



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

POŽÁRNÍ ODOLNOST DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FIRE SAFETY OF WOOD STRUCTURES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lenka Čtvrtečková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JAN VANĚREK, Ph.D.

BRNO 2021



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Lenka Čtvrtečková
Název	Požární odolnost dřevěných konstrukcí
Vedoucí práce	doc. Ing. Jan Vaněrek, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2020
Datum odevzdání	28. 5. 2021

V Brně dne 30. 11. 2020

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr.h.c.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Klippel M, Leyder C, Frangi A, Fontana M, Lam F, Ceccotti A (2014) Fire tests on loaded cross-laminated timber wall and floor elements, In: Proceedings of the 11th international symposium on Fire Safety Science

Fire safety in Timber buildings, Technical guideline for Europe, SP report 2010:19, CEN TC 250/SC5

Östman B, Brandon D., Frantzich H. Fire safety engineering in timber buildings Fire Safety Journal 91 (2017) 11-20

White R.H., Dietenberger, M.A. Fire Safety of Wood Construction, General Technical Report FPL-GTR-190, Chapter 18

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Bakalářská práce se bude zabýrat problematikou stanovení požární odolnosti dřevěných konstrukcí. Výpočty i postupy požárních zkoušek poplatných legislativě EU jsou v ČR dlouhodobě zavedené, ať už se jedná o klasifikace materiálů určující třídu reakce na oheň nebo u stavebních konstrukcí o klasifikaci jejich požární odolnosti. Nicméně v případě posuzování mohou některé požární předpisy vycházet z hodnot a zkušeností, jejichž poznání je starší a nemusí reflektovat chování novodobých materiálů, které se u dřevostaveb uplatňují.

V rámci teorie se autorka bude zabývat popisem přístupů, které jsou na objekty, zejména dřevostavby, kladeny z hlediska požární odolnosti. Bude se zabývat výsledky vědeckých studií, které posuzují a stanovují požární odolnost u nových dřevěných prvků či skladeb nosných konstrukcí (fullscale testy, testy na malých tělesech). Dále zpracuje kapitolu zabývající se problematikou klasifikace třídy reakce na oheň.

V praktické části poté autorka provede:

1. Komplexní analýzu způsobu výpočtu požární odolnosti v ČR a ve vybraných zemích, aby byly patrné odlišnosti v přístupu posuzování.
2. Provede vyhodnocení experimentálně zjištěné požární odolnosti u vybrané nosné konstrukce dřevostavby.

Předpokládaný rozsah práce činí 40 - 50 stran.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Jan Vaněrek, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na popis, značení a vyhodnocení požární odolnosti dřevěných konstrukcí. Popisuje používané postupy, kterými lze stanovit odpovídající požární odolnost. Nachází se zde i popis konstrukčních systémů a požárního řešení u vybraných dřevostaveb ve světě. Bakalářská práce experimentálně ověřuje požární odolnost mechanicky spojených lamelových desek.

KLÍČOVÁ SLOVA

Požární odolnost, dřevěné konstrukce, oheň

ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on the description, indication and evaluation of the fire resistance of wooden structures. It describes the procedures used to determine the corresponding fire resistance. It also contains a description of construction systems and fire solutions for selected wooden buildings across the world. This bachelor thesis experimentally verifies the fire resistance of mechanically bonded cross laminated timber boards.

KEYWORDS

Fire resistance, wooden construction, fire

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Lenka Čtvrtečková *Požární odolnost dřevěných konstrukcí*. Brno, 2021. 65 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Jan Vaněrek, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Požární odolnost dřevěných konstrukcí* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 26. 5. 2021

Lenka Čtvrtečková
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Požární odolnost dřevěných konstrukcí* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. 5. 2021

Lenka Čtvrtečková
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. Janu Vaněrkovi, Ph.d. za jeho čas, pedagogickou i odbornou pomoc a další cenné rady a připomínky poskytnuté při zpracování této bakalářské práce.

OBSAH

1. Úvod	10
2. Problematika dřeva ke zvýšeným teplotním expozicím	11
2.1. Dřevo ve vztahu ke zvýšeným teplotám	11
2.2. Problematika odhořívání dřeva	12
2.3. Třída reakce na oheň	13
2.3.1. Klasifikace stavebních materiálů v závislosti reakce na oheň	13
2.3.2. Doplňková klasifikace	17
2.3.3. Klasifikace dřevěných materiálů	17
3. Požární odolnost	19
3.1. Mezní stavy	19
3.1.1. Únosnost R	19
3.1.2. Celistvost E	20
3.1.3. Izolace I	21
3.1.4. Účinnost požárních ochran K	21
4. Požární odolnost dřevěných staveb	24
4.1. Požární odolnost konstrukcí v České republice	24
4.1.1. Klasifikace konstrukčních částí	24
4.1.2. Kategorizace konstrukčního systému	26
4.1.3. Omezení výšky objektu	26
4.2. Požární odolnost konstrukcí v zahraničí	27
4.2.1. Postup stanovení požární odolnosti v Německu	27
4.2.2. Postup stanovení požární odolnosti v Rakousku	28
5. Výpočet požární odolnosti dřevěných konstrukcí:	29
5.1. Klasifikace dle výsledků požárních zkoušek	29
5.2. Klasifikace podle normové hodnoty	29
5.3. Výpočtem podle Eurokódu	30
5.4. Zkouškou a výpočtem dle Eurokódu	32
6. Řešení požární odolnosti u vybraných výškových dřevěných objektů	33
6.1. Konstrukční řešení výškové budovy Mjøstarnet	33
6.1.1. Konstrukční systém	33
6.1.2. Protipožární opatření	34
6.2. Konstrukční řešení výškové budovy Treet	35

6.2.1.	Konstrukční systém	36
6.2.2.	Protipožární opatření	37
6.3.	Konstrukční řešení výškové budovy Condos Origine	37
6.3.1.	Konstrukční systém	37
6.3.2.	Protipožární opatření	39
6.4.	Konstrukční řešení výškové budovy HoHo v Rakousku	40
6.4.1.	Konstrukční systém	40
6.4.2.	Protipožární opatření	41
7.	Cíl práce	42
8.	Metodický postup pro stanovení požární odolnosti lepených lamelových desek	43
8.1.	Příprava/specifikace zkušebních těles	43
8.2.	Stanovení míry zuhelnatění β	43
8.3.	Stanovení hmotnostních úbytků.....	44
8.4.	Klasifikace požární odolnosti REI.....	44
9.	Požární odolnost dřevěného plošného nosného panelu	46
9.1.	Stanovení požární odolnosti vrstvených panelů zkouškou	46
9.1.1.	Materiál nosných dřevěných panelů	46
9.1.2.	Poloha termoelektrických článků	47
9.1.3.	Zkoušení požární odolnosti dřevěného panelu	47
10.	Výsledek zkoušek.....	49
10.1.	Vrstvené panely s dřevěnými a ocelovými spojovacími prostředky.....	49
10.2.	Průběh teplot v souvrství desky a v peci	49
10.2.1.	Klasifikace požární odolnosti REI.....	50
10.2.2.	Vyhodnocení požární odolnosti desky s dřevěnými a ocelovými spojovacími prostředky	52
11.	Vyhodnocení zkoušek a diskuze	53
11.1.	Experimentální zjištění požární odolnosti vrstveného panelu.....	53
11.1.1.	Průběh teplot v prvku.....	53
11.1.2.	Určení rychlosti zuhelnatění	56
11.2.	Porovnání s deklarovanou požární odolností komerčních vrstvených panelů	57
12.	Závěr	59
13.	Bibliografie	60
14.	Seznam použitých norem	62
15.	Přílohy	63

1. ÚVOD

Dřevo je jeden z nejstarších stavebních materiálů, které se používalo již v pravěku pro stavbu primitivních obydlí. V dobách starověku bylo dřevo hlavním stavebním prvkem, s nástupem výstavby vesnic a větších měst se ovšem od výstavby ze dřeva upouštělo, a to z důvodu rychlého šíření ohně při vzniklém požáru. Nyní se však dřevo jako stavební materiál velice rozmáhá. Dnes se dřevo jako stavební materiál využívá ve stavebních konstrukcích ve formě konstrukčních prvků či materiálů na bázi dřeva a vlivem vývoje se jeho parametry (pevnostní či trvanlivostní) stále zvyšují. Výstavba dřevostaveb je v současné době čím dál častější a žádanější. Dřevo je totiž obnovitelný přírodní materiál a velice často se využívá v udržitelné výstavbě, a to z důvodů jeho recyklovatelnosti, tepelných vlastností, lokálnímu zdroji materiálu, variabilitě a zejména i jeho estetičnosti. Z hlediska požadavků na výstavbu se nároky stále zvyšují, proto se konstrukce neustále inovují, a díky tomu je možno dosáhnout stále lepších vlastností dřevěných materiálů a materiálů na bázi dřeva. Z hlediska požární odolnosti je dřevo posuzováno dle evropských norem zavedených v ČR. Použití dřeva ke stavebním účelům je ovšem limitované jeho hořlavostí, i přesto, že je dřevo častěji v praxi více odolné vůči působení ohně než některé jiné konstrukční materiály.

2. PROBLEMATIKA DŘEVA KE ZVÝŠENÝM TEPLOTNÍM EXPOZICÍM

2.1. Dřevo ve vztahu ke zvýšeným teplotám

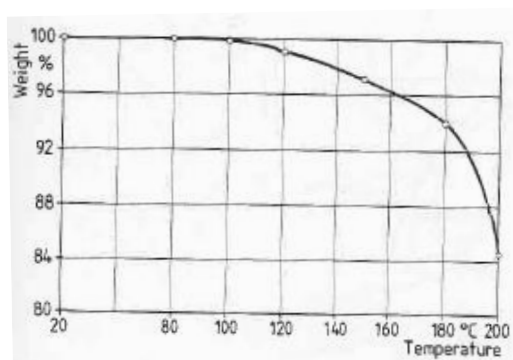
Dřevo ve vztahu ke zvýšeným teplotám mění své fyzikální i chemické vlastnosti a strukturu. Při zvyšujících se teplotách dochází u dřeva:

- a) k endotermické reakci (absorpce tepla dřevní hmotou) značící se vysušováním;
- b) k exotermické reakci (uvolňuje se množství tepla za přítomnosti oxidace rozkladných produktů);

Sluneční záření ohřívá dřevěné konstrukce v exteriéru nebo nepřímo i v interiéru až na teploty 50–80 °C. Již tyto teploty, hlavně v přítomnosti srážkové, nebo jiné vody, vyvolávají plastifikaci ligninu. Tuto vlastnost využíváme při hydrotermických úpravách dřeva na výrobu dýh a ohýbaných dřevěných dílců. [1]

Chování dřeva při zvýšených teplotách lze popsat následovně:

- a) po dosažení teploty 100 °C se voda ve dřevě začíná odpařovat. Zvýšené teploty již nad 100 °C mají vliv na změny fyzikálních, mechanických, chemických a strukturních vlastností dřeva. Rychlost degradace je však velice nízká.
- b) výraznější změny se v chemické struktuře dřeva projevují při teplotách nad 150–170 °C, přičemž tyto změny se podílejí i na změně vlastností dřeva.
- c) při teplotách 150–200 °C dřevo mění výrazně svou barvu, a to do hněda, nastává pokles mechanických vlastností nejvýznamněji houževnatosti. Dochází k tvorbě povrchových plynů, tyto plyny jsou tvořeny 70 % CO₂ a 30 % CO.
- d) teplota 180 až 275 °C je u dřeva charakteristická jako teplota vzplanutí, tj. nejnižší teplota, při které se látka přiblížením plamene vznítí a opět zhasne.
- e) nad 220 °C se začínají tvořit plynné produkty: metan, vodík, oxid uhelnatý a další. Poté, co tyto hořlavé nízkomolekulární látky vystoupí na povrch dřeva, začnou reagovat s kyslíkem za vývoje tepla a světla. Nad touto teplotou se již snižují mechanické vlastnosti dřeva, a to především pevnost.
- f) teplota 330 °C až 470 °C je nejnižší teplota, při které dřevo na vzduchu začne hořet i bez iniciace otevřeným plamenem. Tato teplota se nazývá Teplota vznícení. Teplota žhnutí, při které dřevo samovolně žhne se pohybuje již v rozmezích 200 až 300 °C. [1] [2] [3] [4] [5]

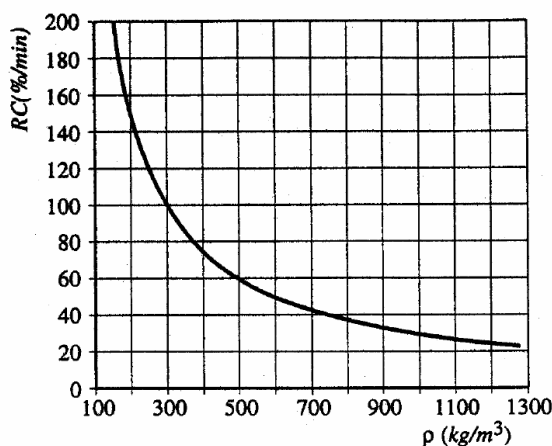


Obr. č. 1: Hmotnostní úbytky smrku (*Picea abies*) po zahřívání při různých teplotách po dobu 24 hodin [6]

2.2. Problematika odhořívání dřeva

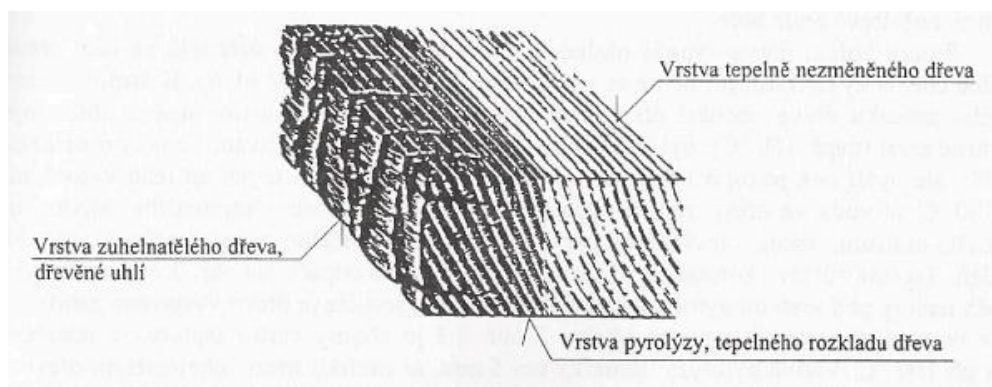
Rychlost odhořívání dřeva je závislá na několika faktorech, kterými jsou: chemické složení dřeva, pórovitost, tvar a rozměry průřezu, opracování hran profilu a kvalita povrchu. Rychlost odhořívání dřeva nemá lineární průběh, je rozdílná s ohledem na jednotlivé části odhořívání. Při odhořívání dřeva za vzniku zuhelnatělé vrstvy je tato rychlost cca 0,40 mm/min a před vznikem zuhelnatělých vrstev je rychlost cca 0,76 mm/min. [7]

Rychlost odhořívání dřeva se zvyšuje společně se zvyšujícím se obsahem pryskyřice ve dřevě. S objemovou hmotností rychlost odhořívání dřeva klesá, jak můžeme vidět na obrázku č.2.



Obr. č. 2: Vzájemný vztah mezi objemovou hmotností a rychlostí zuhelnatění [8]

Pokud je dřevo vystaveno plně rozvítenému požáru a je-li tepelný tok dostatečný, povrch dřeva se zapálí a silně hoří. Poté se ovšem vytvoří tepelně izolační vrstva zuhelnatělého dřeva (obr. č. 3). V případě požáru, který trvá více než 20 minut, se vytvoří pod touto zuhelnatělou vrstvou přibližně 30 mm vrstva pyrolýzy. Tato vrstva je zasažena vysokou teplotou nad 200 °C. Tepelná vodivost zuhelnatělé vrstvy (dřevěného uhlí) je přibližně jedna šestina tepelné vodivosti dřeva. Vrstva vytvořeného dřevěného uhlí tedy působí jako izolační vrstva a rozklad dřeva pod ní probíhá již zpomaleně. Díky tomuto jevu zůstává teplota uprostřed průřezu dřeva mnohem nižší než na povrchu. Také v této části téměř nedochází ke změně fyzikálních a mechanických vlastností. [9] [5]



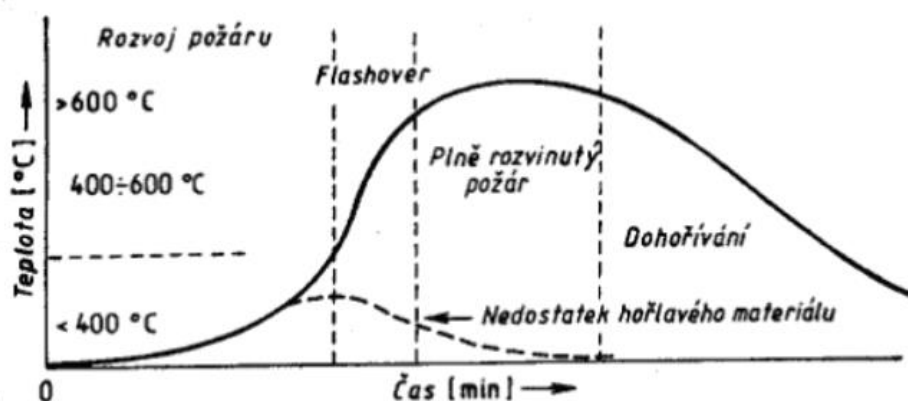
Obr. č. 3: Změna dřeva v průřezu konstrukčního prvku při požáru [9]

2.3. Třída reakce na oheň

Chování dřeva a materiálů na bázi dřeva při požáru je složitější popsat. Rozlišujeme dvě fáze požáru a to: vznikající požár a plně rozvinutý požár. **Vznikající požár** je ovlivněn řadou faktorů, např. stupněm zápalnosti materiálu, jeho hořlavostí, rychlosti šíření ohně a mírou předávání tepla. **Plný požár** je fáze po vzplanutí, kdy jsou všechny hořlavé materiály zachváceny ohněm. Materiály by měly při této fázi mít schopnost co nejvíce zachovat si své mechanické vlastnosti a omezit vznik dalšího šíření ohně a kouře. [9]

Dřevo a materiály na bázi dřeva jsou hořlavé i přesto, že již v dnešní době můžeme jejich hořlavost modifikovat povrchovou úpravou nebo impregnací, není však možné těmito opatřeními dosáhnout jejich nehořlavosti. [9]

Rostlé dřevo je obtížně zápalné, pro samovznícení vyžaduje povrchovou teplotu vyšší než 400 °C působící v krátkém až středně dlouhém úseku. Zápalnost dřeva je také ovlivněna jeho vlhkostí a hustotou. Čím je hustota větší, tím dochází k zapálení dřeva později. Dřevo se obvykle používá jako srovnávací materiál pro požární zatřídění jiných materiálů. [2]



Obr. č. 4: Schéma průběhu požáru [9]

Šíření plamene na povrchu dřeva

Také šíření plamene na povrchu dřeva je důležitým faktorem z hlediska použitelnosti dřeva do konstrukcí vzhledem k rozvoji požáru. Důležité je prostorové uspořádání dřevní hmoty, a tedy způsob použití ve stavebních konstrukcích. Nejmenší šíření plamene je na podlaze, její hodnota je přibližně jedna třetina rychlosti šíření na stěně. Naopak nejrychleji se šíří plamen na stropním podhledu, dosahuje přibližně pětinasobku rychlosti šíření plamene na stěnách. U sloupů se uvažuje, že požár působí ze všech stran, u nosníků jen ze tří stran. [7]

2.3.1. Klasifikace stavebních materiálů v závislosti reakce na oheň

Klasifikace reakce materiálů na oheň je prováděna na základě předpisů z normy ČSN EN 13501-1:2019. Celkem norma určuje 7 tříd reakce na oheň (A1, A2, B, C, D, E, F).

