 15mm brandgips ($t_f = 62\text{min}$)
 - R30: $d_{ef} = 0\text{mm}$ (gipsen beskytter hele forløbet)
 - R60: $d_{ef} = 0\text{mm}$ (gipsen beskytter hele forløbet)
 - R120: $d_{ef} = 25\text{mm} + 0,7\text{mm}/\text{min} \cdot (120 - 17,9 - 62)\text{min} + 7\text{mm} = 60,1\text{mm}$
- Nødvendig tværsnitsforøgelse pr. side ved 2x15mm brandgips
 - R30: $d_{ef} + 2 \cdot 15\text{mm} = 0\text{mm} + 2 \cdot 15\text{mm} = 30\text{mm}$
 - R60: $d_{ef} + 2 \cdot 15\text{mm} = 0\text{mm} + 2 \cdot 15\text{mm} = 30\text{mm}$
 - R120: $d_{ef} + 2 \cdot 15\text{mm} = 60,1\text{mm} + 2 \cdot 15\text{mm} = 90,1\text{mm}$
- N.B.: $\beta_n = 0,7\text{mm}/\text{min}$ for limtræ



SIDE 18



18

(R) SYSTEM B & C: SØJLER & BJÆLKER

Nødvendig tværsnitsforøgelse pr. brandpåvirket side af limtræssøjler ($\beta_n = 0,7\text{mm/min}$)

Brandpåvirkning	Ubeskyttet	15mm brandgips	2 x 15mm brandgips
R30	28mm	24,8mm (-3,2mm)	30mm (+2mm)
R60	49mm	56,9mm (+7,9mm)	30mm (-19mm)
R120	91mm	98,9mm (+7,9mm)	90,1mm (-0,9mm)

Nødvendig tværsnitsforøgelse pr. brandpåvirket side af konstruktionstræssøjler ($\beta_n = 0,8\text{mm/min}$)

Brandpåvirkning	Ubeskyttet	15mm brandgips	2 x 15mm brandgips
R30	31mm	25,2mm (-5,8mm)	30mm (-1mm)
R60	55mm	60,1mm (+5,1mm)	30mm (-25mm)
R120	103mm	108,1mm (+5,1mm)	95,9mm (-7,1mm)

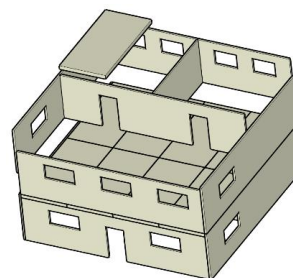
SIDE 19

J&E

19

(R) SYSTEM A: SKIVEBYGGERI AF CLT

- Ved større byggerier, typisk udført i CLT
- Kan også udføres som træskelet, træelement og modulbyggerier
- Tilgang til brandteknisk dimensionering afhænger af materiale
 - Ved CLT => meget træ => stor brandbelastning = skal betragtes = vi kan ikke bare bygge "Cigarkasser" med al træ eksponeret!



SYSTEM A: SKIVEBYGGERI

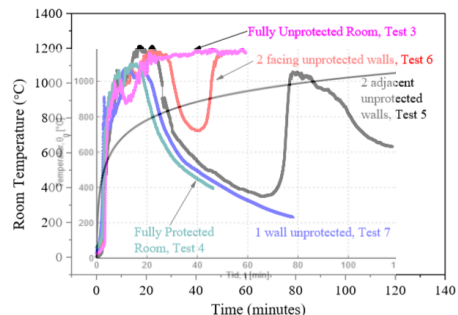
SIDE 20

J&E

20

(R) BRAND, PARAMETRISK, CLT/MASSIVTRÆ

- "Real-scale fire tests on massive timber constructions"
 - Fuldt beskyttede rum (dvs. alt er beklædt med gips) bevirker en brand tilsvarende den parametriske
 - Rum med én beskyttet væg giver en brand tilsvarende den parametriske
 - Rum med 2 ubeskyttede vægge giver en risiko for en ekstra overtænding i afkølingsfasen
 - Udbeskyttede rum giver en "uendelig brand", som er kraftigere end standardbranden
- Konklusion:
 - Vi kan ikke bare blotlægge alt træ!
 - Kravet om 20% blotlagte overflader kan bruges som et pejlemærke



Kilde: Xiao Li, et al., REAL-SCALE FIRE TESTS ON TIMBER CONSTRUCTIONS, WCTE 2016

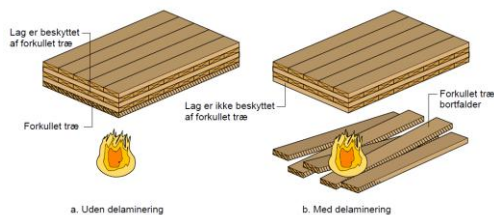
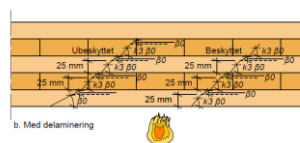
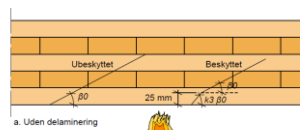
SIDE 21



21

(R) INDBRÆNDING, CLT

- Åbning mellem brædder $\leq 2\text{mm}$
 $d_{char,0} = \beta_0 \cdot t = 0,65\text{mm}/\text{min} \cdot t$
- Åbning mellem 2mm og 6mm
 $d_{char,n} = \beta_n \cdot t = 0,8\text{mm}/\text{min} \cdot t$
- Åbning $\geq 6\text{mm}$
 - Antages indbrænding fra 3 sider
 - Ved åbning $\leq 2\text{mm}$ i yderste lag og mellem 2 og 6mm i øvrige lag
 - $d_{char,0}$ for yderste lag
 - $d_{char,n}$ for øvrige lag
- Delaminering skal betragtes! Hvis limen ikke er varmebestandig, antages forkullet træ at bortfalde, når indbrændingen når limfugen => dobbelt indbrænding i 25mm efter hver limfuge!



SIDE 22



22

(R) EFFEKTIV RESTTVÆRSNITSMETODE, CLT, TRÆINFO

- Den svækkede zone varierer fra værdien i DS/EN 1995-1-2.

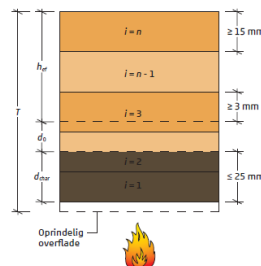
$$d_{ef} = d_{char} + d_0 = \beta_0 \cdot t + d_0$$

Tabel 6.2 Tykkelse af styrkelest lag d_0 [mm] for 3-, 5- og 7-lags CLT-element som funktion af elementtykkelsen t .

