CLT - Cross Laminated Timber

Požární bezpečnost

rethink.

storaenso

www.clt.info
www.storaenso.com

Požární bezpečnost CLT

OBSAH

Verze 01/2014 AG

Vezměte na vědomí, že tento prospekt na téma požární bezpečnost představuje pouze pomůcku pro uživatele a že společnost Stora Enso Wood Products neručí za správnost a úplnost tohoto dokumentu.

1 Základní informace ... 3

1.1 Požární bezpečnost ... 3

1.2 Stavební materiál dřevo a účinky požáru ... 3

2 Chování stavebních výrobků při požáru ... 5

3 Požární odolnost stavebních dílců ... 6

3.1 Klasifikace ... 6

3.2 Protipožární obklady ... 7

3.3 Požární odolnost stavebních dílců CLT ... 7

4 Získávání důkazů o požární bezpečnosti CLT prvků pomocí klasifikačních zpráv podle normy EN 13501-2 ... 8

4.1 Konstrukce obvodových stěn CLT ... 8

4.2 Konstrukce stěn CLT ... 9

4.3 Stropní konstrukce CLT ... 10

5 Získávání důkazů o požární bezpečnosti CLT prvků pomocí měření podle normy EN 1995-1-2:2011 (Eurokód 5) ... 11

5.1 Hodnocení namáhání v případě požáru podle normy EN 1995-1-2:2011 ... 11

5.2 Hodnocení mechanického namáhání v případě požáru podle normy EN 1995-1-2:2011 ... 13

5.3 Rychlosti odhořívání pro výrobky Stora Enso CLT ... 14

5.3.1 Vyměřovací hodnota rychlostí odhořívání β_0 pro CLT u povrchů, které po celou dobu požáru nejsou chráněny ... 14

5.3.2 Vyměřovací hodnota rychlostí odhořívání β_0 pro CLT u povrchů, které jsou zpočátku chráněny před působením požáru pomocí sádrových desek ... 16

5.4 Vyměření nosnosti (R) prvků CLT podle normy EN 1995-1-2:2011 ... 22
5.5 Vyměření uzavření prostoru (E) a tepelné izolace (I) prvků CLT ... 24
5.5.1 Izolační a ochranné vrstvy stavebního dílce ... 25
5.5.2 Zjištění základních dob vrstvy ... 28
5.5.3 Výpočet polohových koeficientů k_{pos} ... 29
5.5.4 Určení spárového koeficientu $k_{j,i}$ ... 32
5.5.5 Použití výpočtového modelu pro CLT ... 32

6 Podrobné požárně technické provedení ... 33
6.1 Tupé spoje a spoje stavebních dílců ... 33
6.2 Instalace a montáže ... 34
6.3 Požární přepážky v překližkové konstrukci ... 34
6.4 Spojovací prostředky ... 35
6.5 Dvouplášťové konstrukce stavebních dílců ... 35

7 Seznam literatury ... 36

Příloha 1 – Příklady vyměřování ... 40
A 1.1 Zjištění odhořívání prvků Stora Enso CLT (bez opláštění) ... 40
A 1.2 Zjištění odhořívání prvků Stora Enso CLT (s opláštěním) ... 41
A 1.3 Zjištění pomyslné hloubky odhoření u prvků Stora Enso CLT (bez opláštění) ... 42
A 1.4 Zjištění uzavření prostoru (EI) u prvků Stora Enso CLT (s opláštěním) ... 43

Příloha 2 – Údaje o zbytkovém průřezu a uzavření prostoru konstrukcí stavebních dílců CLT od společnosti Stora Enso ... 46
A 2.1 Výpočtově zjištěný zbytkový průřez a uzavření prostoru stěnových konstrukcí CLT (bez opláštění) ... 47
A 2.2 Výpočtově zjištěný zbytkový průřez a uzavření prostoru stěnových konstrukcí CLT s jednovrstvým sádrokartonovým opláštěním (12,5 mm) na straně stavebního dílce odvrácené od požáru ... 48
A 2.3 Výpočtově zjištěný zbytkový průřez a uzavření prostoru stěnových konstrukcí CLT s izolační úrovní (50 mm, minerální vlna) a jednovrstvým sádrokartonovým opláštěním (12,5 mm) na straně stavebního dílce odvrácené od požáru ... 49
A 2.4 Výpočtově zjištěný zbytkový průřez a uzavření prostoru stropních konstrukcí CLT (bez opláštění) 50

1 Základní informace

1.1 Požární bezpečnost

Požární bezpečnost představuje z všeobecného hlediska komplexní systém a člení se do několika oblastí:

- Preventivní požární bezpečnost
  - Organizační požární bezpečnost
  - Požární bezpečnost technických zařízení
  - Stavební požární bezpečnost
- Represivní požární bezpečnost

Tento dokument se věnuje výlučně tématu vlastností prvků CLT, které jsou specifické pro stavební materiály a stavební dílce a které se s ohledem na výše uvedené členění požární bezpečnosti považují za součást stavební požární bezpečnosti.

1.2 Stavební materiál dřevo a účinky požáru

Pokud je stavební materiál dřevo vystaven namáhání požárem a pokud tím dojde k přívodu energie, stoupá jeho teplota a uložené molekuly vody se začnou od teploty cca 100 °C odpařovat. Štěpení dlouhořetězcových molekul buněčných stěn, ke kterému dochází při teplotách 200–300 °C, se odráží ve tvorbě plynných a hořlavých sloučenin. Plyn následně vystupuje na povrch dřeva, kde reaguje s kyslíkem obsaženým ve vzduchu a hoří. [1]

Rozklad těchto chemických sloučenin – přičemž na základě odplynění hořlavých součástí dřeva dochází ke spalování s plamenem – se nazývá pyrolýza, která postupuje dále a vytváří za sebou zónu zuhelnatění. Tato uhlíková vrstva vzniká ze zbytků pyrolýzy, které obsahují uhlík a jsou spalovány žárem. Vlastnosti této vrstvy – zejména nízká hustota a vysoká propustnost – působí jako tepelná izolace a ochrana pro neporušené dřevo, které se nachází pod touto vrstvou.

Obr. 1: Řez prvku CLT o tloušťce 80 mm, který byl původně obložen sádrokartonovými deskami, po zkoušce hořlavosti ve velkém rozsahu

Obrázek 1 ukazuje řeznou plochu dělicího řezu prvku CLT obloženého sádrokartonovými deskami po zkoušce hořlavosti ve velkém rozsahu. S pomocí této řezné plochy lze identifikovat různé vrstvy – zónu zuhelnatění (černé zbarvení), zónu pyrolýzy (nahnědlé zbarvení) a zónu neporušeného dřeva, které vznikají postupováním požáru, resp. pyrolýzy.

Obr. 2: Uhlíková vrstva prvku CLT o tloušťce 80 mm, který byl původně obložen sádrokartonovými deskami, po zkoušce hořlavosti ve velkém rozsahu

2 Chování stavebních výrobků při požáru

Chování stavebních prvků při požáru se klasifikuje podle normy EN 13501-1:

- Chování při požáru: A1, A2, B, C, D, E, F
  (kritéria: vznětlivost, šíření plamene, uvolněná energie)

- Vývin kouře: s1, s2, s3 (s1 => nejmenší vývin kouře)

- Odkapávání/odpadávání hořících částic: d0, d1, d2 (d0 => bez odkapávání)

Chování výrobků Stora Enso CLT při požáru je podle [26] klasifikováno jako D-s2, d0.

V případě použití CLT pro hrubé podlahy (tzn. bez konstrukce podlahy) platí: D_{fl}-s1.

V případě použití impregnačních protipožárních prostředků – které zpomalují vznícení dřevěných materiálů a dokáží minimalizovat dodatečné uvolňování energie – lze chování výrobků CLT při požáru v závislosti na použitém prostředku klasifikovat jako třídu C, resp. i B.
V případě použití ve venkovních prostorách, se kterými je spojeno možné působení vysoké vlhkosti vzduchu a přímé působení povětrnostních vlivů, je nutné se ujistit, že výrobek vykazuje potřebné vlastnosti a odolnosti.

3 Požární odolnost stavebních dílců

3.1 Klasifikace

Charakteristické výkonové vlastnosti a doba požární odolnosti se definují podle klasifikační normy EN 13501-2, a to následovně:

- R (nosnost)

  Výkonové kritérium R se považuje za splněné, pokud při mechanickém namáhání zůstane během požadované doby namáhání požárem zachována nosná funkce stavebního dílce.

- E (uzavření prostoru)

  Výkonové kritérium E stavebního dílce oddělujícího prostor popisuje jeho funkci odolávat jednostrannému namáhání požárem tak, že se zabrání prostupu požáru v důsledku prostupu plamenů nebo horkých plynů na odvrácenou stranu.

- I (tepelná izolace)

  Výkonové kritérium I se považuje za splněné, pokud je vzestup teploty na straně odvrácené od požáru na základě jednostranného namáhání požárem omezen na určitou míru (max. 140 °C průměrně a max. 180 °C bodově nad průměrnou výstupní teplotou).
  Přenos musí být omezen tak, aby se nevznítil ani povrch stavebních dílců odvrácený od požáru, ani materiály v jeho blízkosti a aby byly ochráněny osoby, které se nacházejí poblíž.

- A rovněž W (omezení záření), M (odolnost proti mechanickému namáhání), C (samozavírací vlastnost), S (kouřotěsnost), G (odolnost proti požáru sazí) a K (protipožární funkce), které pro běžné konstrukce z CLT dílců zpravidla nejsou relevantní.

Klasifikovaná doba je odstupňována po 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 a 360 minutách.

Směr klasifikované doby požární odolnosti je popsán pomocí následujících značek podle normy EN 13501-2:

- Klasifikace fasád (zavěšených fasád) a obvodových stěn

  i → o klasifikovaná doba požární odolnosti ve směru zevnitř ven
  o → i klasifikovaná doba požární odolnosti ve směru zvenku dovnitř
  o ↔ i klasifikovaná doba požární odolnosti ve směru zevnitř ven a zvenku dovnitř

- Klasifikace podhledů se samostatnou požární odolností

  a → b klasifikovaná doba požární odolnosti ve směru shora dolů
  a ← b klasifikovaná doba požární odolnosti ve směru zdola nahoru
  a ↔ b klasifikovaná doba požární odolnosti ve směru shora dolů a zdola nahoru

3.2 Protipožární obklady

Označení K_1 a K_2 definovaná pro protipožární obklady se podle normy EN 13501-2 popisují následovně:

- Výraz „protipožární obklad“ se vztahuje na vnější vrstvu u vertikálně uspořádaných stavebních dílců a na spodní vrstvu u horizontálně nebo šikmo uspořádaných stavebních dílců.
- Takto definovaný obklad s označením K_1 nebo K_2 musí pro vrstvu, která se nachází přímo za protipožárním obkladem, poskytovat během příslušné klasifikované doby (K_1: 10 min.; K_2: 10, 30 nebo 60 min.) ochranu popsanou podle normy EN 13501-2.

Protipožární obklad, za nímž není dutina, s klasifikací K_2 60 musí například poskytovat po dobu 60 minut následující ochranu:

- Během klasifikované doby nesmí dojít ke zhroucení protipožárního obkladu nebo jeho částí.
- Průměrná teplota naměřená na spodní straně nosné desky (na které se zkouší klasifikovaný protipožární obklad) nesmí překročit počáteční teplotu o více než 250 °C.
- Maximální teplota naměřená (bodově) na spodní straně nosné desky (na které se zkouší klasifikovaný protipožární obklad) nesmí překročit počáteční teplotu o více než 270 °C.
- Po zkoušce se na žádném místě nosné desky (na které se zkouší klasifikovaný protipožární obklad) nesmí objevit spálený nebo zuhelnatěný materiál.

Informace o klasifikovaných protipožárních obkladech si lze vyžádat mj. u výrobců sádrových desek.

3.3 Požární odolnost stavebních dílců CLT

S pomocí vícevrstvých CLT prvků lze vyrobit stavební dílce s vysokou požární odolností. Tak je například u třívrstvého CLT prvku bez obkladu dosažena již požární odolnost REI 60 a u CLT prvku s jednovrstvou sádrokartonovou deskou je dosažena požární odolnost REI 90.
Vyšší nároky na požární odolnost lze v zásadě kompenzovat následujícími opatřeními:

- Zvýšení tloušťky CLT prvku
- Zvýšení počtu vrstev CLT prvku
- Instalace příslušných obkladů

Pro získání důkazů o požární bezpečnosti dřevěných stavebních dílců lze použít buď klasifikační zprávy podle normy EN 13501-2 na základě zkoušek hořlavosti ve velkém rozsahu, nebo provést měření podle normy EN 1995-1-2 v kombinaci s příslušnými aplikovatelnými národními dokumenty.

4 Získávání důkazů o požární bezpečnosti CLT prvků pomocí klasifikačních zpráv podle normy EN 13501-2

Společnost Stora Enso nechala u CLT prvků s různými konstrukcemi vyzkoušet u různých akreditovaných zkušebních ústavů požární odolnost podle normy EN 1365-1, resp. EN 1365-2. Výsledky klasifikačních zpráv ([27], [28], [29], [30], [31], [32] a [36]) podle normy EN 13501-2, které vyplývají ze zkoušek požární odolnosti, jsou uvedeny níže.

4.1 Konstrukce obvodových stěn CLT

Klasifikace požární odolnosti REI 90 pro nosné prvky z překližkových desek použité jako prvky obvodových stěn:

Vnitřní obklad	Instalační úroveň	Prvek z překližkové desky		Vnější obklad	Zkušební zatížení	Klasifikace i ↔ o
		Označení	Struktura lamel [mm]		[kN/m]	
12,5 mm GKF	–	CLT 100 C3s	30–40–30	50 mm dřevovláknitá deska, 15 mm omítka	35	REI 90
12,5 mm GKF	–	CLT 100 C3s	30–40–30	80 mm minerální vata, 4 mm omítka	35	REI 90
12,5 mm GKF	–	CLT 100 C5s	20–20–20–20–20	50 mm dřevovláknitá deska, 15 mm omítka	35	REI 90
12,5 mm GKF	–	CLT 100 C5s	20–20–20–20–20	80 mm minerální vata, 4 mm omítka	35	REI 90
2 × 15 mm GKF	–	CLT 80 C3s	30–20–30	50 mm dřevovláknitá deska, 15 mm omítka	–	EI 90
2 × 15 mm GKF	–	CLT 80 C3s	30–20–30	80 mm minerální vata, 4 mm omítka	–	EI 90
12,5 mm GKF	40 mm minerální vlna	CLT 100 C3s	30–40–30	50 mm dřevovláknitá deska, 15 mm omítka	35	REI 90
12,5 mm GKF	40 mm minerální vlna	CLT 100 C3s	30–40–30	80 mm minerální vata, 4 mm omítka	35	REI 90

Tabulka 1: Klasifikace zkoušených stavebních dílců podle [32]

4.2 Konstrukce stěn CLT

Klasifikace požární odolnosti REI 60 pro nosné prvky z překližkových desek použité jako prvky stěn:

Obklad	Instalační úroveň	Prvek z překližkové desky		Zkušební zatížení	Klasifikace
		Označení	Struktura lamel [mm]	[kN/m]	
–	–	CLT 100 C3s	30–40–30	35	REI 60
–	–	CLT 100 C5s	20–20–20–20–20	35	REI 60
12,5 mm GKF	–	CLT 80 C3s	30–20–30	35	REI 60
12,5 mm GKF	40 mm minerální vlna	CLT 80 C3s	30–20–30	35	REI 60
50 mm heraklit BM, 5 mm omítka	–	CLT 80 C3s	30–20–30	35	REI 60