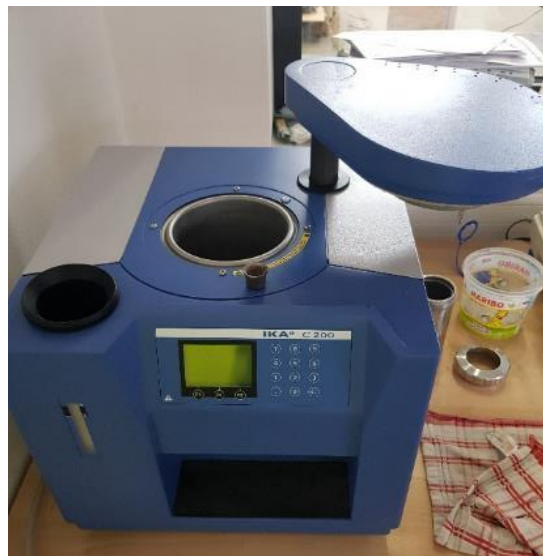
Požadavky na zatřídění do třídy A1:

Pro zatřídění materiálů do třídy A1 se provádí zkouška nehořlavosti (ČSN EN ISO 1182:2020) a zkouška stanovení spalného tepla (ČSN EN ISO 1716:2018). Pro zkoušku nehořlavosti je materiál exponován v peci při teplotě ve výši 750 ± 5 °C po stanovenou dobu 30 minut. Při

zkoušce je zaznamenávána hmotnost zkušební tělesa před a po zkoušce; výskyt trvalého plamenného hoření a doba jeho trvání a průběh teplot (teplota počáteční, maximální a konečná). Pro stanovení spalného tepla jsou zkušební vzorky spalovány v tlakové nádobě umístěné v kalorimetru (atmosféra kyslíku pod tlakem 3 až 3,5 MPa) a spalné teplo je předáváno vodě v kalorimetrické nádobě, u které se zaznamenávají hodnoty nárůstu teploty.



Obr. č. 5: Zkušební zařízení, centrum AdMaS VUT v Brně



Obr. č. 6: Zkušební zařízení kalorimetr, centrum AdMaS VUT v Brně

Požadavky na zatřídění do třídy A2:

Pro zatřídění materiálů do třídy A2 se provádí zkouška nehořlavosti (ČSN EN ISO 1182:2020) a zkouška stanovení spalného tepla (ČSN EN ISO 1716:2018) stejným postupem, jak je uvedeno výše. Dále jsou stavební výrobky kromě podlahových krytin zkoušeny na vystavení tepelnému účinku jednotlivého hořícího předmětu (ČSN EN 13823:2020), kdy zkušební vzorek se skládá ze dvou na sebe kolmých částí (krátké a dlouhé křídlo). Hlavní hořák je umístěn ve spodní části rohu vzorku a pomocný hořák je připevněn ke sloupku rámu naproti rohu vzorku. Klasifikačním kritériem při zkoušce je dosažení hodnoty indexu rychlosti rozvoje požáru FIGRA, horizontální šíření plamene a celkové množství uvolněného tepla za 600 s.



Obr. č. 7: Zkušební zařízení pro SBI test (Single Burning Item)

Požadavky na zařídění do třídy B:

Pro zařídění materiálů do třídy B se provádí zkouška dle ČSN EN 13823:2020 stejným postupem, jak je uvedeno výše a zkouška dle ČSN EN ISO 11925-2:2020 Zápalnost stavebních výrobků vystavených přímému působení plamene—Část 2: Zkouška malým zdrojem plamene. Zápalnost stavebních výrobků vystavených přímému působení malého plamene je prováděna uvnitř zkušební místnosti ve spalovací komoře. Tato komora je vyrobena z nerezové oceli a s tepelně odolnými skly. Doba aplikace plamene pro toto zařídění je 30 s, tj. celková doba zkoušky je 60 s od okamžiku, kdy je plamen poprvé aplikován. Klasifikačním kritériem při zkoušce je dosažení hodnoty šíření plamene F_s do 60 s.



Obr. č. 8: Spalovací komora pro zkoušku Zápalnosti stavebních výrobků vystavených přímému působení malého plamene dle EN ISO 11925-2:2020

Požadavky na zařídění do třídy C, D, E a F:

Pro zařídění materiálů do třídy C a D se provádí zkouška dle ČSN EN ISO 13823:2020 a zkouška dle EN ISO 11925-2:2020, stejným postupem, jak je uvedeno výše, lišící se v parametrech doby působení plamene. Pro zařídění materiálů do třídy E a F se provádí pouze zkouška dle EN ISO 11925-2:2020.

Tabulka č. 1: Třídy reakce na oheň pro stavební výrobky kromě podlahových krytin a tepelně izolačních výrobků potrubí dle ČSN EN 13 501 -1:2019. [10]

Třída	Zkušební metoda	Klasifikační kritéria	Doplňková klasifikace
A1	EN ISO 1182 a	$\Delta T \leq 30 \text{ }^\circ\text{C}$; a $\Delta m \leq 50 \%$; a $t_f = 0$ (tj. žádné trvalé plamenné hoření)	–
	EN ISO 1716	$PCS \leq 2,0 \text{ MJ/kg}$ a $PCS \leq 2,0 \text{ MJ/kg}$ a $PCS \leq 1,4 \text{ MJ/m}^2$ a $PCS \leq 2,0 \text{ MJ/kg}$	–
A2	EN ISO 1182 nebo	$\Delta T \leq 50 \text{ }^\circ\text{C}$; a $\Delta m \leq 50 \%$; a $t_f \leq 20 \text{ s}$	–
	EN ISO 1716 a	$PCS \leq 3,0 \text{ MJ/kg}$ a $PCS \leq 4,0 \text{ MJ/m}^2$ a $PCS \leq 4,0 \text{ MJ/m}^2$ a $PCS \leq 3,0 \text{ MJ/kg}^e$	–
	EN ISO 13823	$FIGRA \leq 120 \text{ W/s}$ a $LFS \leq$ hrana zkušebního tělesa a $THR_{600s} \leq 7,5 \text{ MJ}$	Vývin kouře a plamenně hořící kapky/ částice
B	EN 13823 a	$FIGRA \leq 120 \text{ W/s}$ a $LFS \leq$ hrana zkušebního tělesa a $THR_{600s} \leq 7,5 \text{ MJ}$	Vývin kouře a plamenně hořící kapky/ částice
	EN ISO 11925-2: Plamen působí 30 s	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ do 60 s	
C	EN 13823 a	$FIGRA \leq 250 \text{ W/s}$ a $LFS <$ hrana zkušebního tělesa a $THR_{600s} \leq 15 \text{ MJ}$	Vývin kouře a plamenně hořící kapky/částice
	EN ISO 11925-2: Plamen působí = 30 s	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ do 60 s	
D	EN 13823 a	$FIGRA \leq 750 \text{ W/s}$	Vývin kouře a plamenně hořící kapky/ částice

Třída	Zkušební metoda	Klasifikační kritéria	Doplňková klasifikace
	EN ISO 11925-2: Plamen působí 30 s	$F_s \leq 150$ mm do 60 s	
E	EN ISO 11925-2: Plamen působí 15 s	$F_s \leq 150$ mm do 20 s	Plamenně hořící kapky/ částice
F	EN ISO 11925-2: Plamen působí 15 s	$F_s > 150$ mm do 20 s	

2.3.2. Doplnková klasifikace

Pro bližší analýzu materiálů se stanovují doplňkové klasifikace podle ČSN EN 13 501-1:2019, a to:

- podle vývinu kouře – hodnotí se vzhledem k množství vzniklého kouře (s1–s3) dle zkoušky podle ČSN EN 13823:2020 pro třídy A2 až D;
- podle plamenně hořících kapek/částic – výrobky získají doplňkovou klasifikaci d0, d1, d2 týkající se tvorby plamenně hořících kapek/částic různými postupy podle ČSN EN 13823:2020 resp. podle ČSN EN ISO 11925-2:2020 pro třídy A2 až E.

Jednotlivé doplňkové klasifikace jsou uvedeny v následující tabulce č. 2.

Tabulka č. 2: Doplnková klasifikace dle ČSN EN 13501-1:2019

	Doplňková klasifikace
značení	Podle vývinu kouře:
s3	Žádné omezení vývinu kouře není požadováno
s2	Celkový vývin kouře a poměrné zvýšení množství kouře jsou omezeny.
s1	Přísnější kritéria než pro s2
	Podle plamenně hořících kapek/částic:
d2	Bez omezení
d1	Žádné kapky/částice plamenně hořící déle než uváděný časový interval.
d0	Žádné plamenně hořící kapky/částice

2.3.3. Klasifikace dřevěných materiálů

Dřevěné prvky, desky můžeme zatřídit do třídy reakce na oheň dle ČSN 73 0810:2016 následovně:

a) Rostlé konstrukční dřevo

Konstrukční řezivo s objemovou hmotností 350 kg/m^3 a o minimální celkové tloušťce 22 mm se bez dalších průkazů zařazují do třídy D-s2, d0.

b) Lepené laminované dřevo (Glulam)

Lepené laminované dřevěné výrobky Glulam (vyhovující ČSN EN 14 080:2013, objemová hmotnost 380 kg/m³ a min. tloušťka 40 mm) jsou klasifikovány do třídy D-s2, d0.

c) Desky na bázi dřeva a jejich klasifikace v závislosti reakce na oheň

Sortiment desek a výrobků na bázi dřeva je v současnosti velice pestrý. Desky mohou být zatříděny do různých tříd reakce v závislosti na jejich vlastnostech a chování při zvýšené teplotě.

Desky na bázi dřeva, které jsou chráněné protipožárním nátěrem mohou dosáhnout až třídy reakce na oheň **B**. Tyto výrobky tedy nebudou za podmínek plně rozvinutého požáru významně přispívat ke zvýšení požárního zatížení ani dalšímu růstu požáru. Jejich klasifikace však musí být vždy doložena protokolem o klasifikaci, který bude vypracován na základě výsledků zkoušek akreditované zkušební laboratoře.

Nejpoužívanější desky na bázi dřeva připevňované bez vzduchové mezery přímo na výrobky třídy A1 nebo A2-s1, d0 s minimální objemovou hmotností 1 000 kg/m³ nebo na výrobky alespoň třídy D-s2, d0 s minimální objemovou hmotností 400 kg/m³ můžeme zatřídit následovně dle tabulky číslo 3.

Tabulka č. 3: Zatřídění výrobků desek na bázi dřeva do tříd reakce na oheň dle ČSN 73 0810:2016

Výrobek z desek na bázi dřeva	Označení EN výrobku	Minimální tloušťka [mm]	Třída
Třískové desky	ČSN EN 312	9	D-s2, d0
Vláknité desky tvrdé	ČSN EN 622-2	6	D-s2, d0
Vláknité desky polotvrdé	ČSN EN 622-3	9	D-s2, d0
Vláknité desky izolační	ČSN EN 622-4	9	E, pass
Vláknité desky MDF (vyrobené suchým procesem)	ČSN EN 622-5	9	D-s2, d0
Překližované desky	ČSN EN 636	9	D-s2, d0
Desky z rostlého dřeva	ČSN EN 13353	12	D-s2, d0
Desky OSB	ČSN EN 300	9	D-s2, d0
Cementotřískové desky obsah cementu min 75 % hmotnostních)	ČSN EN 634-2	10	B-s1, d0

3. POŽÁRNÍ ODOLNOST

Hlavním cílem konstrukčních protipožárních opatření je omezit šíření požáru do místností zajištěním únosnosti a oddělovací funkcí stěn a podlah konstrukce po požadovanou dobu. Tato požadovaná doba je vyjádřena jako doba požární odolnosti. Požární odolnost je doba udávaná v minutách, po kterou jsou stavební konstrukce schopny odolávat teplotám požáru, aniž by došlo k porušení jejich funkce. [11]

Požární odolnost dřevěných prvků je ovlivněna:

- a) rozměry a tvarem průřezu (u nosníku poměrem výšky k šířce průřezu, u sloupu štíhlostí);
- b) velikostí napětí v průřezu;
- c) rychlostí odhořívání povrchových vrstev. [7]

Požární odolnost stavebních konstrukcí se určuje zkušebními postupy, jejichž postup je uveden v ČSN EN 1363-1:2020. Ověřovaná skladba konstrukce se zařazuje na základě provedených zkoušek do stupnice požární odolnosti určené v minutách (10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 360 minut). [12]

3.1. Mezní stavy

Požární odolnost je dána dobou dosažení jednoho, nebo více mezních stavů. Pro tyto stavy je používáno označení písmeny: R, E, I, W, S, M, C, G, K, která charakterizují vlastnosti požární odolnosti. K identifikačním písmenům jsou připisovány číselné hodnoty, které značí požadovanou dobu odolnosti v minutách, např. REI 30. Hodnoty minut se přiřazují tak, že vzhledem ke stanovené hodnotě vybereme nejbližší nižší číslo. [7]

3.1.1. Únosnost R

U nosných zkušebních vzorků provádíme měření před a po aplikaci zkušebního zatížení, a to v intervalu jedné minuty během expozice požáru. Kritéria pro posouzení ztráty únosnosti prvků jsou různá dle druhu a funkce prvků.

Posuzujeme:

- a) u ohýbaných prvků rychlost průhybu a mezní skutečnou deformaci (průhyb);
- b) u osově zatížených prvků, rychlost stlačení a mezní skutečnou deformaci (stlačení).

Kritéria a) a b) neplatí pro zdvojené podlahy, u nichž je za selhání nosnosti považováno, pokud vzorek již není schopen nést působící zatížení.

Při zkoušení vzorků pro vodorovný průhyb se měření provádějí v místě, kde se očekává, že dojde k největšímu průhybu směrem dolů. Pokud zkoušíme svislé nosné prvky, vyjádříme kladně axiální průhyb, který představuje zvýšenou výšku a záporně vyjádříme průhyb, který má za následek pokles pod původní výšku. [13]

Nosné stěny s požárně dělící funkcí

- porušení únosnosti nastane, pokud dojde k překročení kritérií osového stlačení $C = h/100$ [mm] a rychlosti osového stlačení $dC/dt = 3h/1000$ [mm/min]. (ČSN EN 13501-1:2019)

Nosné stropy a střechy s požárně dělící funkcí

- porušení únosnosti nastane, pokud dojde k překročení kritérií průhybu $D = L^2/400$ [mm] a rychlosti průhybu $dD/dt = L^2/9000 d$ [mm/min]. (ČSN EN 13501-2:2017).

Pro zvolení příslušného zatížení na konstrukci je pro požární situaci nahlíženo dle ČSN EN 1990:2004 jako na mimořádnou návrhovou situaci. Návrhový model musí vystihovat skutečné chování konstrukce při požáru, kdy musí být splněna podmínka:

$$E_{fi,d,t} \leq R_{fi,d,t} \quad (1)$$

kde: $E_{fi,d,t}$ je návrhový účinek zatížení pro požární situaci, včetně vlivu tepelných prodloužení a deformace; $R_{fi,d,t}$ odpovídající návrhová únosnost při zvýšených teplotách. Účinky zatížení $E_{fi,d,t}$ v důsledku nepřímých zatížení (teplotní roztažení prvků, teplotní gradienty vyvolávající vnitřní napětí apod.) jsou závislé na čase t od vzniku požáru. V ČSN EN 1991-1-2:2004 se uvádí praktická zjednodušení pro případ, kdy není zapotřebí uvažovat nepřímá požární zatížení. Pak lze účinky zatížení $E_{fi,d,t}$ stanovit na základě analýzy konstrukce pouze při vzniku požáru (čas $t = 0$) při pokojové teplotě ($\theta = 20^\circ\text{C}$), pak

$$E_{fi,d,t} \cong E_{fi,d} \quad (2)$$

Výpočet lze zjednodušit tím, že se konstantní účinky zatížení při požáru $E_{fi,d}$ stanoví redukcí odpovídajících účinků E_d (návrhová hodnota příslušné vnitřní síly/momentu) vypočtených pro pokojovou teplotu a základní kombinaci zatížení podle normy ČSN EN 1990, podle:

$$E_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot E_d \quad (3)$$

kde: η_{fi} je redukční součinitel pro úroveň návrhového zatížení při požární situaci, závislý na poměru mezi hlavními proměnnými a stálými zatíženími, jímž je konstrukce vystavena. [14]

3.1.2. Celistvost E

Celistvost stanovujeme dle tří kritérií:

- a) pomocí bavlněného polštářku, který je aplikován maximálně 30 s nebo, pokud dojde k jeho vznícení dříve než dosažení intervalu 30 s. Povrch bavlněného polštářku musí být alespoň 30 mm daleko od povrchu zkoušeného prvku. Zaznamenáváme dobu, kdy došlo k zapálení a místo, kde k zapálení došlo.
- b) pomocí měrek, pokud dojde ke vzniku trhlin a otvorů. Měřidla se používají pro vstup nebo pohyb mezerou bez zbytečné síly. Používáme 2 druhy a sledujeme zda:
 - vzorkem projde měřidlo o průměru 6 mm tak, že vyčnívá do pece a zda se může pohybovat ve vzdálenosti 150 mm podél mezery;
 - vzorkem projde měřidlo o průměru 25 mm tak, že vyčnívá do pece.Zaznamenáváme místo a čas, při kterém je možno vložit mezerou danou měрку.
- c) dle vzniku trvalého plamenného hoření na neohřívané straně. Zaznamenáváme místo a čas, kdy k tomuto hoření dojde.