Antal lag	Dæk, træk		Dæk, tryk		Væg	
	Ubeskyttet	Beskyttet ¹⁾	Ubeskyttet	Beskyttet	Ubeskyttet	Beskyttet
3 lag	$T/30+3,7$	10	$T/25+4,5$	$\min\left\{\frac{13,5}{T/2,5+7}\right\}$	$T/25+3,95$	$\min\left\{\frac{14,5}{T/2,5+7}\right\}$
5 lag	$T/100+10$	$T/35+6^{2)}$	$T/20+11$	18	$T/15+10,5$	20
7 lag $T \leq 175$ mm	$T/6+2,5$	$T/6+2,5$	$T/6+2,5$	$T/6+2,5$	$T/6+4$	$T/6+4$
$T > 175$ mm	10	10	13	13	16	16

1. Gælder både for og efter t .
2. For $T > 100$ mm skal anvendes $d_0 = 34 - T/4$

- Er der mindre end 3mm tilbage af et lag, anses laget som brændt bort, dvs. det medtages ikke i dimensioneringen!



SIDE 23

23

(R) EFFEKTIVT RESTTVÆRSNITSMETODE, CLT, DK-NA:2024

(10) DK-NA Den regningsmæssige indbrændingsdybde $d_{char,n}$ for CLT-elementer beregnes som summen af indbrændingen i hvert lag

$$d_{char,n} = \sum_{i=1}^n \beta_{n,i} t \quad (3.6A1)$$

hvor

t er den tid hvert lag er brandeksponeret, i [min]

$\beta_{n,i}$ er den regningsmæssige indbrændingshastighed, i [mm/min], for hvert lag, bestemt af (3.6B)

$$\beta_{n,i} = k_g \beta_0 \quad (3.6B)$$

hvor

β_0 er den regningsmæssige indbrændingshastighed for endimensional indbrænding jf. tabel 3.1 og tages som for konstruktionstræ

k_g er revnefaktoren jf. tabel 3.1A DK NA

Tabel 3.1A DK NA værdier for revnefaktoren k_g

Revnevidde mellem lameller ^{a)}	k_g
Åbninger mellem lameller ≤ 2 mm	1,0 (endimensional indbrænding)
Åbninger mellem lameller > 2 mm og ≤ 5 mm	1,2 (endimensional indbrænding)
Åbninger mellem lameller > 5 mm	1,2 (lamellerne skal regnes for indbrænding langs 3 sider)
^{a)} Jf. producentens specifikation	

N.B.: Lavere grænse

SIDE 24

24



(R) EFFEKTIVT RESTTVÆRSNITSMETODE, CLT, DK-NA:2024

(11) DK NA Hvis ikke der benyttes en brandbestandig lim jf. 3.5 (1)P, bør der tages hensyn til delaminering, ved at antage, at det forkullede lag bortfalder, når indbrændingsdybden når limlaget, og derfor ikke længere beskytter det bagvedliggende lag. Der kan tages hensyn til dette ved at betragte hvert lag som en brandbeskyttende træbeklædning jf. 3.4.3.4 med følgende beskyttelsesfaktorer k_3 :

- Lodrette flader: $k_3 = 1,3$
- Vandrette flader, underside: $k_3 = 2,0$
- Vandrette flader, overside: $k_3 = 1,0$

Dvs langsommere indbrænding i vægge ved delaminering!

3.4.3 Overflader, der i starten er beskyttet mod brandpåvirkning

Til 3.4.3.1

(1A) DK NA For CLT med brandbeskyttende beklædning betragtes alene beskyttelse af første lamellag. For resterende lag gælder 3.4.2 (10)DK NA og (11)DK NA.

Note: For brandbeskyttende beklædning anvendes jf. 3.4.3.2 (4) $k_3 = 2,0$ også på vægge.

SIDE 25



25



(R) EFFEKTIVT RESTTVÆRSNITSMETODE, CLT, DK-NA:2024

Tabel 4.1A DK NA bestemmelse af styrkeløst lag d_0 for dæk [mm]

Brandpåvirket side	Ubeskyttet	Beskyttet
Lag 1, brandeksponeret på træpåvirket side	7°	12°
Øvrige lag, brandeksponeret på træpåvirket side	12° ^b	
Lag 1, brandeksponeret på trykpåvirket side	10°	16°
Øvrige lag, brandeksponeret på trykpåvirket side	16° ^d	

^a Hvis d_{ef} er i et lag, som spænder i den tværgående retning, skal den endelige d_{ef} øges, så den reducerer det næste langsgående, lastbærende lag med 2mm.
^b Hvis d_{ef} er i et lag, som spænder i den langsgående, lastbærende retning, skal den endelige d_{ef} minimum reducere laget med 2mm.
^c Hvis d_{ef} er i et lag, som spænder i den tværgående retning, skal den endelige d_{ef} øges, så den reducerer det næste langsgående, lastbærende lag med 4mm.
^d Hvis d_{ef} er i et lag, som spænder i den langsgående, lastbærende retning, skal den endelige d_{ef} minimum reducere laget med 4mm.

Tabel 4.1B DK NA bestemmelse af styrkeløst lag d_0 for vægge [mm]

Placering af indbrænding	Ubeskyttet	Beskyttet
Lag 1, brandeksponeret side	$d_0 = \max\left(\frac{4}{5}h_1 - 14, 10\right)$	$d_0 = \frac{2}{5}h_1 + 8$
Øvrige lag i tværgående retning	$d_0 = h_{res,i} + \left(8 + \frac{h}{10}\right)\left(1 - 0,9 \cdot \frac{h_{res,i}}{h_i}\right)$ ^{a,b}	
Øvrige lag i lodret (lastbærende) retning	$d_0 = \left(8 + \frac{h}{10}\right)\left(0,1 + 0,9 \cdot \frac{h_{res,i}}{h_i}\right)$ ^{a,b}	

hvor
 h_1 er tykkelsen af det første lag, i mm
 h_i er tykkelsen af det i 'te lag, i mm
 $h_{res,i}$ er tykkelsen af den ikke-forkullede del af det i 'te lag, i mm
 h er tykkelsen af CLT-elementet inden brandpåvirkningen, i mm

^a Hvis d_{ef} er i et lag, som spænder i den tværgående retning, skal den endelige d_{ef} øges, så den reducerer det næste lastbærende lag med 4mm.
^b Hvis d_{ef} er i et lag, som spænder i den lastbærende retning, skal den endelige d_{ef} minimum reducere laget med 4mm.

