

TRÆINFORMATION

Brandtekniske krav og løsninger i træbyggeri

BRANDDIMENSIONERING AF KONSTRUKTIONER I FORSKELLIGE BYGGESYSTEMER Del 2: Brandmodstand af adskillende bygningsdele

Jacob Ettrup Petersen

Kompetencechef | Trækonstruktioner

M +45 2880 7489

jet@arteliagroup.dk

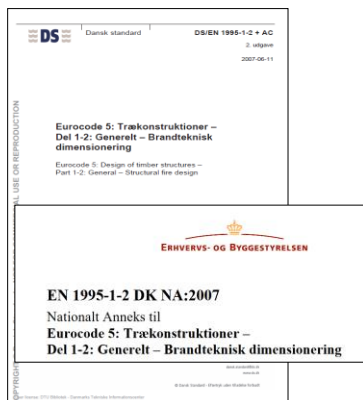
SIDE 1

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 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

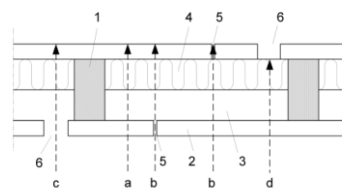
(EI) Væg- og dæks adskillende funktion, DS/EN 1995-1-2, Anneks E



- Forudsættes eftervist: $t_{ins} \geq t_{req}$
 - t_{ins} = tiden til temperaturstigningen på den ikke brandeksponerede side overstiger 140K/180K
 - t_{req} = krævede brandmodstandevne for konstruktionens adskillende funktion (eks. EI30, EI60)

Tabel E.1 – Varmerovergangsvej gennem lag

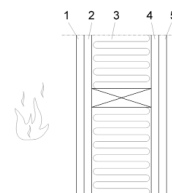
	Temperaturstigning på den ikke-brandeksponerede side K	Varmerovergangsvej i henhold til figur E.1
Generel konstruktion	140	a
Fuger	180	b
Installationer	180	c, d



Forklaring:
 1 Træskelstribel
 2 Beklædning
 3 Tomt hulrum
 4 Hulrumsisolering
 5 Beklædningssted uden bagvedliggende lægte, stolpe eller bjælke
 6 Placering af installationer
 a–d Varmerovergangsveje

Figur E.1 – Illustration af varmerovergangsveje gennem en adskillende konstruktion

- Generelt formeludtryk til at beregne EI: $t_{ins} = \sum_i t_{ins,0} k_{pos} k_j$
 - $t_{ins,0}$ = grundisoleringsværdien for lag "i" [min]
 - k_{pos} = positionskoefficient
 - k_j = koefficient for forbindelse
- Gælder i op til 60 min.!



Figur E.2 – Definition af numre på lag

SIDE 4



4



(EI) DS/EN 1995-1-2, Anneks E, Grundisoleringsværdier for plader

- Krydsfinér, karakteristisk densitet $\geq 450 \text{ kg/m}^3$: $t_{ins,0} = 0,95h_p$
- Spånplader, karakteristisk densitet $\geq 600 \text{ kg/m}^3$: $t_{ins,0} = 1,1h_p$
- Træfiberplader, karakteristisk densitet $\geq 600 \text{ kg/m}^3$: $t_{ins,0} = 1,1h_p$
- Træbeklædninger, karakteristisk densitet $\geq 400 \text{ kg/m}^3$: $t_{ins,0} = 0,5h_p$
- Gipsplader, type A, F, R og H: $t_{ins,0} = 1,4h_p$

h_p = pladetykkelse

N.B.: Værdierne gælder for eftervisning af brandmodstandsevner i op til 60 min.!

SIDE 5



5



(EI) DS/EN 1995-1-2, Anneks E, Grundisoleringsværdier for hulrum

- Tomt hulrum: $t_{ins,0} = 5,0$
- Hulrum, helt eller delvist udfyldt med isolering af:
 - Stenuld: $t_{ins,0} = 0,2h_{ins}k_{dens}$
 - Glasuld: $t_{ins,0} = 0,1h_{ins}k_{dens}$

h_{ins} = isoleringstykkelse

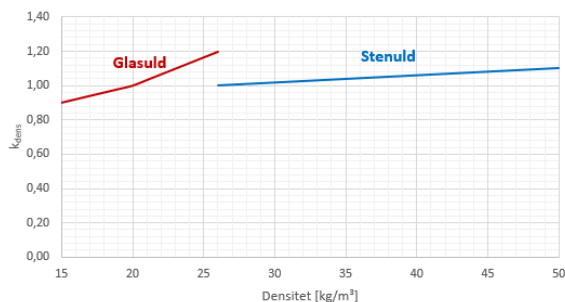
h_{dens} = er givet i tabel E.2

Tabel E.2 – Værdier for k_{dens} for hulrumsisoleringsmateriale

Hulrumsmateriale	Densitet kg/m ³	k_{dens} ^{a)}
Glasuld	15	0,9
	20	1,0
	26	1,2
Stenuld	26	1,0
	50	1,1

^{a)} For mellemliggende densiteter kan der anvendes lineær interpolation.

k_{dens} som fkt. af densitet



SIDE 6



6



(EI) DS/EN 1995-1-2, Anneks E, Grundisoleringsværdier for hulrum

- Tomt hulrum: $t_{ins,0} = 5,0$

- Grænse for effekt af isolering:

- Stenuld:

$$t_{ins,0} = 0,2h_{ins}k_{dens} \Rightarrow h_{ins} \geq \frac{t_{ins,0}}{0,2k_{dens}}$$

$$h_{ins} \geq \frac{5,0}{0,2 \cdot 1,0} = 25\text{mm for effekt tilsvarende hulrum}$$

- Glasuld:

$$t_{ins,0} = 0,1h_{ins}k_{dens} \Rightarrow h_{ins} \geq \frac{t_{ins,0}}{0,1k_{dens}}$$