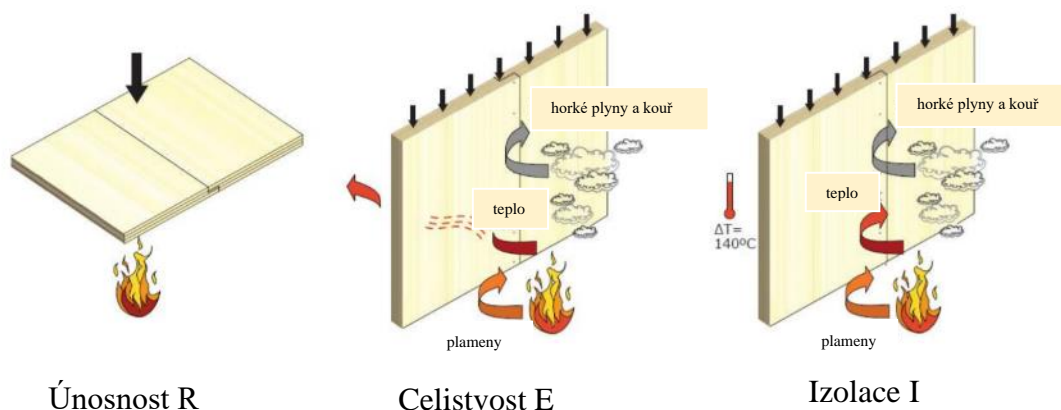
Porušení kritéria nosnosti se považuje rovněž za porušení kritéria celistvosti. [13]

3.1.3. Izolace I

Pro stanovení kritéria izolace sledujeme vzrůst teploty. Jako úroveň pro stanovení izolace pozorujeme:

- vzrůst průměrné teploty na neohřívané straně, která nesmí přesáhnout $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ nad průměrnou počáteční teplotu;
- vzrůst průměrné teploty v kterémkoliv místě, která nesmí přesáhnout $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ nad průměrnou počáteční teplotu.

Tato kritéria neslouží pro prvky dveří, uzávěrů a uzávěrů dopravníkových systémů. Porušení kritéria nosnosti nebo celistvosti se považuje rovněž za porušení kritéria izolace. [13]



Obr. č. 9: Grafické vyjádření hodnocení mezních stavů požární odolnosti [15]

3.1.4. Účinnost požárních ochran K

Evropský systém používá pro třídění konstrukčních částí a dílců pouze 2 kategorie a to: K1 a K2. Zjednodušeně můžeme říci, že protipožární obklad K1 a K2 je nejvzdálenější vrstva konstrukce na svislých prvcích a nejnižší vrstva konstrukce na vodorovných prvcích. Stanovují se dle zkoušek požární odolnosti ve vodorovné poloze dle ČSN EN 14135:2005, a lze je definovat jako schopnost stěnových, nebo stropních obkladů chránit obložené materiály proti vznícení, zuhelnatění a ostatnímu poškození po stanovenou dobu. Hlavním sledovaným parametrem je teplota za panelem pro časové intervaly 10, 30 nebo 60 minut). [16]

Klasifikace dle ČSN EN 13501-2:2017:

K1: během klasifikační doby 10 minut musí být splněna klasifikační kritéria při zkoušce. Při této zkoušce používáme obklady z:

- dřevotřískové desky o tloušťce $19 \pm 2\text{ mm}$, objemové hmotnosti $680 \pm 50\text{ kg/m}^3$. Tento obklad reprezentuje všechny materiály pod obkladem, které mají objemovou hmotnost větší nebo rovnu 300 kg/m^3 ; nebo
- materiál o tloušťce alespoň 50 mm , a objemové hmotnosti $< 300\text{ kg/m}^3$. Tento obklad reprezentuje materiál stejného typu, který má objemovou hmotnost a/nebo tloušťku stejnou, nebo větší, než byla zkoušena; nebo
- jakýkoliv jiný specifický podklad, který reprezentuje materiál stejného složení jako materiál pod obkladem.

K2: během klasifikační doby 10, 30 nebo 60 minut musí být splněna klasifikační kritéria při zkoušce. Při této zkoušce používáme obklady z:

- a) dřevotřískové desky o tloušťce 19 ± 2 mm, objemové hmotnosti 680 ± 50 kg/m³, které reprezentují všechny materiály pod obkladem; nebo
- b) jakýkoliv jiný specifický podklad, který reprezentuje materiál stejného složení jako materiál pod obkladem.

Tabulka č. 4: Mezní stavy požární odolnosti stavebních konstrukcí ČSN EN 13501-2:2017

Označení	Název	Charakteristika	Kritéria, hodnocení, stanovení	Jednotky
R	Únosnost	Schopnost konstrukce vystavené požáru, který působí na jeden nebo více povrchů, odolávat při daném mechanickém zatížení bez ztráty konstrukční stability.	a) ohýbané prvky – rychlost průhybu a průhyb b) osově zatížené prvky – rychlost stlačení a stlačení <i>Kritéria průhybu a rychlosti stlačení jsou definovány dle typu zkoušené konstrukce.</i> pozn: neplatí pro zdvojené podlahy	minuty
E	Celistvost	Schopnost odolávat požáru působícího z jedné strany, bez přenosu požáru na nehořlavou stranu v důsledku průniku horkých plynů, nebo plamenů.	a) vznícení bavlněného polštářku b) umožnění průchodu ocelových měrek vzniklými trhlinami, nebo spárami ve vzorku do zkušební pece c) vznik plamenného hoření na odvrácené straně vzorku od požáru	minuty
I	Izolace	Schopnost odolávat požáru působícího z jedné strany, bez přenosu požáru v důsledku přestupu tepla z ohřívané strany na neohřívanou.	a) Sledování průměrné teploty vyšší, než 140 °C b) Sledování bodové teploty vyšší než 180 °C	minuty
W	Radiace	Schopnost odolávat požáru působícího z jedné strany, tak, aby došlo k minimálnímu přenosu požáru v důsledku prostupu sálavého tepla prvkem.	Hodnota určuje dobu, po níž nedošlo k překročení radiace 15 kW/m ² měřené dle zkušební normy.	minuty
S	Kouřotěsnost	Schopnost prvku snížit nebo zamezit pronikání kouře, plynu z jedné strany na druhou	S _a – Stanoví kouřotěsnost při okolní teplotě S ₂₀₀ – Stanoví kouřotěsnost při okolní teplotě a při 200 °C	minuty

Označení	Název	Charakteristika	Kritéria, hodnocení, stanovení	Jednotky
M	Mechanická odolnost	Schopnost odolat rázu, způsobeného jiným porušeným prvkem konstrukce.	Prvek musí odolat rázu bez narušení vlastností R, E nebo I.	minuty
C	Samozavírání	Schopnost zavření oken nebo dveří bez nutnosti lidského zásahu pomocí zavíracího zařízení.	Zkušební podmínky stanoveny dle EN 16034:2015	minuty
G	Odolnost proti „vyhoření sazí“	Schopnost odolávat hoření sazí v komínech a podobných výrobcích.	Musí splňovat stanovená kritéria při zahřívání na 1000 °C a následné výdrži po dobu 30 min.	minuty
K	Účinnost požárních ochran	Schopnost stěnových nebo stropních panelů po určitou dobu chránit konstrukci proti vznícení, zuhelnatění a jiným znehodnocením	K ₁ – 10 minut splňovat stanovená kritéria při zkoušce vzorku s daným složením; K ₂ – 10, 30 nebo 60 minut splňovat stanovená kritéria	minuty

4. POŽÁRNÍ ODOLNOST DŘEVĚNÝCH STAVEB

Často k ověření požárně bezpečnostních požadavků postačují pouze zkoušky se standardním vystavením času a teplotě. Avšak toto platí pro budovy do přibližně 8 podlaží. U vyšších budov je potřeba provést větší počet studií s ohledem na chování dřevěných konstrukcí při požáru, zejména s ohledem na globální chování reálných budov vystavených přírodním požárům. V této kapitole je nastíněn přístup k požární odolnosti dřevěných staveb v České republice a ve vybraných zahraničních státech.

4.1. Požární odolnost konstrukcí v České republice

Požární bezpečnost stavebních objektů je schopnost staveb ochránit život a zdraví osob a zvířat při požáru. Výpočty i zkoušky požární odolnosti se řeší podle evropských norem zavedených v ČR. V požární odolnosti vstoupila v platnost v roce 2008 vyhláška č. 23/2008 Sb., která učinila normy řady ČSN 73 08xx závaznými. Řešením požární odolnosti dřevostaveb pomocí výpočtu se zabývá TNK 34, požárními zkouškami TNK 27. [17]

Požární bezpečnost budov v ČR je postavena na dvou základech, kterými jsou pasivní a aktivní požární ochrana:

a) Pasivní ochrana

Pasivní ochrana je zajištěna pomocí správného rozložení dispozice a správného návrhu stavebních konstrukcí. Hlavním cílem pasivní ochrany je zamezení šíření ohně při požáru, kterého se docílí díky únosnosti konstrukce (požadavek na mechanickou odolnost R) a oddělovací schopností konstrukce (požadavek na celistvost E a izolaci I). [18]

b) Aktivní ochrana

Jedná se o technické zařízení budov, které slouží k hlášení poplachu, odsávání kouře, samohašení požáru a přivolání záchranných služeb. Tyto zařízení jsou například elektrická požární signalizace, hasící zařízení, zařízení pro odvod kouře a jiné. [18]

Dřevostavby a jejich návrh v rámci požární odolnosti jsou limitovány v těchto rovinách:

- a) druhy konstrukce;
- b) kategorizace konstrukčního systému;
- c) omezení výšky objektu.

4.1.1. Klasifikace konstrukčních částí

V rámci normy ČSN 73 0810:2016 v ČR vstoupila v platnost klasifikace druhů konstrukčních částí **DP1, DP2 a DP3**. Tato klasifikace požární odolnosti konstrukčních částí je platná v České republice a na Slovensku.

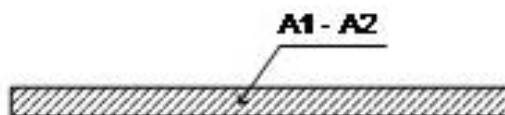
Konstrukční třída DP1

Konstrukce DP1 nezvyšují intenzitu požáru po dobu požární odolnosti (minimálně 15 minut intenzivního požáru). U těchto konstrukcí tedy nedojde po požadovanou dobu ke vzplanutí. Konstrukce je složena z podstatných a nepodstatných složek.

Podstatné složky této konstrukce jsou vyrobeny z:

- a) výrobků třídy reakce na oheň A1 nebo A2; nebo

- b) z výrobků třídy reakce na oheň B až F, které jsou umístěny uvnitř konstrukční části mezi výrobky s vlastnostmi, které jsou popsány v a). V požadované době požární odolnosti nesmí dojít k dosáhnutí teploty vzplanutí hmot obsažených ve výrobcích. Na těchto výrobcích třídy B až F **není závislá stabilita a únosnost** konstrukční části. [7]; nebo
- c) z obvodové stěny, střešního pláště, zasklené konstrukce s požární odolností, u kterých jejich skladba odpovídá podmínkám dle ČSN 73 0810:2016; [19]



Obr. č.10: Schéma konstrukce třídy DP1

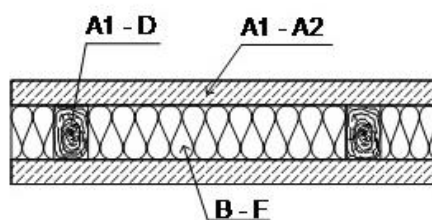
Konstrukční třída souvrství DP2

Konstrukce DP2 nezvyšují intenzitu požáru po dobu požární odolnosti (minimálně 15 minut intenzivního požáru). U těchto konstrukcí tedy nedojde po požadovanou dobu ke vzplanutí. Podstatné složky této konstrukce jsou z:

- výrobků třídy reakce na oheň A1 nebo A2, které tvoří povrchové vrstvy konstrukčních částí. Po požadovanou požární dobu (15 min) se u těchto výrobků nesmí narušit jejich celistvost (E);
- výrobků třídy reakce na oheň B až D, které jsou umístěny uvnitř konstrukce a na nichž **závisí** stabilita konstrukční části. Jsou to například dřevěné nosníky, dřevěné sloupky;
- výrobků třídy reakce na oheň B až F, které jsou umístěny uvnitř konstrukce a na nichž **nezávisí** stabilita konstrukční části. Jsou to například tepelné a zvukové izolace. [19]

Do tohoto konstrukčního druhu DP2 také můžeme zařadit:

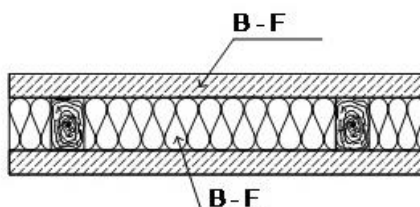
- stávající dřevěné trémové stropy se záklopem a podhledem s omítkou minimální tloušťky 12 mm nanášenou na pletivo, nebo minimální tloušťky 15 mm nanášenou na rákos;
- hořlavé konstrukce střech, které jsou zespodu kontaktně upevněné, nebo mají uzavřenou dutinu obloženou požárním obkladem s příslušnou požární odolností. [19]



Obr. č. 11: Schéma konstrukce třídy DP2

Konstrukční třída souvrství DP3

Konstrukce DP3 **zvyšují** intenzitu požáru po dobu požární odolnosti (minimálně 15 minut intenzivního požáru). Jsou to podstatné složky konstrukcí, které nesplňují požadavky na konstrukce druhu DP1 a DP2. [19]



Obr. č. 12: Schéma konstrukce třídy DP3

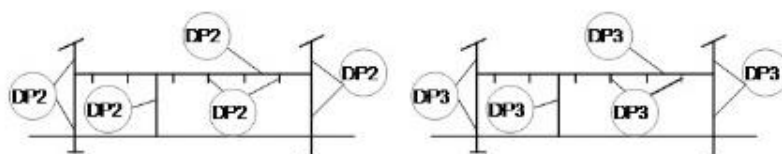
Při stanovování druhů konstrukcí se nezohledňují povrchové úpravy jako jsou malby, nátěry, tapety. Tyto povrchy musí být s tloušťkou maximálně 2 mm a s množstvím uvolněného tepla z 1 m² maximálně 15 MJ.m⁻². [19]

4.1.2. Kategorizace konstrukčního systému

Podle ČSN 73 0802:2020 rozlišujeme systémy:

- nehořlavé – pokud se budova skládá pouze z druhů konstrukčních systémů DP1;
- smíšené – které mají svislé požárně dělící a svislé nosné konstrukce zajišťující stabilitu objektu nebo jeho části pouze z konstrukcí druhu DP1, a ostatní požárně dělící a nosné konstrukce zajišťující stabilitu objektu nebo jeho části pouze z konstrukcí druhu DP2; u jednopodlažních objektů mohou být střešní nosné konstrukce z konstrukcí druhu DP3;
- hořlavé – které mají konstrukce alespoň druhu DP2; nebo konstrukce druhu DP3, popř. nesplňují požadavky na nehořlavé či smíšené konstrukční systémy.

Dřevostavby jsou dle kategorizace konstrukčního systému převážně řazeny do kategorií použitých konstrukčních systémů DP2 a DP3, tzn. do konstrukčního systému hořlavého, který schematicky popisuje obrázek č. 13.



Obr. č. 13: Hořlavý konstrukční systém

4.1.3. Omezení výšky objektu

Dle ČSN 73 0802:2020 je hořlavý systém, pod který budovy na bázi dřeva spadají, omezen zejména z hlediska požární výšky budovy. Požární výška hořlavého systému je omezena na 9 m resp. 12 metrů. Hořlavé objekty s požární výškou $h > 9$ m musejí obsahovat požárně únikové cesty z nehořlavých materiálů druhu DP1 a tato konstrukce únikové cesty **nesmí** být staticky závislá na skupinách materiálů druhu DP2 a DP3. Pro uplatnění výšky 12 metrů je nutné použít kombinovaných konstrukčních systémů.

4.2. Požární odolnost konstrukcí v zahraničí

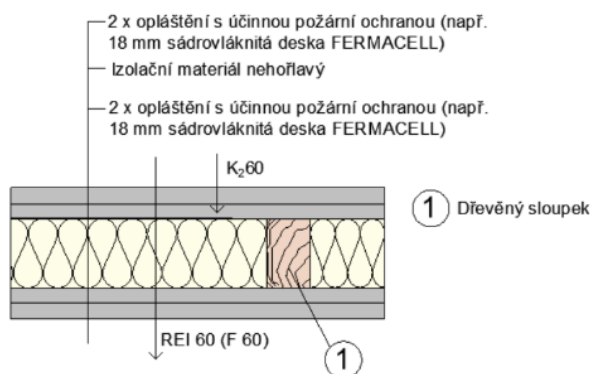
Metody požárních zkoušek a klasifikace byly v Evropě harmonizovány, ale regulační požadavky si spravuje každý stát sám. Požární bezpečnost se tedy řídí právními předpisy jednotlivých států. V evropských, ale i ostatních zemích pomalu dochází k regulačním rozdílům, které se vztahují na budovy s dřevěným rámem, a to z hlediska viditelných dřevěných povrchů a počtu povolených podlaží. Podobný vývoj nastal i v několika dalších zemích, například v Austrálii, Kanadě a Novém Zélandu. Několik zemí však nemá žádné předpisy, nebo neomezuje počet pater v dřevěných budovách.

4.2.1. Postup stanovení požární odolnosti v Německu

Každý z šestnácti států je zodpovědný za státní stavební řády (Landesbauordnung, LBO) pro dané území, proto předpisy požární ochrany nejsou jednotné. Požadavky jsou založeny na vzorovém stavebním řádu Modelových stavebních předpisů (Musterbauordnung, MBO). MBO rozděluje konstrukce do pěti tříd obytných nebo administrativních budov a budov pro speciální účely. [16] [20]

V roce 2002 byl schválen vzorový stavební řád (MBO 2002). Tento řád slouží pro podklad novelizace zemských stavebních řádů. Díky této novelizaci byla vytvořena nová třída 4, ve které **je možné použít dřevěné nosné konstrukce** ve vícepodlažních budovách. Použít dřevěné nosné konstrukce je možné v případě, pokud jsou použity zejména nehořlavé izolační materiály a konstrukce je ze všech stran opláštěná nehořlavým požárním obkladem (doplňkové značení AB, kde písmena AB značí, že je nosná konstrukce hořlavá a je zapouzdřena protipožárním opláštěním; pokud je použito pouze písmeno B, od zapouzdření je upuštěno). Specifikované požadavky jsou uvedeny ve Vzorové směrnici pro požárně-technické požadavky na dřevěné stavební konstrukce s vysokou požární odolností (M-HFH HolzR¹). Konstrukce s vysokou požární odolností s dřevěnými prvky musí splnit požadavek požární odolnosti F 60² + K₂60. [16] [20]

Na obrázku č. 14 je znázorněna možná skladba dřevěné nosné stěny, která v Německu vyhovuje požadavkům pro třídy budov 4.



Obr. č. 14: Schéma nosné stěnové dřevěné konstrukce s požární odolností REI 60 (F 60) K₂60.