Tabulka 2: Klasifikace zkoušených stavebních dílců podle [27]

Klasifikace požární odolnosti REI 90, resp. EI 90 pro nosné prvky z překližkových desek použité jako prvky stěn:

Obklad	Instalační úroveň	Prvek z překližkové desky		Zkušební zatížení	Klasifikace
		Označení	Struktura lamel [mm]	[kN/m]	
12,5 mm GKF	–	CLT 100 C3s	30–40–30	35	REI 90
12,5 mm GKF	–	CLT 100 C5s	20–20–20–20–20	35	REI 90
12,5 mm GKF	40 mm minerální vlna	CLT 100 C3s	30–40–30	35	REI 90
2 × 15 mm GKF	–	CLT 80 C3s	30–20–30	–	EI 90

Tabulka 3: Klasifikace zkoušených stavebních dílců podle [28]

Obklad	Instalační úroveň	Prvek z překližkové desky		Zkušební zatížení	Klasifikace
		Označení	Struktura lamel [mm]	[kN/m]	
35 mm hliněná deska ProCrea, 5 mm podkladní hliněná omítka ProCrea s armovací tkaninou, 5 mm lícní hliněná omítka ProCrea	-	CLT 140 C5s	40–20–20–20–40	280	REI 90

Tabulka 4: Klasifikace zkoušených stavebních dílců podle [36]

Klasifikace požární odolnosti REI 120 pro nosné prvky z překližkových desek použité jako prvky stěn:

Obklad	Instalační úroveň	Prvek z překližkové desky		Zkušební zatížení	Klasifikace
		Označení	Struktura lamel [mm]	[kN/m]	
12,5 mm GKF	40 mm minerální vlna	CLT 100 C3s	30–40–30	35	REI 120

Tabulka 5: Klasifikace zkoušených stavebních dílců podle [29]

4.3 Stropní konstrukce CLT

Klasifikace požární odolnosti REI 60 pro nosné prvky z překližkových desek použité jako stropní nebo střešní prvky:

Obklad	Zavěšení	Prvek z překližkové desky		Zkušební zatížení	Klasifikace
		Označení	Struktura lamel [mm]	[kN/m^2]	
12,5 mm GKF (na straně odvrácené od požáru) nebo konstrukce podlahy *1	–	CLT 100 L3s	30–40–30	0,6	REI 60
–	–	CLT 140 L5s	40–20–20–20–40	5	REI 60

Tabulka 6: Klasifikace zkoušených stavebních dílců podle [30]

Poznámka *1: Sádrokartonová deska o tloušťce 12,5 mm, která byla při zkoušce požární odolnosti umístěna na straně odvrácené od požáru, sloužila k simulaci konstrukce podlahy.

Klasifikace požární odolnosti REI 90 pro nosné prvky z překližkových desek použité jako stropní nebo střešní prvky:

Obklad	Zavěšení	Prvek z překližkové desky		Zkušební zatížení	Klasifikace
		Označení	Struktura lamel [mm]	[kN/m^2]	
–	–	CLT 160 L5s	40–20–40–20–40	6	REI 90
12,5 mm GKF	–	CLT 140 L5s	40–20–20–20–40	5	REI 90
35 mm heraklit EPV	–	CLT 140 L5s	40–20–20–20–40	5	REI 90
12,5 mm GKF	40 mm minerální vlna	CLT 140 L5s	40–20–20–20–40	5	REI 90

Tabulka 7: Klasifikace zkoušených stavebních dílců podle [31]

Stručné klasifikační zprávy najdete ke stažení na *www.clt.info*.

5 Získávání důkazů o požární bezpečnosti CLT prvků pomocí měření podle normy EN 1995-1-2:2011 (Eurokód 5)

Pro požadovanou dobu namáhání požárem *t* se musí prokázat následující:

$$E_{d,fi} \leq R_{d,t,fi}$$

Přitom je:

$E_{d,fi}$	Vyměřovací hodnota namáhání v případě požáru (= vliv zatížení) (U jiných materiálů, než je dřevo, se musí brát ohled také na tepelnou roztažnost.)
$R_{d,t,fi}$	Příslušná vyměřovací hodnota namáhavosti v případě požáru (= odpor)

5.1 Hodnocení namáhání v případě požáru podle normy EN 1995-1-2:2011

Vyměřovací hodnota namáhání v případě požáru by měla být určena pro okamžik $t = 0$ za použití kombinačních součinitelů $\psi_{1,1}$ nebo $\psi_{2,1}$ podle normy EN 1991-1-2:2002, 4.3.1. (Viz také EN 1990-1-1, 6.4.3.3)

$$E_{dA} = \sum G_{k,j} \text{"+"} P \text{"+"} A_d \text{"+"} Q_{k,1} \cdot (\psi_{1,1} oder \psi_{2,1}) \text{"+"} \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Přitom je:

$G_{k,j}$	Charakteristická hodnota stálého vlivu *j*
P	Směrodatná reprezentativní hodnota předpětí
A_d	Vyměřovací hodnota mimořádného vlivu
$Q_{k,1}$	Charakteristická hodnota směrodatného proměnlivého vlivu *1*
$Q_{k,i}$	Charakteristická hodnota směrodatného proměnlivého vlivu *i*
Ψ_1	Součinitel pro časté hodnoty proměnlivých vlivů
Ψ_2	Součinitel pro zdánlivě stálé hodnoty proměnlivých vlivů

Volba ohledně použití $\psi_{1,2}$ nebo $\psi_{2,1}$ je přenechána uživateli.

Zjednodušeně se smí vyměřovací hodnota namáhání v případě požáru $E_{d,fi}$ určit na základě výpočtu vyměřovací hodnoty namáhání při normální teplotě E_d, a to následovně:

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d$$

Přitom je:

$E_{d,fi}$	Vyměřovací hodnota namáhání v případě požáru
η_{fi}	Redukční součinitel pro vyměřovací hodnotu vlivů v případě požáru
E_d	Vyměřovací hodnota namáhání při normální teplotě pro základní kombinaci vlivů

Redukční součinitel η_{fi} by se měl následovně převzít pro kombinaci zatížení podle normy EN 1990-1-1, přičemž se má použít nejmenší hodnota podle dvou následujících rovnic:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} \cdot Q_{k,1}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}} \qquad \eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} \cdot Q_{k,1}}{\xi \cdot \gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}}$$

Přitom je:

$Q_{k,1}$	Charakteristická hodnota aktuálního nezávislého proměnlivého vlivu
G_k	Charakteristická hodnota stálých vlivů
γ_G	Dílčí součinitel bezpečnosti pro stálé vlivy
$\gamma_{Q,1}$	Dílčí součinitel bezpečnosti pro aktuální nezávislý proměnlivý vliv
ψ_{fi}	Kombinační součinitel pro časté hodnoty proměnlivých vlivů v případě požáru, stanovený jako $\psi_{1,1}$ nebo $\psi_{2,1}$, viz EN 1991-1-1
ξ	Redukční faktor pro nepříznivé stálé vlivy G (viz EN 1990-1-1, A.1.3.1)

Pro redukční faktor η_{fi} se v normě EN 1995-1-2:2011, 2.4.2 nehledě na údaj výše uvedených rovnic doporučuje zjednodušená hodnota $\eta_{fi} = 0{,}6$. Výjimku tvoří prostory s větším užitečným zatížením v souladu s kategorií E podle normy EN 1991-1-2:2002, pro které se navrhuje hodnota $\eta_{fi} = 0{,}7$.

Pokud se vzájemně porovnají možnosti vyměřování namáhání, je zřejmé, že zjednodušený předpoklad s vlivem $E_{d,fi}$ vede k vyššímu zatížení než vlivy v mimořádné vyměřovací situaci.

5.2 Hodnocení mechanického namáhání v případě požáru podle normy EN 1995-1-2:2011

Pro prokázání mechanického namáhání se musejí určit vyměřovací hodnoty pro parametry pevnosti a tuhosti, a to následovně:

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

Přitom je:

$f_{d,fi}$	Vyměřovací hodnota pevnosti v případě požáru
$k_{mod,fi}$	Modifikační součinitel v případě požáru pro metodu s redukovaným průřezem; $k_{mod,fi}$ = 1,0 (podle EN 1995-1-2)
f_{20}	20% kvantil pevnosti při normální teplotě; $f_{20} = k_{fi} * f_k$
f_k	5% kvantil pevnosti
k_{fi}	Koeficient pro přepočet z 5% kvantilu na 20% kvantil; k_{fi} pro CLT = 1,15 (podle EN 1995-1-2)
$\gamma_{M,fi}$	Dílčí součinitel bezpečnosti pro dřevo v případě požáru $\gamma_{M,fi}$ = 1,0 (podle EN 1995-1-2)

Pro vyměřování v případě požáru byly namísto 5% kvantilů použity 20% kvantily. Základ tohoto předpokladu spočívá ve velmi nízké pravděpodobnosti výskytu úplného požáru během životnosti nosné konstrukce a není závislý na materiálu. [25]
(Proto koeficient pro přepočet kvantilů k_{fi} s 1,15.)

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

Přitom je:

$S_{d,fi}$	Vyměřovací hodnota tuhosti (modul pružnosti nebo modul pružnosti ve smyku) v případě požáru
$k_{mod,fi}$	Modifikační součinitel v případě požáru pro metodu s redukovaným průřezem; $k_{mod,fi}$ = 1,0 (podle EN 1995-1-2)
S_{20}	20% kvantil tuhosti (modul pružnosti nebo modul pružnosti ve smyku) při normální teplotě $S_{20} = k_{fi} * S_{05}$
S_{05}	5% kvantil tuhosti (modul pružnosti nebo modul pružnosti ve smyku) při normální teplotě
k_{fi}	Koeficient pro přepočet z 5% kvantilu na 20% kvantil; k_{fi} pro CLT = 1,15 (podle EN 1995-1-2)
$\gamma_{M,fi}$	Dílčí součinitel bezpečnosti pro dřevo v případě požáru $\gamma_{M,fi}$ = 1,0 (podle EN 1995-1-2)

5.3 Rychlosti odhořívání pro výrobky Stora Enso CLT

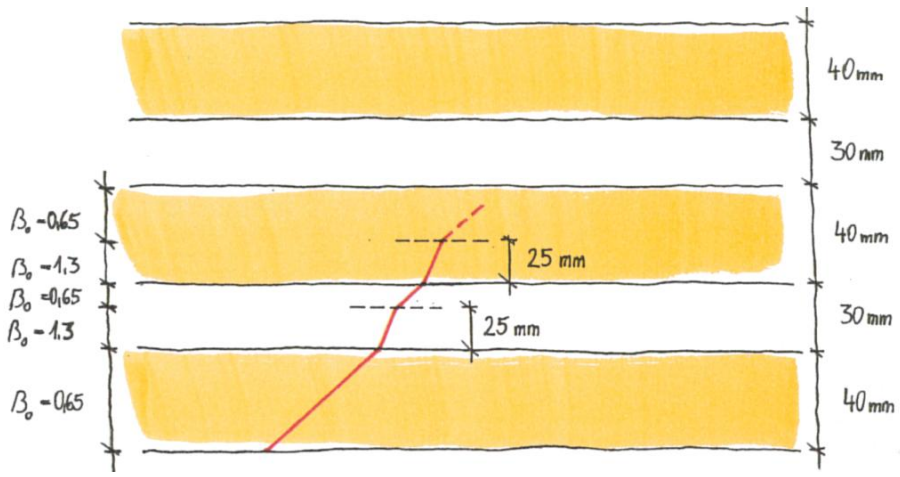
V souvislosti s namáháním požárem a z něho vyplývajícím vlivem teplot na průřez prknové překližky může v případě použití polyuretanových lepidel mezi jednotlivými vrstvami docházet k jejich úniku. V důsledku toho se mohou uvolňovat malé struktury / malé částečky tepelně izolační uhlíkové vrstvy a bodově může docházet ke ztrátě ochranné funkce této vrstvy. [2]

U stropních prvků a jiných horizontálních stavebních dílců je proto nutné brát zřetel na možné delaminační jevy, přičemž pro další vrstvy vystavené namáhání požárem se až do opětovného vytvoření uhlíkové vrstvy o tloušťce 25 mm musí výpočtově použít zvýšená rychlost odhořívání.

5.3.1 Vyměřovací hodnota rychlostí odhořívání β_0 pro CLT u povrchů, které po celou dobu požáru nejsou chráněny

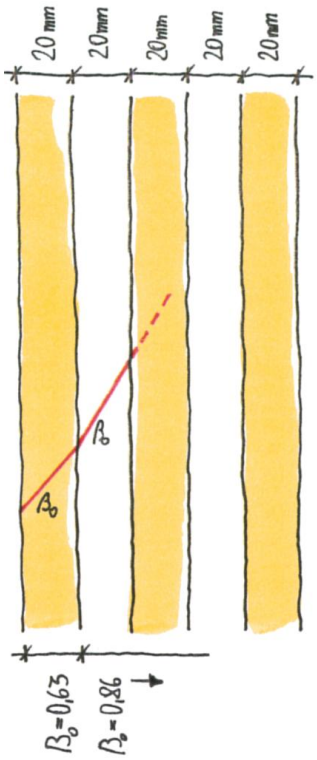
Níže uvedené rychlosti odhořívání pro výrobky Stora Enso CLT byly zjištěny akreditovaným ústavem *Holzforschung Austria* v rámci [8] a smí se používat při vyměřování požární odolnosti konstrukce s různými zatíženími a/nebo tloušťkami vrstev podle EN 1995-1-2 (s přihlédnutím k příslušné národní příloze).

- Stropní a střešní prvky (horizontálně uspořádané stavební dílce):
  - 0,65 mm/min., pokud je namáhání požárem vystavena pouze jedna vrstva. [33]
  - 1,3 mm/min. pro každou další vrstvu vystavenou namáhání požárem až do odhoření, resp. vytvoření uhlíkové vrstvy o tloušťce 25 mm.
    Poté se až k další lepené spáře může počítat s rychlostí odhořívání 0,65 mm/min. [33]



Obr. 3: Ilustrační zobrazení odhořívání, resp. rychlosti odhořívání horizontálně uspořádaného stavebního dílce CLT (CLT 180 L5s), čímž je vysvětlena výpočtově použitá rychlost odhořívání 1,3 mm/min. pro každou další vrstvu vystavenou požáru až do opětovného vytvoření uhlíkové vrstvy o tloušťce 25 mm.

- Stěnové prvky (vertikálně uspořádané stavební dílce):
  - 0,63 mm/min., pokud je namáhání požárem vystavena pouze jedna vrstva. [33]
  - 0,86 mm/min. pro každou další vrstvu vystavenou namáhání požárem. [33]

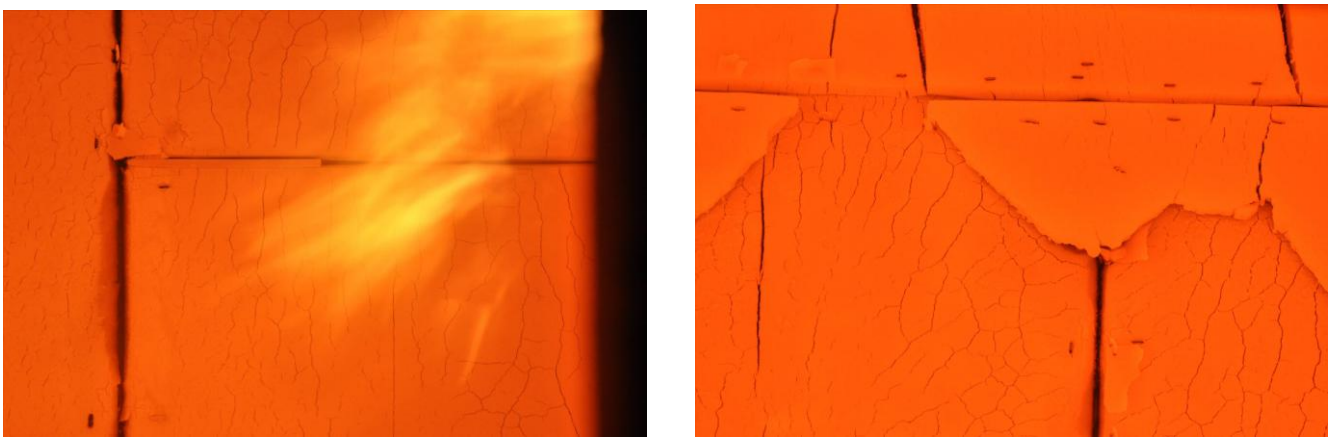


Obr. 4: Ilustrační zobrazení odhořívání, resp. rychlosti odhořívání vertikálně uspořádaného stavebního dílce CLT (CLT 100 L5s), čímž je vysvětlena výpočtově použitá vyšší rychlost odhořívání 0,86 mm/min. od druhé vrstvy vystavené požáru.

