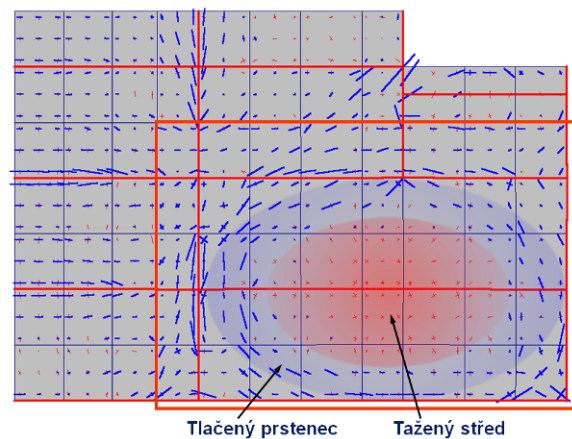




POŽÁRNÍ NÁVRH ČÁSTEČNĚ CHRÁNĚNÉHO OCELOBETONOVÉHO STROPU POMOCÍ SOFTWARE



František Wald, Jan Bednář, Jiří Žižka,
Olivier Vassart, Bin Zhao

Texty projektu FRACOF⁺

Innovation transfer on Fire Resistance Assessment of Partially Protected Composite Floor to SME's and Universities Leonardo da Vinci Transfer of Innovation n°2009-1-LU1-LEO 05-0021

POŽÁRNÍ NÁVRH
ČÁSTEČNĚ CHRÁNĚNÉHO
OCELOBETONOVÉHO STROPU
POMOCÍ SOFTWARE

Wald F., Bednář J., Žižka J., Vassart O., Zhao B.
V Praze 25. 1. 2011

Na přední straně obálky je model rohové zkoušky č. 3. krajního požárního úseku v Cardingtonu programem VULCAN, prof. I. Burgess, na kterém je vektory zvýrazněna tlačaná a tažená oblast desky, červeně tah a modře tlak. Zadní strana obálky dokumentuje citlivost návrhu na volbu teplotní křivky při modelování požáru, která je ukázána v kapitole 8.4 monografie.



**Požární návrh
částečně chráněného ocelobetonového stropu
pomocí software**

Wald F., Bednář J., Žižka J., Vassart O., Zhao B.

Monografie vznikla s podporou projektu FRACOF⁺, Innovation transfer on Fire Resistance Assessment of Partially Protected Composite Floor to SME's and Universities Leonardo da Vinci, Transfer of Innovation n°2009-1-LU1-LEO 05-00219, viz fire.fsv.cvut.cz/fracof.

Tiskárna Nakladatelství ČVUT v Praze
Leden 2011

ISBN 978-80-01-04759-0

250 výtisků, 72 stran, 7 tabulek, 61 obrázků

Obsah

1 Úvodem	5
2 Požární zkoušky	6
3 Podklady návrhu	
3.1 Požární bezpečnost	8
3.2 Konstrukce	8
3.3 Rozdělení stropní konstrukce	13
3.4 Kombinace a zatížení	13
3.5 Vystavení požáru	15
4 Požadavky na konstrukční prvky	
4.1 Dělení stropu na části	18
4.2 Stropní deska a nosníky	19
4.3 Vyztužení	22
4.4 Návrh nespřážených obvodových nosníků	25
4.5 Sloupy	26
4.6 Přípoje	26
4.7 Prostorová tuhost	29
5 Požární úseky	
5.1 Nosníky nad požárně dělícími stěnami	30
5.2 Návrh nosníku	31
5.3 Dělení na požární úseky	31
6 Řešený příklad	
6.1 Zadání	32
6.2 Požární návrh stropu	37
6.3 Vyztuž	46
6.4 Požární návrh obvodových nosníků	46
6.5 Požární ochrana sloupů	47
7 Požární návrh stropu experimentální budovy v Cardingtonu	
7.1 Experimentální budova	48
7.2 Zkoušený požární úsek	50
7.3 Zatížení	51
7.4 Měření	52
7.5 K návrh stropu v Cardingtonu programem FRACOF	56
7.6 Přesnost výpočtu	60
8 Požární návrh stropu experimentální budovy v Mokrsku	
8.1 Část administrativní budovy pro experiment	61
8.2 Modelování pokročilým modelem	63
8.3 K návrhu stropu v Mokrsku programem FRACOF	64
8.4 Volba teplotní křivky	69
Literatura	71

1 Úvodem

Pozorování chování konstrukcí při skutečných požárech a požární zkoušky velkého rozsahu ukázaly, že účinek požáru na celé spřažené ocelobetonové prutové konstrukce je jiný než ukazují zkoušky požární odolnosti samostatných konstrukčních prvků. Konstrukce jako celek může mít vyšší požární odolnost a výsledky zkoušek požární odolnosti jednotlivých prvků lze zpřesnit zkoušením/modelováním větších celků.

Tato publikace ukazuje použití softwaru FRACOF, který je založen na jednoduchém modelu, který byl vyvinut na SCI na základě pozorování a vyhodnocení programu požárních zkoušek velkého rozsahu v Cardingtonu BRE, které se uskutečnily v letech 1995 až 2003. Předpoklady výpočtů jsou konzervativní a řešení je omezeno na konstrukce, které jsou podobné zkoušeným, tj. ocelová prutová konstrukce s ocelobetonovými stropy. Při modelování chování celých stropů lze určit, které prvky mohou při zachování požadovaného stupně požární odolnosti zůstat nechráněné a které je třeba chránit.

V práci se požár modeluje pomocí nominální normové teplotní křivky i pokročilejšími modely, které jsou shrnuty v ČSN EN 1991-1-2.

V rámci projektu FRACOF byly, kromě této publikace a softwaru, připraveny teoretické podklady, které obsahují kromě popisu analytického modelu i podrobnosti o požárních zkouškách a o jejich vyhodnocení metodou konečných prvků.

Materiál byl připraven v rámci evropského projektu FRACOF a vychází v národních verzích partnerů projektu, které byly lokalizovány pro jednotlivé národní předpisy ze společného evropského podkladu editovaného Dr. Bin Zhao ze CTICM Paříž a Dr. Oliviere Vassartem z ArcelorMittal Esch. Recenze monografie se laskavě ujali plk. Ing. Rudolf Kaiser, Ing. Jan Beneš, Ph.D. a Ing. Petra Studecká, Ph.D.

V Paříži, leden 2011

2 Požární zkoušky

Výpočet požární odolnosti ocelobetonových stropů v publikaci vychází z poznatků získaných při požárech budov a požárních zkouškách konstrukcí ve skutečném měřítku, viz [1], [2] a [3]. Navržené řešení lze podle členění v konstrukčních Eurokódech zařadit mezi pokročilé analytické metody.

Pro vícepodlažní budovy se v národních předpisech pro stavby požaduje požární odolnost nosné konstrukce R15 až R90. Požární odolnost lze stanovit pomocí požárních zkoušek prvků podle zkušebních norem nebo výpočtem podle platných návrhových norem, v tomto případě zejména ČSN EN 1991-1-2 [4], ČSN EN 1993-1-2 [5] a ČSN EN 1994-1-2 [6]. Při požární zkoušce samostatného a nechráněného ocelového nosníku průřezu I nebo H se dosahuje požární odolnosti 15 až 20 min. Tradičně se ocelové desky a nosníky konstrukce chrání spřažením s betonovou částí konstrukce, požárně odolnými deskami, nástříky nebo zpěňujícími nátěry.

Požární zkoušky velkého rozsahu, viz [7], které se uskutečnily v řadě zemí, ukázaly, že ocelobetonové stropy s nechráněnými ocelovými prvky dosahují vyšší požární odolnosti než by u zkoušek v peci s izolovanými prvky. Zprávy ze skutečných požárů ukazují, že ochrana ocelových prvků může být v některých případech použita při jednoduchém řešení bez uvažování namáhání konstrukce nevhodně. Zejména požární zkoušky v Cardingtonu umožnily přehodnotit chování skutečných budov za požáru a využít i požární odolnosti nechráněných ocelobetonových konstrukcí.

Návrhové postupy v publikaci jsou připraveny i pro pokročilé modely požáru, lze je ale použít i pro modely požáru pomocí nominální normové křivky, jak bylo doloženo při zkoušce stropu ve skutečném měřítku v rámci projektu FRACOF. Při návrhu vícepodlažních budov s ocelobetonovou konstrukcí jsou výhody největší.

Návrhem se stanovuje požární odolnost požárně nechráněné konstrukce. Požadavky v publikaci zahrnují i vhodné konstrukční řešení, které odpovídá danému požárně bezpečnostnímu návrhu. Řešení může přinést ekonomické úspory.