¹ Muster-Richtlinie über Brandschutztechnische Anforderungen an hoch feuerhemmende Bauteile in Holzbauweise

² Označení F 60 dle DIN 4102-2 je shodné jako REI 60 dle EN 13501-2:2017

4.2.2. Postup stanovení požární odolnosti v Rakousku

Rakousko se řídí podle směrnice OIB Directive 2, kdy jsou obecně budovy rozděleny do pěti stavebních GK tříd v souladu s pokyny Rakouského institutu pro stavební techniku (OIB). Požární ochranou se zabývá OIB 2, kdy tento předpis rozlišuje požární odolnost dle typu staveb na třídy GK1 až GK 5, bližší specifikace staveb je následující:

- a) třídy GK 1, GK 2 a GK 3 jsou pro maximálně třípodlažní budovy s nejvýše položenou podlahovou plochou v 7 metrech, a s určitým počtem bytových částí dle jednotlivé třídy.
- b) třída GK 4 je pro budovy do čtyř podlaží a s nejvýše položenou podlahovou plochou v 11 metrech.
- c) třída GK 5 je pro budovy s nejvýše položenou podlahovou plochou ve 22 metrech, pro budovy, které neodpovídají GK1-GK4 a podzemní budovy.

Předpis OIB 2 také popisuje požadované vlastnosti pro konstrukční prvky, které se v požárních úsecích vyskytují. [21] [22]

Z hlediska dřevěných konstrukcí je použití hořlavých stavebních materiálů možné až do **třídy budov GK4**, pokud je zaručena doba požární odolnosti 60 minut. Součásti tvořící požární úseky musí mít požární odolnost 90 minut. U částí objektu, jako jsou ventilační systémy, elektrické instalace atd., jsou vyžadovány zvláštní řešení při používání prvků, které jsou zcela nebo částečně vyrobeny z hořlavých stavebních materiálů. U budov třídy GK 5 (nad 4 podlaží) se v Rakousku realizuje tzv. **kritérium zapouzdření**, které nahrazuje kritérium nehořlavosti. [22]

5. VÝPOČET POŽÁRNÍ ODOLNOSTI DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ:

Požární odolnost staveb se určuje podle ČSN 73 0810:2016:

- a) klasifikací dle výsledků požárních zkoušek z příslušných norem, které klasifikují konkrétní druh konstrukční části v ČSN EN 13 501-2:2017, ČSN EN 13 501-3:2010, ČSN EN 13 501-4:2017;
- b) stanovení pomocí normové hodnoty podle ČSN 73 0821:2007, ČSN 73 0834:2011;
- c) výpočtem dle Eurokódu ČSN EN 1995-1-2:2006;
- d) zkouškou a výpočtem v případech, kdy pouze zkouškou nelze postihnout všechny činitele ovlivňující požární odolnost.

5.1. Klasifikace dle výsledků požárních zkoušek

Požadavky na požární klasifikaci jsou popsány v normě ČSN EN 13501-2:2017 Část 2: Klasifikace podle výsledků zkoušek požární odolnosti kromě vzduchotechnických zařízení.

Nosné stěny s požárně dělící funkcí

Nosné stěny musí být zkoušeny podle ČSN EN 1365-1:2013. Rozšířenou aplikaci musíme provést dle normy ČSN EN 15080-12:2011 a ČSN EN 15 725:2010. Samotná zkouška se provádí na reprezentativních vzorcích, které odpovídají budoucí stavbě. Zkušební vzorek je umístěn ve zkušebním rámu a ten je následně zatížen osově nebo excentricky nejméně 15 minut před zahájením zkoušky. Pomocí termočlánků umístěných v peci a na neohřívané straně je snímána teplota. Růst průměrné teploty se měří dle typu stěny a to, zda je stěna s konstantní nebo proměnnou skladbou.

Nosné stropy a střechy s požárně dělící funkcí

Nosné stropy a střechy musí být zkoušeny podle ČSN EN 1365-2:2017. Stropy a střechy se musí zkoušet a klasifikovat pouze pro požár působící zespodu. Samotná zkouška se provádí na jednom reprezentativním zkušebním vzorku skutečné velikosti. Pokud není možné použít skutečnou velikost, musí mít zkušební vzorek alespoň ohřívanou délku (L_{exp}) = 4 m a ohřívanou šířku (W_{exp}) = 3 m. V peci a na neohřívané straně zkušebního vzorku se vzrůstající teplota měří pomocí termočlánků. Tlak v peci měříme snímači tlaku a průhyb se měří kolmo ke zkušebnímu vzorku v polovině rozpětí, popřípadě v místech největšího předpokládaného průhybu. Radiaci měříme pomocí radiometrů.

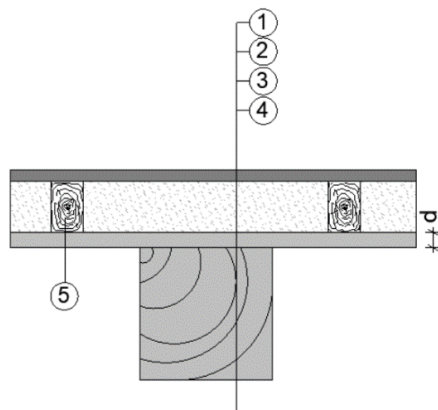
Výsledky zkoušek lze přímo aplikovat na podobné neozkoušené stropní nebo střešní konstrukce za předpokladu že jsou splněny určité podmínky, které stanovuje EN 1365-2:2017.

5.2. Klasifikace podle normové hodnoty

Podle normy ČSN 73 0821:2007 se stanovuje požární odolnost stavebních konstrukcí, na které nelze použít postup dle Eurokódu a pro které nejsou zpracovány harmonizované EN. U stavebních konstrukcí ve skladbě shodné s údaji této normy se jejich požární odolnost nemusí prokazovat zkouškou. Pokud ale byla hodnota ověřena zkouškou dle příslušných norem v souladu s ČSN EN 1363-1:2020, tak zjištěné hodnoty považujeme za výsledné.

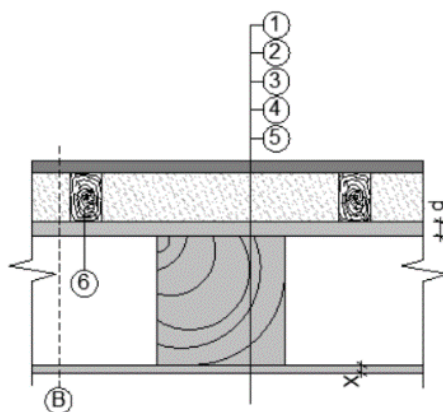
Níže jsou uvedeny normové hodnoty požární odolnosti např. pro konstrukce dřevěných stropů, které se zařídí následovně:

- a) Dřevěná stropní konstrukce záklopu (varianta se zásypem) a podlahou, bez podhledu, druh DP3:
- při $d = 25$ mm, klasifikujeme REI 15;
 - při $d = 50$ mm, klasifikujeme REI 30;



Obr. č. 15: Schéma dřevěné stropní konstrukce záklopu (varianta se zásypem) a podlahou, bez podhledu dle 73 0821:2007 (1–dřevěná podlaha, 2–zásyp, 3–záklop, 4–dřevěný nosník, 5–pomocný profil);

- b) Pokud je konstrukce záklopu doplněna ze spodní strany dřevěným podhledem druhu DP3:
- v průřezu B při $d = 25$ mm a $x = 15$ mm, klasifikujeme REI 30;
 - v průřezu B při $d = 50$ mm a $x = 15$ mm, klasifikujeme REI 45;
 - v průřezu B při $d = 50$ mm a $x = 25$ mm, klasifikujeme REI 60;



Obr. č. 16: Schéma dřevěné stropní konstrukce pro zatřívání dle 73 0821:2007 (1–dřevěná podlaha, 2–zásyp, 3–záklop, 4–dřevěný nosník, 5–podhled, 6–pomocný profil);

5.3. Výpočet podle Eurokódu

Postup pro výpočet požární odolnosti dřevěných prvků je zakotven v ČSN EN 1995-1-2:2006. Každá jednotlivá vrstva stanovované konstrukce přispívá určitým způsobem k požární odolnosti. Pro výpočet požární odolnosti vstupují do výpočtu parametry **hloubky zuhelnatění**

($d_{char,0}$), což je hloubka mezi vnějším povrchem původního prvku a polohou čáry zuhelnatění a vypočítá se z doby vystavení účinku požáru (t) a rychlosti zuhelnatění (β). Poloha čáry zuhelnatění odpovídá v prvku poloze odpovídající izotermě 300°C.

$$d_{char,0} = \beta_0 t \quad (4)$$

Rovnice pro jednorozměrné zuhelnatění s uvažovanou hodnotou β_0 . Hodnoty rychlostí zuhelnatění jsou rozdílné pro různé skladby konstrukcí (nechráněné, zpočátku chráněné). V případě výpočtu uvažující i účinek zaoblení rohu a trhlin u konstrukce vystavené požáru z více stran je uvažováno s hodnotami β_n , tzv. nominální návrhové rychlosti zuhelnatění.

$$d_{char,n} = \beta_n t \quad (5)$$

Rychlost, za jak dlouho daný prvek zuhelnatí, je dána druhem a charakteristikou dřeva. Pro povrchy dřeva a pro materiály na bázi dřeva nechráněné po dobu vystavení účinku požáru jsou rychlosti zuhelnatění popsány v tabulce č. 5. [23]

Tabulka č. 5: Rychlost zuhelnatění dle druhu dřeva ČSN EN 1995-1-2:2006

Druh dřeva	Charakteristika	β_0 [mm/min]	β_n [mm/min]
Jehličnaté dřeviny a buk	Rostlé dřevo s charakteristickou hustotou $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,8
	Lepené lamelové dřevo s charakteristickou hustotou $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Listnaté dřeviny	Rostlé nebo lepené lamelové dřevo s charakteristickou hustotou $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50	0,55
	Rostlé nebo lepené lamelové dřevo s charakteristickou hustotou $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
LVL	Laminované dýhové řezivo s charakteristickou hustotou $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Desky	Dřevěné obložení s charakteristickou hustotou $\geq 480 \text{ kg/m}^3$ a tloušťkou desky 20 mm	0,9	-
	Překližka s charakteristickou hustotou $\geq 480 \text{ kg/m}^3$ a tloušťkou desky 20 mm	1,0	-
	Desky na bázi dřeva jiné než překližky s charakteristickou hustotou $\geq 480 \text{ kg/m}^3$ a tloušťkou desky 20 mm	0,9	-

β_0 – návrhová míra zuhelnatění pro jednorozměrné zuhelnatění při normovém vystavení účinkům požáru

β_n – návrhová nominální míra zuhelnatění při normovém vystavení účinkům požáru

Účinný průřez pro nechráněné povrchy se tedy vypočítá pomocí následujícího vzorce:

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 d_0 \quad (6)$$

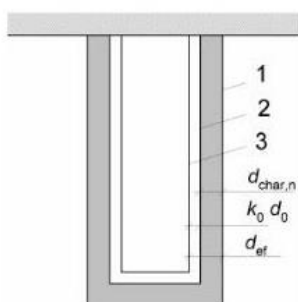
Kde:

d_0 je tloušťka vrstvy s předpokládanou nulovou pevností a tuhostí (7 mm)

$d_{char,n} = \beta_n$ je nominální hloubka zuhelnatění

k_0 je součinitel – pro nechráněné povrchy se k_0 určuje hodnotami $k_0 = (t/20)$ pro dobu vystavení účinku požáru pod 20 minut, nad 20 minut poté hodnotou 1,0.

Dále je postup normou stanoven i pro další konstrukční případy chráněných povrchů.



Obr. č. 17: Schéma prvku pro výpočet účinné hloubky zuhelnatění dle ČSN EN 1995-1-2:2006 (1 – Počáteční povrch prvku, 2 – Okrajový zbytek průřezu, 3 – Okraj účinného průřezu)

5.4. Zkouškou a výpočtem dle Eurokódu

Jedná se o postup, který spojuje předchozí dva postupy 5.1 a 5.3.

6. ŘEŠENÍ POŽÁRNÍ ODOLNOSTI U VYBRANÝCH VÝŠKOVÝCH DŘEVĚNÝCH OBJEKTŮ

6.1. Konstrukční řešení výškové budovy Mjøstarnet

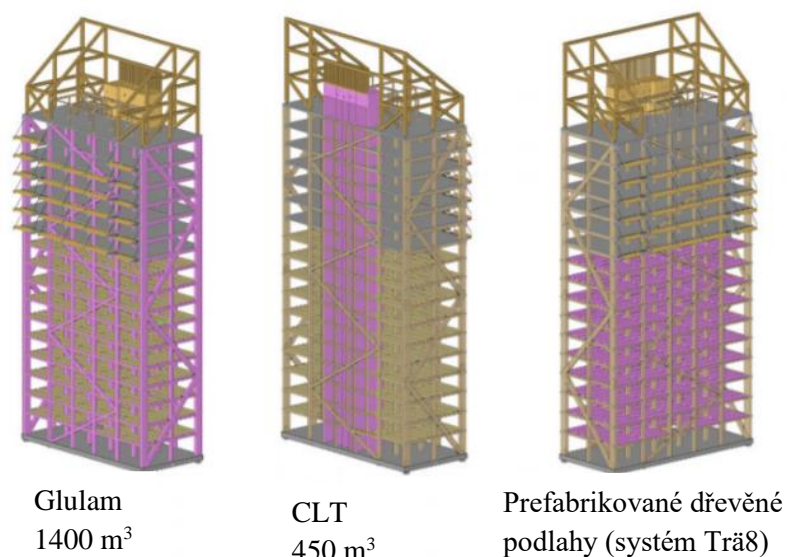
Dřevostavba Mjøstarnet s osmnácti patry a s výškou 85,4 m se nachází v norském městě Brumunddal. Budova má půdorys o rozměru 17×32 m a je zde použito přibližně 2600 m³ dřevěných konstrukcí. [25]



Obr. č. 18: Budova Mjøstarnet v Norsku [24]

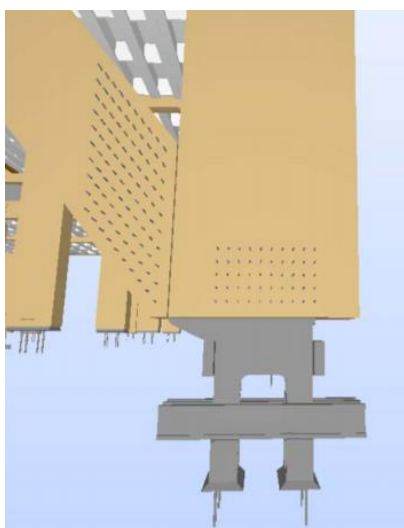
6.1.1. Konstrukční systém

Hlavní nosná konstrukce je sestavena z velkoformátových lepených nosníků, které zajišťují tuhost budovy. Konstrukce stojí na betonové základové desce s piloty kotvenými do skalnatého podloží. Jádra výtahových šachet jsou vyrobená z CLT panelů. Obálku budovy tvoří sendvičové panely s izolací, které jsou upevněny na nosnou konstrukci. Podlaží 2–11 obsahují prefabrikované dřevěné desky; 12–18 podlaží jsou tvořeny 300 mm tlustými podlahami z betonu, které slouží pro lepší statické vlastnosti konstrukce. Lepené nosníky, které podporují dřevěné podlahy, mají průřez 395×585 mm a 395×675 mm. Nosníky, které podporují betonové podlahy, mají průřez 625×585 mm a 625×720 mm. [25]



Obr. č. 19: Konstrukční schéma, vyznačené použité stavební prvky. [26]

Všechny lepené prvky jsou spojeny pomocí ocelových plechů a svorníků a jednotlivé prvky byly sestavovány přímo na staveništi. [27]



Obr. č. 20: Detail patky rohového sloupu [25]



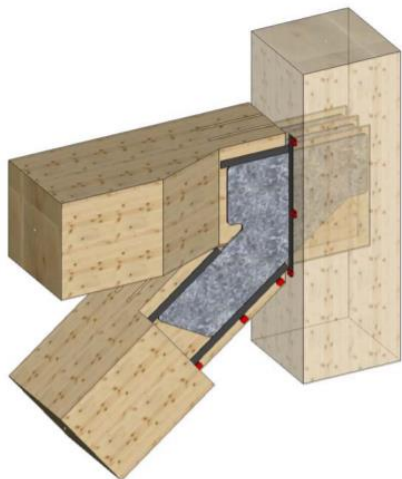
Obr. č. 21: Ocelové plechy pro upevnění patky rohového sloupu na staveništi [25]

Na dřevěné nosníky je použito norské smrkové dřevo, které bylo po dokončení opatřeno jednou vrstvou ochranného laku. Na vrcholové části bylo použito impregnované borovicové dřevo. [27]

6.1.2. Protipožární opatření

Požární odolnost hlavní nosné konstrukce je 120 minut a podlahové (druhotné) konstrukce 90 minut. Před výstavbou byly lepené nosníky testovány na požární odolnost ve zkušebně v Trondheimu. Při této zkoušce byly sloupy Glulam vloženy do pece a vystaveny ohni 90 minut, kde byla prokázána jejich požární odolnost a také zachování únosnosti. V únikových cestách

požární odolnost zajišťují protipožární obklady, nebo jsou dřevěné prvky opatřené retardanty hoření. Ocelové desky a spoje jsou zapuštěny více jak 85 mm do dřeva. Zajímavým detailem je zde použití intumescentní požární pásky ve štěrbinách a mezerách mezi nosníky. Tento materiál při teplotě cca 150 °C zpěňuje a desetinásobně zvětší svůj objem. Aktivní protipožární ochranu zajišťuje sprinklerové zařízení v celém objektu. [27] [26]



Obr. č. 22: Detail provedení spoje, použití intumescentního požární pásky [25]

Obr. č. 23: Požární zkoušky prováděné před výstavbou budovy Mjøstarnet v Norsku [28]

6.2. Konstrukční řešení výškové budovy Treet

Treet je čtrnácti podlažní budova nacházející se v norském městě Bergen. Tato budova se svou výškou 52,8 m byla dokončena v roce 2015. [31]



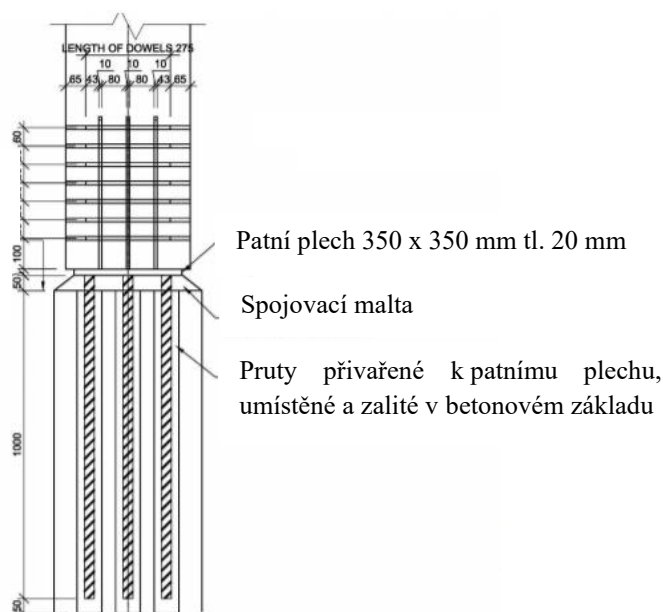
Obr. č. 24: Budova Treet v Norsku [29]