5.3.2 Vyměřovací hodnota rychlostí odhořívání β_0 pro CLT u povrchů, které jsou zpočátku chráněny před působením požáru pomocí sádrových desek

Dobu požární odolnosti stavebních dílců určují u namáhání požárem zevnitř místnosti ve velké míře vnitřní obklady. Ke zvýšení požární odolnosti konstrukcí, jako jsou stěnové, stropní a střešní prvky, se většinou používají sádrové stavební hmoty / sádrové desky, které již při malé tloušťce poskytují dobrý ochranný účinek.

Dobrý ochranný účinek při namáhání požárem spočívá především v asi 20% obsahu krystalové vody vázané v sádrovém jádru desek. Díky odpařování této krystalové vody se spotřebovává energie a navíc se na straně desky, která je vystavena požáru, vytvoří ochranná parní clona. Nehledě na tento s ohledem na postup požáru zpomalující efekt působí odvodněná sádrová vrstva díky snížené tepelné vodivosti jako dodatečný izolant.
Sádrokartonové protipožární desky (GKF) navíc obsahují skelná vlákna, která působí jako ochrana sádrového jádra a zajišťují soudržnost struktury při namáhání požárem. [3]



Obr. 5: Dvouvrstvé opláštění sádrokartonovými protipožárními deskami namáhané požárem během zkoušky hořlavosti ve velkém rozsahu

Obrázek 5 ukazuje chování sádrokartonových protipožárních desek při namáhání požárem, přičemž se v tomto případě jedná o dvouvrstvé opláštění.
Jak je vidět, dochází po vzniku trhlin a uvolnění kartonové vrstvy postupem času k většímu rozevření spár, k vypadávání sádrové spárovací hmoty a k odpadávání prvních částí první vrstvy opláštění. Po odpadnutí větších částí desek v první vrstvě se začnou i ve druhé vrstvě tvořit trhliny. Po rozevření spár v této vrstvě pronikají plameny zvětšenými spárami k zadní desce CLT, což vede k tvorbě a pronikání dřevoplynu. Začíná odhořívání na zpočátku chráněném prvku CLT.

Z hlediska označení sádrových desek se musí respektovat následující souvztažnost, resp. ekvivalence:

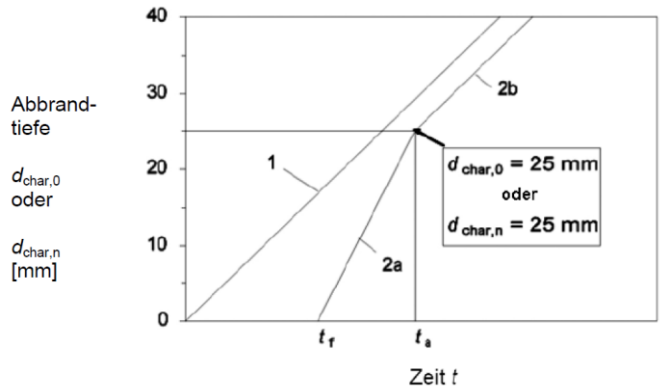
Označení podle EN 520	Označení podle ÖNORM B 3410 a DIN 18180
Sádrová deska typu A	Sádrokartonová stavební deska, GKB
Sádrová deska typu F, resp. DF	Sádrokartonová protipožární deska, GKF
Sádrová deska typu H2	Sádrokartonová stavební deska – impregnovaná, GKBI
Sádrová deska typu DFH2	Sádrokartonová protipožární deska – impregnovaná, GKFI

Tabulka 8: Porovnání označení sádrových desek podle EN 520 a ÖNORM B 3410, resp. DIN 18180

U stavebních dílců, které jsou zpočátku chráněny proti působení požáru, je podstatný začátek odhořívání za chráněnou vrstvou, resp. opláštěním t_{ch} a doba selhání ochranného opláštění t_f.
Podle normy EN 1995-1-2:2011 by se měl brát ohled na následující:

- Začátek odhořívání se odkládá až do doby $t_{ch.}$
- Může dojít k odhořívání před selháním protipožárního obkladu, rychlost odhořívání je však až do okamžiku selhání t_f protipožárního obkladu nižší než hodnoty podle [22], tabulky 3.1, resp. hodnoty podle [33].
- Rychlost odhořívání po okamžiku selhání t_f protipožárního obkladu je až do okamžiku t_a vyšší než hodnoty podle [22], tabulky 3.1, resp. hodnoty podle [33].
- Rychlost odhořívání od okamžiku t_a, do kterého hloubka odhoření odpovídá nižší hodnotě – buď hloubce odhoření stejného stavebního dílce bez ochranného opláštění, nebo hodnotě 25 mm, opět zaujímá hodnoty podle [22], tabulky 3.1, resp. hodnoty podle [33].

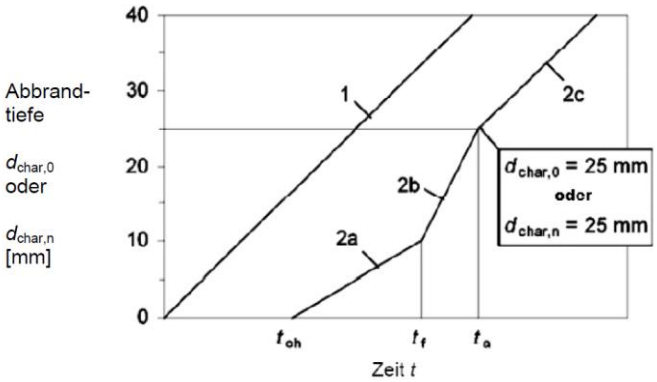
Následující obrázky z normy EN 1995-1-2:2011 slouží k lepšímu pochopení výše uvedených bodů:



Legenda:

1	Průběh u stavebních dílců, které po dobu požáru nejsou chráněny, s pomyslnou rychlostí odhořívání β_n (nebo β_0)
2	Průběh u stavebních dílců, které jsou zpočátku chráněny, po selhání protipožárního obkladu
2a	Po odpadnutí protipožárního obkladu začátek odhořívání s vyššími hodnotami
2b	Po překročení hloubky odhoření 25 mm, resp. okamžiku t_a se rychlost odhořívání sníží na normální hodnotu

Obr. 6: Zobrazení hloubky odhoření v závislosti na době pro $t_{ch} = t_f$ a hloubce odhoření 25 mm do okamžiku t_a [22]



Legenda:

1	Průběh u stavebních dílců, které po dobu požáru nejsou chráněny, s pomyslnou rychlostí odhořívání β_n (nebo β_0)
2	Průběh u stavebních dílců, které jsou zpočátku chráněny, u nichž odhořívání začne před selháním protipožárního obkladu
2a	Odhořívání začne při t_{ch} s nižší rychlostí, pokud je protipožární kryt ještě neporušený
2b	Po odpadnutí protipožárního obkladu začne odhořívání s vyšší rychlostí
2c	Po překročení hloubky odhoření 25 mm, resp. okamžiku t_a se rychlost odhořívání sníží na normální hodnotu

Obr. 7: Zobrazení hloubky odhoření v závislosti na době pro $t_{ch} < t_f$ [22]

5.3.2.1 Rychlosti odhořívání u stavebních dílců, které jsou zpočátku chráněny

- Pro období $t_{ch} \leq t \leq t_f$ by se podle [22] měly rychlosti odhořívání, které jsou uvedeny v normě EN 1995-1-2, tabulce 3.1, resp. v posudku výzkumného ústavu *Holzforschung Austria*, vynásobit faktorem k_2, přičemž tento faktor se pro jednovrstvé obklady ze sádrových desek typu F vypočítává následovně:

$$k_2 = 1 - 0{,}018 \cdot h_p$$

Přitom je:

h_p	Tloušťka obkladu v mm

Pokud se jedná o vícevrstvý obklad ze sádrových desek typu F, musí se pro h_p použít tloušťka vnitřní vrstvy.

Pokud je dřevěný stavební dílec chráněn rohožemi z minerální vlny (tloušťka: ≥ 20 mm, objemová hmotnost: ≥ 26 kg/m^3, bod tání: ≥ 1000 °C), smí se použít faktor k_2 podle tabulky 9. Pro tloušťky od 20 do 45 mm se hodnoty smí lineárně interpolovat.

Dicke h_{ins} mm	k_2
20	1
≥ 45	0,6

Tabulka 9: Hodnoty k_2 pro dřevěné stavební dílce chráněné minerální vlnou [22]

- Pro období $t_f \leq t \leq t_a$ by se podle [22] měly rychlosti odhořívání, které jsou uvedeny v normě EN 1995-1-2, tabulce 3.1, resp. v posudku výzkumného ústavu *Holzforschung Austria*, vynásobit faktorem $k_3 = 2$. Pro $t \geq t_a$ by se měly použít rychlosti odhořívání bez násobení faktorem k_3.

- Časový limit t_a (viz obrázek 6) se pro $t_{ch} = t_f$ musí podle [22] vypočítat následovně:

$$t_a = \min \begin{cases} 2 \cdot t_f \\ \dfrac{25}{k_3 \cdot \beta_n} + t_f \end{cases}$$

Pro $t_{ch} < t_f$ platí:

$$t_a = \frac{25 - (t_f - t_{ch}) \cdot k_2 \cdot \beta_n}{k_3 \cdot \beta_n} + t_f$$

Přitom je:

β_n	Vyměřovací hodnota pomyslné rychlosti odhořívání v mm/min. (U jednorozměrného odhořívání se β_n nahradí hodnotou β_0.)

5.3.2.2 Začátek odhořívání u stavebních dílců, které jsou zpočátku chráněny

- Obklady tvořené jednou vrstvou sádrových desek typu A, F nebo H:

  Pro obklady z jedné vrstvy sádrové desky typu A, F nebo H podle normy EN 520 se začátek odhořívání t_{ch} mimo spoje nebo v oblasti zatmelených spojů nebo v oblasti otevřených spojů s maximální šířkou 2 mm musí podle [22] předpokládat následovně:

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

  V oblasti otevřených spojů s šířkou nad 2 mm platí následující:

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

  Přitom je:

t_{ch}	Doba do začátku odhořívání chráněného stavebního dílce v min.
h_p	Tloušťka protipožárního obkladu v mm

- Obklady tvořené dvěma vrstvami sádrových desek typu A nebo H:

  Pro dvouvrstvé obklady ze sádrových desek typu A nebo H podle normy EN 520 by se podle [22] měl začátek odhořívání t_{ch} zjišťovat podle vzorce uvedeného v 5.3.2.2, přičemž tloušťka h_p odpovídá tloušťce vnější vrstvy nebo 50 % tloušťky vnitřní vrstvy. Předpokladem je, že vzdálenost spojovacích prostředků vnitřní vrstvy není větší než vzdálenost spojovacích prostředků vnější vrstvy.

- Obklady tvořené dvěma vrstvami sádrových desek typu F:

  Pro dvouvrstvé obklady ze sádrových desek typu F podle normy EN 520 by se podle [22] měl začátek odhořívání t_{ch} zjišťovat podle vzorce uvedeného v 5.3.2.2, přičemž tloušťka h_p odpovídá tloušťce vnější vrstvy nebo 80 % tloušťky vnitřní vrstvy. Předpokladem je, že vzdálenost spojovacích prostředků vnitřní vrstvy není větší než vzdálenost spojovacích prostředků vnější vrstvy.

- Izolační hmoty v instalačních úrovních:

  Pokud je dřevěný stavební dílec chráněn rohožemi z minerální vlny (tloušťka: ≥ 20 mm, objemová hmotnost: ≥ 26 kg/m^3, bod tání: ≥ 1000 °C), smí se pro začátek odhořívání t_{ch} zohlednit rovněž následující rovnice:

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

  Přitom je:

t_{ch}	Doba do začátku odhořívání chráněného stavebního dílce v min.
h_{ins}	Tloušťka izolační hmoty v mm
P_{ins}	Objemová hmotnost izolační hmoty v kg/m^3

5.3.2.3 Doba selhání protipožárních obkladů

Za dobu selhání protipožárního obkladu může být v zásadě odpovědné samotné odhořívání nebo mechanické odpadnutí obkladu, ale také vzdálenosti spojovacích prostředků a jejich vzdálenosti od okraje a/nebo možná nedostatečná délka ukotvení spojovacích prostředků v nepoškozeném průřezu dřeva.

- Obklady ze sádrových desek typu A nebo H:

  Pro sádrové desky typu A nebo H podle EN 520 lze podle [22] dobu selhání t_f srovnávat s okamžikem začátku odhořívání t_{ch}.
  U sádrových desek typu A nebo H probíhá po začátku odhořívání a současně probíhajícího odpadávání opláštění do okamžiku t_a dvojnásobné odhořívání. Po vytvoření uhlíkové vrstvy o tloušťce 25 mm se rychlost odhořívání opět sníží na obvyklou hodnotu.
  (Viz také obr. 6)

  $$t_f = t_{ch}$$

- Obklady ze sádrových desek typu F:

  U sádrových desek typu F, resp. sádrokartonových protipožárních desek (GKF) však podle [22] dochází od začátku odhořívání t_{ch} až do okamžiku t_f k nižšímu odhořívání. Až do následného vytvoření uhlíkové vrstvy o tloušťce 25 mm probíhá dvojnásobné odhořívání, poté se rychlost odhořívání opět sníží na obvyklou hodnotu.
  (Viz také obr. 7)

  Norma EN 1995-1-2:2011 neuvádí žádné informace o době selhání sádrových desek typu F, resp. GKF.

  Podle normy ÖNORM B 1995-1-2:2011 (rakouská národní ustanovení) lze okamžiky selhání t_f pro obklady ze sádrokartonových protipožárních desek (GKF) podle ÖNORM B 3410, resp. pro sádrové desky typu DF podle EN 520 a sádrovláknité desky GF-C1-W2 podle EN 15283-2 zjistit následovně:

  Stěnové stavební dílce: $$t_f = 2{,}2 \cdot h_p + 4$$

  Stropní stavební dílce: $$t_f = 1{,}4 \cdot h_p + 6$$

  Přitom je:

t_f	Okamžik selhání protipožárního obkladu v min.
h_p	Tloušťka protipožárního obkladu v mm

  Při určování doby selhání vícevrstvých opláštění ze sádrových desek typu F platí analogicky ustanovení uvedená v kapitole 5.3.2.2, podle nichž odpovídá tloušťka h_p tloušťce vnější vrstvy a 80 % tloušťky vnitřní vrstvy.