Software FRACOF umožňuje modelovat požár pomocí nominální normové teplotní křivky i parametrické teplotní křivky podle přílohy A normy ČSN EN 1991-1-2, kdy se uvažuje s velikostí požárního úseku, velikostí otvorů a požárním zatížením. Další teplotní křivku lze načíst z textového souboru, který je výstupem jiného modelu rozvoje teploty plynu v požárním úseku.

Zkoušená budova v Cardingtonu a její konstrukce jsou ukázány na obr. 1a a 2.

Pomůcka udává konstrukční požadavky pro řešení pomocí softwaru FRACOF, který lze volně získat na www.arcelormittal.com/sections.



Obr. 1 Zkušební budova v Cardingtonu před betonáží desek



Obr. 2 Pohled na požárně nechráněnou ocelovou konstrukci zkušební budovy v Cardingtonu

3 Podklady návrhu

Kapitola shrnuje principy a předpoklady jednoduché analytické návrhové metody pro stanovení požární odolnosti stropu. Podrobnější informace jsou uvedeny v dokumentu [7]. V kapitole je i vymezen typ konstrukce, pro kterou je tento návrh vhodný.

Návrhová metoda byla vypracována výzkumem problematiky pomocí požárních zkoušek, zkoušek při běžné teplotě a analýzou metodou konečných prvků.

3.1 Požární bezpečnost

Jednoduchá návrhová metoda je připravena, aby byly splněny základní požadavky na požární bezpečnost:

- byla dosažena požadovaná spolehlivost bezpečnosti osob, hasičů a šíření požáru vně požárního úseku,
- nevznikly nepřijatelné deformace stropu, který je vystaven požáru, které by způsobily selhání celistvosti požárně dělících konstrukcí. Konstruktivní řešení zajistí, že požár se nebude šířit vodorovně ani svisle.

3.2 Konstrukce

Výpočet jednoduchou analytickou metodou je určen pro spřaženou ocelobetonovou nosnou konstrukci s ocelobetonovou deskou s nosníky za předpokladu, že se jedná o:

- prutovou konstrukci, která je vyztužena proti vodorovnému posunu, a není citlivá na ztrátu stability vytvořením kloubového mechanismu.
- styčníky prutové konstrukce, které jsou navrženy jako kloubové,
- ocelobetonovou stropní desku, která je tvořena ocelovým trapézovým plechem, jednou vrstvou výztužné sítě a normálním nebo lehkým betonem navrhnutým v souladu s ČSN EN1994-1-1 [9],
- stropní nosníky, které jsou navrženy tak, aby působily společně se stropní deskou a podle ČSN EN 1994-1-1.

Metodiku nelze přímo bez dalšího rozšíření použít pro:

- stropy, které jsou řešeny pomocí prefabrikovaných betonových desek,
- vnitřní stropnice, které byly navrženy jako nespřažené, nosníky na okraji desky nemusí být spřažené,
- nosníky obsahující otvory.

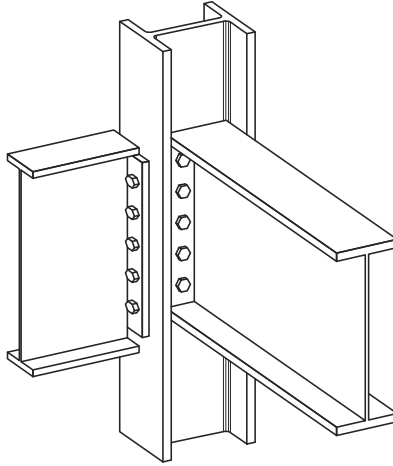
3.2.1 Styčníky

Při návrhu se předpokládá, že styčníky jsou kloubové a nepřenáší ohybové momenty.

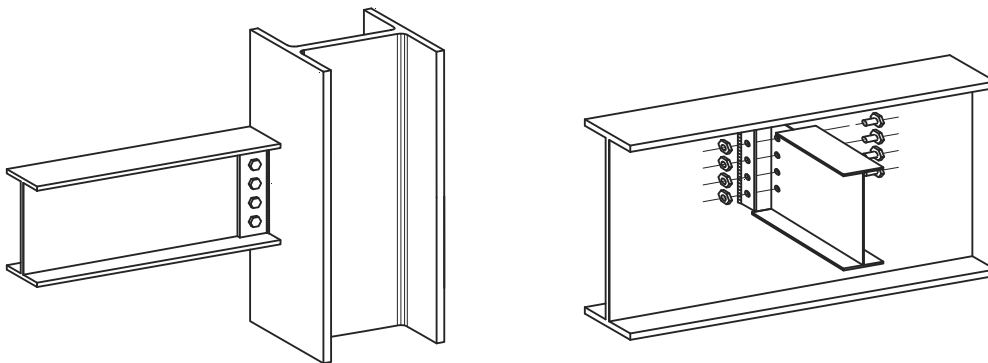
Přípoje nosníku na sloup, které lze považovat za kloubové jsou zejména:

- krátkou čelní deskou, viz obr. 3,
- deskou na stojně, viz obr. 4,
- úhelníky na stojně, viz obr. 5

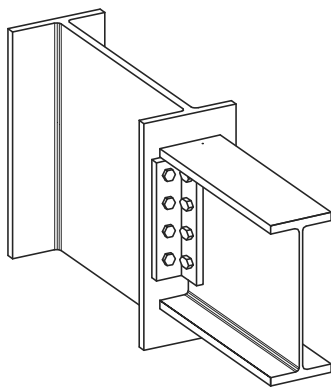
Návrhu částí kloubových přípojí je popsán v části 4.6 této monografie.



Obr. 3 Příklad přípoje krátkou čelní deskou



Obr. 4 Příklad přípoje deskou na stojně



Obr. 5 Příklad přípoje úhelníky na stojně

3.2.2 Stropní deska a nosníky

Výpočet lze použít pro trapézový ocelový plech do výšky 80 mm s tloušťkou betonové desky nad ocelovým plechem od 60 do 90 mm. Požární odolnost ocelového plechu, který při požáru dosahuje teploty plynu a separuje se od betonu desky, se při návrhu zanedbává. Ocelový plech účinně brání otryskávání betonu na spodní straně desky. Předpokládaná stropní konstrukce je znázorněna na obr. 6.

Výpočet lze použít pro izotropní nebo ortotropní výztužnou síť, tj. síť stejné nebo rozdílné průřezové plochy v pravouhlých směrech. Třída oceli pro výztužnou síť by měla být upřesněna v souladu s ČSN EN 10080. Aby výztužná síť umožnila velké průhyby desky, požaduje se tažnost třídy B nebo třída C. Software FRACOF lze použít pouze pro jednu svařovanou výztužnou síť, tj. nelze jej využít pro více než jednu vrstvu výztuže. Výztuž v žebrech ocelobetonové desky, která zajišťuje ohybovou tuhost desky při požáru, není při tomto návrhu požadována.

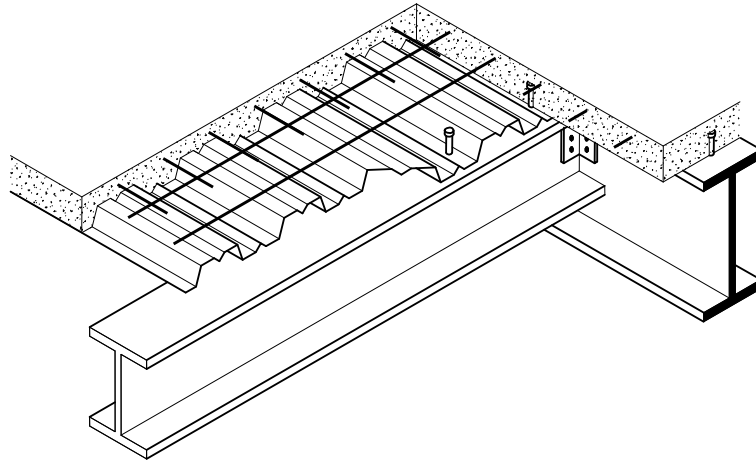
Software zahrnuje kategorii A i B běžně vyráběných sítí podle národní norem VB [11], a [12], viz tab. 1, a sítě podle francouzských národních norem [13] a [14], viz tab. 2. Dále lze v softwaru FRACOF počítat i s uživatelsky definovanou velikostí svařované sítě podle jednotlivých národních požadavků.