Obr. č. 25: Konstrukční schéma budovy [30]

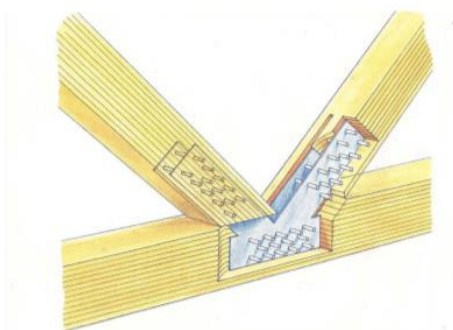
6.2.1. Konstrukční systém

Budova byla vystavena v jednotlivých modulech, které se nacházejí na úrovních 1–4, 5, 6–9, 10 a 11–14 a tvoří hlavní objem budovy. Budova je založena na betonové garáži, která je piloty ukotvena do skalního podloží, čímž tvoří základy celé budovy. [31]



Obr. č. 26: Detail provedení přípoje dřevěného nosného prvku do betonového základu [31]

Na stavbu bylo použito neošetřené norské smrkové lamelované dřevo Glulam a CLT panely norského smrkového dřeva. Typické rozměry sloupu z Glulam jsou 405 × 650 mm a 495 × 495 mm. Všechny lepené prvky jsou spojeny pomocí drážkovaných ocelových plechů a kolíků. Tento typ spoje je velmi často využíván při výstavbě mostů a velkých budov. V Norsku se obvykle využívají plechy tloušťky 8 mm a kolíky 12 mm. Ocelové plechy jsou žárově pozinkovány a vyrobeny z oceli S355, kolíky jsou vyrobeny z kyselinovzdorné nerezové oceli. Křížem vrstvené dřevo (CLT) je použito na schodištích, ve výtahové šachtě a v některých vnitřních stěnách. Betonové podlahové prvky jsou zde použity zejména pro zatížení budovy a pro zlepšení dynamické tuhosti budovy. Budova je opláštěná skleněnými a kovovými prvky, které ji chrání před povětrnostními vlivy. [31]



Obr. č. 27: Schéma provedení spoje dřevěných prvků [32]



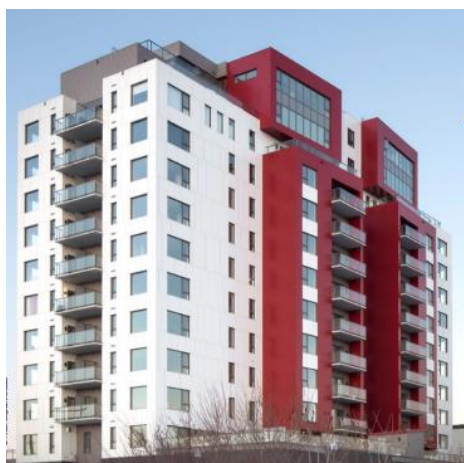
Obr. č. 28: Provedení spoje dřevěných prvků pomocí ocelových plechů [32]

6.2.2. Protipožární opatření

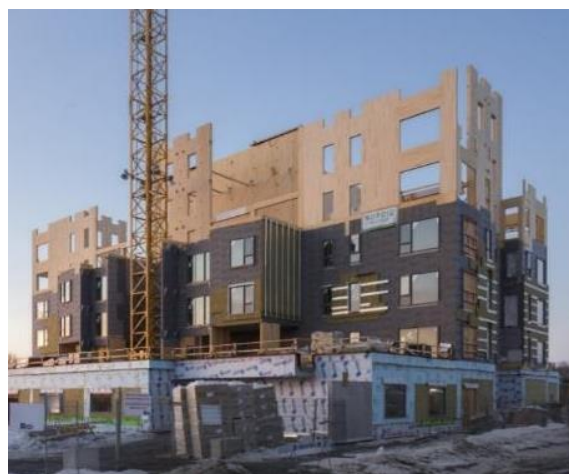
Z hlediska požární odolnosti hlavní nosný systém odolává požáru 90 minut. Sekundární nosné systémy (chodby, balkóny) musí odolávat účinkům požáru po dobu 60 minut. Posouzení požární odolnosti konstrukce bylo prováděno dle Eurokódu 5. Byla zde použita tzv. metoda zmenšeného průřezu. Tato metoda určuje efektivní zbytkový průřez po zuhelnatění. Při rychlosti zuhelnatění 0,7 mm/min se dosáhne po 90 ti minutách hloubky zuhelnatění 63 mm. K této části se připočítá 7 mm pro vytvoření efektivního zbytkového průřezu. Dle těchto parametrů byly všechny ocelové spojky v konstrukci umístěny v minimální vzdálenosti 70 mm od vnějšího povrchu dřevěného prvku. Dalšími protipožárními opatřeními jsou například protipožární nátěry v únikových cestách, úniková schodiště se zvýšeným tlakem a soustava aktivní ochrany systému sprinkler. [31]

6.3. Konstrukční řešení výškové budovy Condos Origine

Budova Condos Origine se nachází v kanadském městě Quebec. Budova se svými 13 patry dosahuje do výšky 41 m. Byla postavena za 4 měsíce, její dokončení proběhlo v roce 2017. [33]



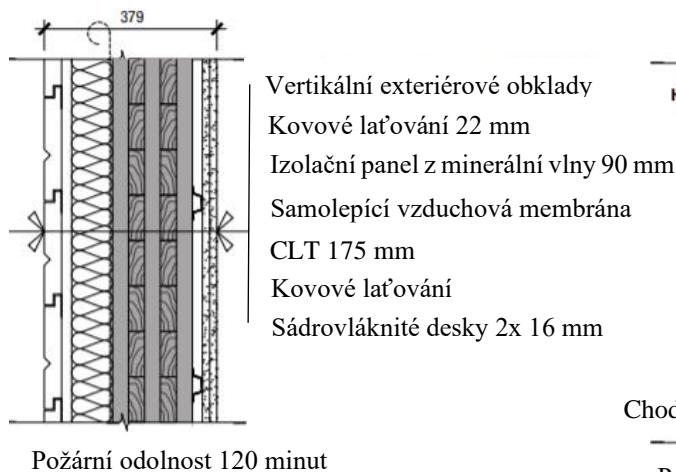
Obr. č. 29: Budova Condos Origine v Kanadě [33]



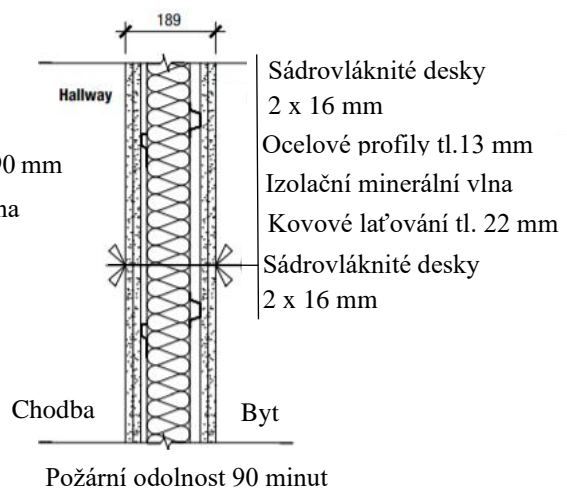
Obr. č. 30: Výstavba budovy Condos Origine v Kanadě [34]

6.3.1. Konstrukční systém

Nosné stěny navržené proti smykovému namáhání se skládají z CLT panelů o šířce 2,4 m a výšce 9 m a s každým patrem se ztenčují. Tyto stěny jsou uzavřeny glulamovými prvky, aby se zvýšila pevnost v tlaku a dodaly stěnám potřebnou tuhost. Ostatní nosné stěny jsou tvořeny pětivrstevnými 175 mm tlustými CLT panely o konstrukční šířce 2,4 m a výšce 6 m. Na východní a západní části budovy se nacházejí vnější CLT stěny o 3 vrstvách a tloušťce 78 mm. Všechny vnější nosné stěny jsou chráněny sádrovláknitými deskami a na vnější straně pokryty minerální vlnou a ocelovým, hliníkovým nebo kamenným obkladem. Nenosné vnitřní stěny se skládají z kovových profilů vyplněných akustickou izolací a vnějšími deskovými obklady ze sádrovlákna. [33]

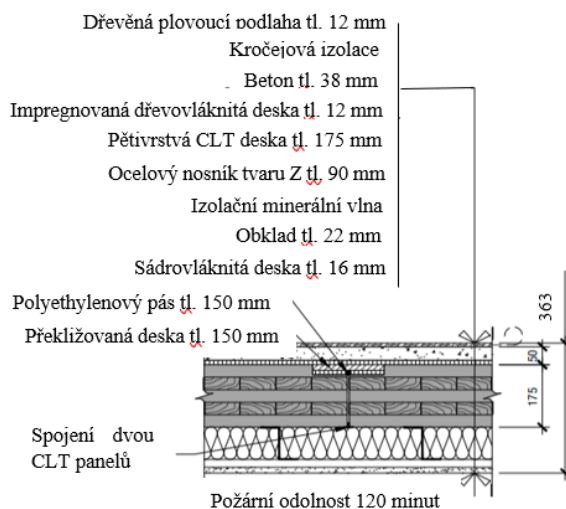


Obr. č. 31: Detail skladby nosné stěny [33]

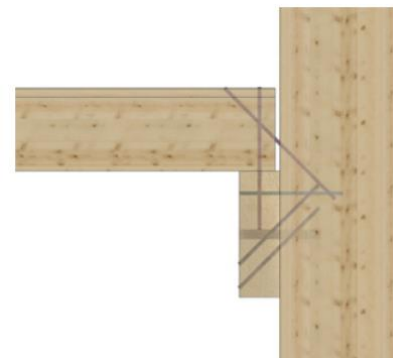


Obr. č. 32: Detail skladby nenosné vnitřní stěny [33]

Podlahy jsou tvořeny pětivrstevnými CLT panely o šířce 2,4 m a délce 19,5 m spojenými páskem překližované desky. Na desce je umístěna impregnovaná dřevovláknitá deska s betonovou úpravou povrchu, vytápění, kročejová izolace a nášlapná vrstva. Na spodní části CLT je připevněna akustická vlna a sádrovláknitá deska. Podlahové desky jsou nesený pomocí dřevěných prvků připevněných k nosným stěnám a podepřeny nosníky ve středu budovy. Pro připojení panelů CLT se smykovou stěnou slouží také kovové ocelové plechy a kolíky. [33]



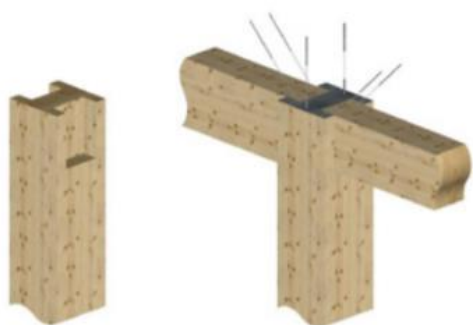
Obr. č. 33: Detail skladby podlahy [33]



Obr. č. 34: Schématický detail napojení podlahových konstrukcí na nosné stěny [33]

Nosníky a sloupy jsou konstruovány z lepeného lamelového dřeva. Sloupy v dolní části budovy mají průřez 456×456 mm. Tyto rozměry průřezu sloupů se společně s výškou zmenšují až na průřez 279×279 mm v nejvyšším patře. Dřevěné sloupy jsou ukotveny k železobetonové základně pomocí ocelových desek, které jsou ukotveny ocelovými tyčemi o délce 3,6 m.

Nosníky mají průměrný průřez 279×502 mm a rozpětí 4,1 až 7 m, jsou zasunuty a připevněny do zářezů sloupů bez kovových desek, pouze pomocí samořezných závitových tyčí. [33]



Obr. č. 35: Schéma detailu napojení sloupu na nosník [33]



Obr. č. 36: Napojení nosníku na sloup [33]

6.3.2. Protipožární opatření

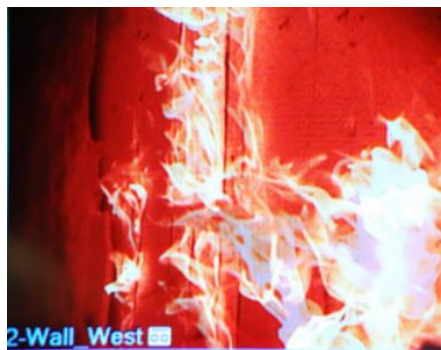
Z hlediska požární odolnosti byla navržena hybridní konstrukce složená ze dřeva s požární odolností 60 minut a sádrovlákna také s požární odolností 60 minut. Tímto řešením se docílila požadovaná požární doba 120 minut. Ochrana pomocí sádrovláknitých desek prodlužuje dobu, po kterou se CLT nevznítí a následně omezuje příspěvek CLT k růstu a intenzitě požáru. Stěny obsahují kromě CLT panelů a sádrovláknitých desek také izolační materiál, spojky, vnitřní a vnější opláštění a další součásti. Kompletní sestava stěnových panelů musí odolávat předepsané požární odolnosti jako celek. Otvory a mezery v konstrukci musí být opatřeny protipožárním těsněním. [33]



Obr. č. 37: Detail použití protipožárního těsnění u prvků procházejících CLT panely [33]

V listopadu 2014 byl proveden demonstrační požár v Národní požární laboratoři v Mississippi Mills. Cílem této zkoušky bylo posoudit protipožární vlastnosti dřevěné konstrukce vystavené silnému ohni po dobu 120 minut. Zkoušky byly provedeny na konstrukci stěny a podlahy. Stěna se skládala z pětivrstvého 175 mm tlustého panelu CLT, který byl z obou stran chráněn sádrovláknitými deskami o tloušťce 16 mm. Podlahovou konstrukci tvořil také pětivrstvý panel z CLT chráněn skelnou vlnou a sádrovláknitou deskou tloušťky 16 mm na straně působení ohně. Zkoušky proběhly úspěšně, stěna vykazala odolnost 219 minut a podlaha odolávala po dobu 128 minut. [33]

Budova je opatřena aktivní protipožární ochranou systému sprinkler a také se zde nachází podzemní nádrž na vodu pro zásobování systému po dobu 30 minut. V chodbách a schodištích sloužících jako únikové cesty je udržován tlak vyšší než v okolních prostorách, aby se zabránilo šíření kouře únikovými cestami. [33]



Obr. č. 38: Fotografie z průběhu zkoušení požární odolnosti konstrukčního prvku uvnitř komory [33]



Obr. č. 39: Zkušební stěna z neohříváné strany po dvouhodinovém působení ohně o teplotě 1000 °C [33]

6.4. Konstrukční řešení výškové budovy HoHo v Rakousku

Budova HoHo ve Vídni je jedna z nejvyšších, nově vystavěných výškových dřevostaveb v Evropě. Budova s 24 podlažími dosahuje do výšky 84 metrů. [35] [36]

6.4.1. Konstrukční systém

Konstrukce budovy se skládá ze 75 % ze dřeva. Konstrukce budovy je kromě dřevěných materiálů doplněna železobetonovým jádrem a tenkou vrstvou betonu vyztužující dřevěné stropy. Hlavními konstrukčními prvky jsou panely z křížem vrstveného dřeva (CLT), lepené laminované dřevěné sloupy (Glulam) o průřezu až 360×920 mm a dřevobetonové stropní panely. [35] [36]



Obr. č. 40: Budova HoHo ve Vídni [37]



Obr. č. 41: Konstrukční schéma budovy [36]

Přízemí a první patro je v exteriéru obloženo modřínovými deskami, které přispívají k dlouhodobé životnosti fasády. Zbytek pater je z venkovní strany obložen eternitovými panely, které slouží jako ochrana proti povětrnostním vlivům, hluku, ale také zabezpečují požární odolnost budovy. [35] [36]

6.4.2. Protipožární opatření

K protipožární ochraně slouží i sprinklerový systém uvnitř budovy. Vypočítaná požární odolnost byla pro tuto budovu 115 minut, což převyšuje požadovanou požární odolnost 100 minut. Celá stavební konstrukce je v souladu s pokyny dle OIB 2. [35] [36]



Obr. č. 42: Výstavba betonového jádra [38]



Obr. č. 43: Pohled z interiéru budovy na CLT panely [38]

7. Cíl práce

V České republice výstavba dřevostaveb stále stoupá, v roce 2018 činil podíl dřevostaveb v odvětví rezidenčního bydlení 16,1 %, proto je téma požární ochrany dřevostaveb stále diskutovanějším tématem. Ve své práci se v rámci teorie věnuji popisu přístupů, které jsou kladeny na požární odolnost staveb, zejména požární odolnost dřevostaveb. Cílem práce je shrnutí požadavků v oblasti požární ochrany, zejména zatřídění dřevostaveb v závislosti třídy reakce na oheň, klasifikace konstrukčních částí v České republice a ve vybraných zemích a sumarizace metodik používaných pro stanovení požární odolnosti dřevěných konstrukcí.

Dalším cílem je problematika stanovení požární odolnosti u křížem lepeného lamelového dřeva (CLT desky). Jedná se o materiály, které jsou díky svým vlastnostem velmi často používány pro výstavbu v oblasti dřevostaveb, ať už se jedná o rodinné domy, či výškové budovy. Jejich využití v poslední době se významně zvýšilo a předpokládá se jejich další rozvoj zejména v případě výstavby výškových objektů. Trend výstavby dřevěných budov s sebou přináší vyšší nároky a potřebu poznání chování dřevěných CLT panelů z hlediska požární odolnosti. Tyto CLT panely jsou pro výstavbu budov vyráběny a používány jako samostatné dřevěné prvky a také prvky kombinování, tj. CLT prvky s chráněnými povrchy.

Nejdříve byla v praktické části navržena metodika, která zohledňuje veškeré požadavky kladené na určení požární odolnosti těchto konstrukčních materiálů. Následně bylo přistoupeno k experimentálnímu stanovení požární odolnosti běžně používaných dřevěných konstrukčních prvků CLT, a to v případě, kdy tyto prvky nejsou opatřeny jinými materiály pro ochranu proti působení ohně. Pro dosažení tohoto cíle byla vyrobena zkušební tělesa z lamelového dřeva, kdy jednotlivé lamely byly spojeny mechanickými spojovacími prostředky. Výsledné hodnoty požární odolnosti jsou porovnány s hodnotami deklarované požární odolnosti komerčně dostupných výrobků.

8. METODICKÝ POSTUP PRO STANOVENÍ POŽÁRNÍ ODOLNOSTI LEPENÝCH LAMELOVÝCH DESEK

Níže je navržena metodika, která je určena pro stanovení požární odolnost křížem lamelovaného dřeva. Tato metodika slouží pro samotné výrobky CLT, které nejsou doplněny jinými materiály (např. nehořlavými prvky). Tyto panely řadíme do konstrukcí s povrchem nechráněným během doby vystavení účinků požáru.