OBS!

Tykkelsen d_0 af det styrkeløse lag bør ikke sættes mindre end værdierne angivet i henholdsvis tabel 4.1A og 4.1B, uanset at en ETA angiver lavere værdier.

SIDE 26

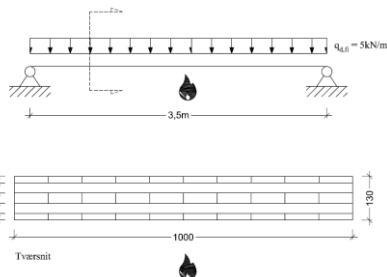


26



(R) EKSEMPEL: CLT DÆK (a)

- 60 min. brand, inkl. delaminering, åbninger < 2mm, alle lameller C24
- Krav: R60



SIDE 27

- Snitkræfter

$$M_{f,i,d} = \frac{1}{8} \cdot 5kN/m \cdot (3,5m)^2 = 7,66kNm$$

$$V_{f,i,d} = \frac{1}{2} \cdot 5kN/m \cdot 3,5m = 8,75kN$$

- Styrker i brandsituation

$$f_{m,20,d} = k_{fi} \cdot k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{m,x,k}}{Y_{M,fi}} = 1,15 \cdot 1,0 \cdot \frac{26,4MPa}{1,0} = 30,4MPa$$

$$f_{v,20,d} = k_{fi} \cdot k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{v,k}}{Y_{M,fi}} = 1,15 \cdot 1,0 \cdot \frac{3,5MPa}{1,0} = 4,0MPa$$



27

(R) EKSEMPEL: CLT DÆK



- Lag 1 er påvirket af brand fra start => normal hastighed.
- Nedfaldstid for lag (fuldt gennembrændt) 20mm

$$t_{ch,1} = t_{f,1} = \frac{20mm}{0,65m/m \text{ in.}} = 30,8min.$$
- Tid med dobbelt indbrænding i lag 2

$$t_{a,2} = \frac{25mm}{2 \cdot 0,65m/m \text{ in.}} = 19,2min.$$
- Nedfaldstid for lag 2

$$t_{ch,2} = t_{f,2} = t_{ch,1} + t_{a,2} + \frac{5mm}{0,65m/m \text{ in.}} = 57,7min.$$

- Resttid for indbrænding i lag 3 med dobbelt hastighed

$$t_{rest} = 60min. - 57,7min. = 2,3min.$$

- Samlet indbrænding

$$d_{char} = 20mm + 30mm + 2,3min. \cdot 2 \cdot 0,65m/m \text{ in.} = 53mm$$

SIDE 28

- Gennemsnitshastighed

$$\beta_{gns} = \frac{53mm}{60min} = 0,88m/m \text{ in.}$$
- Svækket zone

- Træk i brandpåvirket side

$$d_0 = \frac{130mm}{100} + 10mm = 11,3mm$$

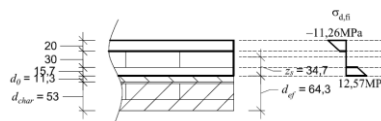
Tabel 6.2 Tykkelse af styrkeløst lag d_0 (mm) for 3-, 5- og 7-lags CLT-element som funktion af elementtykkelsen T .

Antal lag	Dæk, træk		Dæk, tryk		Væg	
	Ubeskyttet	Beskyttet ¹⁾	Ubeskyttet	Beskyttet	Ubeskyttet	Beskyttet
3 lag	T/30+3,7	10	T/25+4,5	min 13,5	T/25+3,95	min 14,5
5 lag	T/20+10	T/35+6 ²⁾	T/20+11	18	T/15+10,5	20
7 lag Ts≤175mm	T/6+2,5	T/6+2,5	T/6+2,5	T/6+2,5	T/6+4	T/6+4
T>175mm	10	10	13	13	16	16

1. Gælder både før og efter tv.
2. For T<100mm skal anvendes $d_0 = 34 \cdot T/4$

- Effektiv indbrænding:

$$d_{ef} = 53mm + 11,3mm = 64,3mm$$
- Resttværsnit: 15,7mm-30mm-20mm.



28



(R) EKSEMPEL: CLT DÆK (b)

- Beregnet iht. til DK NA:2024

- Indbrænding den samme, dvs.

$$d_{char} = 20\text{mm} + 30\text{mm} + 2,3\text{min.} \cdot 2 \cdot 0,65\text{m m/m in.} = 53\text{mm}$$

- Pyrolysezone er anderledes:

Tabel 4.1A DK NA bestemmelse af styrkeløst lag d_s for dæk [mm]

Brandpåvirket side	Ubeskyttet	Beskyttet
Lag 1, brandeksponeret på træpåvirket side	7 ^a	12 ^a
Øvrige lag, brandeksponeret på træpåvirket side		12 ^{a,b}
Lag 1, brandeksponeret på trykpåvirket side	10 ^c	16 ^c
Øvrige lag, brandeksponeret på trykpåvirket side		16 ^{c,d}

^a Hvis d_{ef} er i et lag, som spænder i den tværgående retning, skal den endelige d_{ef} øges, så den reducerer det næste langsgående, lastbærende lag med 2mm

^b Hvis d_{ef} er i et lag, som spænder i den langsgående, lastbærende retning, skal den endelige d_{ef} minimum reducere laget med 2mm

^c Hvis d_{ef} er i et lag, som spænder i den tværgående retning, skal den endelige d_{ef} øges, så den reducerer det næste langsgående, lastbærende lag med 4mm.