Tab. 1 Sítě na britském trhu podle BS 4483 [11],

Druh	Oka (mm)	Hmot- nost (kg/m ²)	Podélné pruty		Příčné pruty	
			Průměr (mm)	Plocha (mm ² /m)	Průměr (mm)	Plocha (mm ² /m)
A142	200x200	2.22	6	142	6	142
A193	200x200	3.02	7	193	7	193
A252	200x200	3.95	8	252	8	252
A393	200x200	6.16	10	393	10	393
B196	100x200	3.05	5	196	7	193
B283	100x200	3.73	6	283	7	193
B385	100x200	4.53	7	385	7	193
B503	100x200	5.93	8	503	8	252

Tab. 2 Sítě na francouzském trhu

Druh sítě	Oka sítě (mm)	Hmotnost (kg/m ²)	Podélný drát		Příčný drát	
			Průměr (mm)	Plocha (mm ² /m)	Průměr (mm)	Plocha (mm ² /m)
ST 20	150x300	2.487	6	189	7	128
ST 25	150x300	3.020	7	257	7	128
ST 30	100x300	3.226	6	283	7	128
ST 35	100x300	6.16	7	385	7	128
ST 50	100x300	3.05	8	503	8	168
ST 60	100x300	3.73	9	636	9	254
ST 15 C	200x200	2.22	6	142	6	142
ST 25 C	150x150	4.03	7	257	7	257
ST 40 C	100x100	6.04	7	385	7	385
ST 50 C	100x100	7.90	8	503	8	503
ST 60 C	100x100	9.98	9	636	9	636



Obr. 6 Řez ocelobetonovou stropní konstrukcí

Požární odolnost stropní konstrukce ovlivňuje průřez nosníku. Návrh vychází ze zvolené geometrie průřezu, jeho materiálu a smykové únosnosti spřažení nosníků ve stropní desce. Rozhraní softwaru FRACOF umožňuje uživateli výběr ze seznamu otevřených průřezů, které jsou dostupné na britském, evropském a americkém trhu.

3.3 Rozdělení stropní konstrukce

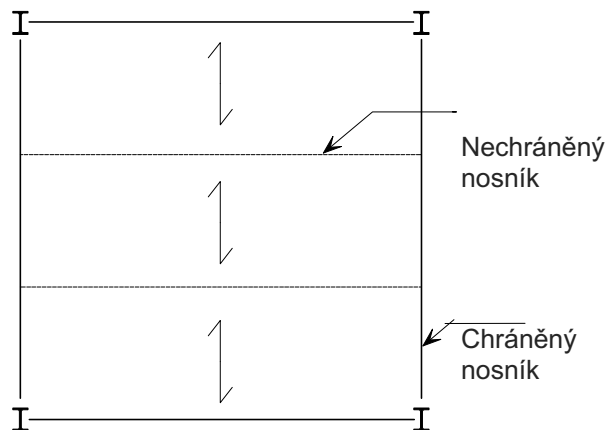
Pro výpočet se stropní deska dělí do několika oblastí, jak je vidět na obr. 7. Nosníky na okraji oblasti jsou navrženy požárně chráněny, aby dosáhly takové požární odolnosti, která se požaduje pro stropní desku.

Oblast ohraničená požárně chráněnými nosníky by měla splňovat následující podmínky:

- být obdélníková,
- být uložena na všech stranách na nosníky,
- uvnitř oblasti stropnice navrženy jen v jednom směru,
- sloupy by se neměly nacházet v oblasti; měly by být umístěny po jejím obvodě,
- pro větší požární odolnost než 60 min nebo při použití parametrické teplotní křivky by všechny sloupy měly být spojeny s alespoň jedním požárně ochráněným nosníkem v každém kolmém směru.

Stropnice uvnitř oblasti se nemusí požárně chránit a požární odolnost stropní desky včetně jejich únosnosti za požární situace se ověří programem FRACOF. Vhodná velikost a rozmístění nechráněných stropních nosníků přispěje k únosnosti stropní konstrukce v požární situaci.

Příklad jednoduché stropní konstrukce je ukázán na obr. 7.



Obr. 7 Příklad navrhované oblasti stropní konstrukce

3.4 Kombinace zatížení

Pro ověření požárního odolnosti se využije kombinace zatížení pro nahodilé návrhové situace, které jsou uvedeny v čl. 6.4.3.3 a tab. A1.3 normy ČSN EN 1990, viz [15]. Pro nepříznivé účinky stálého zatížení, bez předepjetí, se uvažuje kombinace zatížení

$$\sum G_{k,j,\text{sup}} + A_d + (\psi_{1,1} \text{ or } \psi_{2,1})Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i}Q_{k,i}$$

kde

$G_{k,j,\text{sup}}$ je nepříznivé stálé zatížení

A_d nahodilé stálé zatížení

$Q_{k,1}$ a $Q_{k,i}$	přidané proměnné zatížení, hlavní a ostatní
$\psi_{1,1}$	součinitel pro častou hodnotu proměnného zatížení
$\psi_{2,i}$	součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení.

Užití součinitelů $\psi_{1,1}$ nebo $\psi_{2,1}$ pro $Q_{k,1}$ je stanoveno v příslušné národní příloze. Pro reprezentativní hodnotu proměnného zatížení Q_1 se v ČR použije kvazistálá hodnota $\psi_{2,1}Q_1$. Podle charakteru konstrukce budovy a jejího umístění se doporučuje, zejména u halových objektů, pro zatížení sněhem a větrem během působení požáru uplatnit použití časté hodnoty $\psi_{1,1}Q_1$. Doporučené hodnoty součinitelů pro ČR $\psi_{1,1}$ a $\psi_{2,1}$ jsou uvedeny v EN 1990, tab. A1.1.

Hodnota součinitele ψ pro proměnné zatížení jsou na základě jeho výskytu doporučeny pro budovy v tab. A1.1 normy ČSN EN 1990. Hodnoty součinitele ψ pro podlahy budov ve VB a Francii jsou shrnuty v tab. 3. Pro rovnoměrně rozdělené zatížení pro přemístitelné příčky je uvedeno v čl. 6.3.1.2(8) normy ČSN EN 1991-1-1 [16]:

Přemístitelné příčky hmotnosti $\leq 1,0$ kN/m délky stěny $q_k = 0,5$ kN/m²

Přemístitelné příčky hmotnosti $\leq 2,0$ kN/m délky stěny $q_k = 0,8$ kN/m²

Přemístitelné příčky hmotnosti $\leq 3,0$ kN/m délky stěny $q_k = 1,2$ kN/m².

Pro přemístitelné příčky s hmotností větší než 3,0 kN/m délky stěny se počítá s jejich umístěním.

Doporučené hodnoty pro dané proměnné zatížení na strop je uvedeno v tab. 6.2 normy ČSN EN 1991-1-1. Hodnoty jsou upřesněny v národních přílohách. Tab. 4 ukazuje doporučené hodnoty v textu normy a v přílohách pro Velkou Británii a Francii pro dané zatížení kancelářské podlahy. Pro Českou republiku se uvažuje s normou doporučenými hodnotami.

Tab. 3 Hodnoty součinitele ψ doporučené v národních přílohách

Druh provozu	Pro Českou republiku		Pro Velkou Británii		Pro Francii	
	ψ_1	ψ_2	ψ_1	ψ_2	ψ_1	ψ_2
Domácnosti, kanceláře a dopravní ploch kde: 30 kN < hmotnost vozidla ≤ 160 kN	0,5	0,3	0,5	0,3	0,5	0,3
Skladovací plochy	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8
Jiné*	0,7	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6

*Klimatické účinky nejsou zahrnuty.

Tab. 4 Hodnoty zatížení v kancelářích doporučené v národních přílohách

Kategorie oblasti	Pro Českou republiku		Pro Velkou Británii		Pro Francii	
	q_k (kN/m ²)	Q_k (kN)	q_k (kN/m ²)	Q_k (kN)	q_k (kN/m ²)	Q_k (kN)
B-kancelářské plochy	3,0	4,5	2,5* nebo 3,0**	2,7	3,5 – 5,0	15,0

* Nadzemní podlaží

**Přízemní nebo podzemní podlaží

3.5 Vystavení požáru

Postup návrhu lze použít pro budovy, v kterých konstrukční části mohou být vystaveny požáru podle nominální normové teplotní křivky, parametrické teplotní křivky nebo pokročilého modelu požáru podle ČSN EN 1991-1-2. Teplotní křivku lze do softwaru FRACOF vložit ve formě textového souboru.

Při přípravě řešení je třeba dbát na požadavky národních předpisů o únikových cestách.

3.5.1 Požární odolnost

Požární zkoušky v Cardingtonu simulovaly skutečný požár hořením hranic dřeva. Pro model požáru pomocí nominální normové teplotní křivky bylo řešení ověřeno numericky.