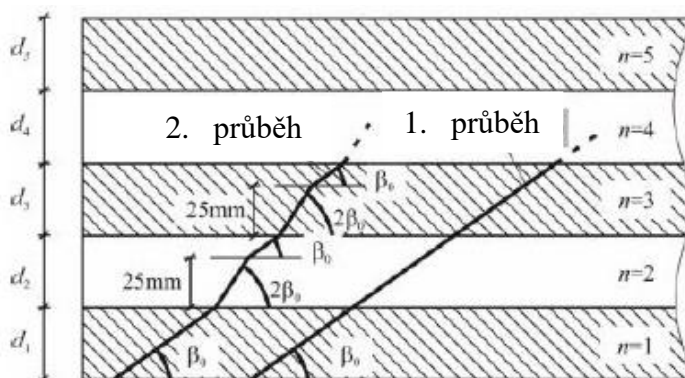
8.1. Příprava/specifikace zkušebních těles

V případě zkoušení hotových výrobků křížem lamelovaných desek (lepených či mechanicky spojovaných) je potřeba identifikovat a specifikovat následující parametry:

- přesné rozměry vzorků;
- orientaci a počet jednotlivých vrstev;
- výskyt případných spár mezi lamelami;
- vlhkost výrobku (nedestruktivně nejlépe pomocí odporových vlhkoměrů);
- objemovou hmotnost;
- druh použité dřeviny lamel;
- typ použitého lepidla;

8.2. Stanovení míry zuhelnatění β

Rychlost zuhelnatění pro CLT panely uložené jako **stropní konstrukce** je uvažována hodnotou β_0 o velikosti 0,65 mm/min s lineárním průběhem (viz obr. č. 44, 1. průběh), pokud se použijí požárně odolná lepidla a k delaminaci lamel v průběhu zatížení požárem nedojde, pak se uvažuje s touto hodnotou po celou dobu průběhu zkoušky. V případě, že jsou použita lepidla s nižší odolností proti zvýšeným teplotám (viz obr. č. 44, 2. průběh), je uvažováno se stejnou rychlostí zuhelnatění do té doby, než nastane odhoření a případné odpadnutí předchozí lamely. Po odpadnutí lamely se rychlost zuhelnatění β_0 zvýší na hodnotu 1,3 mm/min do té doby, než se na vzorku vytvoří další zuhelnatělá vrstva tloušťky 25 mm, která tuto rychlost opět sníží na hodnotu 0,65 mm/min.



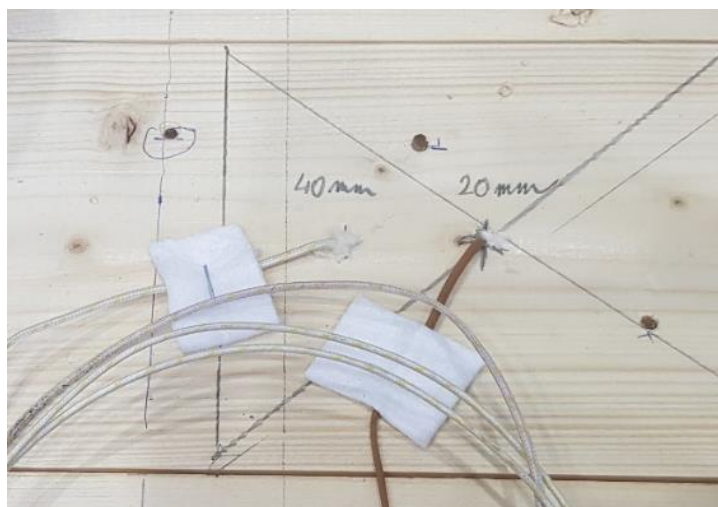
S tloušťkou vrstvy d_n , rychlost zuhelnatění $\beta_0 = 0,65$ mm/min

Obr č. 44: Schéma rychlosti odhořívání u CLT panelů; (1. průběh – CLT s použitím lepidel s nižší požární odolností, 2. průběh – CLT s použitím požárně odolných lepidel) [39]

Pro určení rychlosti zuhelnatění je třeba do zkušebních vzorků osadit v různých hloubkách termočlánky. Pro každou hloubku doporučuji osadit cca 4 ks termočlánků/1 m² zkušebního vzorku. Termočlánky je nutné volit v hloubkách tak, aby korespondovaly s tloušťkami lamel. Například u zkušebního vzorku s tloušťkami lamel 20–30–20 mm se termočlánky umístí v hloubkách 20 a 50 mm.

Instalace termočlánků je potřebná provést i na povrchovou stranu zkušebního vzorku, která není vystavená ohni. Pomocí těchto termočlánků stanovujeme kritérium celistvosti E. Stejně tak je nutné osadit termočlánek i na povrch ohřívané/exponované strany. Průběh teplot ze všech termočlánků bude ukládán do sběrné ústředny.

Pro umístění termočlánků do zkušebního vzorku je vyvrtán otvor definovaného průměru a do požadované hloubky, do kterého je následně vložen termočlánek a poté je otvor utěsněn bavlnou.



Obr. č. 45: Pohled na vložené termočlánky do zkušebního vzorku

8.3. Stanovení hmotnostních úbytků

Pro stanovení požární odolnosti se u zkušebních vzorků stanovuje i hodnota hmotnostního úbytku. Na zkušebním vzorku se stanoví hmotnost před požární zkouškou a následně po jejím ukončení. Úbytek hmotnosti se poté zaznamená v kg/m².h. U zkoušky se také vizuálně pozoruje, zda na zkušebním vzorku odpadla část zuhelnatělé i nezuhelnatělé vrstvy, popřípadě při jaké teplotě.

8.4. Klasifikace požární odolnosti REI

Pro stanovení parametru únosnosti R je posuzována rychlost průhybu a mezní skutečná deformace. Ztížení zkušebních vzorků je voleno dle ČSN EN 1990:2004.

Měření průhybu dle ČSN EN 1363-1:2020 lze pomocí mechanických přístrojů, elektronických (potenciometrických, indukčních) přístrojů, nebo pomocí optických zařízení. Je možné použít například laserové, či indukční senzory. S ohledem na skutečnost, že může dojít během požární zkoušky k prošlehnutí ohně, navrhuji použití lankových potenciometrů s příslušným rozsahem pro měření průhybu zkoušeného vzorku.

Pro stanovení celistvosti E, se použije bavlněný polštářek, který je vždy umístěn na ploše zkoušeného vzorku ve vzdálenosti alespoň 30 mm od povrchu zkušebního vzorku. Následně je sledována doba, kdy došlo ke vznícení polštářku. V době, kdy dochází k otevírání spár, jsou poté do těchto míst vkládány spároměrky z válcované oceli o průměru 6 a 25 mm.

Pro stanovení kritéria izolace I navrhuji pravidelné měření v daných časových intervalech pomocí termočlánků, nebo lze měřit teplotu také pomocí kontaktního teploměru, či termovizním snímáním.

9. POŽÁRNÍ ODOLNOST DŘEVĚNÉHO PLOŠNÉHO NOSNÉHO PANELU

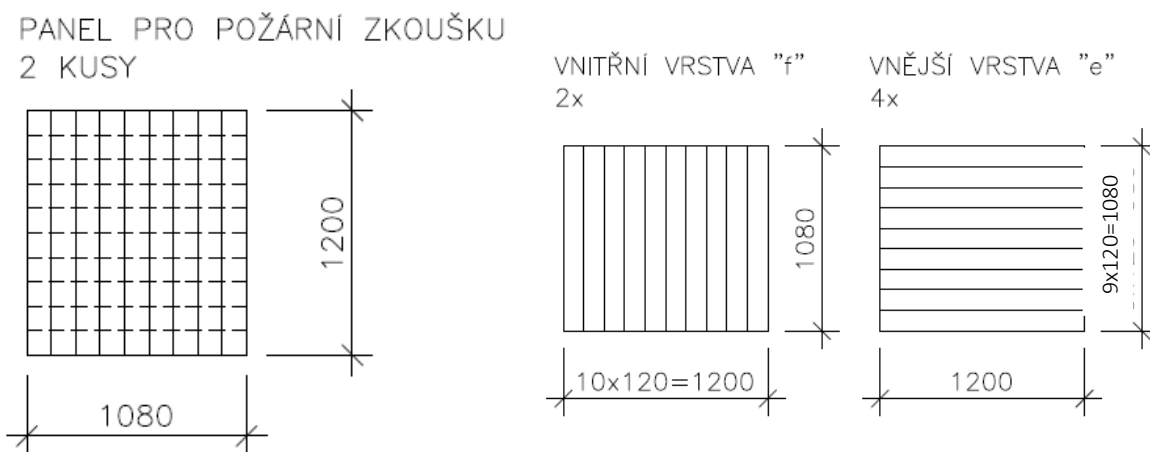
9.1. Stanovení požární odolnosti vrstvených panelů zkouškou

9.1.1. Materiál nosných dřevěných panelů

Pro účely experimentu byly vyrobeny třívrstvé desky (20-20-20), které byly spojovány v jednotlivých vrstvách natupo a byly zhotoveny za použití těchto spojovacích prostředků:

- *dřevěné spojovací prostředky 4×50 mm* (použity 2 ks v místě křížení lamel),
- *ocelové vruty 4×50 mm* (použity 2 ks v místě křížení lamel),

Velikost zkušebních vzorků a uspořádání jednotlivých lamel je znázorněno na následujících obrázcích č. 46 a 47.



Obr. č. 46: *Vzorky vrstvených desek pro zkoušku požární odolnosti*

Obr. č. 47: *Způsob orientace a umístění lamel ve zkušební desce*



Obr. č. 48: *Vyrobená vrstvená deska za použití ocelových vrutů*



Obr. č. 49: *Vyrobená vrstvená deska za použití dřevěných spojovacích prostředků.*

9.1.2. Poloha termoelektrických článků

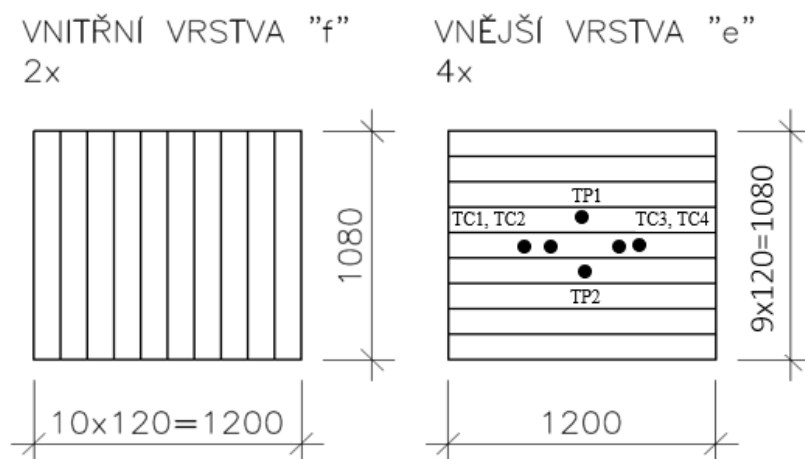
Pro přesnou identifikaci odhořívání dřeva byly do skladby vloženy termočlánky, a to vždy v počtu 1 ks na ohřívání (zatěžovaný) povrch, 2 ks na spáru v hloubce 20 mm a 2 ks na spáru v hloubce 40 mm.

Všechny termoelektrické články jsou osazeny v ose středního prkna ze strany 1 080 mm dlouhé:

- TC0/povrch – povrch ohřívané strany třívrstvé desky;
- TC1/20 – 450 mm od okraje, v hloubce 20 mm;
- TC2/20 – 750 mm od okraje, v hloubce 20 mm;
- TC3/40 – 420 mm od okraje, v hloubce 40 mm;
- TC4/40 – 780 mm od okraje, v hloubce 40 mm;

Poloha měření povrchových teplot příložným termoelektrickým termočlánkem na neohřívané straně, obě polohy v ose mezi středními prkny ze strany 1 200 mm dlouhé:

- TP1 – 420 mm od okraje (4. prkno – vnější vrstva), povrch neohřívané strany,
- TP2 – 660 mm od okraje (6. prkno – vnější vrstva), povrch neohřívané strany.



Obr. č. 50: Schematické znázornění rozmístění termoelektrických článků

Termočlánky používané pro měření teploty pece musí být rozloženy tak, aby poskytovaly spolehlivou indikaci průměrné teploty v blízkosti zkušební vzorku.

9.1.3. Zkoušení požární odolnosti dřevěného panelu

Průběh zkoušky:

Zkušební vzorky byly exponovány v **horizontální** poloze a byly osazeny na příruby pece tak, aby vnější lamely byly namáhány v třibodovém ohybu při vyvozovaném zatížení (spojité zatížení cca 3 kN/1,08 m). Křivka požárního zatížení byla vyvozována v souladu s ISO 834. Zkouška byla provedena v peci o rozměrech 2×3 m, nacházející se v prostorách vědecko-výzkumného centra AdMaS Vysokého učení technického v Brně.



Obr č. 51: *Zkušební deska před expozicí*

10. VÝSLEDKY ZKOUŠEK

10.1. Vrstvené panely s dřevěnými a ocelovými spojovacími prostředky

10.2. Průběh teplot v souvrství desky a v peci

Níže v tabulce č. 6 jsou uvedeny dosažené teploty zjištěné pro jednotlivé termočlánky po 10minutovém intervalu v průběhu požární zkoušky. Kompletní průběh teplot je uveden v příloze v tabulce č. 10.1 a 10.2, kde:

T_p – požadovaná teplota dle ČSN EN 1363-1:2020 (ISO 834);

T_s – skutečná teplota v peci;

TC0/povrch – teplota na ohřívané straně skladby;

TC1/20–TC4/40 – teplota termoelektrických článků osazených uvnitř vzorku v příslušné tloušťce;

Tabulka č. 6: Záznam teplot termoelektrických článků v 10minutovém intervalu pro vzorky s dřevěnými spojovacími prostředky

Čas	Teplota v peci		Teplota povrchu	Teplota vzorku			
	T _p	T _s	TC0/povrch	TC1/20	TC2/20	TC3/40	TC4/40
[min]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
0	20	20	28	21	21	20	20
10	670	736	693	88	75	20	20
20	777	775	718	188	184	29	33
30	839	842	790	322	302	44	51
40	882	882	844	583	653	80	81
50	915	918	883	767	802	161	158

Tabulka č. 7: Záznam teplot termoelektrických článků v 10minutovém intervalu pro vzorky s ocelovými spojovacími prostředky

Čas	Teplota v peci		Teplota povrchu	Teplota vzorku			
	T _p	T _s	TC0	TC1/20	TC2/20	TC3/40	TC4/40
[min]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
0	100	20	20	20	20	20	20
10	672	754	648	71	51	21	20
20	777	785	712	146	139	32	30
30	839	842	811	289	280	47	46
40	882	875	842	421	405	84	79
50	915	919	889	698	713	149	157
60	942	945					

10.2.1. Klasifikace požární odolnosti REI

A) Požadavek únosnosti (R)

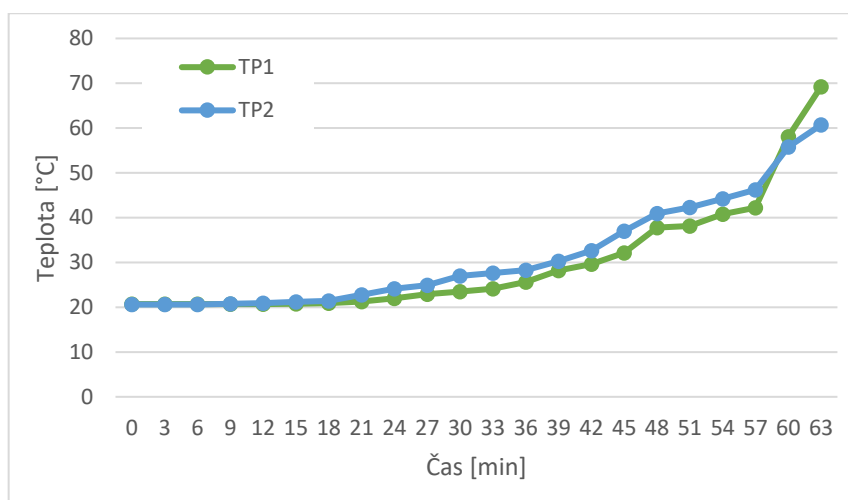
Nebylo stanovováno.

B) Požadavek izolace (I)

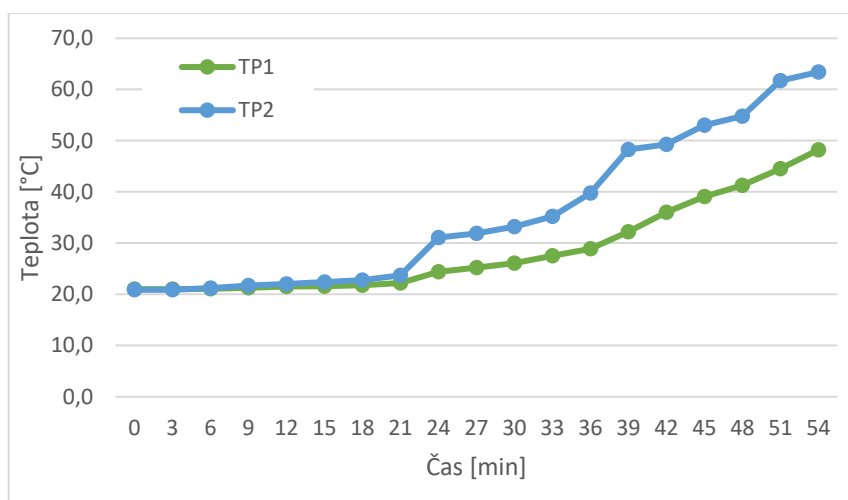
Níže v tabulce č. 8. jsou uvedeny dosažené teploty, zjištěné pro jednotlivé termočlánky umístěné na povrchu zkušební vzorku, tj. na neohřívané straně.

Tabulka č. 8: Záznam teplot termoelektrických článků na povrchu zkušební vzorku

Čas	Panel s dřevěnými spojovacími prostředky		Panel s ocelovými spojovacími prostředky	
	Teplota na povrchu vzorku			
[min]	TP1 [°C]	TP2 [°C]	TP1 [°C]	TP2 [°C]
0	20,7	20,6	21,0	20,9
3	20,7	20,6	21,0	20,9
6	20,7	20,6	21,1	21,2
9	20,7	20,8	21,3	21,7
12	20,7	20,9	21,5	22,0
15	20,8	21,2	21,6	22,4
18	20,9	21,4	21,8	22,8
21	21,3	22,8	22,2	23,7
24	22,0	24,1	24,4	31,1
27	22,9	24,9	25,2	31,9
30	23,5	27,0	26,1	33,2
33	24,1	27,6	27,5	35,2
36	25,6	28,3	28,9	39,8
39	28,2	30,3	32,2	48,3
42	29,6	32,6	36,0	49,3
45	32,1	37,0	39,1	53,0
48	37,8	40,9	41,3	54,8
51	38,1	42,3	44,5	61,7
54	40,8	44,2	48,2	63,4
57	42,2	46,2		
60	58,1	55,8		
63	69,2	60,7		



Graf č. 1: Průběh teplot termoelektrických článků na povrchu skladby třívrstvé desky s dřevěnými spojovacími prostředky



Graf č. 2: Průběh teplot termoelektrických článků na povrchu skladby třívrstvé desky s ocelovými vruty

Dle průběhů teplot u obou zkoušek **nedošlo** k překročení požadavku vzrůstu teploty na neohřívané straně, tj. nesmí přesáhnout 140 °C nad průměrnou počáteční teplotu; vzrůst průměrné teploty v kterémkoliv místě, která nesmí přesáhnout 180 °C nad průměrnou počáteční teplotu.