^d Hvis d_{ef} er i et lag, som spænder i den langsgående, lastbærende retning, skal den endelige d_{ef} minimum reducere laget med 4mm

- Effektiv indbrænding:

$$d_{ef} = 53\text{mm} + 12\text{mm} = 65\text{mm}$$

Forskell på metoder = 0,7mm

- Lagopbygning: 15L-30T-20L

- Det ses, at kravet er opfyldt (laget er reduceret med 5mm)

SIDE 29



29



(R) EKSEMPEL: CLT DÆK (c)

- Samme højde, elementopbygning ændret til:

- 30-20-30-20-30

- Delaminering forudsættes

- Åbninger <2mm

- Tid for gennembrænding af 1. lag

$$t_{ch,1} = t_{f,1} = \frac{30\text{mm}}{0,65\text{m m/m in.}} = 46,2\text{min.}$$

- Tid for gennembrænding af lag 2 (dobbelt hastighed)

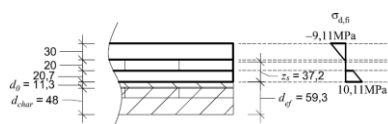
$$t_{a,2} = \frac{20\text{mm}}{2 \cdot 0,65\text{m m/m in.}} = 15,4\text{min.}$$

$$t_{rest} = 60\text{min.} - 46,2\text{min.} = 13,8\text{min.}$$

$$d_{char} = 30\text{mm} + 13,8\text{min.} \cdot 2 \cdot 0,65\text{m m/m in.} = 48\text{mm}$$

$$d_{ef} = 48\text{mm} + 11,3\text{mm} = 59,3\text{mm} \text{ (60mm DK NA)}$$

$$\beta_{gns} = \frac{48\text{mm}}{60\text{min}} = 0,80\text{m m/m in.}$$



SIDE 30



30



(R) EKSEMPEL: CLT DÆK 2

- 5-lag, 150mm, opbygning: 30L-30T-30L-30T-30L
- 60 min. brand, INGEN delaminering, åbninger < 2mm, nederste lag ændres til 30mm
- Krav: R60
- Samlet indbrænding

$$d_{char} = 0,65 \text{ m/m in} \cdot 60 \text{ min} = 39 \text{ mm}$$

- Pyrolysezone (TRÆINFO)

$$d_0 = \frac{150 \text{ mm}}{100} + 10 \text{ mm} = 11,5 \text{ mm}$$

- Effektiv indbrænding

$$d_{ef} = 39 \text{ mm} + 11,5 \text{ mm} = 50,5 \text{ mm}$$

- Resttværsnit (TRÆINFO):

9,5T-30L-30T-30L (altså regnes som 3. lags)

Tabel 6.2 Tykkelse af styrkeløst lag d_0 [mm] for 3-, 5- og 7-lags CLT-elementer

Antal lag	Dæk, træk		Dæk, tryk	
	Ubeskyttet	Beskyttet ¹⁾	Ubeskyttet	Be
3 lag	T/30+3,7	10	T/25+4,5	mi
5 lag	T/100+10	T/35+6 ²⁾	T/20+11	1E
7 lag Ts175mm	T/6+2,5	T/6+2,5	T/6+2,5	T/
To175mm	10	10	13	13

1. Gælder både for og efter t
2. For T<100mm skal anvendes $d_0=34-T/4$

- Pyrolysezone (DK NA)

Tabel 4.1A DK NA bestemmelse af styrkeløst lag d_0 for dæk [mm]

Brandpåvirket side	Ubeskyttet	Beskyttet
Lag 1, brandeksponeret på trækpåvirket side	7 ^a	12 ^a
Øvrige lag, brandeksponeret på trækpåvirket side		12 ^{a,b}
Lag 1, brandeksponeret på trykpåvirket side	10 ^c	16 ^c
Øvrige lag, brandeksponeret på trykpåvirket side		16 ^{c,d}

^a Hvis d_{ef} er i et lag, som spænder i den tværgående retning, skal den endelige d_{ef} øges, så den reducerer det næste længsgående, lastbærende lag med 2mm.
^b Hvis d_{ef} er i et lag, som spænder i den længsgående, lastbærende retning, skal den endelige d_{ef} minimum reducere laget med 2mm.
^c Hvis d_{ef} er i et lag, som spænder i den tværgående retning, skal den endelige d_{ef} øges, så den reducerer det næste længsgående, lastbærende lag med 4mm.
^d Hvis d_{ef} er i et lag, som spænder i den længsgående, lastbærende retning, skal den endelige d_{ef} minimum reducere laget med 4mm.

$$d_{ef} = 39 \text{ mm} + 12 \text{ mm} = 51 \text{ mm}$$

- Resttværsnit (DK NA): 9T-30L-30T-30L

- MEN! husk ^a

- d_{ef} forøges med 9+2mm = 11mm =>

Resttværsnit: 28L-30T-30L

SIDE 31



31



(R) EKSEMPEL: INDBRÆNDING I BESKYTTET CLT-VÆG, DK-NA:2024

- 3-lags CLT-væg (30L-40T-30L) beskyttet med 15mm brandgips (type F).
- Væggen forudsættes at delaminere
- Resttværsnit ønskes fundet for hhv. 60
- Indbrændingens begyndelse: $t_{ch} = 30 \text{ min}$
- Beklædningens svigtetid: $t_f = 48 \text{ min}$

Til 3.4.3.3 Indbrændingens begyndelse

(2), (3) og (4)DK NA For CLT bestemmes indbrændingens begyndelse iht. tabel 3.1B

Tabel 3.1B DK NA værdier for indbrændingens begyndelse, t_{ch} , for beskyttede CLT-elementer

Beklædning	Tykkelse af beskyttelsessystem [mm] ^a		Indbrændingens begyndelse, t_{ch} [min]	
	Lag 1, h ₁	Lag 2, h ₂	Dæk	Vægge
Gips, Type F	12,5	-	24	24
	15	-	30	30
	18	-	37	37
	12,5	12,5	49	49
	15	15	60	60
Gips, Type F + Type A	12,5	12,5	49	49

Til 3.4.3.4 Brandbeskyttende beklædningens svigtider

(3)DK NA For CLT bestemmes beklædningens svigtider iht. tabel 3.1C

Tabel 3.1C DK NA værdier for beklædningens svigtider, t_f , for beskyttede CLT-elementer

Beklædning	Tykkelse af beskyttelsessystem [mm] ^a		Beklædningens svigtid, t_f [min]	
	Lag 1, h ₁	Lag 2, h ₂	Dæk	Vægge
Gips, Type F	12,5	-	30	35
	15	-	34	48
	18	-	39	63
	12,5	12,5	63	66
	15	15	72	90
Gips, Tvve F + Tvve A	12,5	12,5	63	66

SIDE 32



32



(R) EKSEMPEL: INDBRÆNDING I BESKYTTET CLT-VÆG, DK-NA:2024

- Faktorer på hastigheder

- Lag 1:

- Fra $t_{ch} < t < t_f$: $k_2 = 1 - 0,018 \cdot h_p = 1 - 0,018 \cdot 15mm = 0,73$ (før gips svigter)
- Fra $t_f < t < t_{25mm}$: $k_3 = 2,0$
- Fra $t_{25mm} < t$: $k_3 = 1,0$

3.4.3 Overflader, der i starten er beskyttet mod brandpåvirkning

Til 3.4.3.1

(1A) DK NA For CLT med brandbeskyttende beklædning betragtes alene beskyttelse af første lamellag. For resterende lag gælder 3.4.2 (10)DK NA og (11)DK NA.