Požadované doby požární odolnosti prvků konstrukce jsou stanoveny v požárně technickém řešení objektu. Hodnoty v některých národních předpisech jsou uvedeny v tab. 5 a 6. Pro konstrukční prvky většiny dvoupodlažních budov se požaduje 30 min požární odolnosti a v budovách mezi třemi a pěti podlažními se požaduje 60 min.

Pro požárně dělící konstrukce se v budovách někdy pro jejich prvky požaduje požární odolnost nad 120 min pro vystavení požáru podle nominální normové teplotní křivky [1].

Ve většině předpisů se zjednodušeně předpokládá, že pro ocelobetonové stropy budov lze uvažovat s požární odolností 15 min.

Tab. 5 Požadavky na požární odolnost dokumentu B pro Anglii a Wales

	Požární odolnost (min)				Výška horního podlaží neobsahuje Horní střešní rovinu
	Pro výšku horního patra (m)				
	<5	≤18	≤30	>30	
Obytné domy	30	60	90	120	<p>Výška horního podlaží měřena od horního stropu vrchní strany podlahy k terénu na nejnižší straně budovy</p>
Kanceláře	30	60	90	120*	
Obchody, komerční prostory, montážní a rekreační	30	60	90	120*	
Uzavřené parkoviště	30	60	90	120*	
Otevřená parkoviště	15	15	15	60	
Pro sprinklery se umožňuje snížit dobu požární odolnosti z 60 na 30 min a z 90 na 60 min pro nejvíc exponované prvky.					
*Sprinklery jsou požadovány, ale požární odolnost stropu může být je 90 min.					

Tab. 6 Shrnutí požadavků požární odolnosti ve francouzských národních předpisech

Bytový objekt		< 2 patra	2patra < ... ≤ 4 patra	4 patra < ... ≤ 28 m	28 m < H < 50 m	> 50 m
		R15	R30	R60	R90	R 120
		Přízemí		Výška horního patra ≤ 8 m	Výška horního patra > 8 m	Výška horního patra > 28 m
Kancelář ¹		0			R60	R 120
Obchody, komerční prostory, montážní a rekreační	< 100 osob	0			R60	R120
	< 1500 osob	R30			R60	
	> 1500 osob	R30	R60	R90		
		Přízemí	> 2 patra	Výška horního patra > 28 m		
Uzavřené parkoviště		R30	R60	R90		
Otevřené parkoviště						

Poznámka: 1. Kanceláře uzavřené pro veřejnost

H je výška horního patra

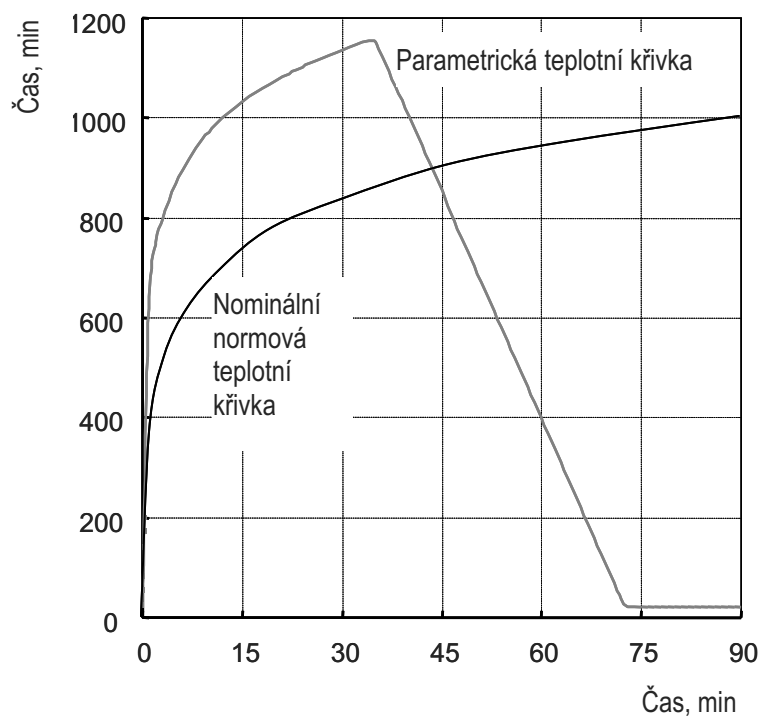
3.5.2 Parametrická teplotní křivka

Program FRACOF umožňuje využít parametrické teplotní křivky podle přílohy A k normě ČSN EN 1991-1-2. Pomocí parametrické teplotní křivky se při rozdělení teploty přihlédne k:

- velikosti požárního úseku
 - délce
 - šířce
 - výšce
- výšce a ploše otvorů:
 - výšce
 - délce
 - koeficientu otvorů
- množství hořavin a jejich rozdělení v prostoru
 - požárnímu zatížení
 - součiniteli hoření
 - rychlosti uvolňování tepla
- tepelným vlastnostem obvodových konstrukcí.

Teplota při modelování požáru parametrickou teplotní křivkou může růst v počátečním stadiu rychleji než nominální normovou teplotní křivkou, ale jakmile palivo vyhoří, teplota pochopitelně klesá. Teplota při modelování nominální normovou teplotní křivkou roste neustále.

Nominální normová a parametrická teplotní křivka jsou znázorněny na obr. 8.



Obr. 8 Porovnání příkladu parametrické a nominální normové teplotní křivky

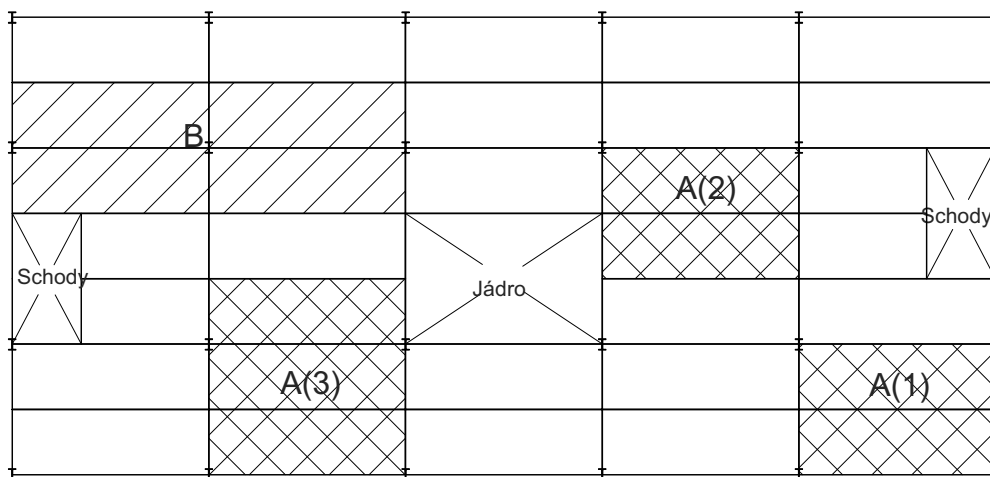
4 Požadavky na konstrukční prvky

4.1 Dělení stropu na části

Pro výpočet požární odolnosti lze konstrukci stropu rozdělit na části, viz kapitola 3.3. Rozdělení podlaží na části je ukázáno na obr. 9. Požární odolnost části stropu, kterou jsou označeny 'A', lze stanovit programem FRACOF. Pro části označené 'B' program nelze použít, protože obsahuje sloup a nosníky v oblasti nejsou na celé rozpětí ve stejném směru. Jednoduchá oblast stropu na obr. 10 ukazuje rozpětí nosníků, které jsou navrženy programem FRACOF. Předpokládá se, že zatížení podlahy je přenášeno stropnicemi do průvlaků.

Předkládaná metoda předpokládá, že při zvýšené teplotě za požáru odolnost nechráněných stropních nosníků podstatně klesne a ocelobetonová deska stropu začne působit dvousměrně, uložena po obvodě prostě. Aby se zajistilo, že deska dosáhne membránového působení, spočítá se v programu FRACOF momenty působící na nosníky ze zatížení na oblast požárního návrhu. Únosnost obvodových nosníků je ověřena stupněm využití a příslušné kritické teploty. Požární ochrana nosníků se navrhne pro danou kritickou teplotu pro a doby požární odolnosti stropu požadovanou národními předpisy. Kritická teplota a stupeň využití pro jednotlivý obvodový nosník se udá pro strany A až D požární oblasti, viz obr. 10.

V kapitole 3.2.2 je uvedeno, že programu FRACOF je vhodný pro požadovanou požární odolnost 60 min nebo větší. Hranice požárních úseků mají v tomto případě odpovídat rozdělení sloupů a okrajové nosníky se uvažují požárně chráněné. Pro požární odolnost 30 min nemusí požární úsek odpovídat poloze sloupů. Např. v tab. 7, oblasti A2 a A3 mají jenom dva sloupy v rozích a lze je uvažovat pro stropy požárních úseků s požadavkem na požární odolnost ne větším než 30 min.