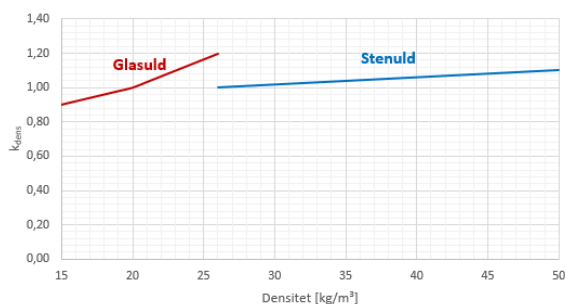
$$h_{ins} \geq \frac{5,0}{0,1 \cdot 1,0} = 56\text{mm for effekt tilsvarende hulrum}$$

Tabel E.2 – Værdier for k_{dens} for hulrumsisoleringsmateriale

Hulrumsmateriale	Densitet kg/m ³	k_{dens} ^{a)}
Glasuld	15	0,9
	20	1,0
	26	1,2
Stenuld	26	1,0
	50	1,1

^{a)} For mellemliggende densiteter kan der anvendes lineær interpolation.

k_{dens} som fkt. af densitet



SIDE 7



7



(EI) DS/EN 1995-1-2, Anneks E, Positionskoefficient, Etlagsbeklædninger

Tabel E.3 – Positionskoefficienter k_{pos} for etlagsbeklædninger på den brandeksponerede side

Beklædning på brandeksponeret side	Tykkelse mm	Positionskoefficient for plader med bagbeklædning af	
		sten- eller glasuldsisolering	tomt
Krydsfiner med karakteristisk densitet $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	9 til 25	Formel (E.9)	0,8
Spånplade, træfiberplade med karakteristisk densitet $\geq 600 \text{ kg/m}^3$	9 til 25		
Træbeklædning med karakteristisk densitet $\geq 400 \text{ kg/m}^3$	15 til 19		
Gipsplade type A, H, F	9 til 15		

$$k_{pos} = \min \left\{ \frac{0,02h_p + 0,54}{1} \right.$$

Hvor den eksponerede side er udført af andre materialer end gipsplader type F, kan positionskoefficienten k_{pos} for et tomt hulrum og et isoleringslag sættes til 1,0. Hvor den eksponerede side er udført i gipsplader type F bør positionskoefficienten sættes til:

$k_{pos} = 1,5$ for et tomt hulrum, eller et hulrum fyldt med stenuldsisolering

$k_{pos} = 2,0$ for et hulrum fyldt med glasuldsisolering.

Tabel E.4 – Positionskoefficienter k_{pos} for etlagsbeklædninger på den ikke-brandeksponerede side

Beklædning på brandeksponeret side	Beklædnings-tykkelse på ueksponeret side mm	Positionskoefficient for plader med beklædning foran af	Stenuld med tykkelsen ^{a)}				Tomt
			Glasuld	Stenuld med tykkelsen ^{a)}			
				45 til 95	145	195	
Krydsfiner med densitet $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	9 til 25	Formel (E.10)	1,5	3,9	4,9	0,6	
Spånplade og træfiberplade med densitet $\geq 600 \text{ kg/m}^3$	9 til 25	Formel (E.10)				0,6	
Træbeklædning med densitet $\geq 400 \text{ kg/m}^3$	15 til 19	0,45 0,67				0,6	
Gipsplade type A, H, F	9 til 15	Formel (E.10)				0,7	

^{a)} For mellemværdierne vælger man den nærmest liggende lineære interpolation

^{a)} For mellemliggende værdier kan der anvendes lineær interpolation.

$$k_{pos} = 0,07h_p - 0,17$$

(3) For dækkonstruktioner med brandpåvirkning nedefra kan de positionskoefficienter, der er angivet i tabel E.3, ganges med 0,8.

SIDE 8



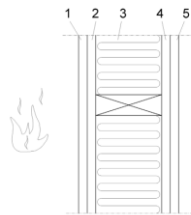
8



(EI) DS/EN 1995-1-2, Anneks E, **Positionskoefficient, Tolagsbeklædninger**

Tabel E.5 – Positionskoefficienter k_{pos} for vægge med tolagsbeklædninger

Konstruktion: Nummer på lag og materiale		Nummer på lag				
		1	2	3	4	5
1, 2, 4, 5 3	Træbaseret plademateriale Tomt	0,7	0,9	1,0	0,5	0,7
1, 2, 4, 5 3	Gipsplade type A eller H Tomt	1,0	0,8	1,0	0,8	0,7
1, 5 2,4 3	Gipsplade type A eller H Træbaseret plademateriale Tomt	1,0	0,8	1,0	0,8	0,7
1,5 2, 4 3	Træbaseret plademateriale Gipsplade type A eller H Tomt	1,0	0,6	1,0	0,8	0,7
1, 2, 4, 5 3	Træbaseret plademateriale Stenuldbatts	0,7	0,6	1,0	1,0	1,5
1, 2, 4, 5 3	Gipsplade type A eller H Stenuldbatts	1,0	0,6	1,0	0,9	1,5
1, 5 2, 4 3	Gipsplade type A eller H Træbaseret plademateriale Stenuldbatts	1,0	0,8	1,0	1,0	1,2
1, 5 2, 4 3	Træbaseret plademateriale Gipsplade type A eller H Stenuldbatts	1,0	0,6	1,0	1,0	1,5



Figur E.2 – Definition af numre på lag

SIDE 9



(EI) DS/EN 1995-1-2, Anneks E, **Koefficient for forbindelse/fuge**



(1) Fugekoefficienten k_f kan regnes som $k_f = 1$ i følgende tilfælde:

- beklædningsstød fastgjort til en lægte med mindst samme tykkelse eller til et konstruktionselement
- træbeklædning.

NOTE – For træbeklædning er virkningen af stød indeholdt i grundisoleringsværdierne $t_{ins,0}$ givet ved formel (E.5).

(2) For beklædningsstød ikke fastgjort til en lægte kan fugekoefficienten k_f tages fra tabel E.6 og E.7.

(3) For stød i isoleringsbatts kan fugekoefficienten regnes som $k_f = 1$.