- Délka ukotvení spojovacích prostředků pro sádrové desky

Protipožární obklady mohou nehledě na tepelné selhání obkladů odpadnout samy nebo také z důvodu selhání v důsledku vytažení spojovacích prostředků.
Podle [22] by se měla určit také potřebná minimální délka spojovacích prostředků, aby tak bylo možné vyloučit, že vytažení spojovacích prostředků bude rozhodujícím faktorem pro selhání protipožárního obkladu.

Délka ukotvení l_a spojovacích prostředků v neporušeném průřezu dřeva by měla činit minimálně 10 mm.

Požadovaná délka spojovacích prostředků $l_{f,req}$ se vypočítá následovně:

$$l_{f,req} = h_p + d_{char,0} + l_a$$

Přitom je:

h_p	Tloušťka desky v mm
$d_{char,0}$	Hloubka odhoření v dřevěném stavebním dílci
l_a	Minimální délka ukotvení spojovacích prostředků v nezuhelnatěném dřevě

Pro další informace o spojení/ukotvení obkladů viz [22], kapitola 7.1.2.

- Znalecky potvrzené doby selhání t_f sádrokartonových protipožárních desek (GKF) na Stora Enso CLT:

Nehledě na výše uvedené a v [22] a [25] stanovené rovnice pro určení začátku odhořívání t_{ch} a doby selhání t_f sádrokartonových desek má společnost Stora Enso k dispozici znalecké stanovisko k dobám selhání, které se smí použít při vyměřování podle EN 1995-1-2.
Podle [35] vyplynuly na základě různých provedených pokusů doby selhání t_f pro sádrokartonové protipožární desky (GKF) podle rakouské normy ÖNORM B 3410 nebo pro sádrové desky typu DF podle normy EN 520. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 10.
(K porovnání slouží vypočítané hodnoty podle rovnic uvedených v [25], které byly původně vypracovány pro dřevěné rámové konstrukce.)

Sádrokartonové protipožární desky (GKF)	Stěnová konstrukce CLT (vertikálně uspořádaný stavební dílec)	
	Posudek HFA	ÖN B 1995-1-2
[mm]	t_f [min.]	t_f [min.]
12,5	55,0	31,5
2 × 15	80,0	63,4

Tabulka 10: Doby selhání pro GKF nebo sádrové desky typu DF podle [35] umístěné přímo na prvcích CLT (pro porovnání: doby selhání zjištěné výpočtově podle normy EN 1995-1-2)

Doby selhání uvedené v tabulce 10 platí výlučně pro sádrokartonové protipožární desky (GKF) nebo sádrové desky typu DF, které se připevňují přímo na prvky CLT od společnosti Stora Enso. Připevnění a zatmelení desek GKF se musí provést podle údajů výrobce. [35]

5.4 Vyměření nosnosti (R) prvků CLT podle normy EN 1995-1-2:2011

Při vyměřování nosnosti (R) dřevěných stavebních dílců při namáhání požárem, resp. při vyměřování průřezů se musí bez ohledu na určení odhoření zohlednit i zóna, která se nachází pod ním a je ovlivněna teplotou, protože pevnost a tuhost dřeva se s rostoucí teplotou snižují.

Vyměřování průřezů se bez ohledu na podrobnou možnost výpočtu uvedenou v normě EN 1995-1-2, příloze B, může provádět pomocí dvou zjednodušených metod, přičemž se doporučuje použití první z nich:

- Metoda se sníženým průřezem

  Tato metoda používá pro prokázání v případě požáru snížený průřez, resp. zbytkový průřez, který se vypočítá s přihlédnutím ke zvýšenému odhoření (zaoblení, resp. rohové odhoření) a k dodatečné zóně ovlivněné teplotou (pokles mechanických vlastností v důsledku vlivu teploty).

- Metoda s omezenými vlastnostmi

  Bez ohledu na prokázání prostřednictvím zbytkového průřezu – vypočítaného pomocí rychlosti odhořívání a rohového odhoření – se při použití této metody bere ohled na pokles mechanických vlastností v závislosti na druhu namáhání a tvaru průřezu.

Prokazování nosnosti v případě požáru se pro CLT provádí na základě metody se sníženým průřezem.

Metoda se sníženým průřezem

Průřez snížený o hloubku odhoření se dále zmenší o jednu vrstvu bez pevnosti a tuhosti $k_0 * d_0$. Tím se prostřednictvím snížení výstupního průřezu o pomyslnou hloubku odhoření d_{ef} zjistí pomyslný zbytkový průřez.

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

Přitom je:

d_{ef}	Pomyslná hloubka odhoření
$d_{char,0}$	Vyměřovací hodnota hloubky odhoření pro jednorozměrové odhořívání $d_{char,0} = \beta_0 \cdot t$
β_0	Vyměřovací hodnota jednorozměrové rychlosti odhořívání při normovaném namáhání
t	Doba namáhání požárem
k_0	Koeficient pro zohlednění doby trvání požáru; t < 20 min.: k_0 = t / 20 t ≥ 20 min.: k_0 = 1,0
d_0	Hloubka vrstvy (poblíž hranice odhořívání), u které je pro pevnost a tuhost použita hodnota nula; d_0 = 7 mm *2

Poznámka *2: Uvedená hodnota pro d_0 = 7 mm je založena na [26] (s ohledem na [22]).

Hodnota d_0 ve výši 7 mm (pro zjednodušený výpočet podle metody se sníženým průřezem) je v současné době na mezinárodní vědecké úrovni disktována, nebyl však zveřejněn žádný dohodnutý názor.

S ohledem na d_0 je nutné zohlednit případná národní ustanovení.

Ohledně přijetí rychlostí odhořívání pro prvky CLT od společnosti Stora Enso se musí brát zřetel na následující:

- Při použití CLT pro plošné stavební dílce (stěnové a stropní konstrukce) se musí počítat s jednorozměrovými rychlostmi odhořívání podle [33] (viz kapitola 5.3.1).
- Při použití CLT např. pro nosníky (nastojato) se musí postupovat podle [22], kapitola 3.4.2, odstavec 3. Pro průřezy CLT, jejichž výstupní šířky nesplňují požadavky, se musí počítat s vyššími rychlostmi odhořívání.

Při prokazování nosnosti stavebních dílců CLT od společnosti Stora Enso v případě požáru se musí brát zřetel na následující:

- U nosných stavebních dílců, které neuzavírají prostor, se musí brát ohled na oboustranné odhořívání. [22]
- Možné dodatečné excentrické rozložení zátěže na základě jednostranného odhořívání se musí brát v úvahu zejména u prvků CLT s nízkou tloušťkou.
- Zbytkové průřezy lamel ≤ 3 mm se při dalším vyměřováním výpočetně nezohledňují.
  (Tento předpoklad zohledňuje hranici uhlíkové vrstvy, která zpravidla neprobíhá přímočaře.)

Další kroky pro vyměřování a prokazování se provádí analogicky k vyměřování zastudena.

5.5 Vyměření uzavření prostoru (E) a tepelné izolace (I) prvků CLT

Pro prokázání uzavření prostoru (E) a tepelné izoace (I) jsou k dispozici následující možnosti:

- Výpočtová metoda podle EN 1995-1-2:2011, příloha E ([22])
- Model podle rakouské normy ÖNORM B 1995-1-2:2011, 14.3 ([25]), resp. podle evropské směrnice „Fire safety in timber buildings“ ([9]), resp. podle disertační práce paní Schleiferové ([4])
- Konstrukce bez dalších důkazů podle rakouské normy ÖNORM B 1995-1-2:2011 ([25])

Prokázání uzavření prostoru a tepelné izolace CLT lze provést podle modelu uvedeného v rakouské normě ÖNORM B 1995-1-2:2011 ([25]) nebo v evropské technické směrnici „Fire safety in timber buildings“ ([9]) nebo vypracovaného v [4], které vyplývají ze stejné koncepce / stejné teorie.
Pokud se tento model porovná s výpočtovou metodou uvedenou v normě EN 1995-1-2:2011, příloze E, lze možnost neomezených variací různých materiálů a počtu vrstev jako chápat jako důležitou výhodu.

Rozšířený postup pro vyměření uzavření prostoru (EI) stěnových a stropních konstrukcí podle rakouské normy ÖNORM B 1995-1-2:2011 ([25]) nebo evropské směrnice „Fire safety in timber buildings“ ([9])

Pro početní dokazování v zásadě platí:

- Základem pro výpočtový model je vliv teploty podle jednotné teplotní křivky podle normy EN 1991-1.2.
- Výpočtový model je podle [25] omezen na dobu požární odolnosti 60 minut.

  Validační výpočty provedené v rámci zkoušek hořlavosti ve velkém rozsahu, které provedl akreditovaný ústav *Holzforschung Austria*, ukazují, že tento model lze použít také pro dobu požární odolnosti 90 minut. [5]
- Požadavek na uzavření prostoru (E) se považuje za splněný, pokud se pozitivně prokáže splnění požadavku na kritérium tepelné izolace (I).
- Požadavek na tepelnou izolaci (I) je splněn, pokud je vzestup teploty na straně stavebního dílce, která je odvrácena od požáru, omezen v průměru na max. 140 °C a bodově na max. 180 °C (nad výstupní teplotou).
- Aby bylo možné zaručit vypočítanou požární odolnost, resp. uzavření prostoru, musí se u montovaných dřevěných stavebních dílců po selhání obkladu zabránit vypadávání izolace instalované s přesahem, a to případně prostřednictvím mechanických pojistek. Dále se musí prostřednictvím odborného provedení podle údajů výrobce (např. údaje s ohledem na vzdálenosti hran a délku ukotvení spojovacích prostředků) zajistit, aby se obklady na straně odvrácené od požáru předčasně neoddělily od konstrukce.

Stavební dílec může být libovolně složen z následujících deskových materiálů a izolačních hmot a může být proveden s dutinou:

Deskové materiály (upevnění podle údajů výrobce):

- Desky z masivního dřeva z minimálně C 24 podle EN 338
- OSB desky podle EN 300
- Dřevotřískové desky podle EN 309
- Sádrové desky, typ A, H a F podle EN 520
- Sádrovláknité desky podle EN 15283-2

Izolační hmoty (instalace s přesahem podle údajů výrobce):

- Minerální vlna podle EN 13162
- Skelná vata podle EN 13162

Požadované uzavření prostoru stavebního dílce se považuje za prokázané v případě splnění následující rovnice:

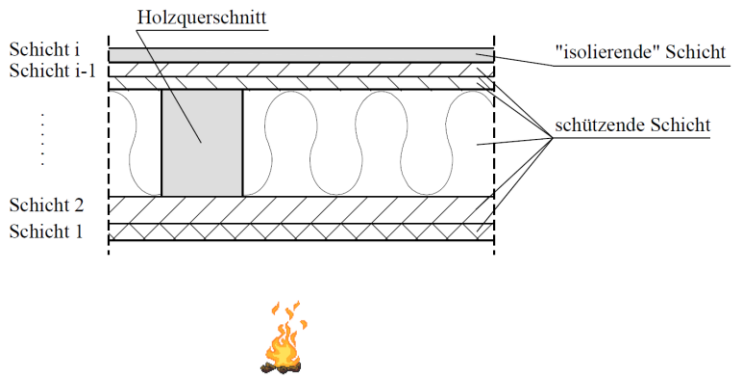
$$t_{ins} \geq t_{req}$$

Přitom je:

t_{ins}	Doba do selhání funkce uzavření prostoru celého stavebního dílce, v min.
t_{req}	Požadovaná doba požární odolnosti pro funkci uzavření prostoru celého stavebního dílce, v min.

5.5.1 Izolační a ochranné vrstvy stavebního dílce

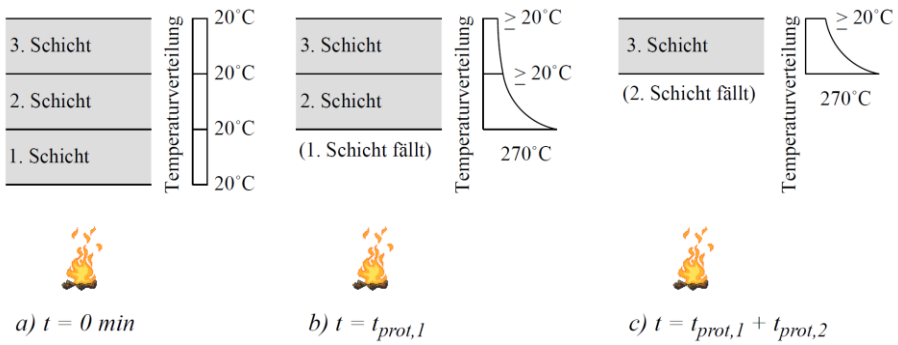
Na základě simulačních výpočtů, resp. FE modelování bylo prokázáno, že požadavky na tepelnou izolaci (I) byly dodrženy. Pokud se bude posuzovat dřevěná konstrukce s vícevrstvou strukturou, budou se jednotlivé vrstvy dělit na vrstvy s ochrannou funkcí (ochranné s ohledem na vrstvy za nimi) a vrstvy s izolační funkcí (poslední vrstva na straně odvrácené od požáru). [4]



Obr. 8: Struktura vícevrstvé dřevěné konstrukce pro definování ochranné a izolační vrstvy [4]

Doba funkce uzavření prostoru (EI) posuzovaného stavebního dílce je doba do dosažení teplotního kritéria ΔT_{MW} / ΔT_{Max} = 140 / 180 °C na straně odvrácené od požáru. Toto kritérium s maximální teplotou T = 160 °C (pokojová teplota 20 °C + 140 K), kterou je třeba dodržovat, je relevantní pouze pro stranu odvrácenou od požáru v poslední vrstvě.

Ochranné vrstvy umístěné před touto vrstvou musejí splňovat kritérium pro pouzdra podle normy EN 13501-2, přičemž musí být dodrženo teplotní kritérium ΔT_{MW} / ΔT_{Max} = 250 / 270 °C. Při použití průměrné hodnoty z toho vyplyne maximální teplota T = 270 °C (pokojová teplota 20 °C + 250 K), kterou je třeba dodržet.
V případě dosažení teplotního kritéria 270 °C (= dosažení ochranné doby $t_{prot,i}$) se předpokládá, že posuzovaná vrstva *i* odpadne od konstrukce a začne běžet ochranná doba vrstvy $t_{prot,i+1}$, která se nachází přímo pod posuzovanou vrstvou.



Obr. 9: Postup pro zjištění přínosů jednotlivých vrstev [4]

Ochranné vrstvy tedy ztratí svůj ochranný účinek, jakmile bude na straně odvrácené od požáru dosažena teplota T = 270 °C.

Doba funkce uzavření prostoru celého stavebního dílce t_{ins} tak vyplývá ze součtu přínosů jednotlivých vrstev – ochranných dob ochranných vrstev a izolační doby izolační vrtsvy – za dodržení již uvedených teplotních kritérií 270, popř. 160 °C.

$$t_{ins} = \sum t_{prot,i-1} + t_{ins,i}$$

Přitom je:

t_{ins}	Doba do selhání funkce uzavření prostoru celého stavebního dílce, v min.
$t_{prot,i}$	Ochranná doba vrstvy *i*, v min.
$t_{ins,i}$	Izolační doba vrstvy *i*, v min.

Při vyměřování ochranné a izolační doby se musí vzít na vědomí, že vrstvy před a za posuzovanou vrstvou ovlivňují posuzovanou vrstvu v závislosti na jejich poloze ve stavebním dílci, což je ve výpočtovém modelu zohledněno v podobě polohových koeficientů k_{pos}. $k_{pos,exp}$ je přitom polohový koeficient, který vyplývá z vlivů vrstev před posuzovanou vrstvou, a $k_{pos,unexp}$ je polohový koeficient, který vyplývá z vlivů vrstev za posuzovanou vrstvou.