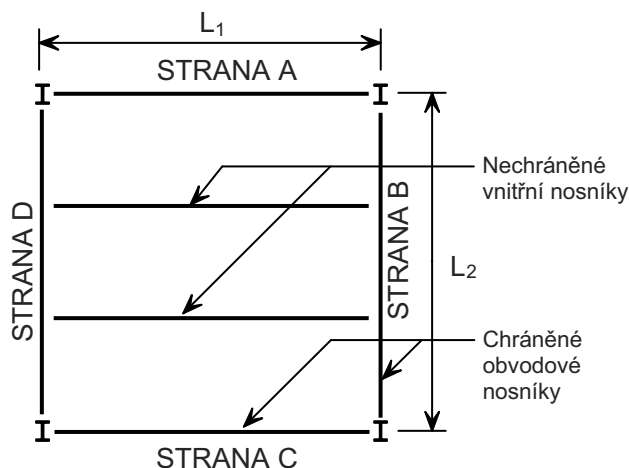
Vysvětlivky k obrázku

A: Oblasti, které lze navrhovat programem FRACOF B: program FRACOF nelze využít

A(1) bez požadavku na dobu požární odolnosti

A(2) & A(3) jen pro požární odolnost do 0 min

Obr. 9 Oblasti stropu vhodné k ověření jednoduchou metodou



Obr. 10 Určení rozponu 1 (L_1) a 2 (L_2) umístění nosníku při požadované požární odolnosti 60 min

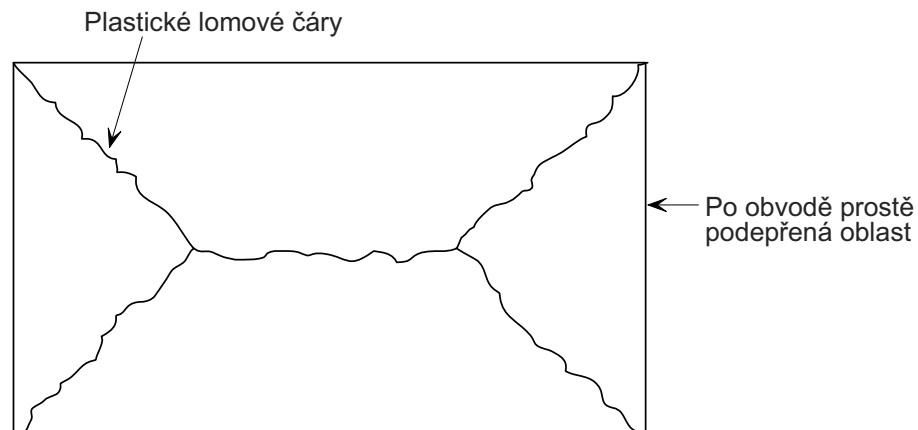
4.2 Stropní deska a nosníky

Jednoduchá návrhová metoda v programu FRACOF předpokládá, že navrhovaná oblast stropu má odpovídající podporu na obvodě. Tohoto se dosáhne požární ochranou obvodových nosníků oblasti stropu. Pro ověření únosnosti se programem počítá kritická teplota obvodových nosníků pro dané zatížení na oblast stropu.

4.2.1 Požární návrh stropní desky

Únosnost ocelobetonové stropní desky

Při výpočtu únosnosti oblasti se odolnost ocelobetonové desky a nechráněných nosníků počítá odděleně. Předpokládá se, že deska je podél obvodu oblasti stropu nespojitá. Zatížení je přenášeno ohybovým působením ocelobetonové desky uvnitř oblasti stropu. Stanoví se pro daný tvar mechanismu plastických lomových čar, viz obr 11.



Obr. 11 Předpokládaný mechanismus lomových čar k výpočtu požární odolnosti desky

Požární odolnost tažené membrány se zvětšujícími průhyby zvyšuje. Průhyby desky jsou omezeny porušením celistvosti při přetržení výztuže napříč kratšího rozpětí desky nebo rozdrčení betonu v rohách desky, viz obr. 12. Velikost průhybu se ve výpočtu uvažuje včetně přírůstku od teplotního zakřivení a napětí ve výztuži

$$w = \frac{\alpha (\theta_2 - \theta_1) l^2}{19,2 h} + \sqrt{\left(\frac{0,5 f_y}{E_a}\right) \frac{3 L^2}{8}}$$

Průhyb se omezuje deformací výztuže výrazem

$$w \leq \frac{\alpha (\theta_2 - \theta_1) l^2}{19,2 h} + \frac{l}{30}$$

kde

$(\theta_2 - \theta_1)$ je rozdíl teplot mezi horním a dolním povrchem desky °C

L delší rozměr stropní návrhové zóny

l kratší rozměr stropní návrhové zóny

f_y mez luzu ve výztužné síti

E modul pružnosti ocele

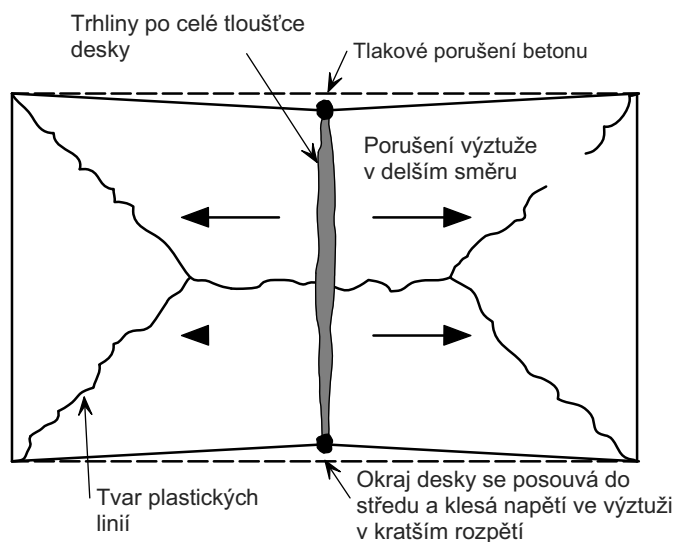
h tloušťka ocelobetonové desky

α koeficient tepelné roztažnosti betonu.

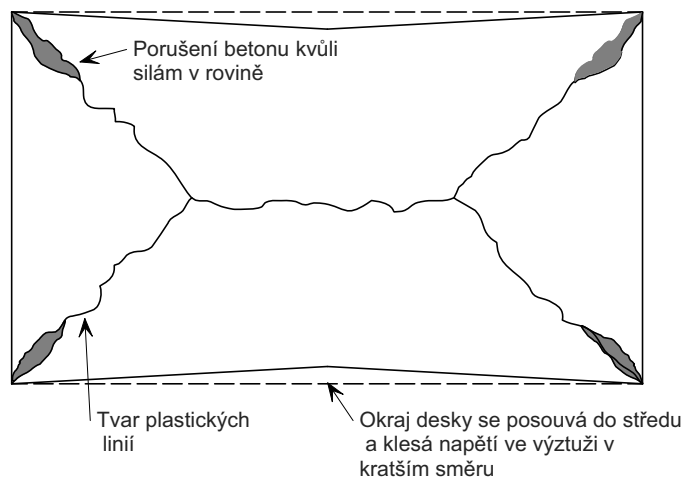
Zkoušky prokázaly, že tato stanovená velikost průhybu bude menší než průhyb při ztrátě únosnosti desky. Předpovězena odolnost je konzervativní.

Celkový průhyb desky se omezuje dále výrazem

$$w \leq \frac{L+l}{30}$$



(a) Porušení výztuže



(b) Rozdrcení betonu

Obr. 12 Druhy porušení oblasti stropní konstrukce

Ohybová únosnost nechráněných ocelobetonových nosníků se pro stanovení požární odolnosti stropu připočte k membránové únosnosti desky.

Celistvost a izolační schopnost kompositní desky

Program FRAKOF nekontroluje celistvost a izolační schopnost stropní desky. Při návrhu je třeba samostatně ověřit splnění obou kritérií pro danou tloušťku desky v souladu s doporučeními uvedených v EN 1994-1-2.

Pro zajištění celistvosti ocelobetonové desky je třeba zejména dbát na správné kotevní přesahy výztužné sítě. Zvláště důležité jsou přesahy v oblasti nechráněných nosníků a okolo sloupů. Požadavky na kotevní délky a umístění výztužné sítě jsou uvedeny v kapitole [4.3].