Note: For brandbeskyttende beklædning anvendes jf. 3.4.3.2 (4) $k_3 = 2,0$ også på vægge.

- Resterende lag:

- Fra $t < t_f$: $k_2 = 0$ (ingen gips foran de øvrige lag)
- Fra $t_f < t < t_{25mm}$: $k_3 = 1,3$ (delaminering iht. DK NA)
- Fra $t_{25mm} < t$: $k_3 = 1,0$

(11) DK NA Hvis ikke der benyttes en brandbestandig lim jf. 3.5 (1)P, bør der tages hensyn til delaminering, ved at antage, at det forkullede lag bortfalder, når indbrændingsdybden når limlaget, og derfor ikke længere beskytter det bagvedliggende lag. Der kan tages hensyn til dette ved at betragte hvert lag som en brandbeskyttende træbeklædning jf. 3.4.3.4 med følgende beskyttelsesfaktorer k_3 :

- Lodrette flader: $k_3 = 1,3$
- Vandrette flader, underside: $k_3 = 2,0$
- Vandrette flader, overside: $k_3 = 1,0$

SIDE 33



33



EKSEMPEL: INDBRÆNDING I BESKYTTET CLT-VÆG, DK-NA:2024

- Resttværsnit efter 60 min.

- Beskyttet indtil 30min (t_{ch}), hvor varmen trænger ind. Gipsen falder af ved 48 min (t_f).

- Indbrænding i lag 1 inden gips falder af:

- $d_{char,tch-tf} = k_2 \cdot \beta_0 \cdot (t_f - t_{ch}) = 0,73 \cdot 0,65mm/min \cdot (48min - 30min) = 8,5mm$
- Resttid: 60min - 48min = 12min

- Indbrænding i lag 1 efter gips er faldet af:

- Resttværsnit med forøget hastighed: 25mm-8,5mm = 16,5mm
- Tid for indbrænding af de resterende 16,5mm med dobbelt hastighed: $t_{25} = \frac{16,5mm}{2 \cdot 0,65mm/min} = 12,7min$
- De resterende 16,5mm med dobbelt hastighed bliver derfor ikke brændt af, da der kun er 12 min tilbage.
- Indbrænding: $d_{char,t_f-25} = 12min \cdot 2 \cdot 0,65mm/min = 15,6mm$

- Total indbrænding: 8,5mm + 15,6mm = 24,1mm

SIDE 34



34

(R) EKSEMPEL: INDBRÆNDING I BESKYTTET CLT-VÆG, DK-NA:2024

- Resttværsnit efter 60 min. Fortsat
 - Det styrkeløse lag skal baseres på øverste række, da indbrændingen stopper i lag 1
 - Styrkeløst lag: $d_0 = \frac{2}{5} \cdot 30\text{mm} + 8\text{mm} = 20\text{mm}$
 - Samlet indbrænding: $d_{ef} = 24,1\text{mm} + 20\text{mm} = 44,1\text{mm}$
dvs. lag 1 er gennembrændt
 - Indbrænding i lag 2: $44,1\text{mm} - 30\text{mm}$ (lag 1) = $14,1\text{mm}$
 - Resttværsnit (40-14,1)T-30L = 25,9T-30L
- Note ^a siger, at hvis d_{ef} er i et lag, som spænder i den tværgående retning, skal det øges, så den reducerer det næste lastbærende lag med 4mm => resttværsnit: **26L**
- Resultat – væggen virker som en **26mm** planke efter 60 min. brand.
=> vil højst sandsynligt ikke kunne bære lasterne.

Tabel 4.1B DK NA bestemmelse af styrkeløst lag d_0 for vægge [mm]

Placering af indbrænding	Ubeskyttet	Beskyttet
Lag 1, brandeksponeret side	$d_0 = \max\left(\frac{4}{5}h_1 - 14, 10\right)$	$d_0 = \frac{2}{5}h_1 + 8$
Øvrige lag i tværgående retning	$d_0 = h_{res,i} + \left(8 + \frac{h}{10}\right)\left(1 - 0,9 \cdot \frac{d_{res,i}}{h_i}\right)^{a,b}$	
Øvrige lag i lodret (lastbærende) retning	$d_0 = \left(8 + \frac{h}{10}\right)\left(0,1 + 0,9 \cdot \frac{d_{res,i}}{h_i}\right)^{a,b}$	

hvor
 h_1 er tykkelsen af det første lag, i mm
 h_i er tykkelsen af det i 'te lag, i mm
 $h_{res,i}$ er tykkelsen af den ikke-forkullede del af det i 'te lag, i mm
 h er tykkelsen af CLT-elementet inden brandpåvirkningen, i mm

^a Hvis d_{ef} er i et lag, som spænder i den tværgående retning, skal den endelige d_{ef} øges, så den reducerer det næste lastbærende lag med 4mm.
^b Hvis d_{ef} er i et lag, som spænder i den lastbærende retning, skal den endelige d_{ef} minimum reducere laget med 4mm.

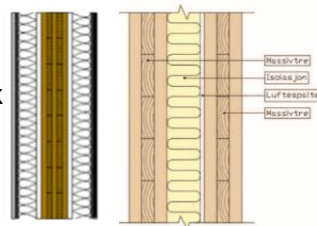
SIDE 35



35

SYSTEM A: SKIVEBYGGERI

- Blotlagte vægge => akustiske problemer
- Løses typisk med hulrum
- Hulrum = frakobling af dækskiver = indflydelse på statisk system
- Blotlagte vægge skal ikke alene vælges mht. brand, men bør ALTID koordineres med statiker
- Hulrum = risiko for brandspredning = skal indtænkes i løsninger