Tabel E.7 – Fugekoefficient k_f , der tager hensyn til virkninger af stød i beklædninger af gipsplader uden lægter bagved

	Fugetype	Type	k_f	
			Fyldte fuger	Ufyldte fuger
a		A, H, F	1,0	0,2
b		A, H, F	1,0	0,15

Tabel E.6 – Fugekoefficient k_f , der tager hensyn til virkninger af stød i træbaserede pladematerialer uden lægter bagved

	Fugetype	k_f
a		0,2
b		0,3
c		0,4
d		0,4
e		0,6

SIDE 10





(EI) DS/EN 1995-1-2, Anneks E, Eksempel 1

- Opbygning:
 - Isolering: stenuld, densitet = 26kg/m^3 , tykkelse $h_{ins} = 45\text{mm}$
 - Beklædning: type A (normal) på begge sider, tykkelse, $h_p = 12,5\text{mm}$
- Grundværdi for plade, brandeksponeret side: $t_{ins,0,1} = 1,4h_p = 1,4 \cdot 12,5\text{mm} = 17,5\text{min}$
- Grundværdi for isolering (stenuld):
Densitet = $26\text{kg/m}^3 \Rightarrow k_{dens} = 1,0 \Rightarrow t_{ins,0,2} = 0,2h_{ins}k_{dens} = 0,2 \cdot 45\text{mm} \cdot 1,0 = 9\text{min}$
- Grundværdi for plade, brandeksponeret side: $t_{ins,0,3} = 1,4h_p = 1,4 \cdot 12,5\text{mm} = 17,5\text{min}$

SIDE 11



11



(EI) DS/EN 1995-1-2, Anneks E, Eksempel 1

- Positionskoefficient for plade, brandeksponeret side

Tabel E.3 – Positionskoefficienter k_{pos} for etagsbeklædninger på den brandeksponerede side

Beklædning på brandeksponeret side	Tykkelse mm	Positionskoefficient for plader med bagbeklædning af	
		sten- eller glasuldisolering	tomt
Kryddeliner med karakteristisk densitet $\geq 450\text{ kg/m}^3$	9 til 25	Formel (E.9)	0,8
Spånlade, træflæderplade med karakteristisk densitet $\geq 400\text{ kg/m}^3$	9 til 25		
Træbeklædning med karakteristisk densitet $\geq 400\text{ kg/m}^3$	15 til 19		
Gipsplade type A, H, F	9 til 15		

$$k_{pos,1} = \min \left\{ \frac{0,02h_p + 0,54}{1} = \min \left\{ \frac{0,02 \cdot 12,5\text{mm} + 0,54}{1} = 0,79 \right. \right.$$

- Positionskoefficient for stenuld

Hvor den eksponerede side er udført af andre materialer end gipsplader type F, kan positionskoefficienten k_{pos} for et tomt hulrum og et isoleringslag sættes til 1,0. Hvor den eksponerede side er udført i gipsplader type F bør positionskoefficienten sættes til:

$$k_{pos} = 1,5 \text{ for et tomt hulrum, eller et hulrum fyldt med stenuldisolering}$$

$$k_{pos} = 2,0 \text{ for et hulrum fyldt med glasuldisolering.}$$

$$k_{pos,2} = 1$$

- Positionskoefficient for plade, ikke-brandeksponeret side

Tabel E.4 – Positionskoefficienter k_{pos} for etagsbeklædninger på den ikke-brandeksponerede side

Beklædning på brandeksponeret side	Beklædnings-tykkelse på uksponeret side mm	Positionskoefficient for plader med beklædning foran af			
		Glasuld	Stenuld med tykkelsen ^a		
			45 til 95	145	195
Kryddeliner med densitet $\geq 450\text{ kg/m}^3$	9 til 25	Formel (E.10)	1,5	3,9	4,9
Spånlade og træflæderplade med densitet $\geq 400\text{ kg/m}^3$	9 til 25	Formel (E.10)			
Træbeklædning med densitet $\geq 400\text{ kg/m}^3$	15 til 19	0,45 0,67			
Gipsplade type A, H, F	9 til 15	Formel (E.10)			

$$k_{pos,3} = 1,5$$

SIDE 1



12



(EI) DS/EN 1995-1-2, Anneks E, Eksempel 1

- Koefficient for forbindelse:
 - Alle stød laves på lægter, dvs. ingen frie stød $k_j = 1,0$ for både plader og isolering.
- Samlet brandmodstandstid:
 - Bidrag, brandeksponeret plade: $t_{ins,1} = 17,5min \cdot 0,79 \cdot 1,0 = 13,8min$
 - Bidrag, stenudd: $t_{ins,2} = 9min \cdot 1,00 \cdot 1,0 = 9,0min$
 - Bidrag, ikke-brandeksponeret plade: $t_{ins,3} = 17,5min \cdot 1,5 \cdot 1,0 = 26,3min$
 - **Total:** $t_{ins} = \sum_i t_{ins,i} = 49,1min$
- Væggen kan derfor klassificeres som **EI30**

SIDE 13



13



(EI) DS/EN 1995-1-2, Anneks E, Eksempel 2

- Opbygning, samme væg, men med 2 gipsplader på hver side
 - Isolering: stenudd, densitet = $26kg/m^3$, tykkelse $h_{ins} = 45mm$
 - Beklædning: 2 x type A (normal) på begge sider, tykkelse, $h_p = 12,5mm$
- Grundværdi for plader og isolering ændres ikke:
 - Lag 1: $t_{ins,0,1} = 17,5min$ (12,5mm gipsplade)
 - Lag 2: $t_{ins,0,2} = 17,5min$ (12,5mm gipsplade)
 - Lag 3: $t_{ins,0,3} = 9,0min$ (45mm stenudd)
 - Lag 4: $t_{ins,0,4} = 17,5min$ (12,5mm gipsplade)
 - Lag 5: $t_{ins,0,5} = 17,5min$ (12,5mm gipsplade)