4.2.2 Požární návrh obvodových nosníků

Obvodové nosníky oblasti, na obr. 10 označeny A až D, mají dosáhnout požární odolnosti požadované pro stropní desku, aby zajistili její svislé podepření po obvodu. Nosníky se obvykle navrhují požárně chráněné.

Program FRACOF počítá návrhový účinek zatížení na obvodové nosníky, momentovou únosnost nosníku za běžné teploty a stupeň využití, podle čl. 4.2.4 v normě ČSN EN 1993-1-2:

$$\mu_0 = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,0}}$$

kde

$E_{fi,d}$ je návrhový účinek zatížení na nosník za požáru

$R_{fi,d,0}$ návrhová odolnost nosníku v čase $t = 0$.

Ze stupně vyžití se dále stanoví kritická teplota spodní pásnice obvodového nosníku. Tato kritická teplota je ve výstupu z programu FRACOF pro danou požární ochranu pro všechny obvodové nosníky oblasti. Podrobnosti výpočetní metody lze nalézt v podkladech projektu, viz [7].

Pro obvodový nosník se oblastmi s membránovým působením po obou stranách, se bere nižší hodnota kritické teploty v návrzích přilehlých oblastí. Postup pro obvodový nosník, sdílený dvěma oblastmi s membránovým působením je ukázána na příkladu v kap. 4.3.1.

Při stanovení požární ochrany pro obvodový nosník se vychází ze součinitele průřezu a požadované doby požární ochrany a kritické hodnoty. Výrobci požární ochrany mají výrobky posouzené podle souladu s ČSN EN 13381-4 [16] nebo pro zpěňující nátěry s ČSN EN 13381-8 [18]. Tloušťka požární ochrany se stanoví pro teplotu menší než odpovídající kritická teplota prvku.

4.3 Vyztužení

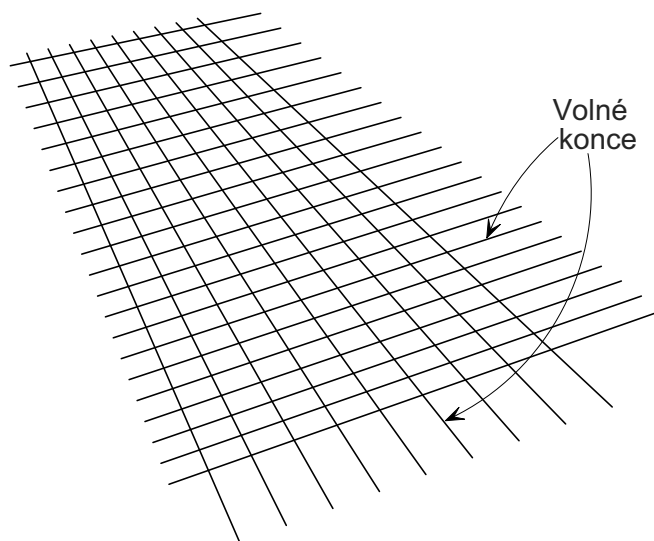
Mez kluzu a tažnost výztuže se určí v souladu s požadavky ČSN EN 10080. Charakteristická mez kluzu výztuže podle ČSN EN 10080 je 400 MPa a 600 MPa. Výztuž musí mít

dostatečnou tažnost, aby umožnila vývoj membránového působení. Za dostatečné se uvažuje výztuž třídy B nebo lépe třída C.

V ocelobetonových deskách se výztužné sítě za běžné teploty navrhují na omezení trhlin betonu. Výztužná síť bývá umístěna u povrchu betonu s minimální tloušťkou krycí vrstvy betonu pro požadovanou trvanlivost v souladu s ČSN EN 1992-1-1 [19]. Při požární situaci ovlivní umístění výztuže teplotu výztuže a rameno sil při výpočtu únosnosti v ohybu. Největší odolnosti se dosahuje pro výztuž, která je umístěna 15 mm až 45 mm pod horním povrchem betonové desky. Kapitola 4.3.1 informuje o podrobnostech vyztužení. Další informace, lze získat v ČSN EN 1994-1-1 [9] a ČSN EN 1994-1-2 [6] nebo v literatuře [20].

4.3.1 Výztužné sítě

Výztužné sítě se dodávají o velikosti 4,8 × 2,4 m. Při napojování sítí je třeba zabezpečit dostatečný přesah k dosažení průběžnosti výztuže. Doporučené délky přesahu jsou uvedeny v kapitole 8.7.5 v ČSN EN 1992-1-1, viz [19], a v tab. 7. Minimální délka přesahu výztužné sítě by měla být 250 mm. Optimální návrh je s volnými pruty na koncích, viz obr. 13, bez nastavování prutů pro přesah.



Obr. 13 Výztuž s volnými pruty na koncích

Tab. 7 Doporučené přesahy v tahu a kotevní délky pro svařované sítě

Typ výztuže	Druh prutů	Třída betonu					
		LC 25/28	C 25/30	LC 28/31	C 28/35	LC 32/35	C 32/40
Třída 500 pruty průměru d	Žebrovaná	50 d	40 d	47 d	38 d	44 d	35 d
Pruty 6 mm	Žebrovaná	300	250	300	250	275	250
Pruty 7 mm	Žebrovaná	350	300	350	275	325	250
Pruty 8 mm	Žebrovaná	400	325	400	325	350	300
Pruty 10 mm	Žebrovaná	500	400	475	400	450	350

Poznámky:

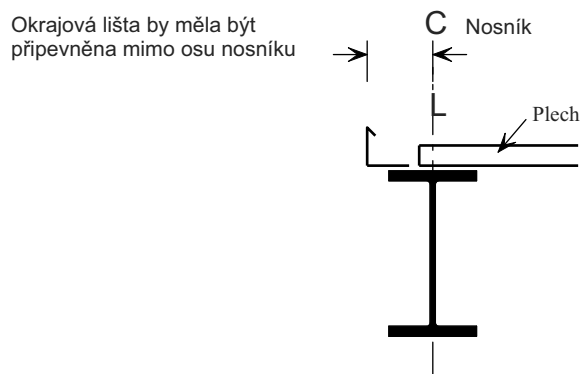
Tato doporučení lze konzervativně využít k návrhu v souladu s ČSN EN 1992-1-1.

Pro přesah v horní části průřezu a krytí menší než dvojnásobek strany výztuže v přesahu by přesah měl vzrůst 1,4krát.

Žebrované pruty jsou určeny v ČSN EN 10080.

4.3.2 Okraje ocelobetonové desky

Podrobnosti uložení výztužné sítě na obvodových ocelobetonových nosnících stropní desky má vliv na únosnost obvodových nosníků a stropní desky při požáru.