Izolační a ochranná doba jednotlivých vrstev se určuje s pomocí následujících rovnic:

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

Přitom je:

$t_{prot,i}$	Ochranná doba posuzované vrstvy *i*, v min.
$t_{prot,0,i}$	Základní ochranná doba vrstvy *i*, v min.
$k_{pos,exp,i}$	Polohový koeficient pro posuzovanou vrstvu *i* (vlivy vrstev před posuzovanou vrstvou)
$k_{pos,unexp,i}$	Polohový koeficient pro posuzovanou vrstvu *i* (vlivy vrstev za posuzovanou vrstvou)
$\Delta_{t,i}$	Časový rozdíl pro posuzovanou vrstvu *i*, v min.; (Pro zohlednění vlivu sádrových desek typu F nebo sádrovláknitých desek před posuzovanou vrstvou)
$k_{j,i}$	Spárový koeficient pro posuzovanou vrstvu *i*

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

Přitom je:

$t_{ins,i}$	Izolační doba posuzované vrstvy *i*, v min.
$t_{ins,0,i}$	Základní izolační doba vrstvy *i*, v min.
$k_{pos,exp,i}$	Polohový koeficient pro posuzovanou vrstvu *i* (vlivy vrstev před posuzovanou vrstvou)
$\Delta_{t,i}$	Časový rozdíl (= zpožděný okamžik odpadu) pro posuzovanou vrstvu *i*, v min.; (Pro zohlednění vlivu sádrových desek typu F nebo sádrovláknitých desek před posuzovanou vrstvou)
$k_{j,i}$	Spárový koeficient pro posuzovanou vrstvu *i*

5.5.2 Zjištění základních dob vrstvy

Základní doba $t_{0,i}$ – přičemž se rozlišuje mezi základní ochrannou dobou $t_{prot,0,i}$ a základní izolační dobou $t_{ins,0,i}$ – popisuje chování vrstvy při požáru bez ohledu na vlivy sousedních vrstev.

Základní ochrannou dobu $t_{prot,0,i}$ a základní izolační dobu $t_{ins,0,i}$ různých materiálů lze s přihlédnutím k tloušťce vrstvy a objemové hmotnosti určit s pomocí tabulky 11 (vyjmuto z [25]).

Material	Grundisolationszeit $t_{ins,0,i}$ min	Grundschutzzeit $t_{prot,0,i}$ min
Gipsplatten gemäß ÖNORM EN 520 (gültig für: Typ A, Typ H, Typ F, Typ DF) Gipsfaserplatten gemäß ÖNORM EN 15283-2 (gültig für: GF-C1-W2)	$24 \cdot \left(\frac{h_{p,i}}{15}\right)^{1.4}$	$30 \cdot \left(\frac{h_{p,i}}{15}\right)^{1.2}$
Massivholzplatten gemäß ÖNORM EN 13353	$19 \cdot \left(\frac{h_{p,i}}{20}\right)^{1.4}$	$30 \cdot \left(\frac{h_{p,i}}{20}\right)^{1.1}$
Spanplatten gemäß ÖNORM EN 312	$22 \cdot \left(\frac{h_{p,i}}{20}\right)^{1.4}$	$33 \cdot \left(\frac{h_{p,i}}{20}\right)^{1.1}$
OSB-Platten gemäß ÖNORM EN 300	$23 \cdot \left(\frac{h_{p,i}}{20}\right)^{1.4}$ *3	$23 \cdot \left(\frac{h_{p,i}}{20}\right)^{1.1}$
Steinwolle gemäß ÖNORM EN 13162	$(0{,}01 \cdot \rho_{ins,i}^{0.224} - 0{,}02) \cdot h_{ins,i}^{2}$ *4	$0{,}3 \cdot h_{ins,i}^{(0{,}75 \cdot \log(\rho_{ins,i}) - \rho_{ins,i}/400)}$
Glaswolle gemäß ÖNORM EN 13162	für $h_{ins,i} < 40$ mm: 0 für $h_{ins,i} \geq 40$ mm: $(0{,}001 \cdot \rho_{ins,i} + 0{,}035) \cdot h_{ins,i} + 8{,}5 \leq 30$	für $h_{ins,i} < 40$ mm: 0 für $h_{ins,i} \geq 40$ mm: $(0{,}0007 \cdot \rho_{ins,i} + 0{,}046) \cdot h_{ins,i} + 13 \leq 30$

Es bedeutet:

$h_{p,i}$ Dicke der Brandschutzbekleidung i, in mm

$h_{ins,i}$ Dicke der Dämmung i, in mm

$\rho_{ins,i}$ Rohdichte der Dämmung i, in kg/m³

Tabulka 11: Rovnice pro zjištění základních dob $t_{0,i}$ v minutách [25]

Poznámka *3: Rovnice pro výpočet $t_{ins,0,i}$ pro OSB desky uvedená v tabulce 11 (vyjmuto z rakouské normy ÖNORM B 1995-1-2:2011) není správná.

Podle [4] je správná podoba rovnice následující: $t_{ins,0,i} = 16 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1,4}$

Poznámka *4: Rovnice pro výpočet $t_{ins,0,i}$ pro minerální vlnu uvedená v tabulce 11 (vyjmuto z rakouské normy ÖNORM B 1995-1-2:2011) není správná.

Podle [4] je správná podoba rovnice následující: $t_{ins,0,i} = (0{,}01 \cdot \rho_{ins,i}^{0,224} - 0{,}02) \cdot h_{ins,i}^{2}$

5.5.3 Výpočet polohových koeficientů k_{pos}

Za účelem umožnění libovolného kombinování vrstev se musejí zohlednit vlivy sousedních vrstev na posuzovanou vrstvu. Vliv vrstvy před posuzovanou vrstvou se přitom popisuje a popř. také vypočítává pomocí polohového koeficientu $k_{pos,exp}$ a vliv vrstvy za posuzovanou vrstvou se popisuje a popř. také vypočítává pomocí polohového koeficientu $k_{pos,unexp}$.

5.5.3.1 Polohový koeficient $k_{pos,exp}$ pro zohlednění vlivů vrstev před posuzovanou vrstvou

Polohový koeficient $k_{pos,exp}$ 1,0 se použije, pokud je posuzovaná vrstva *i* před začátkem požáru vystavena namáhání požárem a není chráněna žádnou vrstvou instalovanou před posuzovanou vrstvou.
Pokud je posuzovaná vrstva *i* vrstvou instalovanou před ní chráněna před přímým namáháním ohněm, musí se polohový koeficient $k_{pos,exp}$ určit podle rovnic v následující tabulce.

Při určování polohového koeficientu $k_{pos,exp}$ se musí brát ohled na součet ochranných dob vrstev nainstalovaných před posuzovanou vrstvou $\sum t_{prot,i-1}$, materiál posuzované vrstvy *i*, tloušťku posuzované vrstvy *i* a objemovou hmotnost posuzované vrstvy *i*. Vlastnosti posuzované vrstvy *i* se však musí vzít v úvahu již při určování základní ochranné doby $t_{prot,0,i}$ resp. základní izolační doby $t_{ins,0,i}$, proto lze zjistit polohový koeficient $k_{pos,exp}$ pro obklady a izolace v závislosti na součtu ochranných dob vrstev před posuzovanou vrstvou $\sum t_{prot,i-1}$ a základní doby (základní ochranná doba $t_{prot,0,i}$, resp. základní izolační doby $t_{ins,0,i}$).

Material	$k_{pos,exp}$ für $t_{ins,i}$	$k_{pos,exp}$ für $t_{prot,i}$
Steinwolle	siehe Formeln für Glaswolle	siehe Formeln für Bekleidungen
Glaswolle für $h_i \geq 40$ mm	$-0{,}8 \cdot \frac{\sum t_{prot,i-1}}{t_{0,i}} + 1$ für $\sum t_{prot,i-1} \leq \frac{t_{0,i}}{4}$ $(0{,}001 \cdot \rho_{ins,i} + 0{,}27) \cdot \left[\frac{t_{0,i}}{\sum t_{prot,i-1}}\right]^{(0{,}75-0{,}002 \cdot \rho_{ins,i})}$ für $\sum t_{prot,i-1} > \frac{t_{0,i}}{4}$	
Bekleidungen	$-0{,}6 \cdot \frac{\sum t_{prot,i-1}}{t_{0,i}} + 1$ für $\sum t_{prot,i-1} \leq \frac{t_{0,i}}{2}$ $0{,}5 \cdot \sqrt{\frac{t_{0,i}}{\sum t_{prot,i-1}}}$ für $\sum t_{prot,i-1} > \frac{t_{0,i}}{2}$	

Tabulka 12: Rovnice pro zjištění polohového koeficientu $k_{pos,exp}$ [25]

Při použití rovnic uvedených v tabulce 12 se musí vzít v úvahu, jestli se má vypočítat izolační doba nebo ochranná doba, tzn. pro základní dobu se musí odpovídajícím způsobem použít základní ochranná doba nebo základní izolační doba.

Na základě zpožděného odpadávání ochranných vrstev ze sádrových desek typu F, resp. DF podle normy EN 520 nebo sádrovláknitých desek GF-C1-W2 podle normy EN 15283-2 se prodlužuje ochranná, resp. izolační doba desek za posuzovanou deskou.
Pokud je posuzovaná deska zepředu chráněna sádrovými deskami nebo sádrovláknitými deskami výše uvedených typů, musí se ochranná, resp. izolační doba posuzované vrstvy zvýšit pomocí časových rozdílů $\Delta_{t,i}$ podle tabulky 13.
Pokud to není ten případ, platí $\Delta_{t,i}$ = 0.

Material	Δt_i für Deckenkonstruktionen	Δt_i für Wandkonstruktionen
	min	min
Bekleidungen	$0{,}06 \cdot t_{prot,i-1} + 1{,}1 \cdot t_{0,i} - 5$ für $t_{0,i} < 8$ min $0{,}1 \cdot t_{prot,i-1} - 0{,}035 \cdot t_{0,i} + 1{,}2$ für $t_{0,i} \geq 8$ min	$0{,}03 \cdot t_{prot,i-1} + 0{,}9 \cdot t_{0,i} - 2{,}3$ für $t_{0,i} < 12$ min $0{,}22 \cdot t_{prot,i-1} - 0{,}1 \cdot t_{0,i} + 4{,}7$ für $t_{0,i} \geq 12$ min
Dämmungen	*5 $0{,}1 \cdot t_{prot,i-1} - 0{,}035 \cdot t_{0,i} + 1{,}2$	$0{,}1 \cdot t_{prot,i-1} + t_{0,i} - 1{,}0$ für $t_{0,i} < 6$ min $0{,}22 \cdot t_{prot,i-1} - 0{,}1 \cdot t_{0,i} + 3{,}5$ für $t_{0,i} \geq 6$ min

Tabulka 13: Rovnice pro zjištění časových rozdílů $\Delta_{t,i}$ pro vrstvy ve stropních a stěnových konstrukcích, které jsou zepředu chráněny sádrovými nebo sádrovláknitými deskami [25]

Poznámka *5: Rovnice pro výpočet $\Delta_{t,i}$ pro izolace ve stropních konstrukcích, která je uvedena v tabulce 13 (vyjmuto z rakouské normy ÖNORM B 1995-1-2:2011), není správná.

Podle [4] je správná podoba rovnice následující: $\Delta_{t,i} = 0{,}1 \cdot t_{prot,i-1} - 0{,}035 \cdot t_{0,i}$

5.5.3.2 Polohový koeficient $k_{pos,unexp}$ pro zohlednění vlivů vrstev za posuzovanou vrstvou

Při určování polohového koeficientu $k_{pos,unexp}$ se rozlišuje mezi vrstvami s obkladem vzadu a vrstvami s izolací vzadu.
Na vrstvy za posuzovanou vrstvou se však bere ohled pouze u vrstev s ochranným účinkem, což znamená, že při zjišťování izolační doby se naproti tomu musí používat základní doba izolační vrstvy pouze s polohovým koeficientem $k_{pos,exp}$ pro zohlednění vlivů vrstev před posuzovanou vrstvou.
Nízký vliv sádrového opláštění nebo obkladů z dřevěných materiálů, které jsou umístěny za posuzovanou deskou, působící na posuzovanou vrstvu *i* se opomine, v důsledku čehož se v tomto případě použije polohový koeficient $k_{pos,unexp}$ s hodnotou 1,0.
Polohový koeficient $k_{pos,unexp}$ pro izolace za posuzovanou deskou se použije v závislosti na tloušťce vrstvy h_i a objemové hmotnosti ρ_i podle tabulky 14.

Material der untersuchten Schicht	$k_{pos,unexp}$ mit einer dahinterliegenden Bekleidung	$k_{pos,unexp}$ mit einer dahinterliegenden Dämmung
Gipsplatten gemäß ÖNORM EN 520 (gültig für: Typ A, Typ H, Typ F, Typ DF) Gipsfaserplatten gemäß ÖNORM EN 15283-2 (gültig für: GF-C1-W2)	1,0	$0{,}5 \cdot h_{p,i}^{0{,}15}$
Massivholzplatten gemäß ÖNORM EN 13353		$0{,}35 \cdot h_{p,i}^{0{,}21}$
Spanplatten gemäß ÖNORM EN 312		$0{,}41 \cdot h_{p,i}^{0{,}18}$
OSB-Platten gemäß ÖNORM EN 300		$0{,}5 \cdot h_{p,i}^{0{,}15}$
Steinwolle gemäß ÖNORM EN 13162		$0{,}18 \cdot h_{ins,i}^{0{,}001 \cdot \rho_{ins,i} + 0{,}08}$
Glaswolle gemäß ÖNORM EN 13162		$0{,}01 \cdot h_{ins,i} - \frac{h_{ins,i}^2}{30\,000} + \rho_{ins,i}^{0{,}09} - 1{,}3$

Tabulka 14: Rovnice pro zjištění polohového koeficientu $k_{pos,unexp}$ [25]

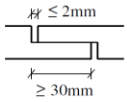
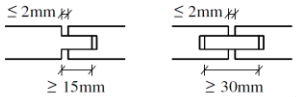
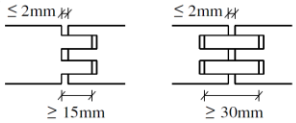
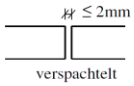
S ohledem na polohové koeficienty $k_{pos,exp}$ a $k_{pos,unexp}$ je ještě nutné vzít v úvahu, že se musí brát ohled na dutiny v konstrukcích, pokud vykazují tloušťku minimálně 40 mm:

- V případě dutin před posuzovanými vrstvami se polohový koeficient $k_{pos,exp}$ musí nejprve vynásobit faktorem 1,6.
  - Pokud je dutina chráněna sádrovou deskou typu F nebo sádrovláknitou deskou proti přímému působení požáru, musí se pro vrstvu na straně dutiny odvrácené od požáru časový rozdíl $\Delta_{t,i}$ podle rovnic uvedených v tabulce 13, řádku 2 navíc vynásobit faktorem 3,0.
- Za účelem určení polohového koeficientu $k_{pos,unexp}$ pro obklady s dutinou za posuzovanou vrstvou se postupuje podle rovnic uvedených v tabulce 14, sloupci 3.
- Pro izolace s dutinou za posuzovanou vrstvou se použije polohový koeficient $k_{pos,unexp}$ s hodnotou 1,0.

5.5.4 Určení spárového koeficientu $k_{j,i}$

Podle [22] jsou spáry o šířce větší než 2 mm nepřípustné a ve výpočtovém modelu je nelze použít. Dále nejsou přípustné otevřené spáry u dřevěných obkladů a nezatmelené spáry u sádrových desek na obkladu odvráceném od požáru.