SIDE 14



14

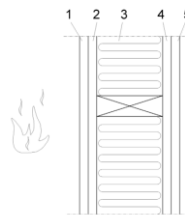


(EI) DS/EN 1995-1-2, Anneks E, Eksempel 2

- Positionscoefficients for plate, brandeksponeret side

Tabel E.5 – Positionscoefficients k_{pos} for vægge med tolagsbeklædninger

Konstruktion:		Nummer på lag				
Nummer på lag og materiale		1	2	3	4	5
1, 2, 4, 5 3	Træbaseret plademateriale Tomt	0,7	0,9	1,0	0,5	0,7
1, 2, 4, 5 3	Gipsplade type A eller H Tomt	1,0	0,8	1,0	0,8	0,7
1, 5 2, 4 3	Gipsplade type A eller H Træbaseret plademateriale Tomt	1,0	0,8	1,0	0,8	0,7
1, 5 2, 4 3	Træbaseret plademateriale Gipsplade type A eller H Tomt	1,0	0,6	1,0	0,8	0,7
1, 2, 4, 5 3	Træbaseret plademateriale Stenuldbatts	0,7	0,6	1,0	1,0	1,5
1, 2, 4, 5 3	Gipsplade type A eller H Stenuldbatts	1,0	0,6	1,0	0,9	1,5
1, 5 2, 4 3	Gipsplade type A eller H Træbaseret plademateriale Stenuldbatts	1,0	0,8	1,0	1,0	1,2
1, 5 2, 4 3	Træbaseret plademateriale Gipsplade type A eller H Stenuldbatts	1,0	0,6	1,0	1,0	1,5



Figur E.2 – Definition af numre på lag

$$k_{pos,1} = 1,0 \quad k_{pos,2} = 0,6 \quad k_{pos,3} = 1,0$$

$$k_{pos,4} = 0,9 \quad k_{pos,5} = 1,5$$

SIDE 15



15



(EI) DS/EN 1995-1-2, Anneks E, Eksempel 2

- Koefficient for forbindelse:
 - Alle stød laves på lægter, dvs. ingen frie stød $k_j = 1,0$ for både plader og isolering.

- Samlet brandmodstandstid:

- Bidrag, brandeksponeret plade, lag 1:

$$t_{ins,1} = 17,5min \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 17,5min$$

- Bidrag, brandeksponeret plade, lag 2:

$$t_{ins,2} = 17,5min \cdot 0,6 \cdot 1,0 = 10,5min$$

- Bidrag, glasuld, lag 3:

$$t_{ins,3} = 9min \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 9,0min$$

- Bidrag, ikke-brandeksponeret plade, lag 4:

$$t_{ins,4} = 17,5min \cdot 0,9 \cdot 1,0 = 15,8min$$

- Bidrag, ikke-brandeksponeret plade, lag 5:

$$t_{ins,5} = 17,5min \cdot 1,5 \cdot 1,0 = 26,3min$$

- Total:

$$t_{ins} = \sum_i t_{ins,i} = 79,0min$$

- Væggen kan derfor klassificeres som **EI60**

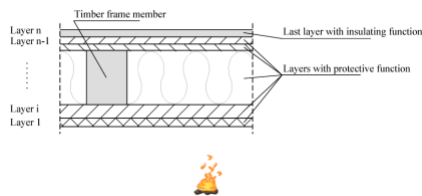
SIDE 16



16

(EI) Brandsäkra Trähus 3 / kommende Eurocode 5, del 1-2

- Metoden gælder for flere materialer
- Princip:
 - Bidrag fra hvert lag (beklædning, isolering, hulrum) adderes
 - Bidraget fra laget afhænger både af lagene før og efter
 - i = lag nr. fra eksponeret side
 - n = sidste lag



Sum af alle lag med undtagelse af sidste lag

Bidrag fra sidste lag

$$t_{ins} = \sum_{i=1}^{i=n-1} t_{prot,i} + t_{ins,n}$$

$$t_{prot,i} = (t_{prot,0,i} \cdot k_{pos,exp,i} \cdot k_{pos,unexp,i} + \Delta t_i) \cdot k_{j,i}$$

$$t_{ins,n} = (t_{ins,0,n} \cdot k_{pos,exp,n} + \Delta t_n) \cdot k_{j,n}$$

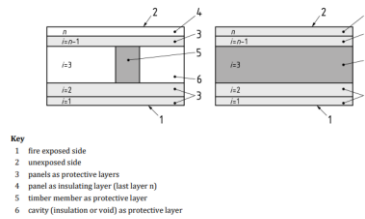


Figure 7.10 — Numbering and function of the layers in the assembly

SIDE 17



17

(EI) Brandsäkra Trähus 3, Grundlæggende værdier

- Grundisoleringsværdi, $t_{ins,0,n}$

$$t_{ins,n} = (t_{ins,0,n} \cdot k_{pos,exp,n} + \Delta t_n) \cdot k_{j,n}$$

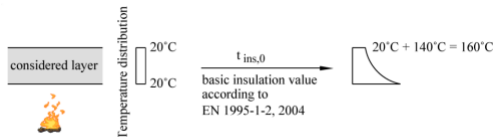


Figure 5.3. Definition of the basic insulation value $t_{ins,0}$ according to EN 1995-1-2.

- Grundbeskyttelsesværdi $t_{prot,0,i}$

$$t_{prot,i} = (t_{prot,0,i} \cdot k_{pos,exp,i} \cdot k_{pos,unexp,i} + \Delta t_i) \cdot k_{j,i}$$

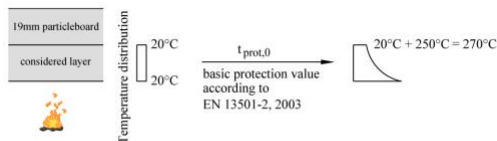


Figure 5.4. Definition of the basic protection value $t_{prot,0}$ according to EN 13501-2.

SIDE 18



18

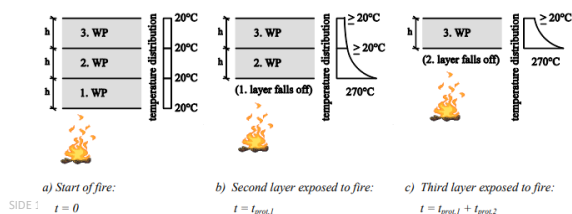
Material	Basic insulation value $t_{ins,0,n}$ [min]	Basic protection value $t_{prot,0,i}$ [min]
Gypsum plasterboard, gypsum fibre board	$24 \cdot \left(\frac{h_i}{15}\right)^{1,4}$	$30 \cdot \left(\frac{h_i}{15}\right)^{1,2}$
Solid timber, cross-laminated timber, LVL	$19 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1,4}$	$30 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1,1} \leq \frac{h_i}{\beta_0}$
Particleboard, fibreboard	$22 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1,4}$	$33 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1,1} \leq \frac{h_i}{\beta_0}$
OSB, plywood	$16 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1,4}$	$23 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1,1} \leq \frac{h_i}{\beta_0}$
Stone wool insulation with $\rho \geq 26 \text{ kg/m}^3$	0	$0,3 \cdot h_i^{(0,75 \log(\rho_i) - \rho_i/400)}$
Glass wool insulation with $\rho \geq 15 \text{ kg/m}^3$	0	for $h_i < 40 \text{ mm}$: 0 for $h_i \geq 40 \text{ mm}$: $(0,0007 \cdot \rho_i + 0,046) \cdot h_i + 13 \leq 30$