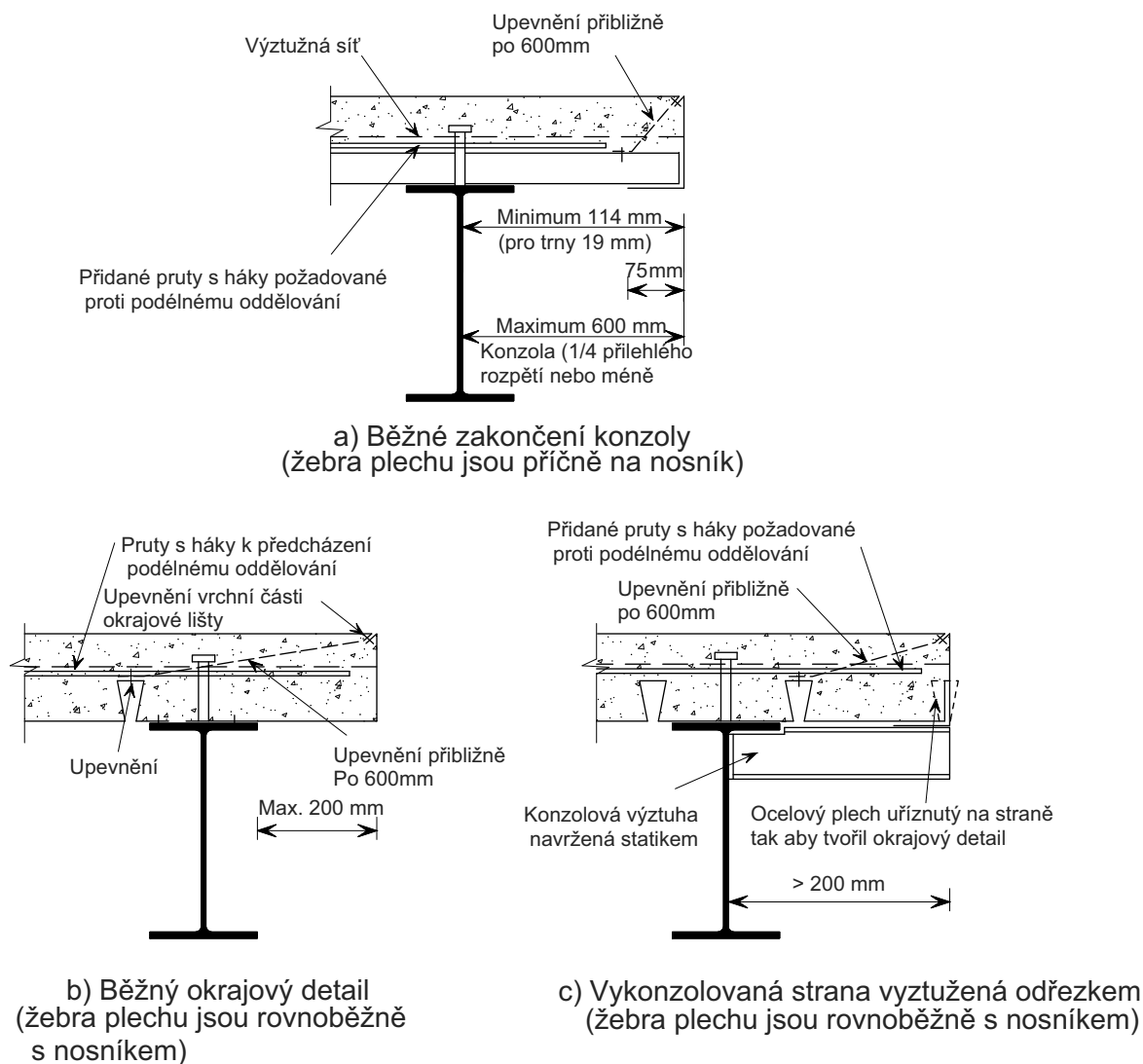


Obr. 14 Okraj ocelobetonové desky

Obvykle je okraj desky tvořen pásy pozinkovaného plechu, který je připevněn k nosníku, viz obr. 14. Háky na konci výztužných prutů brání oddělení okraje ocelobetonové desky.

Detaily okraje desky pro oba směry plechu jsou uvedeny na obr. 15 Pro žebra desky kolmo k obvodovému nosníku a konzole vyložené na menší vzdálenost lze upevnit pás pozinkovaného plechu podle obr. 15(a), konzola větší než 600 mm, v závislosti na tloušťce desky a typu požitého plechu.

Pro žebra plechu paralelně s okrajovým nosníkem u prefabrikované desky se navrhují malé vzdálenosti a podélné okraje nejsou podporovány obr. 15(b). Pro desku delší než 200 mm se přidává mezi nosník a okrajový lem krátký nosník, viz obr. 15(c). Tyto krátké nosníky jsou běžně méně jak 3 m od sebe a jsou součástí dodávky hlavní nosné ocelové konstrukce.



Obr. 15 Ukončení ocelobetonové desky na nosníku

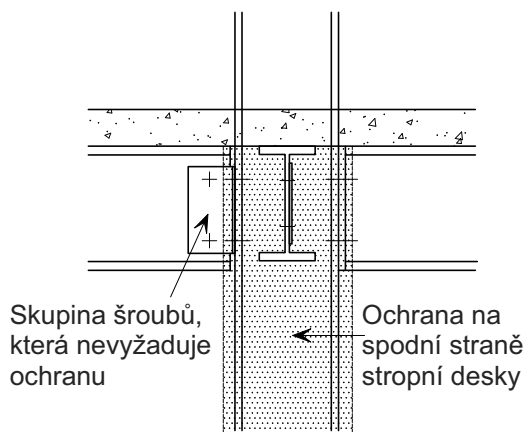
4.4 Návrh nespřažených obvodových nosníků

Nosníky na okrajích stropní desky lze navrhnout jako nespřažené. Cena příčné smykové výztuže bývá větší než cena vyššího nosníku, který není spřažený. Stropní deska musí být vhodně ukotvena k okrajovému nosníku na okraji oblasti s membránovým působením. Pro návrh za zvýšené teplotě se doporučuje, aby spřahovací prvky byly po 300 mm a výztužné tyče s háky umístěny okolo spřahovacích prvků, viz kap. 4.3.2.

Obvodové nosníky podporují přilehlé části desek a obvykle nesou i plášť budovy. Průhyb krajních nosníků se obvykle omezuje, aby při požáru neovlivnil celistvost pláště.

4.5 Sloupy

Sloupy, kromě posledního podlaží, se navrhují na požadovanou dobu požární odolnosti. Požární ochrana se aplikuje po celé jejich výšce i v oblasti připojení nosníků, viz obr. 16. Řešení zabrání místnímu boulení sloupu a zajistí lokalizaci poškození konstrukce případným požárem pouze v jednom podlaží.



Obr. 16 Požární ochrana u sloupu

V požárních zkouškách v Cardingtonu odolávali požárně chráněné sloupy dobře bez porušení i bez požární ochrany sloupu v oblasti přípoje nosníku na sloupy. Numerické modely ale prokázaly snížení kritické teploty sloupu a možnost porušení sloupu [22] vyvolaným ohybovým.

Konzervativně se u dvou a více podlažních budov doporučuje sloupy na okrajích stropních desek ochránit na kritickou teplotu pro nižší z hodnot 500 °C a hodnotu kritická teploty vypočtené podle ČSN EN 1993-1-2 snížené o 80 °C. Pro většinu desek požární ochrany nedojde ke zvýšení jejich tloušťky.

4.6 Přípoje

Ve skeletech se přepokládá využití kloubových přípojů podle kap. 3.2.1 jako jsou přípoj čelní deskou, deskou na stojině a úhelníky.

Ocelobetonové prutové konstrukce budovy v Cardingtonu byly navrženy se spoji na sloup krátkou čelní deskou a se spoji stropnic na průvlaky deskou na stojině. Částečné porušení některých spojů bylo pozorováno v průběhu chladnoucí fáze zkoušek bez ztráty

nosné funkce konstrukce. Ocelobetonové působení přípojí zvýšilo i jejich smykovou únosnost zachováním celistvosti spoje.

Odolnost kloubových spojů se ověří podle zásad v ČSN EN 1993-1-8 [23].

4.6.1 Klasifikace styčnicků

Styčnický mají splňovat předpoklady návrhového modelu. V ČSN EN 1993-1-8 se podle tuhosti styčnický dělí na:

- Kloubové styčnický
 - Styčnický přenesse vnitřní smykové síly bez přenesení významných momentů.
- Polotuhé styčnický
 - Styčnický nesplňuje kritéria kloubového ani tuhého spojení
- Tuhé styčnický
 - Styčnický poskytuje plnou spojitost.

Čl. 5.2 v normě EN 1993-1-8 uvádí zásady pro klasifikaci spojů na základě jejich tuhosti únosnosti a rotační kapacity.

V tomto výpočtu se předpokládá použití kloubových styčnicků, viz kap. 3.2.1. Přípoj nemá přenášet významné ohybové momenty a má mít dostatečnou rotační kapacitu. Toho lze dosáhnout vhodnou geometrii spoje. Pokyny pro geometrii k zajištění dostatečné tvárnosti spoje jsou uvedeny v dokumentu AccessSteel, viz [24].

4.6.2 Přípoj čelní deskou

Přípoje čelní deskou se liší podle výšky čelní desky, kterou lze navrhnou na část výšky stojiny připojovaného nosníku nebo na celou výšku připojovaného nosníku. Podle AccessSteel text SN013 se doporučuje:

čelní deska na část výšky pro $V_{Ed} \leq 0,75 V_{c,Rd}$

a čelní deska na celou výšku pro $0,75 V_{c,Rd} < V_{Ed} \leq V_{c,Rd}$

kde

V_{Ed} je návrhová smyková síla působící na přípoj,

$V_{c,Rd}$ návrhová smyková únosnost připojovaného nosníku.

Únosnost části spoje lze ověřit podle ČSN EN 1993-1-8. Při běžné teplotě se ve spoji ověřuje únosnost:

- skupina šroubů v čelní desce*
- skupina šroubů ve sloupu/průvlaku
- čelní deska ve smyku v plném průřezu
- čelní deska ve smyku v oslabeném průřezu
- čelní deska ve vytržení skupiny šroubů

- u širokých čelních desek čelní desky v ohybu
- stojina nosníku ve smyku*.

Pro úplnost se ověřují všechny výše uvedené únosnosti. Posudky označené * většinou rozhodují. Pokyny pro splnění požadavků ČSN EN 1993-1-8 jsou rozpracovány a shrnuty v textu Access-Steel, viz [25].