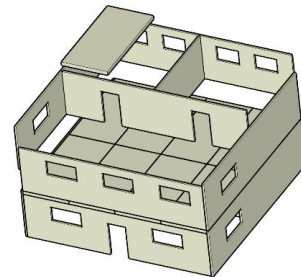
SIDE 36



36

SYSTEM A: SKIVEBYGGERI

- Der kan typisk kun blotlægges én overflade => typisk en væg
- Blotlagte overflader har indflydelse på statisk system og akustik = skal koordineres med flere faggrupper
- Bør låses tidligt i projektet!
- Limtype er vigtig for elementernes opførsel under brand
 - Har indflydelse på indbrændingshastighed og brandbelastning
- Blotlagte elementer på udføres med tykt yderlag
- Blotlagte vægge bevirker hulrum => der skal indtænkes brandstop



SYSTEM A: SKIVEBYGGERI

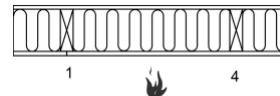
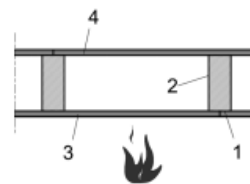
SIDE 37



37

(R) SYSTEM A: SKIVEBYGGERI I TRÆSKELET/ELEMENTER

- 2 muligheder:
 - Systemer, hvor hulrummet ikke er fyldt ud med isolering
 - Systemer, hvor hulrummet er fyldt ud med isolering



SIDE 38

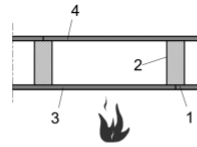


38



(R) SYSTEM, HVOR HULRUMMET IKKE ER FYLDT UD MED ISOLERING

- DS/EN 1995-1-2, Anneks D
- Indbrændingens begyndelse
 - Pladematerialer: $t_{ch} = t_f = \frac{h_p}{\beta_0} - 4$



Forklaring:

- 1 Smalle side af brandeksponeret trædel
- 2 Brede side af trædel, der vender mod hulrum
- 3 Brandbeskyttende beklædning på brandeksponeret side af konstruktionen
- 4 Brandbeskyttende beklædning på ikke-brandeksponeret side af konstruktionen

Figur D.1 – Definition af trædelenes smalle og brede sider

- Bred side

- Dækkonstruktioner med $C_c \leq 400\text{mm}$, samt vægge: $t_{ch} = t_f = 2,8h_p - 11$

- Dækkonstruktioner med $C_c 400\text{-}600\text{mm}$: $t_{ch} = t_f = 2,8h_p - 12$

$$h_p = \text{pladetykkelse af yderste lag} + 50\% \text{ af pladetykkelse af inderste lag [mm]}$$

SIDE 39

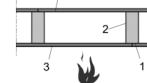


39



(R) SYSTEM, HVOR HULRUMMET IKKE ER FYLDT UD MED ISOLERING

- **Eksempel, indbrænding**
- Skelet: 45x95mm pr. 400mm
- Beklædt med 2 x 12,5mm Gips type A
 $h_p = 1,5 \cdot 12,5\text{mm} = 18,75\text{mm}$



Forklaring:

- 1 Smalle side af brandeksponeret trædel
- 2 Brede side af trædel, der vender mod hulrum
- 3 Brandbeskyttende beklædning på brandeksponeret side af konstruktionen
- 4 Brandbeskyttende beklædning på ikke-brandeksponeret side af konstruktionen

Figur D.1 – Definition af trædelenes smalle og brede sider

- Tid for 25mm indbrænding (dob. has): $T_{25, dob} = \frac{25\text{mm}}{2 \cdot 0,8\text{mm}/\text{min}} = 15,6\text{min}$

- Indbrænding i bred side:

$$t_{ch} = t_f = 2,8 \cdot 18,75 - 11 = 41,5\text{min} \Rightarrow T_{rest} = 60\text{min} - 41,5\text{min} = 18,5\text{min} > T_{25, dob}$$

$$d_{char} = 25\text{mm} + (60\text{min} - 41,5\text{min} - 15,6\text{min}) \cdot 0,8\text{mm}/\text{min} = 27,3\text{mm}$$

Det ses, at $2x d_{char} >$ bredden, dvs. tværsnit er **gennembrændt!** => **hulrumsisolering nødvendig!**

- Indbrænding i smal side (til orientering): $t_{ch} = t_f = 2,8 \cdot 18,75 - 14 = 38,5\text{min}$

$$d_{char} = 25\text{mm} + (60\text{min} - 38,5\text{min} - 15,6\text{min}) \cdot 0,8\text{mm}/\text{min} = 29,7\text{mm}$$

SIDE 40



40



(R) SYSTEM, HVOR HULRUMMET ER FYLDT UD MED ISOLERING

- DS/EN 1995-1-2, Annex C
- Gælder kun op til **60min** + skal være fyldt ud med stenuldsbatts, som forbliver i hulrummet!
- Indbrænding givet ved: $d_{char} = \beta_n t$
- Indbrændingshastighed givet ved:

b mm	k_s
38	1,4
45	1,3
60	1,1



Forklaring:
 1 Tænkt resttværsnit
 2 Tænkt indbrændingslag

- for $t_{ch} \leq t \leq t_f$: $\beta_n = k_s k_2 k_n \beta_0$

- for $t \geq t_f$: $\beta_n = k_s k_3 k_n \beta_0$

- hvor

- $k_n = 1,5$

- $k_s =$ tværsnitsfaktoren

- $k_2 =$ isoleringsfaktoren (konservativt): $k_2 = 1,05 - 0,0073 h_p$

- $k_3 =$ post-beskyttelsesfaktoren: $k_3 = 0,036 t_f + 1$

SIDE 41

jæe

41



(R) SYSTEM, HVOR HULRUMMET ER FYLDT UD MED ISOLERING

- Indbrændingens begyndelse og svigtider
 - Træplader: $t_{ch} = t_f = \frac{h_p}{\beta_0} - 4$
 - Gips, type A og H: $t_{ch} = t_f = 2,8 \cdot h_p - 14$
 - Type F:
 - t_{ch} som tidligere
 - t_f enten som værste værdi af *termisk nedbrydning af beklædningen* (baseres på prøvninger af producent) og som *svigt som følge af udtrækning af forbindelsesmidler*

$$t_{f,svigt,udtræk} = t_{ch} + \frac{l_f - l_{a,min} - h_p}{k_s k_2 k_n 1,15 \beta_0}$$

- Plader på stålprofiler er også inkluderet, gennemgås ikke. Se DS/EN 1995-1-2, Annex C.