Where h_i : Thickness of the layer considered [mm]
 ρ_i : Density of the layer considered [kg/m^3]
 β_0 : One-dimensional charring rate ($\beta_0 = 0,65 \text{ mm}^2/\text{min}$)



(EI) Brandsäkra Trähus 3, Positionskoefficient

- Positionskoefficienten afhænger af de foregående lag
 - Når et lag falder af (antages ved 270°C) vil det næste lag allerede være opvarmet
 - Temperaturen i brandrummet vil desuden være højere
 - Laget vil derfor yde mindre beskyttelse end det foregående
 - Dette er medtaget i positionskoefficienten.



Material	Position coefficient $k_{pos,exp,i}$ and $k_{pos,exp,n}$	
Cladding (gypsum, timber)	$k_{pos,exp,n}$ for $t_{ins,n}$	
	$1 - 0,6 \cdot \frac{\sum t_{prot,n-1}}{t_{ins,0,n}}$	for $\sum t_{prot,n-1} \leq \frac{t_{ins,0,n}}{2}$
	$0,5 \cdot \sqrt{\frac{t_{ins,0,n}}{\sum t_{prot,n-1}}}$	for $\sum t_{prot,n-1} > \frac{t_{ins,0,n}}{2}$
	$k_{pos,exp,i}$ for $t_{prot,i}$	
Stone wool insulation	$1 - 0,6 \cdot \frac{\sum t_{prot,i-1}}{t_{prot,0,i}}$	for $\sum t_{prot,i-1} \leq \frac{t_{prot,0,i}}{2}$
	$0,5 \cdot \sqrt{\frac{t_{prot,0,i}}{\sum t_{prot,i-1}}}$	for $\sum t_{prot,i-1} > \frac{t_{prot,0,i}}{2}$
	$k_{pos,exp,i}$ for $t_{prot,i}$	
	$1 - 0,8 \cdot \frac{\sum t_{prot,i-1}}{t_{prot,0,i}}$	for $\sum t_{prot,i-1} \leq \frac{t_{prot,0,i}}{4}$
Glass wool insulation for $h \geq 40$ mm	$(0,001 \cdot \rho_i + 0,27) \cdot \left[\frac{t_{prot,0,i}}{\sum t_{prot,i-1}} \right]^{(0,75 - 0,002 \cdot \rho_i)}$	for $\sum t_{prot,i-1} > \frac{t_{prot,0,i}}{4}$

With ρ_i : Density of the layer considered [kg/m³]

19

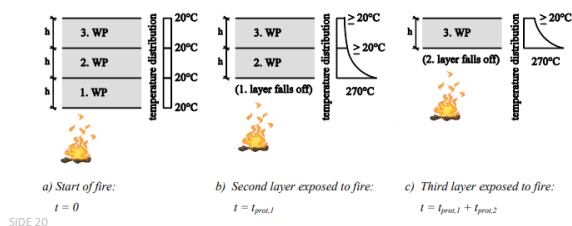


(EI) Brandsäkra Trähus 3, Positionskoefficient

- FEM-modelleringer viser, at laget bagved det betragtede lag også kan have indvirkning på det foregående lags egenskaber
 - Indvirkningen af træ vil være lille
 - Isolering på bagsiden af laget vil til gengæld bevirke, at laget opvarmes hurtigere.
 - Dette medtages i den ekstra positionskoefficient

Material of the layer considered	$k_{pos,unexp,i}$ for layers backed by cladding made of gypsum or timber	$k_{pos,unexp,i}$ for layers backed by insulation
Gypsum plasterboard, gypsum fibre board	1,0	$0,5 \cdot h_i^{0,15}$
Solid timber, cross-laminated timber, LVL	1,0	$0,35 \cdot h_i^{0,21}$
Particleboard, fibreboard	1,0	$0,41 \cdot h_i^{0,18}$
OSB, plywood	1,0	$0,5 \cdot h_i^{0,15}$
Stone wool insulation	1,0	$0,18 \cdot h_i^{(0,001 \rho_i + 0,08)}$
Glass wool insulation	1,0	$0,01 \cdot h_i - \frac{h_i^2}{30000} + \rho_i^{0,09} - 1,3$

With h_i : Thickness of the layer considered [mm]



20



(EI) Brandsäkra Trähus 3, Korrektionsfaktor, Δt

- Udgangspunktet for positionskoefficienten er, at laget falder af ved 270°C
- Gipsplader, type F, falder ikke af i det øjeblik, varmen trænger ind gennem dem
- Der er derfor indført en korrektion for det.

Table 5.4. Correction time Δt_i and Δt_n of protection and insulation times $t_{prot,i}$ and $t_{ins,n}$ of layers protected by Type F gypsum plasterboards and gypsum fibre boards.