Pro zjednodušení se předpokládá, že nehledě na obklady na straně odvrácené od požáru odpovídá spárový koeficient pro dřevěné desky a izolace se spárami zobrazenými v následující tabulce a pro natupo sražené zatmelené spáry u sádrových desek hodnotě 1,0. [4]
V tomto výpočtovém modelu pro prokázání uzavření prostoru se proto používají pouze spárové koeficienty pro vrstvu na straně stavebního dílce odvrácené pod požáru, které lze zjistit z tabulky 15.

Material	Fugentyp	$k_{j,i}$ für $t_{ins,i}$	$k_{j,i}$ für $t_{prot,i}$
Holzwerkstoffe gemäß ÖNORM EN 13986, Vollholz gemäß ÖNORM EN 338, Glas- bzw. Steinwolle gemäß ÖNORM EN 13162		0,3	1,0
		0,4	1,0
		0,6	1,0
Gipsplatten gemäß ÖNORM EN 520 (gültig für: Typ A, Typ H, Typ F, Typ DF) Gipsfaserplatten gemäß ÖNORM EN 15283-2 (gültig für: GF-C1-W2)	 sowie Fugentypen gemäß Herstellerangaben (verspachtelt)	0,8	1,0
alle Materialien	– Fugentypen abweichend von den oben dargestellten Typen – Aussparungen	0	0

Tabulka 15: Spárový koeficient $k_{j,i}$ pro obklady odvrácené od požáru [25]

5.5.5 Použití výpočtového modelu pro CLT

Vícevrstvé desky z masivního dřeva, jako např. prvky z prknové překližky, nelze na základě jejich struktury vrstev porovnávat s jednovrstvými deskami z masivního dřeva. Při vyměřování uzavření prostoru u CLT prvků pomocí tohoto modelu se proto musí na každou jednotlivou vrstvu nahlížet jako na samostatnou desku, resp. vrstvu. [4]

Uzavření prostoru prvků z prknové překližky tak lze určit jako součet ochranných dob a izolační doby jednotlivých vrstev s použitím uvedených základních ochranných dob, základních izolačních dob a polohových koeficientů pro jednovrstvé desky z masivního dřeva. V případě vyloučení odpadávání malých struktur zuhelnatěných vrstev lze prvky CLT považovat za jednovrstvé desky z masivního dřeva.
Spárový koeficient lze v ploše prvku vždy výpočtově určit pomocí hodnoty $k_{j,i}$ = 1,0. Při prokazování v oblasti spáry prvku se však spárový koeficient $k_{j,i}$ musí pro všechny vrstvy v závislosti na typu spáry celého prvku použít podle tabulky 15. [6]

6 Podrobné požárně technické provedení

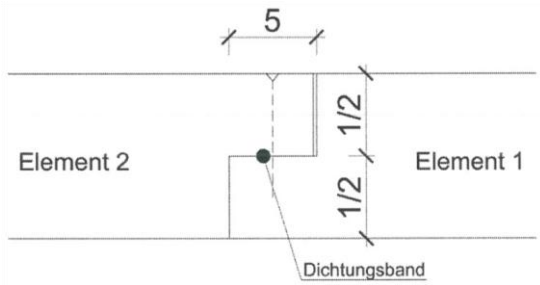
6.1 Tupé spoje a spoje stavebních dílců

- Spoje prvků CLT od společnosti Stora Enso

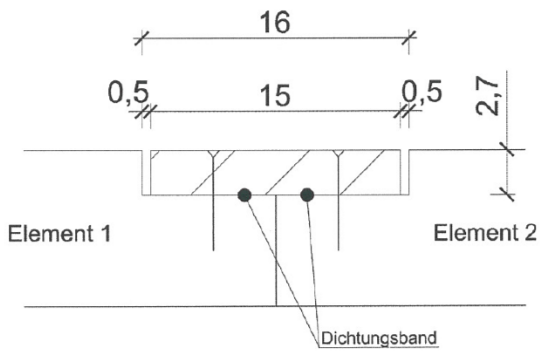
  Společnost Stora Enso nechala požární odolnost spojů prvků CLT se spojením na stupňovou drážku a tupý spoj vyzkoušet u zkušebního ústavu *Holzforschung Austria* se státní akreditací.

  Při dodržení následujících podmínek nehrozí žádné omezení požární odolnosti prvků Stora Enso CLT, která je uvedena v kapitole 4:

  - Šroubové spojení prvků musí být silové, přičemž bez dalšího prokazování je dostatečná vzdálenost os e = 50 cm.
  - Jako těsnicí páska se za dostatečnou považuje např. běžná komprimovaná páska. [34]



Obr. 10: Spojení prvků s vytvořením stupňové drážky [34]



Obr. 11: Spojení prvků s vytvořením tupého spoje pro stropní prvky CLT [34]

- Spoje stavebních dílců CLT od společnosti Stora Enso

  Spoje stavebních dílců (jako např. spoje stěna – strop, roh stěny – stěna) vykazují stejnou požární odolnost jako jednotlivé stavební dílce, pokud tyto spoje a spáry splňují požadavky příslušných norem (v Rakousku: ÖNORM B 2330):

  - Silové spoje
  - Přesná slícovaná montáž protipožárních obkladů [34]

  U napojení stropních stavebních dílců na stěnové stavební dílce je nutné dbát na to, aby po celou dobu požární odolnosti zůstala zachována statická funkce podpěr.

6.2 Instalace a montáže

- Montáž elektroinstalací

  U stavebních dílců, které tvoří protipožární příčku, se musí elektroinstalace namontovat do izolovaného obkladního pláště / izolační úrovně. Přímá montáž do prvku CLT je přípustná pouze se zvláštním potvrzením.

  U stavebních dílců, které netvoří protipožární příčku, se elektroinstalace mohou – pokud rozměry/provedení nejsou větší než tři zásuvky, resp. jedna rozvodná krabice – vyfrézovat a namontovat přímo do prvku CLT. Tloušťka zbývající překližky nesmí být v této lokální oblasti zeslabena o více než polovinu. Protilehlé zásuvky se musejí umístit s odsazením o ≥ 20 cm. Jako alternativu lze použít zkoušené protipožární zásuvky, které vyžadují odbornou montáž. [34]

- Otvory pro montáž

  Pokud prvky CLT obsahují vyfrézované drážky/otvory pro použití různých zdvihacích prostředků, musí se tyto otvory uzavřít pomocí dřevěných kolíků nebo vycpat minerální vlnou (bod tání ≥1000 °C). Neomezují tak klasifikovanou požární odolnost prvku CLT. [34]

- Montáž oken a dveří

  Pokud jsou stanoveny požadavky na požární odolnost oken a/nebo dveří, musí se použít zkoušené systémy podle údajů výrobce. V případě požadavků na kritérium pro pouzdra se také musí odpovídajícím způsobem provést špalety. [34]

6.3 Požární přepážky v překližkové konstrukci

- Domovní instalace musejí být někdy vedeny i skrz stavební dílce tvořící protipožární přepážku (stěnové nebo stropní konstrukce). Prostupy potřebné k tomuto účelu se musejí z požárně technického hlediska přepažit tak, aby nebyla omezena požární odolnost prostoupeného stavebního dílce. To znamená, že požárně technické přepažení prostupu musí odpovídat požární odolnosti prostupovaného stavebního dílce.

- Plánování a provedení přepažení se většinou týká několika řemesel. Podle toho je zásadní předběžné plánování, které je nezbytné pro kvalitativní opatření spojená s přepažením.

- Pro další informace k tématu „Požární přepážky v dřevěných konstrukcích“ odkazuje společnost Stora Enso na [7].
  Zkoušky hořlavosti ve velkém rozsahu pro stěnové a stropní stavební dílce (zkušební doba vždy 90 min.), které byly potřeba pro [7], byly provedeny s prvky CLT od společnosti Stora Enso.
  Na základě výsledků těchto pokusů byla vypracována detailní řešení pro montáž, připevnění a napojení různých systémů přepážek pro dřevěné konstrukce. Tato řešení jsou vysvětlena v [7].

6.4 Spojovací prostředky

- Za účelem dosažení dobrého požárně technického spojení je nutné dbát na přesnou montáž ocelových částí do dřevěných konstrukcí. Dále se pokud možno musí zabránit tomu, aby ocelové části přesahovaly oproti dřevěnému povrchu. Tím se minimalizuje tok tepla dovnitř průřezu dřeva, který vyplývá z uvolňování energie požáru.

- V případě požadavku na vyšší doby požární odolnosti se spojovací prostředky mohou ochránit prostřednictvím použití obkladů z dřevěných materiálů nebo minerálních deskových materiálů.

- Pro další informace o vyměřování odkazuje společnost Stora Enso na [22], kapitolu 6.

6.5 Dvouplášťové konstrukce stavebních dílců

- Meziprostor dvouplášťových konstrukcí stavebních dílců se musí kompletně izolovat minerální vlnou. [34] (V případě požáru tak lze například zabránit spadu řeřavých hnízd nebo jiných hořících částí mezi dvouplášťové stěny. Kromě toho se izolací meziprostorů potlačí možný komínový efekt – který by mohl podporovat šíření požáru.)

7 Seznam literatury

[1] PÖSCHL, W. (2004):

Zuschnitt 14 – Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz, proHolz Austria, Wien

[2] FRANGI, A., FONTANA, M., HUGI, E., JÖBSTL, R. (2009):

Experimental analysis of cross laminated timber panels in fire, Fire Safety Journal, Elsevier Ltd.

[3] SCHEER, C., PETER, M. (2009):

Holz Brandschutz Handbuch, 3. Auflage, Informationsdienst Holz, Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e. V. (DGfH), München

[4] SCHLEIFER, V. (2009):

Zum Verhalten von raumabschließenden mehrschichtigen Holzbauteilen im Brandfall, Dissertation ETH Nr. 18156, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Zürich

[5] TEIBINGER, M., MATZINGER, I. (2013):

Bauen mit Brettsperrholz im Geschoßbau – Focus Bauphysik, Planungsbroschüre, Holzforschung Austria, Wien

[6] FRANGI, A., BRÜHWILER, I., STUDHALTER, J., WIEDERKEHR, R. (2011):

Lignum – Dokumentation Brandschutz – 3.1 Feuerwiderstandsbemessung – Bauteile und Verbindungen, 1. Auflage, Lignum – Holzwirtschaft Schweiz, Zürich

[7] TEIBINGER, M., MATZINGER, I. (2012):

Brandabschottung im Holzbau, Planungsbroschüre, ISBN 978-3-9503367-9, Holzforschung Austria, Wien

[8] TEIBINGER, M., MATZINGER, I. (2010):

Grundlagen zur Bewertung des Feuerwiderstandes von Holzkonstruktionen, Endbericht, Holzforschung Austria, Wien

[9] ÖSTMAN, B. et al. (2010):

Fire safety in timber buildings – Technical guideline for Europe, SP Trätek, Stockholm

Normy

[10] EN 300:

Platten aus langen, flachen, ausgerichteten Spänen (OSB) – Definitionen, Klassifizierung und Anforderungen

[11] EN 309:

Spanplatten – Definition und Klassifizierung

[12] EN 338:

Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen, Ausgabe: 2009

[13] EN 520:

Gipsplatten – Begriffe, Anforderungen und Prüfverfahren, Ausgabe: 2009

[14] EN 1365-1:

Feuerwiderstandsprüfungen für tragende Bauteile – Teil 1: Wände, Ausgabe: 2012

[15] EN 1365-2:

Feuerwiderstandsprüfungen für tragende Bauteile – Teil 2: Decken und Dächer, Ausgabe: 1999

[16] EN 1990:

Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung, Ausgabe: 2002

[17] EN 1991-1-2:

Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1–2: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke, Ausgabe: 2002

[18] EN 13162

Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werksmäßig hergestellte Produkte aus Mineralwolle (MW) – Spezifikation

[19] EN 13501-1:

Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten, Ausgabe: 2009

[20] EN 13501-2:

Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsgeräten, Ausgabe: 2009

[21] EN 15283-2:

Faserverstärkte Gipsplatten – Begriffe, Anforderungen und Prüfverfahren – Teil 2: Gipsfaserplatten

[22] ÖNORM EN 1995-1-2:

Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1–2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall, Ausgabe: 2011-09-01

[23] ÖNORM B 2330:

Brandschutztechnische Ausführung von mehrgeschoßigen Holz- und Holzfertighäusern – Anforderungen und Ausführungsbeispiele

[24] ÖNORM B 3410:

Gipsplatten für Trockenbausysteme (Gipskartonplatten) – Arten, Anforderungen und Prüfungen, Ausgabe: 2006

[25] ÖNORM B 1995-1-2:

Eurocode 5: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauten – Teil 1–2: Allgemeine Regeln – Bemessung für den Brandfall – Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1995-1-2, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen, Ausgabe: 2011-09-01

Schválení, klasifikační zprávy a znalecká stanoviska

[26] DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK (2011):

Europäische Technische Zulassung ETA-08/0271, CLT – Cross Laminated Timber, Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Berlin

[27] HOLZFORSCHUNG AUSTRIA (2011):

Klassifizierungsbericht 1720/2011/01, Klassifizierungsbericht über den Feuerwiderstand REI 60 von tragenden Brettsperrholzelementen als Wandelement „Stora Enso CLT 80 C3s“ unbeplankt ≥ 80 mm und beplankt mit Gipsplatten, Holzforschung Austria, Wien

[28] HOLZFORSCHUNG AUSTRIA (2011):

Klassifizierungsbericht 1720/2011/02, Klassifizierungsbericht über den Feuerwiderstand REI 90 von tragenden Brettsperrholzelementen als Wandelement „Stora Enso CLT 80 C3s“ unbeplankt ≥ 80 mm und beplankt mit Gipsplatten, Holzforschung Austria, Wien

[29] HOLZFORSCHUNG AUSTRIA (2011):

Klassifizierungsbericht 1720/2011/03, Klassifizierungsbericht über den Feuerwiderstand REI 120 von tragenden Brettsperrholzelementen als Wandelement „Stora Enso CLT 100 C3s“ ≥ 100 mm beplankt mit Gipsplatten, Holzforschung Austria, Wien

[30] HOLZFORSCHUNG AUSTRIA (2011):

Klassifizierungsbericht 1720/2011/04, Klassifizierungsbericht über den Feuerwiderstand REI 60 von tragenden Brettsperrholzelementen als Decken-/Dachelement „Stora Enso CLT 100 L3s“ ≥ 100 mm bekleidet mit Gipsplatten an der feuerabgewandten Seite, Holzforschung Austria, Wien

[31] HOLZFORSCHUNG AUSTRIA (2011):

Klassifizierungsbericht 1720/2011/05, Klassifizierungsbericht über den Feuerwiderstand REI 90 / EI 90 von tragenden Brettsperrholzelementen als Decken-/Dachelement „Stora Enso CLT L5s“ ≥ 140 mm beplankt mit Gipsplatten, Holzforschung Austria, Wien

[32] HOLZFORSCHUNG AUSTRIA (2011):

Klassifizierungsbericht 1720/2011/06, Klassifizierungsbericht über den Feuerwiderstand REI 90 von tragenden Brettsperrholzelementen als Außenwände, Holzforschung Austria, Wien

[33] HOLZFORSCHUNG AUSTRIA (2011):

Gutachtliche Stellungnahme 122/2011/02, Berechenbarkeit der Tragfähigkeit und des Raumabschlusses von Brettsperrholzbauteilen „Stora Enso CLT“, Holzforschung Austria, Wien

[34] HOLZFORSCHUNG AUSTRIA (2011):

Gutachtliche Stellungnahme 122/2011/04, Bewertung des Feuerwiderstandes von Stora Enso CLT Elementstößen, Einbauten von E-Installationen, Montagelöchern für Hebeschlaufen sowie Fenster- und Türanschlüsse, Holzforschung Austria, Wien