SIDE 42

jæe

42



(R) SYSTEM, HVOR HULRUMMET ER FYLDT UD MED ISOLERING

- Styrker reduceres med

$$k_{mod,fi} = a_0 - a_1 \cdot \frac{d_{char,n}}{h}$$

Tabel C.2 – Værdier¹⁾ for a_0 og a_1 for styrkereduktion for bjælker eller stolper i konstruktioner, der er brandeksponeret på den ene side

Anvendelsessituation	h mm	a_0	a_1
1 Bøjningsstyrke for træk på brandeksponeret side 	95	0,60	0,46
	145	0,68	0,49
	195	0,73	0,51
	220	0,76	0,51
2 Bøjningsstyrke for tryk på brandeksponeret side 	95	0,46	0,37
	145	0,55	0,40
	195	0,65	0,48
	220	0,67	0,47
3 Trykstyrke 	95	0,46	0,37
	145	0,55	0,40
	195	0,65	0,48
	220	0,67	0,47

¹⁾ For mellemværdier for h kan der anvendes lineær interpolation.

Tabel C.3 – Værdier for a_0 og a_1 for trykstyrkereduktion for stolper i vægkonstruktioner brandeksponeret på begge sider

Anvendelsessituation	h mm	a_0	a_1
1 Trykstyrke 	145	0,39	1,62

- Elasticitetsmoduler reduceres med

$$k_{mod,fi} = b_0 - b_1 \cdot \frac{d_{char,n}}{h}$$

Tabel C.4 – Værdier¹⁾ for b_0 og b_1 for reduktion af elasticitetsmodulen for stolper i vægkonstruktioner, der er brandeksponeret på den ene side

Anvendelsessituation	h mm	b_0	b_1
1 Udknækning vinkelret på vægflade 	95	0,50	0,79
	145	0,60	0,84
	195	0,68	0,77
2 Udknækning i vægflade 	95	0,54	0,49
	145	0,66	0,55
	195	0,73	0,63

¹⁾ For mellemværdier for h kan der anvendes lineær interpolation.
NOTE - I illustrationen af anvendelsessituation 2 er stolperne afbøjet med udfyldninger.

Tabel C.5 – Værdier¹⁾ for b_0 og b_1 for reduktion af elasticitetsmodulen for stolper i vægkonstruktioner brandeksponeret på begge sider

Anvendelsessituation	h mm	b_0	b_1
1 Udknækning vinkelret på vægflade 	145	0,37	0,79
2 Udknækning i vægflade 	145	0,44	2,18

¹⁾ For mellemværdier for h kan der anvendes lineær interpolation.
NOTE - I illustrationen af anvendelsessituation 2 er stolperne afbøjet med udfyldninger.

SIDE 43



43



(R) SYSTEM, HVOR HULRUMMET ER FYLDT UD MED ISOLERING

- **Eksempel, indbrænding med isolering**

- Skelet: 45x95mm pr. 400mm

- Beklædt med 2 x 12,5mm Gips type A

- Indbrændingens begyndelse og svigt:

$$h_p = 1,5 \cdot 12,5\text{mm} = 18,75\text{mm}$$

$$t_{ch} = t_f = 2,8 \cdot 18,75 - 14 = 38,5\text{min}$$

- Indbrændingshastighed: $\beta_n = k_s k_3 k_n \beta_0 = 1,3 \cdot 2,39 \cdot 1,5 \cdot 0,65\text{mm}/\text{min} = 3,024\text{mm}/\text{min}$

- Konstruktionstræ: $\beta_0 = 0,65\text{mm}/\text{min}$

- 45mm => $k_s = 1,3$

$$k_n = 1,5$$

$$k_3 = 0,036t_f + 1 = 0,036 \cdot 38,5 + 1 = 2,39$$

- Samlet indbrænding: $d_{char} = \beta_n (T - t_f) = 3,024\text{mm}/\text{min} \cdot (60\text{min} - 38,5\text{min}) = 65\text{mm}$

$$b_{fi} \cdot h_{fi} = 45\text{mm} \cdot (95\text{mm} - 65\text{mm}) = 45\text{mm} \cdot 30\text{mm}$$

SIDE 44



44

(R) SIDESTYKKER AF TRÆ

- Træ mod træ, **ubeskyttet**
- Dorne, skruer og søm:
 - Brandmodstand kan forøges (dog maks. 30 min.) ved at øge dimensionerne

$$a_{fi} = \beta_n \cdot k_{flux} \cdot (t_{req} - t_{d,fi})$$

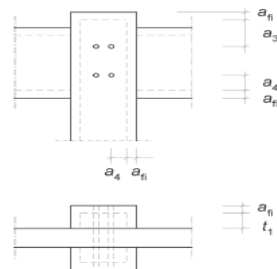
t_{req} = krævede brandmodstandsevne for SBK (maks 30)

$$k_{flux} = 1,5$$

Tabel 6.1 – Brandmodstandsevne for ubeskyttede forbindelser med sidestykker af træ

	Brandmodstandsevne $t_{e,s}$ min	Fordusætninger ^{a)}
Søm	15	$d \geq 2,8$ mm
Skruer	15	$d \geq 3,5$ mm
Bolte	15	$t_1 \geq 45$ mm
Dorne	20	$t_1 \geq 45$ mm
Mellemlæg i henhold til EN 912	15	$t_1 \geq 45$ mm

a) d er diameteren for forbindelsen, og t_1 er sidestykkets tykkelse.

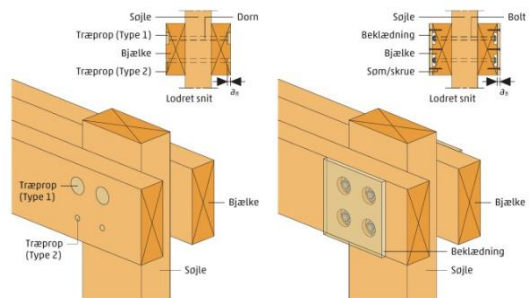


SIDE 45

45

(R) SIDESTYKKER AF TRÆ

- Træ mod træ, **beskyttede** forbindelser, krav
 - Beskyttet med yderligere træbeklædning, træbaserede pladematerialer eller gipsplader type A eller H: $t_{ch} \geq t_{req} - 0,5 \cdot t_{d,fi}$
 - Beskyttet med gipsplader, type F: $t_{ch} \geq t_{req} - 1,2 \cdot t_{d,fi}$
 - Proppede forbindelser: længde af propperne bestemmes iht. formel på forrige side
 - t_{req} = maks. 60min., dvs. R60 er maks. beskyttelse
- Fastgørelse af forbindelse må ikke svigte for tidligt, dvs. gips og træplader må ikke falde af før indbrænding begynder ($t = t_{ch}$) og gips type F må ikke falde af i den krævede brandmodstandstid ($t = t_{req}$)



Figur 7.14 Indlimede træpropper kan beskytte forbindelsesmidterne.