C) Požadavek celistvosti (E)

Dle pozorování průběhu zkoušky došlo k porušení požadavku celistvosti v **31. minutě** pro panel s dřevěnými spojovacími prostředky **a** v **30. minutě** pro desku s ocelovými vruty, kdy došlo k souvislému plamennému hoření a vznícení bavlněného polštářku. Během zkoušky byly sledovány parametry definované pro určení požární odolnosti zkušebního vzorku. Pozorované jevy v závislosti na čase jsou popsány v následující tabulce č. 9.

Tabulka č. 9: Pozorované jevy zkušební desky během zkoušky pro třívrstvou desku s dřevěnými spojovacími prostředky

Čas	Pozorovaný jev
28. minuta	Únik kouře spárou mezi prkny horní vrstvou prken
31. minuta	Souvislé plamenné hoření, vznícení bavlněného polštářku
32. minuta	Průnik malé spároměrky o průměru 6 mm v délce 150 mm
38. minuta	Prošlehnutí plamene v druhém místě
39. minuta	Souvislé hoření v druhém místě vrstvy na neohřívané straně
70. minuta	Propad vzorku pod zatížením – zřícení

Tabulka č. 10: Pozorované jevy zkušební desky během zkoušky pro třívrstvou desku s ocelovými vruty

Čas	Pozorovaný jev
22. minuta	Žhnutí spáry
25. minuta	Žhnutí spáry na dalším místě
26. minuta	Průnik malé spároměrky
30. minuta	Vznícení bavlněného polštářku a přítomnost trvalého hoření
30. minuta	Průnik velké spároměrky
57. minuta	Zhroucení skladby

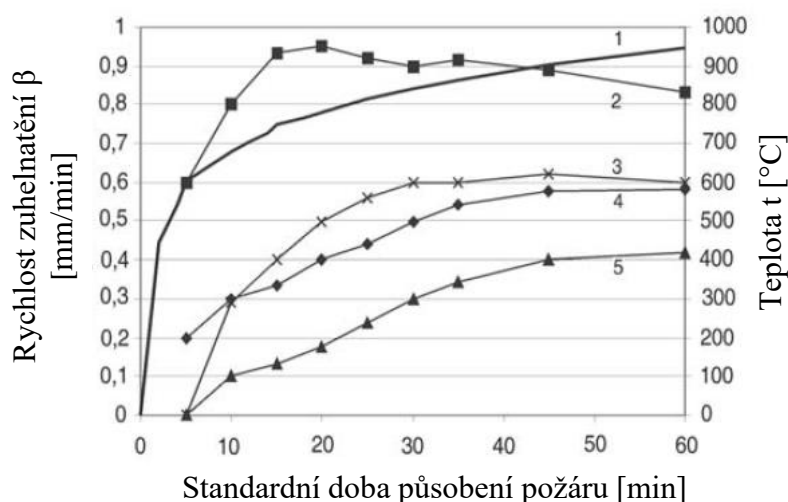
10.2.2. Vyhodnocení požární odolnosti desky s dřevěnými a ocelovými spojovacími prostředky

Na základě výsledků lze uvažovat pro oba dva typy panelů s různými spojovacími prostředky hodnotu požární odolnosti **EI 30** minut.

11. VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK A DISKUZE

11.1. Experimentální zjištění požární odolnosti vrstveného panelu

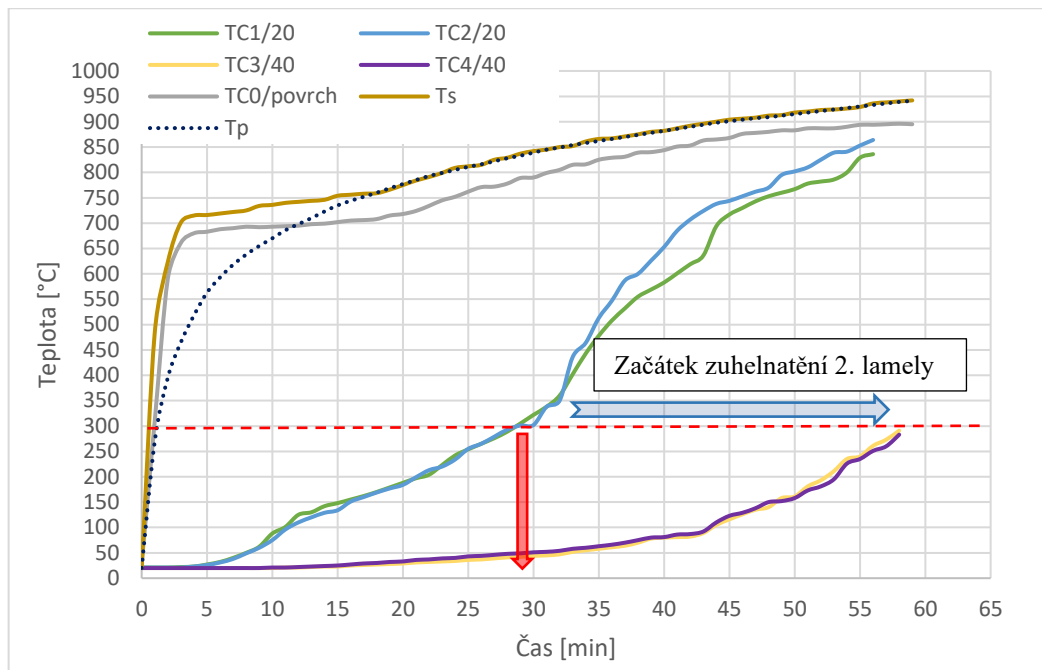
Vrstvené panely a jejich požární odolnost je závislá na druhu použitého dřeva, jeho objemové hmotnosti a také na obsahu pryskyřice. Dřevo jako jediný materiál vykazuje zvýšení požární odolnosti a snížení rychlosti odhořívání tvorbou pyrolýzy, která působí jako tepelná izolace chránící spodní nepoškozené dřevo. Stanovenou dobu rychlostí zuhelnatění pro různé typy dřevin znázorňuje následující obrázek č. 52. Pro rostlé dřevo je uvažováno v případě jehličnanů s rychlostí 0,8 až 0,9 mm/min, pro listnaté a impregnované jehličnaté dřevo pak s rychlostí 0,5 až 0,6 mm/min, pro impregnované listnaté dřevo s rychlostí 0,3 až 0,4 mm/min.



Obr č. 52: Průběh rychlosti zuhelnatění pro různé typy dřeva; (1–standardní požární křivka, 2–borovice, 3–borovice impregnovaná protipožární směsí, 4–dub, 5–dub impregnovaný protipožární směsí) [40]

11.1.1. Průběh teplot v prvku

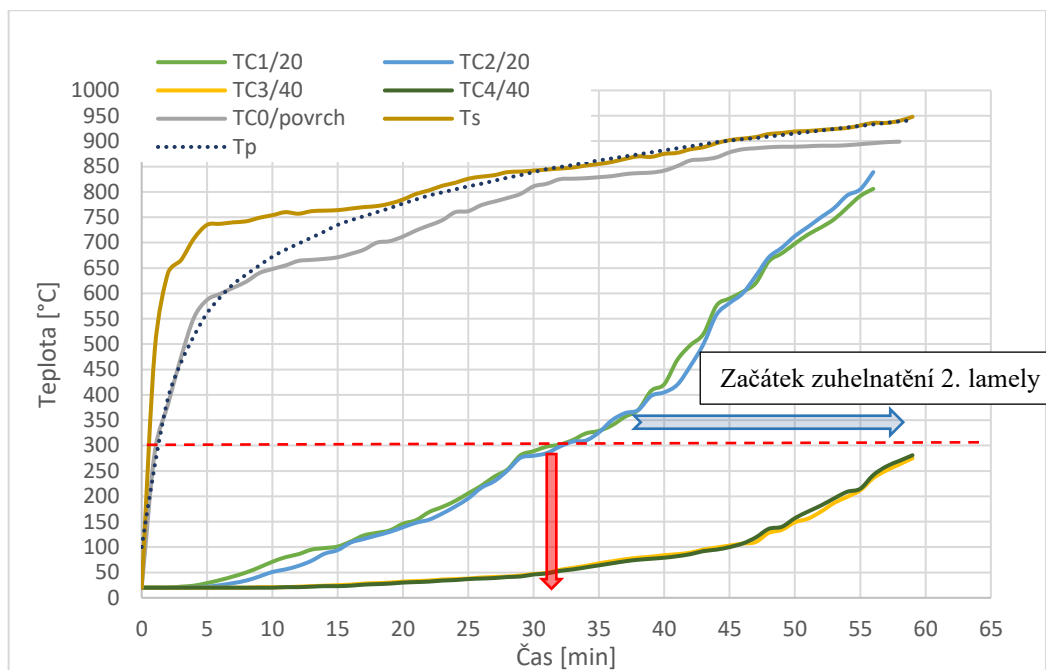
Průběh odhořívání u testovaných zkušebních vzorků lze odvodit z průběhu teplot, které byly zjišťovány v různých hloubkách zkušebních vzorků. Přednostně byly voleny hloubky mezi lamelami, tj. v hloubce 20 mm od ohřívajícího povrchu, a 40 mm od ohřívajícího povrchu. Průběhy teplot jsou uvedeny na následujících grafech č. 3 a 4. V grafech je vyznačena poloha čáry zuhelnatění na prvku, za kterou je dle EC5 uvažováno s izotermou 300 °C.



Graf č. 3: Průběh teplot mezi 1 a 2 lamelou (TC1 a TC2) a průběh teplot mezi lamelami 2 a 3 (TC3, TC4) pro zkušební desku s dřevěnými spojovacími prostředky; (Tp – požadovaná teplota dle ČSN EN 1363-1:2020 (ISO 834), Ts – skutečné teploty v peci, TC0/povrch – teplota na ohřívané straně skladby, TC1/20–TC4/40 – teplota termoelektrických článků osazených uvnitř vzorku v příslušné tloušťce)



Obr č. 53: Zkušební deska s dřevěnými spojovacími prvky po ukončení zkoušky



Graf č. 4: Průběh teplot mezi 1 a 2 lamelou (TC1 a TC2) a průběh teplot mezi lamelami 2 a 3 (TC2, TC4) pro zkušební desku s ocelovými vruty; (Tp – požadovaná teplota dle ČSN EN 1363-1:2020 (ISO 834), Ts – skutečná teploty v peci, TC0/povrch – teplota na ohřívané straně skladby, TC1/20–TC4/40 – teplota termoelektrických článků osazených uvnitř vzorku v příslušné tloušťce)



Obr. č. 54: Zkušební deska s ocelovými vruty po ukončení zkoušky

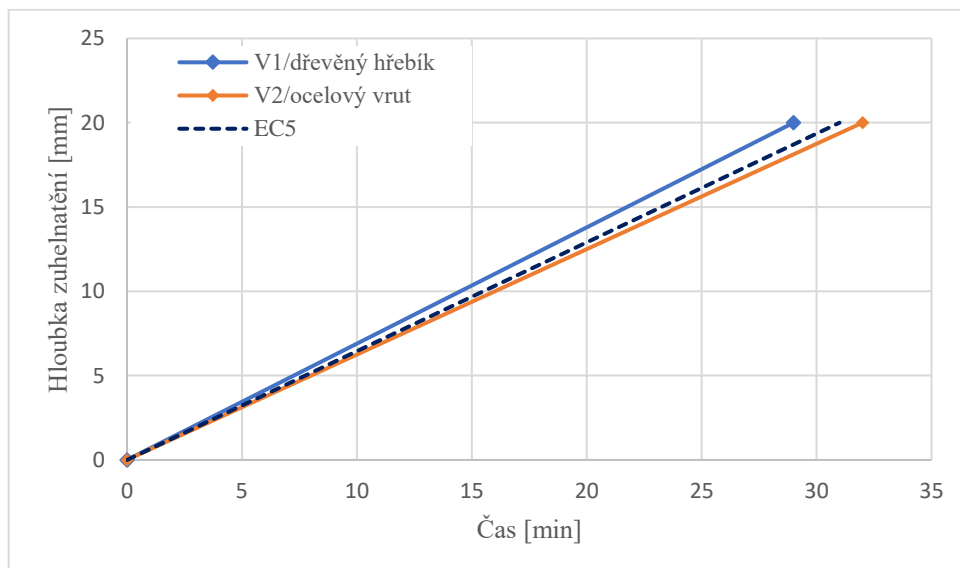
Teplota v peci u obou zkušebních vzorků se od požadované teploty (ISO 834) liší pouze v časově rychlejším a teplotně vyšším nárůstu, avšak poté se již tyto teploty v čase vyrovnají. Oba termočlánky umístěné v hloubce 40 mm (mezi 2 a 3 lamelou) vykazují pozvolný nárůst teploty v čase, jak u vzorku s ocelovými, či dřevěnými spoji.

V případě hodnocení dosažení teploty 300 °C, kdy podle EC5 je uvažováno se zuhelnatěním, bylo této teploty dosaženo mezi 1. a 2. lamelou (termočlánky umístěné v hloubce 20 mm) ve 29 minutě zkoušky u vzorku s dřevěnými spoji a ve 32 minutě u vzorku s ocelovými vruty. Jak je patrné na obr. č. 54 a č. 54, k prohoření v místě termočlánků nedošlo a byla zde vytvořena jednak zuhelnatěná vrstva, tak i pyrolytická vrstva.

11.1.2. Určení rychlosti zuhelnatění

EC5 uvažuje se zuhelnatěním prvku při izotermě 300 °C. Následující graf č. 5 znázorňuje dobu od zahájení zkoušky, kdy došlo k zuhelnatění 1. vrstvy $d_{char} = 20$ mm tj. (dosažení 300 °C u zkušebních vzorků mezi 1. a 2. lamelou) podle:

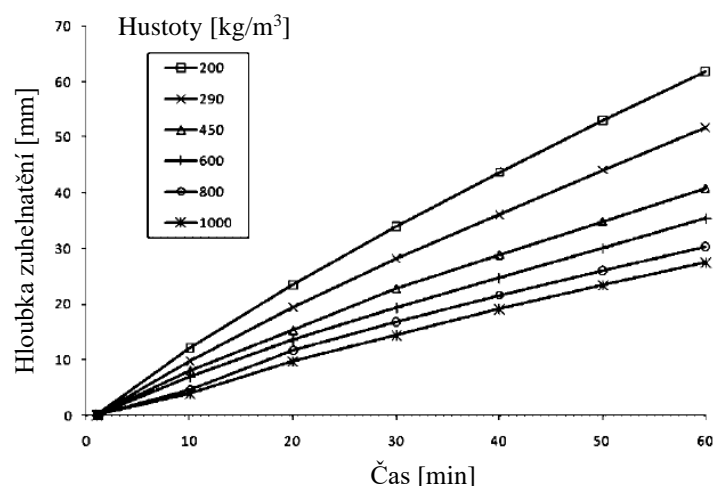
$$\beta_0 = \frac{d_{char,0}}{t} \quad (7)$$



Graf č. 5: Průběh V1, V2 a EC5; (V1 – zkušební vzorek s dřevěnými spojovacími prostředky, V2 – zkušební vzorek s ocelovými vruty, EC5 – normová hodnota rychlosti zuhelnatění, tj. 0,65 mm/min.)

Ze dvou termočlánků umístěných v hloubce 20 mm od ohřívajícího povrchu byla zjištěna hodnota rychlosti zuhelnatění $\beta_0 = 0,69$ mm/min pro zkušební vzorky s dřevěnými spojovacími prostředky a $\beta_0 = 0,63$ mm/min pro zkušební vzorky s ocelovými vruty. Výsledné hodnoty jsou velmi podobné jako ty, se kterými počítají výrobci křížem lamelovaných desek. Pro přesnější stanovení hodnot by bylo vhodné termočlánky rozmístit celoplošně po celé desce, aby bylo poté možné rychlost odhořívání z celé plochy zprůměrovat a získat velmi přesné odpovídající hodnoty.

Rychlost zuhelnatění je závislá na dalších vlastnostech zkoušeného materiálu, jako je například vlhkost, hustota, tepelná vodivost a měrná tepelná kapacita. Dále může být rychlost zuhelnatění závislá na vlastnostech prostředí, ve kterém je vzorek zkoušen, jako je například koncentrace kyslíku a hodnota tepelného toku. Hustota dřeva výrazně ovlivňuje hloubku zuhelnatění při požárním namáhání. Míru hloubky zuhelnatění dřeva s 12% vlhkostí v závislosti na různých hodnotách hustoty dřeva znázorňuje obrázek č. 55.



Obr. č. 55: Závislost hloubky zuhelnatění na hustotě dřeva [41]

S ohledem na vlhkost dřeva lze říct, že s vyšší vlhkostí dřeva klesá rychlost zuhelnatění dřeva.

11.2. Porovnání s deklarovanou požární odolností komerčních vrstvených panelů

Porovnávání výsledků dosažené požární odolnosti testovaných vzorků s hodnotami deklarované požární odolnosti vybraných komerčně dostupných výrobků nelze zcela identicky provést, neboť konstrukčně jsou systémy odlišné z hlediska počtu a tloušťky lamel. Nicméně pro orientační porovnání je níže v tabulce č. 11 provedeno porovnání s prvky, které jsou z hlediska počtu a tloušťky panelu co nejvíce srovnatelné s experimentálně testovanými vzorky. Rovněž není možné kompletně provést zhodnocení i z toho důvodu, že v experimentálně ověřené požární odolnosti zkušebních vzorků nebylo kritérium únosnosti R stanovováno.