[35] HOLZFORSCHUNG AUSTRIA (2013):

Gutachtliche Stellungnahme 2434/2012-BB, Gutachtliche Stellungnahme über die Versagenszeit t_f von Gipskartonfeuerschutzplatten (GKF) gemäß ÖNORM B 3410 bzw. Gipsplatten Typ DF gemäß EN 520: 1 × 12,5 mm und 2 × 15 mm auf CLT Wandelementen, Holzforschung Austria, Wien

[36] HOLZFORSCHUNG AUSTRIA (2013):

Klassifizierungsbericht 52/2013, Klassifizierung über den Feuerwiderstand REI 90 von einem tragenden Holzbauteil gemäß ÖNORM EN 13501-2, Holzforschung Austria, Wien

Příloha 1 – Příklady vyměřování

A 1.1 Zjištění odhořívání prvků Stora Enso CLT (bez opláštění)

Předpoklad: CLT 180 L5s (struktura lamel: 40–30–40–30–40) jako neobložený stropní prvek; požadovaná doba požární odolnosti: 90 minut;

Výpočet: Protipožární odolnost 1. vrstvy:

$$\frac{d}{\beta_0} = \frac{40{,}0mm}{0{,}65mm/\min} = 61{,}5\min$$

Protipožární odolnost 2. vrstvy:

$$\frac{d}{\beta_0} = \frac{25{,}0mm}{1{,}3mm/\min} + \frac{5{,}0mm}{0{,}65mm/\min} = 26{,}9\min$$

Hloubka odhoření 3. vrstvy:

$$d_{char,0,1} = \beta_0 \cdot t = 1{,}3mm/\min \cdot (90{,}0\min - 61{,}5\min - 26{,}9\min) = 2{,}1mm$$

Vyměřovací hodnota hloubky odhoření:

$$d_{char,0} = 40{,}0mm + 30{,}0mm + 2{,}1mm = 72{,}1mm$$

A 1.2 Zjištění odhořívání prvků Stora Enso CLT (s opláštěním)

Předpoklad: CLT 140 L5s (struktura lamel: 40–20–20–20–40) jako obložený stěnový prvek; obklad: 12,5 mm GKF; požadovaná doba požární odolnosti: 90 minut;

Výpočet: Začátek odhořívání:

$$t_{ch} = 2{,}8 \cdot h_p - 14 = 2{,}8 \cdot 12{,}5mm - 14 = 21{,}0\,\text{min}$$

Doba selhání opláštění:

$$t_f = 55{,}0\,\text{min}$$

Odhořívání za období $t_{ch} \leq t \leq t_f$:

$$k_2 = 1 - 0{,}018 \cdot h_p = 1 - 0{,}018 \cdot 12{,}5mm = 0{,}775$$

$$d_{char,0,2a} = \beta_0 \cdot k_2 \cdot t = 0{,}63mm/\text{min} \cdot 0{,}775 \cdot (55{,}0\,\text{min} - 21{,}0\,\text{min}) = 16{,}6mm$$

Odhořívání za období $t_f \leq t \leq t_a$:

$$t_a = \frac{25 - (t_f - t_{ch}) \cdot k_2 \cdot \beta_0}{k_3 \cdot \beta_0} + t_f$$

$$t_a = \frac{25 - (55{,}0\,\text{min} - 21{,}0\,\text{min}) \cdot 0{,}775 \cdot 0{,}63mm/\text{min}}{2 \cdot 0{,}63mm/\text{min}} + 55{,}0\,\text{min} = 61{,}6\,\text{min}$$

$$d_{char,0,2b} = \beta_0 \cdot k_3 \cdot t = 0{,}63mm/\text{min} \cdot 2 \cdot (61{,}6\,\text{min} - 55{,}0\,\text{min}) = 8{,}3mm$$

Zbytková protipožární odolnost 1. vrstvy:

$$\frac{d}{\beta_0} = \frac{40{,}0mm - 16{,}6mm - 8{,}3mm}{0{,}63mm/\text{min}} = 24{,}0\,\text{min}$$

Hloubka odhoření 2. vrstvy:

$$d_{char,0,2c} = \beta_0 \cdot t = 0{,}86mm/\text{min} \cdot (90{,}0\,\text{min} - 61{,}6\,\text{min} - 24{,}0\,\text{min}) = 3{,}8mm$$

Vyměřovací hodnota hloubky odhoření:

$$d_{char,0} = 40{,}0mm + 3{,}8mm = 43{,}8mm$$

A 1.3 Zjištění pomyslné hloubky odhoření u prvků Stora Enso CLT (bez opláštění)

Předpoklad: CLT 180 L5s (struktura lamel: 40–30–40–30–40) jako neobložený stropní prvek; požadovaná doba požární odolnosti: 90 minut;

Výpočet: Protipožární odolnost 1. vrstvy:

$$\frac{d}{\beta_0} = \frac{40{,}0mm}{0{,}65mm/\min} = 61{,}5\min$$

Protipožární odolnost 2. vrstvy:

$$\frac{d}{\beta_0} = \frac{25{,}0mm}{1{,}3mm/\min} + \frac{5{,}0mm}{0{,}65mm/\min} = 26{,}9\min$$

Hloubka odhoření 3. vrstvy:

$$d_{char,0,1} = \beta_0 \cdot t = 1{,}3mm/\min \cdot (90{,}0\min - 61{,}5\min - 26{,}9\min) = 2{,}1mm$$

Vyměřovací hodnota hloubky odhoření:

$$d_{char,0} = 40{,}0mm + 30{,}0mm + 2{,}1mm = 72{,}1mm$$

Pomyslná hloubka odhoření:

$$d_{ef} = d_{char,0} + k_0 \cdot d_0 = 72{,}1mm + 1 \cdot 7{,}0mm = 79{,}1mm$$

A 1.4 Zjištění uzavření prostoru (EI) u prvků Stora Enso CLT (s opláštěním)

Předpoklad: CLT 100 L3s (struktura lamel: 30–40–30) jako obložený stěnový prvek; obklad: 12,5 mm deska GKF; požadovaná doba požární odolnosti: 90 minut;

Výpočet: Ochranná doba 1. vrstvy (deska GKF):

Základní ochranná doba:

$$t_{prot,0,GKF} = 30 \cdot \left(\frac{h_{p,i}}{15}\right)^{1,2} = 30 \cdot \left(\frac{12,5mm}{15}\right)^{1,2} = 24,1\,\text{min}$$

Polohový koeficient: $k_{pos,\exp,GKF} = 1,0$

(protože deska GKF je od počátku vystavena požáru)

Polohový koeficient: $k_{pos,un\exp,GKF} = 1,0$

(protože další vrstva CLT se považuje za zadní obklad)

Časový rozdíl: $\Delta_{t,GKF} = 0$

(protože neexistuje žádná přední ochranná vrstva)

Spárový koeficient: $k_{j,GKF} = 1,0$

(protože deska GKF má zatmelené spáry)

Ochranná doba:

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

$$t_{prot,GKF} = (24,1\,\text{min} \cdot 1,0 \cdot 1,0 + 0) \cdot 1,0 = 24,1\,\text{min}$$

Ochranná doba 2. vrstvy (1. vrstvy CLT):

Základní ochranná doba:

$$t_{prot,0,CLT1} = 30 \cdot \left(\frac{h_{p,i}}{20}\right)^{1,1} = 30 \cdot \left(\frac{30,0mm}{20}\right)^{1,1} = 46,9\,\text{min}$$

Polohový koeficient:

$$k_{pos,\exp,i} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{t_{0,i}}{\sum t_{prot,i-1}}}$$

$$k_{pos,\exp,CLT1} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{46,9\,\text{min}}{24,1\,\text{min}}} = 0,698$$

Polohový koeficient: $k_{pos,unexp,CLT1} = 1{,}0$

(protože další vrstva CLT se považuje za zadní obklad)

Časový rozdíl: $\Delta t_i = 0{,}22 \cdot t_{prot,i-1} - 0{,}1 \cdot t_{0,i} + 4{,}7$

$$\Delta t_{CLT1} = 0{,}22 \cdot 24{,}1\,\text{min} - 0{,}1 \cdot 46{,}9\,\text{min} + 4{,}7 = 5{,}3\,\text{min}$$

Spárový koeficient: $k_{j,CLT1} = 1{,}0$

(protože je použita vícevrstvá deska z masivního dřeva)

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

$$t_{prot,CLT1} = (46{,}9\,\text{min} \cdot 0{,}698 \cdot 1{,}0 + 5{,}3\,\text{min}) \cdot 1{,}0 = 38{,}0\,\text{min}$$

Ochranná doba 3. vrstvy (2. vrstvy CLT):

Základní ochranná doba: $t_{prot,0,CLT2} = 30 \cdot \left(\frac{h_{p,i}}{20}\right)^{1,1} = 30 \cdot \left(\frac{40{,}0mm}{20}\right)^{1,1} = 64{,}3\,\text{min}$

Polohový koeficient: $k_{pos,exp,i} = 0{,}5 \cdot \sqrt{\frac{t_{0,i}}{\sum t_{prot,i-1}}}$

$$k_{pos,exp,CLT2} = 0{,}5 \cdot \sqrt{\frac{64{,}3\,\text{min}}{62{,}1\,\text{min}}} = 0{,}509$$

Polohový koeficient: $k_{pos,unexp,CLT2} = 1{,}0$

(protože další vrstva CLT se považuje za zadní obklad)

Časový rozdíl: $\Delta_{t,CLT2} = 0$

(protože jako přední vrstva není použita sádrová nebo sádrovláknitá deska)

Spárový koeficient: $k_{j,CLT2} = 1{,}0$

(protože je použita vícevrstvá deska z masivního dřeva)

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

$$t_{prot,CLT2} = (64{,}3\,\text{min} \cdot 0{,}509 \cdot 1{,}0 + 0) \cdot 1{,}0 = 32{,}7\,\text{min}$$

Izolační doba 4. vrstvy (3. vrstvy CLT):

Základní izolační doba:

$$t_{ins,0,CLT3} = 19 \cdot \left(\frac{h_{p,i}}{20}\right)^{1,4} = 19 \cdot \left(\frac{30{,}0mm}{20}\right)^{1,4} = 33{,}5\,\text{min}$$

Polohový koeficient:

$$k_{pos,\exp,i} = 0{,}5 \cdot \sqrt{\frac{t_{0,i}}{\sum t_{prot,i-1}}}$$

$$k_{pos,\exp,CLT3} = 0{,}5 \cdot \sqrt{\frac{33{,}5\,\text{min}}{94{,}8\,\text{min}}} = 0{,}297$$

Časový rozdíl:

$$\Delta_{t,CLT3} = 0$$

(protože jako přední vrstva není použita sádrová nebo sádrovláknitá deska)

Spárový koeficient:

$$k_{j,CLT3} = 1{,}0$$

(protože je použita vícevrstvá deska z masivního dřeva)

Izolační doba:

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

$$t_{ins,CLT3} = (33{,}5\,\text{min} \cdot 0{,}297 + 0) \cdot 1{,}0 = 10{,}0\,\text{min}$$

Doba do selhání funkce uzavření prostoru:

$$t_{ins} = \sum t_{prot,i-1} + t_{ins,i}$$

$$t_{ins} = 94{,}8\,\text{min} + 10{,}0\,\text{min} = 104{,}8\,\text{min}$$

Prokázání:

$$t_{ins} \geq t_{req}$$

$$104{,}8\,\text{min} \geq 90\,\text{min}$$

Tím je prokázáno, že výše popsaná konstrukce vykazuje požární odolnost EI 90.

Příloha 2 – Údaje o zbytkovém průřezu a uzavření prostoru konstrukcí stavebních dílců CLT od společnosti Stora Enso

Vypočítané hodnoty uvedené v tabulkách 16–20 jsou založeny na následujících podmínkách:

Kritérium R:

- Pomyslný zbytkový průřez (v milimetrech) vypočítaný v závislosti na struktuře stavebního dílce CLT a požadované požární odolnosti se zakládá na znalecky potvrzených rychlostech odhořívání pro prvky CLT od společnosti Stora Enso podle [33], na znalecky potvrzených dobách selhání pro opláštění z desek GKF na prvních CLT od společnosti Stora Enso podle [35] (pro přímá opláštění), na dobách selhání pro opláštění z desek GKF podle [25] (pro obklady u izolační úrovně), na vyměření podle [22] a na předpokladu jednostranného odhořívání.

- Při výpočtovém zjišťování pomyslného zbytkového průřezu dřeva se bez ohledu na hloubku odhoření bere ohled rovněž na vrstvu bez pevnosti a tuhosti $k_0 * d_0$.
  (Podle [26] s ohledem na [22]: d_0= 7 mm)

- Zbytkové průřezy lamel o tloušťce ≤ 3 mm se při dalším statickém vyměřováním výpočetně nezohledňují. (Lamely/vrstvy, kterých se tato úprava týká, jsou v následujících tabulkách označeny [(1)].)

- Pokud se odhořívání, resp. hranice odhořívání pohybuje ve staticky nenosné vrstvě, bude zbývající tloušťka této vrstvy uvedena v závorkách.
  Při zjišťování statického zbytkového průřezu se tyto nenosné lamely/vrstvy, které nejsou vystaveny namáhání požárem, zohledňují, resp. odečítají.

- Lamely/vrstvy v hlavním nosném směru jsou v následujících tabulkách **vytištěny tučně**.

Kritérium EI:

- Uzavření prostoru vypočítané v závislosti na struktuře stavebního dílce CLT a požadované požární odolnosti se zjišťuje podle [25], resp. [9], resp. [4].
  Hodnoty pro uzavření prostoru uvedené v následujících tabulkách jsou založeny na prokázání v ploše prvku. Pokud se posuzovaný stavební dílec skládá z několika jednotlivých prvků, musí se prokazování provést rovněž v oblasti spáry prvku, přičemž na základě použití příslušného spárového koeficientu vznikne jiný výsledek.