Material	Floor assemblies	Wall assemblies
Cladding (gypsum, timber)	Δt_n for $t_{ins,n}$ [min]	
	$0,06 \cdot t_{prot,n-1} + 1,1 \cdot t_{ins,0,n} - 5,0$ for $t_{ins,0,n} < 8$ min	$0,03 \cdot t_{prot,n-1} + 0,9 \cdot t_{ins,0,n} - 2,3$ for $t_{ins,0,n} < 12$ min
	$0,1 \cdot t_{prot,n-1} - 0,035 \cdot t_{ins,0,n} + 1,2$ for $t_{ins,0,n} \geq 8$ min	$0,22 \cdot t_{prot,n-1} - 0,1 \cdot t_{ins,0,n} + 4,7$ for $t_{ins,0,n} \geq 12$ min
	Δt_i for $t_{prot,i}$ [min]	
	$0,06 \cdot t_{prot,i-1} + 1,1 \cdot t_{prot,0,i} - 5,0$ for $t_{prot,0,i} < 8$ min	$0,03 \cdot t_{prot,i-1} + 0,9 \cdot t_{prot,0,i} - 2,3$ for $t_{prot,0,i} < 12$ min
	$0,1 \cdot t_{prot,i-1} - 0,035 \cdot t_{prot,0,i} + 1,2$ for $t_{prot,0,i} \geq 8$ min	$0,22 \cdot t_{prot,i-1} - 0,1 \cdot t_{prot,0,i} + 4,7$ for $t_{prot,0,i} \geq 12$ min
Insulation (mineral wool insulation)	Δt_i for $t_{prot,i}$ [min]	
	$0,1 \cdot t_{prot,i-1} - 0,035 \cdot t_{prot,0,i}$	$0,1 \cdot t_{prot,i-1} + t_{prot,0,i} - 1,0$ for $t_{prot,0,i} < 6$ min
		$0,22 \cdot t_{prot,i-1} - 0,1 \cdot t_{prot,0,i} + 3,5$ for $t_{prot,0,i} \geq 6$ min

SIDE 21



21



(EI) Brandsäkra Trähus 3, Samlingskoefficient

Table 5.5. Joint coefficient $k_{j,i}$

Material	Joint type	$k_{j,n}$ for $t_{ins,n}$	$k_{j,i}$ for $t_{prot,i}$	Layer backed by battens or panels or structural members or insulation
Cladding (timber)		0,3	0,3	1,0
		0,4	0,4	1,0
		0,6	0,6	1,0
	no joint	1,0	1,0	1,0
	no joint	1,0	1,0	1,0
Gypsum plasterboard, gypsum fibre board		0,8	0,8	1,0
	no joint	1,0	1,0	1,0
Insulation (mineral wool insulation)		-	0,8	1,0
	no joint	-	1,0	1,0

SIDE 22



22



(EI) Brandsäkra Trähus 3, Hulrum

Table 5.6. Modification of position coefficient $k_{pos,exp}$ and $k_{pos,unexp}$ for void cavities.

Material	Layer on the exposed side of the cavity	Layer on the unexposed side of the cavity	
Cladding (gypsum, timber)	$k_{pos,unexp,i}$ according to Table 5.3, column 3	$1,6 \times k_{pos,exp,i}$ according to Table 5.2	$3 \times \Delta t_i$ (or $3 \times \Delta t_i$) according to Table 5.4
Insulation (mineral wool insulation)	$k_{pos,unexp,i} = 1,0$	$1,6 \times k_{pos,exp,i}$ according to Table 5.2	Δt_i (or Δt_i) according to Table 5.4

SIDE 23



23



(EI) Brandsäkra Trähus 3, Eksempel

- CLT 100 – 3-lags (30-40-30) væg med 15mm brandgips
- Lag 1 (brandgips)

Material	Basic insulation value $t_{ins,i,n}$ [min]	Basic protection value $t_{prot,i,j}$ [min]
Gypsum plasterboard, gypsum fibre board	$24 \cdot \left(\frac{h_i}{15}\right)^{1,4}$	$30 \cdot \left(\frac{h_i}{15}\right)^{1,2}$

- Grundbeskyttelsesværdi: $t_{prot,0,1} = 30 \cdot \left(\frac{h_1}{15mm}\right)^{1,2} = 30 \cdot \left(\frac{15mm}{15mm}\right)^{1,2} = 30min$
- Positionskoefficient: $k_{pos,exp,1} = 1,0$ (er påvirket af branden fra start)
- Positionskoefficient (fra bagvedliggende lag):
 $k_{pos,unexp,1} = 1,0$ (CLT bagved)
- Samlingskoefficient: $k_{j,1} = 1,0$ (fyldte fuger, brandgips)
- Korrektionsfaktor: $\Delta t_1 = 0$ (første lag)
- Beskyttelsestid: $t_{prot,1} = (t_{prot,0,1} \cdot k_{pos,exp,1} \cdot k_{pos,unexp,1} + \Delta t_1) \cdot k_{j,1}$
 $= (30 \cdot 1,0 \cdot 1,0 + 0) \cdot 1,0 = 30min$

SIDE 24



24



(EI) Brandsäkra Trähus 3, Eksempel

- Lag 2 (CLT, lag 1, 30mm)

- Grundbeskyttelsesværdi: $t_{prot,0,2} = \min \left(30 \cdot \left(\frac{h_2}{20mm} \right)^{1,1}, \frac{h_2}{\beta_0} \right) = \min \left(30 \cdot \left(\frac{30mm}{20mm} \right)^{1,1}, \frac{30mm}{0,65mm/min} \right) = 46,2min$
- Positionskoefficient: $k_{pos,exp,2} = 0,5 \sqrt{\frac{t_{prot,0,2}}{\sum t_{prot,2-1}}} = 0,5 \sqrt{\frac{46,2}{30}} = 0,62$
- Positionskoefficient (fra bagvedliggende lag): $k_{pos,unexp,2} = 1,0$ (CLT bagved)
- Samlingskoefficient: $k_{j,2} = 1,0$ (fyldte fuger, brandgips)
- Korrektionsfaktor: $\Delta t_2 = 0,22 \cdot t_{prot,2-1} - 0,1 \cdot t_{prot,0,2} + 4,7 = 0,22 \cdot 30 - 0,1 \cdot 46,2 + 4,7 = 6,68$ (lag placeret efter brandgips)
- Beskyttelsestid: $t_{prot,2} = (t_{prot,0,2} \cdot k_{pos,exp,2} \cdot k_{pos,unexp,2} + \Delta t_2) \cdot k_{j,2}$
 $= (46,2 \cdot 0,62 \cdot 1,0 + 6,68) \cdot 1,0 = 35,3min$

Material	Basic insulation value $t_{ins,0,n}$ [min]	Basic protection value $t_{prot,0,i}$ [min]
Solid timber, cross-laminated timber, LVL	$19 \cdot \left(\frac{h_i}{20} \right)^{1,4}$	$30 \cdot \left(\frac{h_i}{20} \right)^{1,1} \leq \frac{h_i}{\beta_0}$