Tabulka č. 11: Vybrané prvky, jejich vlastnosti a deklarované hodnoty požární odolnosti

Výrobce	DEK a.s.		AGROP NOVA a.s.	STORA ENSO	
Typ panelu	DEKPANEL D81	DEKPANEL D108	NOVATOP SOLID	CLT	CLT
Orientace zkoušení	vertikálně		vertikálně	vertikálně	horizontálně
Počet lamel [ks]	3	4	6	3	5
Tloušťka lamel [mm]	81 (27-27-27)	108 (27-27-27-27)	84 (9-24-9-9-24-9)	100 (30-40-30)	140 (40-20-20-20-40)
Spojování lamel	ocelové spojovací prostředky		PUR lepidlo	PUR lepidlo	PUR lepidlo
Opláštění	ne		2x FERMACELL tl. 10 mm	ne	ne
Požární odolnost	REI 30	REI 60	REI 60	REI 60	REI 60

Dle porovnání stanovených parametrů požární odolnosti s deklarovanými hodnotami jednotlivých panelů různého typu lze říct, že experimentálně zjištěné hodnoty požární odolnosti zkušebních vzorků se výrazně neliší od deklarovaných hodnot. Pro oba výrobky spojované ocelovými a dřevěnými spojovacími prostředky bylo dosaženo stejné doby požární odolnosti, zároveň je nutno zmínit, že parametr R nebyl experimentálně ověřován. U panelů spojovaných celoplošným lepením nebyla požární odolnost ve vodorovné poloze nalezena pro obdobnou tloušťku, nicméně pro lepený 5vrstvý panel o celkové tloušťce 140 mm (cca 2násobně větší tloušťka) činila požární odolnost rovněž i dvojnásobnou hodnotu, tj. 60 minut.

12. ZÁVĚR

V teoretické části této bakalářské práce jsem se zabývala popisem dřevěných konstrukcí a jejich chováním v závislosti ke zvýšeným teplotním expozicím, značením, stanovováním klasifikace v závislosti reakce na oheň a metodikou používanou pro stanovení požární odolnosti v České republice a ve vybraných zemích. Jsou zde popsány mezní stavy charakterizující vlastnosti požární odolnosti. Dále jsou zde rozebrány a popsány možné postupy, ať už výpočetní, či zkušební, díky kterým lze jednotlivé dřevěné konstrukce zařadit a klasifikovat vzhledem k jejich požární odolnosti. Z popisu konstrukčního a protipožárního řešení dřevěných budov ve světě je patrné, že se již dnes dřevo jako konstrukční materiál nevyužívá pouze pro nízkopodlažní zástavbu, ale také pro výstavbu masivních a vysokopodlažních budov.

Praktická část práce je zaměřena na stanovení metodiky a vyhodnocení požární odolnosti značně využívaných konstrukčních CLT prvků s nechráněnými povrchy. S ohledem na CLT panely s chráněnými povrchy, je předpokládáno, že se touto problematikou budu podrobně zabývat v navazující diplomové práci.

Hlavními kritérii pro stanovení požární odolnosti je kritérium únosnosti, celistvosti a izolace. Zkoušeny byly dvě třívrstvé mechanicky spojované CLT desky, které se od sebe lišily druhem použitého spojovacího materiálu. První CLT deska byla mechanicky spojována pomocí dřevěných, druhá pomocí ocelových spojovacích prostředků. Tyto zkušební vzorky byly vystaveny účinkům požáru ve zkušební peci. Parametr únosnosti R na zkušebních vzorcích nebyl stanovován. Oba prvky s použitím různých typů spojovacích prostředků vykazovaly obdobné hodnoty stanovených kritérii EI a to hodnoty EI 30 tzn. odolávají požárnímu zatížení po dobu 30 minut do porušení jedné z hodnot kritérii EI.

Jedním z dalších hlavních parametrů pro stanovení požární odolnosti je hodnota rychlosti zuhelnatění. Hodnoty rychlostí zuhelnatění byly odečítány a stanovovány z průběhů teplot naměřených pomocí termočlánků umístěných vně a na povrchu zkušebních těles. Experimentálně stanovené hodnoty rychlosti zuhelnatění nevykazují oproti standardním hodnotám značný rozdíl. Na zkušebních vzorcích byla zjištěna hodnota rychlosti zuhelnatění $\beta_0 = 0,69$ mm/min pro zkušební vzorek s dřevěnými spojovacími prostředky a $\beta_0 = 0,63$ mm/min pro zkušební vzorek s ocelovými vruty. Můžeme tedy říct, že se stanovené hodnoty rychlosti zuhelnatění velmi podobají normovým hodnotám. Minimální odchylky ve výsledné hodnotě rychlosti či hloubce zuhelnatění mohou být zapříčiněny například proměnnými hodnotami hustoty a vlhkosti zkušební vzorku, nebo také vlastnostmi prostředí, ve kterém je vzorek zkoušen, např. koncentrace kyslíku.

Na závěr byly stanovené hodnoty požární odolnosti zkušebních vzorků porovnávány s deklaroványmi hodnotami požární odolnosti komerčně dostupných výrobků od různých výrobců. Pro toto srovnání byly vybrány konstrukční prvky, které se svou skladbou a tloušťkou nejvíce podobají zkušebním vzorkům. Srovnání bylo ovšem pouze orientační z toho hlediska, že se zkušební vzorky od srovnávacích prvků lišily, a to počtem a tloušťkou lamel. Rovněž nebylo kompletně možné provést hodnocení, z toho důvodu, že v experimentálně ověřené požární odolnosti zkušebních vzorků nebylo kritérium únosnosti R stanovováno. Dle orientačního srovnání jsem došla k závěru, že se zkoušené vzorky lamelového dřeva při použití mechanických spojovacích prostředků z hlediska požární odolnosti podobají komerčně prodávanému sortimentu lepených CLT desek.

13. BIBLIOGRAFIE

- [1] Reinprecht L., Vidholová Z. *Termodrevo*. Zvolen: Šmíra print, 2011. ISBN 978-8087427-05-7.
- [2] Kuklík, Petr. *Dřevěné konstrukce*. Praha: Informační centrum ČKAIT, s. r. o., 2005. ISBN 80-86769-72-0.
- [3] P. Ptáček. *Ochrana dřeva ve stavbách*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2009. ISBN 978-80-247-1950-4.
- [4] *Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. FENGEL D., WEGENER G. Wood. Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Berlin, Germany: Walter de Gruyter, 1989. s. 26-226.
- [5] M. Pokorný, V. Kupilík. Přednáška. *Stavební materiály v ohni*. ČVUT v Praze
- [6] D, Fengel. Holz Roh-Werks 24 9-14, 98-109, 529-536.
- [7] M. Rusinová, T. Juráková, M. Sedláková. studijní opory MODUL M01. *Požární bezpečnost staveb*. Brno: VUT Brno, 2006.
- [8] Blass, Hans Joachim a Sandhaas, Carmen. *Timber engineering Principles for Design*. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 1995. str. 300. 978-3-7315-0673-7.
- [9] tzbinfo. *tzbinfo*. [Online] <https://www.tzb-info.cz/>.
- [10] ČSN EN 13501-1 . *Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb - Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň*. místo neznámé: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [11] B.Östman, E.Mikkola, R.Stein, A.Frangi, J.König, D.Dhiman, T.Hakkarainen, J.Bregulla. Technical guideline for Europe. *Fire safety in timber buildings*. Stockholm: SP Technical Research Institute od Sweden, 2010:19.
- [12] ČSN EN 13501-2. *Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb - Část 2: Klasifikace podle výsledků zkoušek požární odolnosti kromě vzduchotechnických zařízení*. místo neznámé : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [13] ČSN EN 1363-1. *Česká technická norma- Zkoušky požární odolnosti Část 1:Obecné požadavky*. místo neznámé: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
- [14] Wald, F a kolektiv. *Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí*. Praha: ČVUT, 2005. 80-01-03157-8.
- [15] Franco, J. T. Arch Daily. *Arch Daily*. [Online] 2019. <https://www.archdaily.com/916062/reaction-and-fire-resistance-how-are-materials-classified-in-the-event-of-a-fire>. 0719-8884.
- [16] Život, Nadace dřevo pro. Výzkumný projekt LČR. *Studie zaměřená na zhodnocení stávajícího stavu požadavků na požární bezpečnost dřevostaveb v ČR a v zahraničí*. Praha: autor neznámý, 2019.
- [17] Kuklík, Petr. https://www.youtube.com/watch?v=4isTvvvPRDa0&feature=emb_rel_pause&ab_channel=DrevoPortal. *Navrhování dřevostaveb na účinky požáru u nás a v zahraničí konference Forum dřevostavby*. Praha, 2019.
- [18] Andrea, Frangi. přednáška. *Fire resistance assessment of timber structures*. Zurich

- [19] UNMZ. Česká technická norma ČSN 730810. *Požární bezpečnost staveb -Společná ustanovení*. 2016.
- [20] Fermacell. Navrhování a provádění dřevostaveb. *Komplexní řešení pro konstrukce na bázi dřeva*. Praha 5: Fermacell, 2015.
- [21] Bautechnik, Österreichisches Institut für. OIB-330.2-012/19. *OIB-Richtlinie 2 Brandschutz*. místo neznámé : Österreichisches Institut für Bautechnik, 2019.
- [22] Zügner, D. DIE HOLZ-MASSIVBAUWEISE IM MEHRGESCHOSSIGEN. Graz, 2013.
- [23] Kuklík, Petr. přednáška. *Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí ČVUT*. Praha, 2005.
- [24] Council on Tall Buildings and Urban Habitat. *Council on Tall Buildings and Urban Habitat*. [Online] <https://www.skyscrapercenter.com/building/mjostarnet/26866#tab-overview>.
- [25] Abrahamsen, R. Mjøstårnet - Construction of an 81 m tall timber building. 23. *Internationales Holzbau-Forum IHF*. 2017.
- [26] Mjøstårnet - 18 storey timber building completed. 24. *Internationales Holzbau-Forum IHF*. 2018.
- [27] *DŘEVO&stavby PROFÍ speciál 2019/2020*. DŘEVO&stavby. Praha: PRO VOBIS, s.r.o. , 2019. 978-80-88311-01-0.
- [28] Moelven. *Moelven*. [Online] <https://www.moelven.com/mjostarnet/glulam-can-withstand-a-burnout-fire/>.
- [29] Daily SCANDINAVIAN . *Daily SCANDINAVIAN* . [Online] <https://www.dailyscandinavian.com/norway-will-home-worlds-highest-wooden-building/>.
- [30] Springer Link. *Springer Link*. [Online] <https://link.springer.com/article/10.1007/s00107-016-1022-5>.
- [31] R. N. Abrahamssen, K. A. Malo. STRUCTURAL DESIGN AND ASSEMBLY OF “TREET” . *STRUCTURAL DESIGN AND ASSEMBLY OF “TREET”*. Quebec, 2014.
- [32] GUAJARDO, A. E. M. CARBON FOOTPRINT OF THE TALLEST TIMBER BUILDING. [Online] 2016. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/78052/Mansilla%20Guajardo%2C%20Alonso%20E_Huella%20de%20Carbono%20del%20edificio%20m%20C3%A1s%20alto%20de%20estructura%20de%20madera.pdf?sequence=5&isAllowed=y.
- [33] CECOBOIS. *ORIGINE POINTE-AUX-LIÈVRES ECOCONDOS Quebec* . [Online] https://cecobois.com/wp-content/uploads/2020/04/CECO-11410_Etude_Cas_Origine_paysage_Ang_WEB.pdf.
- [34] CECOBOIS. *CECOBOIS*. [Online] <https://cecobois.com/projets/condos-origine/>.
- [35] *Holzmagazin*. GmbH, Starmühler Werbeagentur & Verlag. 2, Wien : Starmühler Werbeagentur & Verlag GmbH, 2015.
- [36] Dohnal, R. DŘEVOSTAVITEL. [Online] 15. 1 2021. <https://www.drevostavitel.cz/clanek/dreveny-mrakodrap-ve-vidni-bori-hranice-evropskeho-stavitelstvi>.
- [37] BUILD UP. *BUILD UP*. [Online] 2020. <https://www.buildup.eu/en/node/59616>.

- [38] Woschitzgroup. [Online] <https://www.woschitzgroup.com/en/projekte/hoho-vienna-wooden-tower/>.
- [39] M. Klippel, J. Schmid. Expert Meeting Cross-laminated timber. Kösching, 2017.
- [40] ResearchGate. [Online] https://www.researchgate.net/figure/Temperature-1-and-charring-rate-25-of-different-varieties-of-wood-protected-and-not_fig4_331226098.
- [41] Paulo B. Cachim, J. M. Franssen. Comparison between the charring rate model and the conductive model of Eurocode 5. Aveiro, 2008.

14. SEZNAM POUŽITÝCH NOREM

- ČSN 73 0810:2016 Požární bezpečnost staveb – Společná ustanovení
- ČSN 73 0802:2020 Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty
- ČSN 73 0821:2007 Požární bezpečnost staveb – Požární odolnost stavebních konstrukcí
- ČSN EN 13501-1:2019 Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň
- ČSN EN 13501-2:2017 Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 2: Klasifikace podle výsledků zkoušek požární odolnosti kromě vzduchotechnických zařízení
- ČSN EN 13823:2020 Zkoušení reakce stavebních výrobků na oheň – Stavební výrobky kromě podlahových krytin vystavené tepelnému účinku jednotlivého hořícího předmětu
- ČSN EN ISO 1716:2018 Zkoušení reakce výrobků na oheň – Stanovení spalného tepla (kalorické hodnoty)
- ČSN EN ISO 1182:2020 Zkoušení reakce výrobků na oheň – Zkouška nehořlavosti
- ČSN EN ISO 11925-2:2020 Zápalnost stavebních výrobků vystavených přímému působení plamene – Část 2: Zkouška malým zdrojem plamene
- ČSN EN 1363-1:2020 Zkoušky požární odolnosti – Část 1: Obecné požadavky
- ČSN EN 1365-2:2017 Zkoušení požární odolnosti nosných prvků – Část 2: Stropy a střechy
- ČSN EN 1990:2004 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1995-1-2:2006 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru
- EN 14135:2005 Obklady – Stanovení požárně ochranné účinnosti

15. Přílohy

Tabulka č. 10.1: Záznam teplot termoelektrických článků vzorku s dřevěnými spoji

Čas	Teplota v peci		Teplota povrchu	Teplota vzorku			
	T _p	T _s	TC0/povrch	TC1/20	TC2/20	TC3/40	TC4/40
[min]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
0	20	20	28	21	21	20	20
1	269	483	309	21	21	20	20
2	395	623	590	21	21	20	20
3	465	701	661	22	21	20	20
4	518	715	680	23	23	20	20
5	563	716	683	27	26	20	20
6	593	719	688	32	31	20	20
7	618	722	690	40	38	20	20
8	638	725	693	50	49	20	20
9	655	734	692	62	60	20	20
10	670	736	693	88	75	20	21
11	686	740	694	101	96	21	21
12	698	742	695	125	110	21	22
13	710	744	698	130	120	22	23
14	723	746	699	142	129	23	24
15	735	754	702	148	134	23	25
16	744	756	705	155	151	25	27
17	752	758	706	162	160	26	29
18	760	759	708	170	169	27	30
19	769	766	715	179	177	28	32
20	777	775	718	188	184	29	33
21	785	784	724	197	199	31	36
22	793	791	734	204	213	32	37
23	799	799	745	223	220	33	39
24	805	809	752	242	234	34	40
25	811	812	762	254	255	36	43
26	816	815	771	265	265	37	44
27	822	825	772	276	279	39	46
28	828	829	778	289	293	41	48
29	833	837	789	305	301	42	49
30	839	842	790	322	302	44	51
31	845	845	799	338	338	45	52
32	849	850	805	360	350	47	54
33	854	852	815	402	436	52	58
34	858	861	816	443	464	55	60
35	862	866	825	478	513	58	63
36	866	867	829	508	547	61	66
37	870	871	831	532	587	64	70
38	874	875	839	555	600	70	75
39	878	880	840	569	626	78	80

Čas	Teplota v peci		Teplota povrchu	Teplota vzorku			
	Tp	Ts		TC0/povrch	TC1/20	TC2/20	TC3/40
[min]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
40	882	882	844	583	653	80	81
41	886	887	851	601	685	81	86
42	890	892	853	619	707	82	87
43	894	896	863	636	724	89	92
44	898	900	865	694	738	105	110
45	901	904	868	717	744	116	123
46	904	906	876	730	753	126	129
47	907	908	878	743	762	135	138
48	909	912	880	753	770	140	150
49	912	913	883	760	795	158	152
50	915	918	883	767	802	161	158
51	918	920	887	778	810	181	173
52	921	923	887	782	825	193	181
53	924	924	887	786	839	211	195
54	927	926	890	800	841	235	226
55	930	929	894	829	853	240	235
56	933	936	894	836	864	261	251
57	936	938	895			273	260
58	939	940	896			291	283
59	941	942	895				

Tabulka č. 10.2: Záznam teplot termoelektrických článků vzorku s ocelovými vruty

Čas	Teplota v peci		Teplota povrchu	Teplota vzorku			
	Tp	Ts		TC0	TC1/20	TC2/20	TC3/40
[min]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
0	100	20	20	20	20	20	20
1	261	488	287	20	20	20	20
2	392	639	380	20	20	20	20
3	463	665	473	22	20	20	20
4	516	708	552	24	21	20	20
5	561	735	587	29	22	20	20
6	592	737	599	35	25	20	20
7	618	740	611	42	29	20	20
8	637	742	623	50	34	20	20
9	655	749	640	60	42	21	20
10	672	754	648	71	51	21	20
11	686	760	655	80	56	21	21
12	698	757	664	86	63	22	21
13	710	762	666	95	73	23	22
14	722	763	668	98	87	24	23
15	735	764	671	101	94	25	23
16	744	767	678	111	109	26	24
17	752	770	686	123	116	28	26

Čas	Teplota v peci		Teplota povrchu	Teplota vzorku			
	Tp	Ts	TC0	TC1/20	TC2/20	TC3/40	TC4/40
[min]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
18	760	772	700	128	123	29	27
19	768	777	703	133	130	30	28
20	777	785	712	146	139	32	30
21	785	796	724	153	148	33	31
22	793	803	734	169	154	34	32
23	799	812	744	179	166	36	34
24	805	818	760	191	180	37	35
25	811	826	762	206	196	38	37
26	816	830	774	221	217	40	38
27	822	833	781	239	230	41	39
28	828	839	788	253	251	42	41
29	833	840	796	281	276	44	42
30	839	842	811	289	280	47	46
31	845	844	816	298	285	49	48
32	849	846	825	302	298	55	53
33	853	848	826	311	308	59	56
34	858	852	827	324	310	63	60
35	862	855	829	329	326	68	64
36	866	859	831	340	350	72	68
37	870	865	835	357	364	76	72
38	874	870	837	370	370	79	75
39	878	869	838	408	398	81	77
40	882	875	842	421	405	84	79
41	886	877	851	469	420	86	82
42	890	884	862	498	457	89	86
43	894	888	864	520	500	95	92
44	898	896	868	576	558	99	95
45	901	902	878	590	581	103	100
46	904	905	884	603	600	107	107
47	906	908	886	620	634	110	119
48	909	914	888	663	671	128	136
49	912	916	889	679	690	134	140
50	915	919	889	698	713	149	157
51	918	920	890	716	731	156	170
52	921	922	891	730	750	170	182
53	924	924	891	746	768	187	196
54	927	926	892	769	793	199	209
55	930	931	894	792	805	212	215
56	933	936	896	806	839	236	242
57	936	936	898			251	259
58	939	940	899			263	270
59	941	948				275	281
60	942	945				289	287