A 2.1 Výpočtově zjištěný zbytkový průřez a uzavření prostoru stěnových konstrukcí CLT (bez opláštění)

Stěnové prvky CLT (bez opláštění)													
Výstupní průřez						Kritérium R							Kritérium EI
						Výpočtový, pomyslný zbytkový průřez po **30 minutách** namáhání požárem						Statický zbytkový průřez [mm]	Výpočtové uzavření prostoru [min.]
Typ desky CLT	Struktura lamel [mm]					Struktura lamel [mm]					Zbytkový průřez [mm]		
80 C3s	**30,0**	20,0	**30,0**			**4,1**	20,0	**30,0**			54,1	54,1	71 > 30
90 C3s	**30,0**	30,0	**30,0**			**4,1**	30,0	**30,0**			64,1	64,1	81 > 30
100 C3s	**30,0**	40,0	**30,0**			**4,1**	40,0	**30,0**			74,1	74,1	95 > 30
120 C3s	**40,0**	40,0	**40,0**			**14,1**	40,0	**40,0**			94,1	94,1	114 > 30
100 C5s	**20,0**	20,0	**20,0**	20,0	**20,0**	**0,0**	(14,1)	**20,0**	20,0	**20,0**	74,1	60,0	73 > 30
120 C5s	**30,0**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	**4,1**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	94,1	94,1	90 > 30
140 C5s	**40,0**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	**14,1**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	114,1	114,1	111 > 30
160 C5s	**40,0**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	**14,1**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	134,1	134,1	129 > 30
						Výpočtový, pomyslný zbytkový průřez po **60 minutách** namáhání požárem						Statický zbytkový průřez [mm]	Výpočtové uzavření prostoru [min.]
Typ desky CLT	Struktura lamel [mm]					Struktura lamel [mm]					Zbytkový průřez [mm]		
80 C3s	**30,0**	20,0	**30,0**			**0,0**	(1) 0,0	**30,0**			30,0	30,0	71 > 60
90 C3s	**30,0**	30,0	**30,0**			**0,0**	(12,3)	**30,0**			42,3	30,0	81 > 60
100 C3s	**30,0**	40,0	**30,0**			**0,0**	(22,3)	**30,0**			52,3	30,0	95 > 60
120 C3s	**40,0**	40,0	**40,0**			**0,0**	(35,2)	**40,0**			75,2	40,0	114 > 60
100 C5s	**20,0**	20,0	**20,0**	20,0	**20,0**	**0,0**	0,0	**8,7**	20,0	**20,0**	48,7	48,7	73 > 60
120 C5s	**30,0**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	**0,0**	(1) 0,0	**20,0**	20,0	**30,0**	70,0	70,0	90 > 60
140 C5s	**40,0**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	**0,0**	(15,2)	**20,0**	20,0	**40,0**	95,2	80,0	111 > 60
160 C5s	**40,0**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	**0,0**	(15,2)	**40,0**	20,0	**40,0**	115,2	100,0	129 > 60
						Výpočtový, pomyslný zbytkový průřez po **90 minutách** namáhání požárem						Statický zbytkový průřez [mm]	Výpočtové uzavření prostoru [min.]
Typ desky CLT	Struktura lamel [mm]					Struktura lamel [mm]					Zbytkový průřez [mm]		
80 C3s	**30,0**	20,0	**30,0**			**0,0**	0,0	**6,6**			6,6	6,6	71 < 90
90 C3s	**30,0**	30,0	**30,0**			**0,0**	0,0	**16,5**			16,5	16,5	81 < 90
100 C3s	**30,0**	40,0	**30,0**			**0,0**	0,0	**26,5**			26,5	26,5	95 > 90
120 C3s	**40,0**	40,0	**40,0**			**0,0**	(10,2)	**40,0**			50,2	40,0	114 > 90
100 C5s	**20,0**	20,0	**20,0**	20,0	**20,0**	**0,0**	0,0	**0,0**	(1) 0,0	**20,0**	20,0	20,0	73 < 90
120 C5s	**30,0**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	**0,0**	0,0	**0,0**	(16,6)	**30,0**	46,6	30,0	90 ≥ 90
140 C5s	**40,0**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	**0,0**	0,0	**10,2**	20,0	**40,0**	70,2	70,2	111 > 90
160 C5s	**40,0**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	**0,0**	0,0	**30,2**	20,0	**40,0**	90,2	90,2	129 > 90

Tabulka 16: Výpočtový zbytkový průřez a uzavření prostoru stěnových konstrukcí CLT bez opláštění

A 2.2 Výpočtově zjištěný zbytkový průřez a uzavření prostoru stěnových konstrukcí CLT s jednovrstvým sádrokartonovým opláštěním (12,5 mm) na straně stavebního dílce odvrácené od požáru

Stěnové prvky CLT (s jednovrstvým sádrokartonovým opláštěním)													
Výstupní průřez						Kritérium R							Kritérium EI
						Výpočtový, pomyslný zbytkový průřez po **30 minutách** namáhání požárem						Statický zbytkový průřez [mm]	Výpočtové uzavření prostoru [min.]
Typ desky CLT	Struktura lamel [mm]					Struktura lamel [mm]					Zbytkový průřez [mm]		
80 C3s	**30,0**	20,0	**30,0**			**18,6**	20,0	**30,0**			68,6	68,6	83 > 30
90 C3s	**30,0**	30,0	**30,0**			**18,6**	30,0	**30,0**			78,6	78,6	93 > 30
100 C3s	**30,0**	40,0	**30,0**			**18,6**	40,0	**30,0**			88,6	88,6	104 > 30
120 C3s	**40,0**	40,0	**40,0**			**28,6**	40,0	**40,0**			108,6	108,6	123 > 30
100 C5s	**20,0**	20,0	**20,0**	20,0	**20,0**	**8,6**	20,0	**20,0**	20,0	**20,0**	88,6	88,6	84 > 30
120 C5s	**30,0**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	**18,6**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	108,6	108,6	101 > 30
140 C5s	**40,0**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	**28,6**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	128,6	128,6	121 > 30
160 C5s	**40,0**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	**28,6**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	148,6	148,6	137 > 30
						Výpočtový, pomyslný zbytkový průřez po **60 minutách** namáhání požárem						Statický zbytkový průřez [mm]	Výpočtové uzavření prostoru [min.]
Typ desky CLT	Struktura lamel [mm]					Struktura lamel [mm]					Zbytkový průřez [mm]		
80 C3s	**30,0**	20,0	**30,0**			(1) **0,0**	20,0	**30,0**			50,0	50,0	83 > 60
90 C3s	**30,0**	30,0	**30,0**			(1) **0,0**	30,0	**30,0**			60,0	60,0	93 > 60
100 C3s	**30,0**	40,0	**30,0**			(1) **0,0**	40,0	**30,0**			70,0	70,0	104 > 60
120 C3s	**40,0**	40,0	**40,0**			**10,1**	40,0	**40,0**			90,1	90,1	123 > 60
100 C5s	**20,0**	20,0	**20,0**	20,0	**20,0**	**0,0**	(9,0)	**20,0**	20,0	**20,0**	69,0	60,0	84 > 60
120 C5s	**30,0**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	(1) **0,0**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	90,0	90,0	101 > 60
140 C5s	**40,0**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	**10,1**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	110,1	110,1	121 > 60
160 C5s	**40,0**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	**10,1**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	130,1	130,1	137 > 60
						Výpočtový, pomyslný zbytkový průřez po **90 minutách** namáhání požárem						Statický zbytkový průřez [mm]	Výpočtové uzavření prostoru [min.]
Typ desky CLT	Struktura lamel [mm]					Struktura lamel [mm]					Zbytkový průřez [mm]		
80 C3s	**30,0**	20,0	**30,0**			**0,0**	0,0	**25,5**			25,5	25,5	83 < 90
90 C3s	**30,0**	30,0	**30,0**			**0,0**	(5,5)	**30,0**			35,5	30,0	93 > 90
100 C3s	**30,0**	40,0	**30,0**			**0,0**	(15,5)	**30,0**			45,5	30,0	104 > 90
120 C3s	**40,0**	40,0	**40,0**			**0,0**	(29,2)	**40,0**			69,2	40,0	123 > 90
100 C5s	**20,0**	20,0	**20,0**	20,0	**20,0**	**0,0**	0,0	**3,7**	20,0	**20,0**	43,7	43,7	84 < 90
120 C5s	**30,0**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	**0,0**	0,0	**15,5**	20,0	**30,0**	65,5	65,5	101 > 90
140 C5s	**40,0**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	**0,0**	(9,2)	**20,0**	20,0	**40,0**	89,2	80,0	121 > 90
160 C5s	**40,0**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	**0,0**	(9,2)	**40,0**	20,0	**40,0**	109,2	100,0	137 > 90

Tabulka 17: Výpočtový zbytkový průřez a uzavření prostoru stěnových konstrukcí CLT s jednovrstvým sádrokartonovým opláštěním (12,5 mm)

A 2.3 Výpočtově zjištěný zbytkový průřez a uzavření prostoru stěnových konstrukcí CLT s instalační úrovní (50 mm, minerální vlna) a jednovrstvým sádrokart. opláštěním (12,5 mm) na straně stavebního dílce odvrácené od požáru

Stěnové prvky CLT (s instalační úrovní izolovanou minerální vlnou a jednovrstvým sádrokartonovým opláštěním)													
Výstupní průřez						Kritérium R							Kritérium EI
						Výpočtový, pomyslný zbytkový průřez po **30 minutách** namáhání požárem						Statický zbytkový průřez [mm]	Výpočtové uzavření prostoru [min.]
Typ desky CLT	Struktura lamel [mm]					Struktura lamel [mm]					Zbytkový průřez [mm]		
80 C3s	**30,0**	20,0	**30,0**			**30,0**	20,0	**30,0**			80,0	80,0	84 > 30
90 C3s	**30,0**	30,0	**30,0**			**30,0**	30,0	**30,0**			90,0	90,0	93 > 30
100 C3s	**30,0**	40,0	**30,0**			**30,0**	40,0	**30,0**			100,0	100,0	105 > 30
120 C3s	**40,0**	40,0	**40,0**			**40,0**	40,0	**40,0**			120,0	120,0	124 > 30
100 C5s	**20,0**	20,0	**20,0**	20,0	**20,0**	**20,0**	20,0	**20,0**	20,0	**20,0**	100,0	100,0	85 > 30
120 C5s	**30,0**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	**30,0**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	120,0	120,0	101 > 30
140 C5s	**40,0**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	**40,0**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	140,0	140,0	122 > 30
160 C5s	**40,0**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	**40,0**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	160,0	160,0	138 > 30
						Výpočtový, pomyslný zbytkový průřez po **60 minutách** namáhání požárem						Statický zbytkový průřez [mm]	Výpočtové uzavření prostoru [min.]
Typ desky CLT	Struktura lamel [mm]					Struktura lamel [mm]					Zbytkový průřez [mm]		
80 C3s	**30,0**	20,0	**30,0**			**0,0**	(10,5)	**30,0**			40,5	30,0	84 > 60
90 C3s	**30,0**	30,0	**30,0**			**0,0**	(20,5)	**30,0**			50,5	30,0	93 > 60
100 C3s	**30,0**	40,0	**30,0**			**0,0**	(30,5)	**30,0**			60,5	30,0	105 > 60
120 C3s	**40,0**	40,0	**40,0**			(1) **0,0**	40,0	**40,0**			80,0	80,0	124 > 60
100 C5s	**20,0**	20,0	**20,0**	20,0	**20,0**	**0,0**	(1) 0,0	**20,0**	20,0	**20,0**	60,0	60,0	85 > 60
120 C5s	**30,0**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	**0,0**	(10,5)	**20,0**	20,0	**30,0**	80,5	70,0	101 > 60
140 C5s	**40,0**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	1) **0,0**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	100,0	100,0	122 > 60
160 C5s	**40,0**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	1) **0,0**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	120,0	120,0	138 > 60
						Výpočtový, pomyslný zbytkový průřez po **90 minutách** namáhání požárem						Statický zbytkový průřez [mm]	Výpočtové uzavření prostoru [min.]
Typ desky CLT	Struktura lamel [mm]					Struktura lamel [mm]					Zbytkový průřez [mm]		
80 C3s	**30,0**	20,0	**30,0**			**0,0**	0,0	**16,5**			16,5	16,5	84 < 90
90 C3s	**30,0**	30,0	**30,0**			**0,0**	0,0	**26,5**			26,5	26,5	93 > 90
100 C3s	**30,0**	40,0	**30,0**			**0,0**	(6,5)	**30,0**			36,5	30,0	105 > 90
120 C3s	**40,0**	40,0	**40,0**			**0,0**	(20,2)	**40,0**			60,2	40,0	124 > 90
100 C5s	**20,0**	20,0	**20,0**	20,0	**20,0**	**0,0**	0,0	**0,0**	(14,7)	**20,0**	34,7	20,0	85 < 90
120 C5s	**30,0**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	**0,0**	0,0	**6,5**	20,0	**30,0**	56,5	56,5	101 > 90
140 C5s	**40,0**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	**0,0**	(1) 0,0	**20,0**	20,0	**40,0**	80,0	80,0	122 > 90

160 C5s	**40,0**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	**0,0**	(1) 0,0	**40,0**	20,0	**40,0**	100,0	100,0	138 > 90

Tabulka 18: Výpočtový zbytkový průřez a uzavření prostoru stěnových konstrukcí CLT s instalační úrovní (50 mm) a sádrokartonovým opláštěním (12,5 mm)

A 2.4 Výpočtově zjištěný zbytkový průřez a uzavření prostoru stropních konstrukcí CLT (bez opláštění)

Stropní prvky CLT (bez opláštění)													
Výstupní průřez						Kritérium R							Kritérium EI
						Výpočtový, pomyslný zbytkový průřez po **30 minutách** namáhání požárem						Statický zbytkový průřez [mm]	Výpočtové uzavření prostoru [min.]
Typ desky CLT	Struktura lamel [mm]					Struktura lamel [mm]					Zbytkový průřez [mm]		
100 L5s	**20,0**	20,0	**20,0**	20,0	**20,0**	**0,0**	(13,5)	**20,0**	20,0	**20,0**	73,5	60,0	73 > 30
120 L5s	**30,0**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	**3,5**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	93,5	93,5	90 > 30
140 L5s	**40,0**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	**13,5**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	113,5	113,5	111 > 30
160 L5s	**40,0**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	**13,5**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	133,5	133,5	129 > 30
180 L5s	**40,0**	30,0	**40,0**	30,0	**40,0**	**13,5**	30,0	**40,0**	30,0	**40,0**	153,5	153,5	143 > 30
200 L5s	**40,0**	40,0	**40,0**	40,0	**40,0**	**13,5**	40,0	**40,0**	40,0	**40,0**	173,5	173,5	160 > 30
						Výpočtový, pomyslný zbytkový průřez po **60 minutách** namáhání požárem						Statický zbytkový průřez [mm]	Výpočtové uzavření prostoru [min.]
Typ desky CLT	Struktura lamel [mm]					Struktura lamel [mm]					Zbytkový průřez [mm]		
100 L5s	**20,0**	20,0	**20,0**	20,0	**20,0**	**0,0**	0,0	**0,0**	(14,8)	**20,0**	34,8	20,0	73 > 60
120 L5s	**30,0**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	**0,0**	0,0	**14,9**	20,0	**30,0**	64,9	64,9	90 > 60
140 L5s	**40,0**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	**0,0**	(14,0)	**20,0**	20,0	**40,0**	94,0	80,0	111 > 60
160 L5s	**40,0**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	**0,0**	(14,0)	**40,0**	20,0	**40,0**	114,0	100,0	129 > 60
180 L5s	**40,0**	30,0	**40,0**	30,0	**40,0**	**0,0**	(24,0)	**40,0**	30,0	**40,0**	134,0	110,0	143 > 60
200 L5s	**40,0**	40,0	**40,0**	40,0	**40,0**	**0,0**	(34,0)	**40,0**	40,0	**40,0**	154,0	120,0	160 > 60
						Výpočtový, pomyslný zbytkový průřez po **90 minutách** namáhání požárem						Statický zbytkový průřez [mm]	Výpočtové uzavření prostoru [min.]
Typ desky CLT	Struktura lamel [mm]					Struktura lamel [mm]					Zbytkový průřez [mm]		
100 L5s	**20,0**	20,0	**20,0**	20,0	**20,0**	**0,0**	0,0	**0,0**	0,0	**0,0**	0,0	0,0	73 < 90
120 L5s	**30,0**	20,0	**20,0**	20,0	**30,0**	**0,0**	0,0	**0,0**	0,0	**25,7**	25,7	25,7	90 ≥ 90
140 L5s	**40,0**	20,0	**20,0**	20,0	**40,0**	**0,0**	0,0	**0,0**	(15,8)	**40,0**	55,8	40,0	111 > 90
160 L5s	**40,0**	20,0	**40,0**	20,0	**40,0**	**0,0**	0,0	**15,8**	20,0	**40,0**	75,8	75,8	129 > 90
180 L5s	**40,0**	30,0	**40,0**	30,0	**40,0**	**0,0**	0,0	**30,7**	30,0	**40,0**	100,7	100,7	143 > 90
200 L5s	**40,0**	40,0	**40,0**	40,0	**40,0**	**0,0**	(1) 0,0	**40,0**	40,0	**40,0**	120,0	120,0	160 > 90

Tabulka 19: Výpočtový zbytkový průřez a uzavření prostoru stropních konstrukcí CLT bez opláštění