SIDE 25



25



(EI) Brandsäkra Trähus 3, Eksempel

- Lag 3 (CLT, lag 2, 40mm)

- Grundbeskyttelsesværdi: $t_{prot,0,3} = \min \left(30 \cdot \left(\frac{h_3}{20mm} \right)^{1,1}, \frac{h_3}{\beta_0} \right) = \min \left(30 \cdot \left(\frac{40mm}{20mm} \right)^{1,1}, \frac{40mm}{0,65mm/min} \right) = 61,5min$
- Positionskoefficient: $k_{pos,exp,3} = 0,5 \sqrt{\frac{t_{prot,0,3}}{\sum t_{prot,3-1}}} = 0,5 \sqrt{\frac{61,5}{30+35,3}} = 0,49$
- Positionskoefficient (fra bagvedliggende lag): $k_{pos,unexp,3} = 1,0$ (CLT bagved)
- Samlingskoefficient: $k_{j,3} = 1,0$ (fyldte fuger, brandgips)
- Korrektionsfaktor: $\Delta t_3 = 0$ (CLT foran)
- Beskyttelsestid: $t_{prot,3} = (t_{prot,0,3} \cdot k_{pos,exp,3} \cdot k_{pos,unexp,3} + \Delta t_3) \cdot k_{j,3}$
 $= (61,5 \cdot 0,49 \cdot 1,0 + 0) \cdot 1,0 = 30,1min$

Material	Basic insulation value $t_{ins,0,n}$ [min]	Basic protection value $t_{prot,0,i}$ [min]
Solid timber, cross-laminated timber, LVL	$19 \cdot \left(\frac{h_i}{20} \right)^{1,4}$	$30 \cdot \left(\frac{h_i}{20} \right)^{1,1} \leq \frac{h_i}{\beta_0}$

SIDE 26



26



(EI) Brandsäkra Trähus 3, Eksempel

- Lag 4 (CLT, lag 4, 30mm)

- Grundisoleringsværdi: $t_{ins,0,4} = 19 \cdot \left(\frac{h_4}{20mm}\right)^{1,4} = 19 \cdot \left(\frac{30mm}{20mm}\right)^{1,4} = 33,5min$
- Positionscoefficient: $k_{pos,exp,4} = 0,5 \sqrt{\frac{t_{ins,0,4}}{\sum t_{prot,4-1}}} = 0,5 \sqrt{\frac{61,5}{30+35,3+30,1}} = 0,3$
- Samlingscoefficient: $k_{j,1} = 1,0$ (fyldte fuger, brandgips)
- Korrektionsfaktor: $\Delta t_1 = 0$ (CLT foran)
- Beskyttelsestid: $t_{ins,4} = (t_{ins,0,4} \cdot k_{pos,exp,4} + \Delta t_4) \cdot k_{j,4}$
 $= (33,5 \cdot 0,3 \cdot 1,0 + 0) \cdot 1,0 = 10,1min$

Material	Basic insulation value $t_{ins,0,n}$ [min]	Basic protection value $t_{prot,0,i}$ [min]
Solid timber, cross-laminated timber, LVL	$19 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1,4}$	$30 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1,1} \leq \frac{h_i}{\beta_0}$

SIDE 27



27



(EI) Brandsäkra Trähus 3, Eksempel

- Samlet EI:

$$t_{ins} = \sum_{i=1}^{i=n-1} t_{prot,i} + t_{ins,n} = 30,0 + 35,3 + 30,1 + 10,1 = 105,5min$$

- Til orientering, indbrænding efter 60min i brud bevirker, at der kun er ét lag på 36mm tilbage (se tidligere eksempel), dvs. ved brud vil væggen højst sandsynligt kun være R30, mens dens adskillende funktion er EI60.

SIDE 28



28



Hvordan sikres EI i praksis?

- Tabelopslag i alment teknisk fælleseje, fx TRÆ 78.
- Beregning iht. foregående
- Tests

Tabel 7.26 Brandmodstandstid ti for etagedæk i minutter efter Eurocode 5 med 1 lag beklædning på hver side.

Hulrum	Tomt	Glasuld 15 kg/m³				Stenuld 26 kg/m³			
Tykkelse, mm	45-200	95	145	195	95	120	145	170	
22 mm spånplade på overside									
12 mm krydsfinner	26,8	48,8	53,3	57,8	62,4	> 60	> 60	> 60	
13 mm gipsplade	33,1	52,8	57,3	61,8	66,4	> 60	> 60	> 60	
15 mm brandgipsplade	35,4	55,8	60,3	64,8	78,9	> 60	> 60	> 60	
12 mm krydsfinner på oversiden									
12 mm krydsfinner	19,1	23,3	27,8	32,3	43,2	61,9	> 60	> 60	
13 mm gipsplade	24,2	27,2	31,7	36,2	47,2	65,8	> 60	> 60	
15 mm brandgipsplade	26,4	30,3	34,8	39,3	59,7	80,9	> 60	> 60	

Tabel 7.27 Brandmodstandstid ti for etagedæk i minutter efter Brandsåkra træhus med 1 lag beklædning på hver side.

Hulrum	Tomt	Glasuld 15 kg/m³				Stenuld 30 kg/m³			
Tykkelse, mm	45-200	95	145	195	95	120	145	170	
22 mm spånplade på overside									
12 mm krydsfinner	40,5	32,7	34,6	37,0	44,5	51,7	59,2	66,9	
13 mm gipsplade	41,6	36,3	37,5	38,7	48,3	55,5	63,1	70,9	
15 mm brandgipsplade	51,5	40,6	41,6	42,7	51,5	58,3	65,5	73,0	
12 mm krydsfinner på oversiden									
12 mm krydsfinner	13,5	20,4	23,2	26,4	35,5	43,6	51,8	60,1	
13 mm gipsplade	21,8	25,5	27,0	28,6	39,9	47,9	56,1	64,4	
15 mm brandgipsplade	41,1	30,9	32,1	33,4	43,5	50,9	58,6	66,6	

Tabel 7.24 Brandmodstandstid i minutter efter Eurocode 5 for ikke-bærende symmetriske vægge med 2 lag beklædning på hver side.