Figur 7.15 Forsænket boltehed beskyttet med træplade.

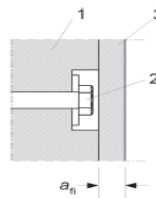
SIDE 46

46



(R) SIDESTYKKER AF TRÆ

- Boltehoveder forudsættes at være beskyttede med en beskyttelse med tykkelsen a_{fi}
- Søm og skruer (fastgørelse af beskyttelse):
 - Afstand mellem forbindelsesmidler:
 - Maks 100mm langs pladens kanter
 - Maks 300mm for indvendige forbindelsesmidler
 - Kantafstand lig med eller større end a_{fi}
- Indtrængningsdybde af forbindelsesmidler for fastgørelser af beskyttende plader:
 - Træ, træbaserede pladematerialer, Gips type A/H: $l = 6d$
 - Gips type F: $l = 10mm$ det ubrændte træ



SIDE 47



47

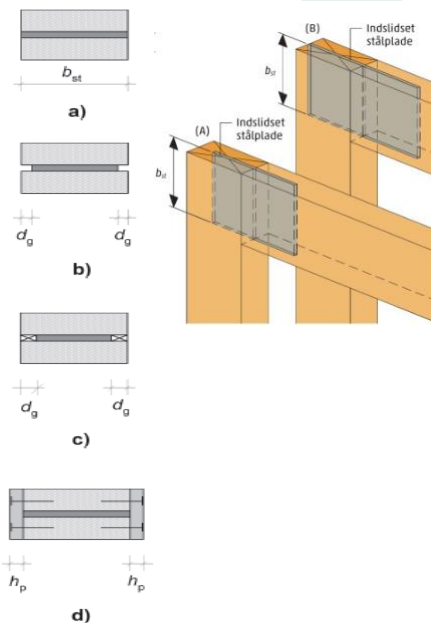
(R) SIDESTYKKER AF TRÆ

- Indvendige stålplader ($t \geq 2mm$) med ubeskyttede kanter (figur a), krav til bredder, b_{st} :

Tabel 6.2 – Stålpладes bredde med ubeskyttede kanter

	R 30	b_{st}
Ubeskyttede kanter generelt	R 30	≥ 200 mm
	R 60	≥ 280 mm
Ubeskyttede kanter på en eller to sider	R 30	≥ 120 mm
	R 60	≥ 280 mm

- Stålplder, der er smallere end trædelen (figur b)
 - Plader med $t \leq 3mm$, $d_g \geq 20mm$: **30min.**
 - Plader med $t \leq 3mm$, $d_g \geq 60mm$: **60min.**
- Stålplder med indlimede propper eller beskyttelse (figur c og d)
 - Plader med d_g eller $h_p \geq 10mm$: **30min.**
 - Plader med d_g eller $h_p \geq 30mm$: **60min.**
- **Kommende Eurocode dækker op til 120min.**



SIDE 48



48



(R) SIDESTYKKER AF TRÆ

- Værdier fra foreløbige version af kommende DS/EN 1995-1-2 (kan blive ændret i endelig version)

Table 9.3 – Geometric requirements for a specific fire resistance time of steel-to-timber connections with dowels^{a)} and a single slotted-in steel plate, in mm

Fire resistance time, $t_{f,s}$	$t_{f,s}$			$\alpha_{f,s}$
	$\eta_T \leq 0.1$	$\eta_T \leq 0.2$	$\eta_T \leq 0.3$	
30 min	≥ 60	≥ 65	≥ 75	≥ 15
60 min	≥ 85	≥ 115	≥ 125	≥ 50
90 min	≥ 150	≥ 160	≥ 170	≥ 90
120 min	≥ 195	≥ 210	≥ 220	≥ 130

^{a)} The table may be used even if 2 dowels are replaced by 2 bolts (or screws)

Table 9.4 – Geometric requirements for a specific fire resistance time of steel-to-timber connections with dowels^{a)} and two slotted-in steel plates, in mm

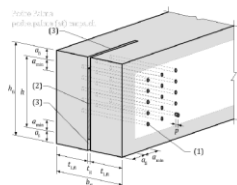
Fire resistance time, $t_{f,s}$	$t_{f,s}$			$\alpha_{f,s}$
	$\eta_T \leq 0.1$	$\eta_T \leq 0.2$	$\eta_T \leq 0.3$	
30 min	≥ 30	≥ 45	≥ 50	≥ 15
60 min	≥ 60	≥ 75	≥ 80	≥ 50
90 min	≥ 90	≥ 100	≥ 110	≥ 90
120 min	≥ 120	≥ 135	≥ 140	≥ 130

^{a)} The table may be used even if 2 dowels are replaced by 2 bolts (or screws)

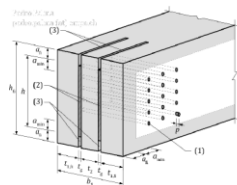
Table 9.5 – Geometric requirements for a specific fire resistance time of steel-to-timber connections with dowels^{a)} and three or more slotted-in steel plates, in mm

Fire resistance time, $t_{f,s}$	$t_{f,s}$			$\alpha_{f,s}$
	$\eta_T \leq 0.1$	$\eta_T \leq 0.2$	$\eta_T \leq 0.3$	
30 min	≥ 25	≥ 35	≥ 40	≥ 15
60 min	≥ 50	≥ 60	≥ 65	≥ 50
90 min	≥ 75	≥ 85	≥ 100	≥ 90
120 min	≥ 100	≥ 110	≥ 115	≥ 130

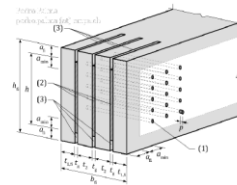
^{a)} The table may be used even if 2 dowels are replaced by 2 bolts (or screws)



Key
(1) steel dowel
(2) slotted-in steel plate
(3) slot for the steel plate



Key
(1) steel dowel
(2) slotted-in steel plate
(3) slot for the steel plate



Key
(1) steel dowel
(2) slotted-in steel plate
(3) slot for the steel plate

$\eta_{fi} = E_d / R_k = \text{Last i brandsituation} / \text{bæreevne i kold situation}$

SIDE 49