Hulrum	Tomt	Stenuld 26 kg/m³			
Tykkelse, mm	45-200	45	70	95	120
2 lag 12 mm krydsfinner	36,9	52,3	57,3	62,3	67,3
12 mm + 15 mm krydsfinner	40,9	56,9	61,9	66,9	71,9
12 mm spånpl. + 15 mm krydsfinner	43,4	60,8	65,8	70,8	75,8
2 lag 15 mm krydsfinner	44,9	63,2	68,2	73,2	78,2
9 mm gipsp. + 12 mm krydsfinner	45,9	58,8	63,8	68,8	73,8
13 mm gipsp. + 12 mm krydsfinner	53,8	68,0	73,0	78,0	83,0
12 mm krydsfinner + 13 mm gipsp.	43,9	65,5	70,5	75,5	80,5
15 mm gipsp. + 15 mm krydsfinner	63,5	80,9	85,9	90,9	95,9
2 lag 9 mm gipsplade	48,9	62,2	67,2	72,2	77,2
2 lag 13 mm gipsplade	62,8	79,0	84,0	89,0	94,0
15 mm + 13 mm gipsplade	68,7	87,8	92,8	97,8	102,8
2 lag 15 mm gipsplade	74,3	93,0	98,0	103,0	108,0

Tabel 7.25 Brandmodstandstid i minutter efter Brandsåkra træhus for ikke-bærende symmetriske vægge med 2 lag beklædning på hver side.

Hulrum	Tomt	Glasuld 15 kg/m³				Stenuld 30 kg/m³			
Tykkelse, mm	45-200	45	95	145	195	45	70	95	120
2 lag 12 mm krydsfinner	21,5	23,7	25,3	27,0	28,9	25,8	32,5	40,1	48,0
12 mm + 15 mm krydsfinner	26,9	27,3	28,6	30,0	31,7	29,2	35,0	42,5	50,3
12 mm spånpl. + 15 mm krydsfinner	29,5	29,9	31,1	32,4	33,9	31,8	37,4	44,4	52,0
2 lag 15 mm krydsfinner	30,1	30,4	31,6	32,9	34,3	32,4	37,8	44,7	52,3
9 mm gipsp. + 12 mm krydsfinner	29,4	31,0	32,1	33,4	34,7	33,0	38,3	44,9	52,7
13 mm gipsp. + 12 mm krydsfinner	37,9	39,1	40,0	41,0	42,1	41,0	45,5	51,1	57,8
12 mm krydsfinner + 13 mm gipsp.	44,3	39,7	40,6	41,6	42,7	41,4	45,9	51,6	58,5
15 mm brandgipsp. + 15 mm krydsf.	57,3	57,4	58,0	58,7	59,5	59,0	62,6	67,0	72,2
2 lag 9 mm gipsplade	39,1	37,7	38,7	39,8	40,9	39,6	44,2	50,1	57,0
2 lag 13 mm gipsplade	55,1	51,5	52,2	53,0	53,9	53,2	57,0	61,8	67,4
15 mm brandgipsp. + 13 mm gipsp.	68,2	65,1	65,7	66,4	67,2	66,7	70,1	74,2	79,0
2 lag 15 mm brandgipsplade	102,9	80,4	80,8	81,0	81,2	82,1	84,6	87,1	91,6

SIDE 29



29

Hvordan sikres EI i praksis?

- Kommende Eurocode medtager flere materialer
- Værdier er ikke endeligt fastlagte, så må ikke anvendes endnu!



Table 7.10 — Basic protection times $t_{prot,i}$ for panels and insulation products

Product	Basic protection time $t_{prot,i}$ [min]
Gypsum plasterboard, gypsum fibreboard	$t_{prot,i} = 30 \cdot \left(\frac{h_i}{15}\right)^{1,2}$ (7.57)
Clay plaster, clay boards, lime plaster	$t_{prot,i} = 1,1 \cdot h_i - 5,9$ (7.58)
LVL panel, solid wood panelling, solid wood panel	$t_{prot,i} = \frac{h_i}{k_R \cdot \beta_0}$ (7.59)
OSB, plywood, particleboard, fibreboard	$t_{prot,i} = \frac{h_i}{k_p \cdot k_R \cdot \beta_0}$ (7.60)
Wood fibre insulation board	$t_{prot,i} = 0$ for $h_i < 35$ $t_{prot,i} = 0,74 \cdot h_i + 1$ for $35 \leq h_i \leq 240$ (7.61)
Mineral wool insulation board PL1, mineral wool cavity insulation PL1	$t_{prot,i} = 0,45 \cdot h_i^{(0,65 \log(\rho_i) - \frac{\rho_i}{100})}$ for $h_i < 40$ (7.62) $t_{prot,i} = 0,3 \cdot h_i^{(0,75 \log(\rho_i) - \frac{\rho_i}{100})}$ for $h_i \geq 40$
Mineral wool cavity insulation PL2	$t_{prot,i} = 0$ for $h_i \leq 40$ (7.63) $t_{prot,i} = \min\left\{\left(\frac{h_i}{1430} + 0,046\right) \cdot h_i + 13, 40\right\}$ for $h_i > 40$
Wood fibre cavity insulation	$t_{prot,i} = 0$ for $h_i \leq 40$ (7.64) $t_{prot,i} = 0,56 \cdot h_i - 22$ for $40 < h_i \leq 240$
Loose-fill cellulose, loose-fill wood fibre cavity insulation	$t_{prot,i} = 0$ for $h_i \leq 40$ (7.65) $t_{prot,i} = 19 \cdot \left(\frac{h_i}{60}\right)$ for $40 < h_i \leq 240$
Floor screed	$t_{prot,i} = 30 \cdot \left(\frac{h_i}{35}\right)^{1,4}$ (7.66)
where $t_{prot,i}$ is the basic protection time of the layer i , in min; h_i is the thickness of the layer i , in mm; ρ_i is the density of the layer i , in kg/m³; β_0 is the basic design charring rate according to Table 5.4, in mm/min; k_R is the thickness factor according to 5.4.2.2(7); k_p is the density factor according to 5.4.2.2(8).	
NOTE Typical mineral wool insulation PL1 is stone wool insulation, typical mineral wool insulation PL2 is glass wool insulation.	

SIDE 30



30