Informace o stanovení odolnosti připevnění čelních desek lze nalézt v textu doporučení SN015, viz [25].

4.6.3 Přípoj deskou na stojině

V přípoji deskou na stojině lze navrhnout jednu nebo dvě svislé řady šroubů, viz texty SN014 [25], ve kterém se doporučuje volit:

jedna svislá řada šroubů pro $V_{Ed} \leq 0,50 V_{c,Rd}$

dvě svislé řady šroubů pro $0,50 V_{c,Rd} < V_{Ed} \leq 0,75 V_{c,Rd}$

a pro $0,75 V_{c,Rd} < V_{Ed}$ použití čelní desky

kde:

V_{Ed} je návrhová smyková síla působící na přípoj

$V_{c,Rd}$ návrhová smyková únosnost připojovaného nosníku.

Při běžné teplotě se ve spoji ověřuje únosnost:

- šrouby na smyku*
- desky na stojině ve smyku pro plný celý průřez*
- desky na stojině ve smyku pro oslabený průřez
- vytržení skupiny šroubů v desce
- desky na stojině v ohybu
- desky na stojině při boulení
- stojiny nosníku ve smyku pro plný celý průřez*
- stojiny nosníku pro oslabený průřez
- vytržení skupiny šroubů v stojině
- protlačení výztuhy podporovaným profilem, neuvažuje se při připojení výztuhy k pásnici.

Pro úplnost se ověřují všechny výše uvedené únosnosti. Pro obvyklé geometrie rozhodují posudky označené *. Pokyny pro splnění požadavků ČSN EN 1993-1-8 jsou rozpracovány a shrnuty v textu SN018, viz [26], v materiálu AccessSteel, viz [26].

4.6.4 Přípoj úhelníky na stojině

Přípoje úhelníky na stojině nosníků nebyly při požárních experimentech na objektu v Cardingtonu ověřeny. Řada experimentů s ocelovými a ocelobetonovými přípoji prokázala jejich dobrou požární odolnost, viz SCI [27]. Byly zkoušeny přípoje se dvěma úhelníky

na každé straně stojiny nosníku se dvěma šrouby. Spoje mají dobrou rotační kapacitu a umožňují velká natočení běžné i za zvýšené teploty.

Pro nespřážené spoje pro

$$V_{Ed} \leq 0,50 V_{c,Rd}$$

se doporučuje použít jenom jednu řadu šroubů. Návrhová únosnost přípoje se ověří pravidly v kapitole 3 v ČSN EN 1993-1-8. Tab. 3.3 v ČSN EN 1993-1-8 udává maximální a minimální velikost okraje a roztečí mezi šrouby.

4.6.5 Požární ochrana

V případech, kdy jsou oba připojované prvky požárně chráněny, je vhodné použít požární ochranu i na spoj. Pro pouze jeden prvek chráněn může spoj s nechráněným prvkem zůstat bez požární ochrany.

4.7 Prostorová tuhost

K zajištění prostorové tuhosti prutové konstrukce podlažní budovy se navrhují ztužující stěny, jádro nebo ztužidla, které mají mít odpovídající požární odolnosti.

Ve dvoupodlažních budovách lze zajistit prostorovou tuhost za požáru ztužidly bez nutnosti požární ochrany ztužidel. Ve vyšších budovách je třeba všechny prvky ztužidel požárně chránit.

Ztužidla lze s výhodou umístit do požárně chráněných částí objektu, jako jsou schodišťové stěny výtahové šachty nebo jádro. Ocelové nosníky, sloupy a ztužidla v tomto případě mohou být požárně nechráněné. Ocelové konstrukce v požárně dělících konstrukcích musí mít odpovídající požární odolnost.

5 Požární úseky

Jedním ze základních pravidel pro zvýšení požární odolnosti budov je jejich dělení na požární úseky. Stěny požárních úseků musí být po dobu požadované požární odolnosti stabilní, celistvé a splňovat izolační funkci.

Stabilita popisuje schopnost konstrukce nezřítit se. U nosných konstrukcí musí být zároveň splněna podmínka únosnosti.

Celistvost popisuje odolnost konstrukce vůči pronikání plamenů a horkých plynů.

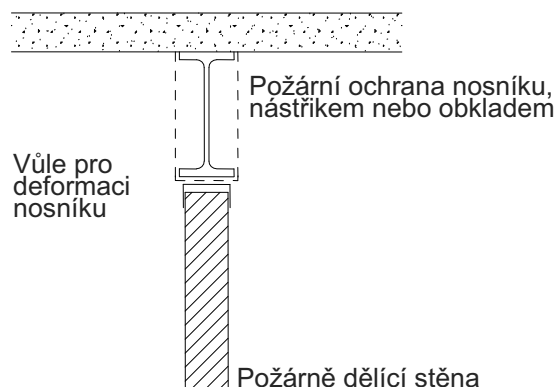
Izolační funkce popisuje schopnost konstrukce zamezit přestupu tepla ze strany vystavené požáru na stranu požáru nevystavenou.

5.1 Nosníky nad požárně dělící stěnami

Nosník, který je součástí požárně dělící stěny, musí zajistit odpovídající požadavky na stěnu, její stabilitu, celistvost a izolační vlastnosti. Optimální řešením představují požárně dělící stěny, které jsou umístěny v ose nosníků.

Nosníky v rovině stěny

Požární zkoušky v Cardingtonu prokázaly, že nechráněné nosníky umístěné nad požárně dělící stěnou v její ose, viz obr. 17, které jsou ohřívány z jedné strany, se neprohýbají do takové míry, aby porušily celistvost požárně dělících konstrukcí. Pro volnou tepelnou deformaci nosníku postačují běžné vůle. Je třeba splnit i požadavky izolační a je nutná požární ochrana po dobu 30 nebo 60 min. Všechny prostupy a dutiny musí být požárně uzavřeny. Nosníky opatřené zpěňujícím nátěrem se opatřují dodatečnou izolací, jinak teplota na straně odvrácené od požáru přesáhne požadované meze, viz [28] a [29].

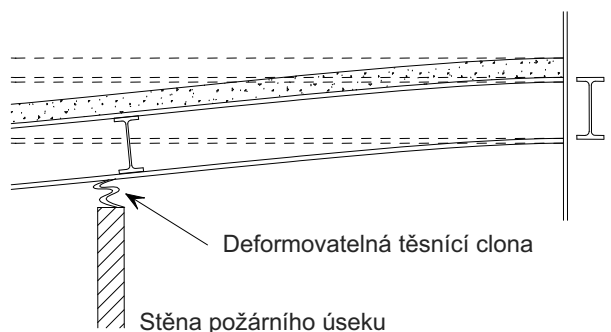


Obr. 17 Nosník nad požárně dělící stěnou

Nosníky procházející stěnami

U stěn mimo síť sloupů mohou velké deformace požárně nechráněných nosníků poškodit celistvost stěn, kterými procházejí. V těchto případech by měl nosník být buďto požárně

chráněn, nebo by měla být zajištěna dostatečný prostor pro deformace. Požární zkoušky v Cardingtonu prokázaly, že stabilita stropu může být zajištěna i v případě, že nechráněný nosník vykazuje velké deformace. Pro stěny, kterými nosník prochází v jeho vnitřní polovině, se doporučuje vůle 1/30 rozponu. V okrajových čtvrtinách rozpětí nosníku lze požadovanou vůli stanovit interpolací do nuly v místě podpory, viz obr. 18. Požárně dělící konstrukce mají dosahovat až ke stropu požárního úseku.



Obr. 18 deformovatelná těsnící clona požárně dělící stěny

5.2 Návrh nosníku

Při návrhu konstrukce, která odděluje požární úseky, se uvažuje s deformací konstrukce vystavené zvýšeným teplotám.

Deformace nosníků, které jsou umístěny nad požárně dělící stěnou v její ose, bývají malé a běžná deformační vůle většinou postačuje. Pokud je stěna umístěna mimo nosník, mohou být deformace stropu příliš velké, aby je stěna byla schopna přenést. Proto se doporučuje, aby požárně dělící stěny byly umísťovány pod nosníky.

Volnost tepelné deformace nosníku lze zajistit pohyblivým přípojem. Pro větší deformace za požáru se navrhují deformovatelné těsnící clony, viz obr. 18.

5.3 Dělení na požární úseky

Ocelové nosníky, které jsou součástí požárně dělící stěny, mají splňovat stejné požadavky jako stěna. Ocelový nosník bez prostupů splňuje podmínku celistvosti. Prostupy skrz nosník a případné dutiny u spřažených nosníků musí být řádně požárně utěsněny.

Nechráněný ocelový nosník, který je v ose požárně dělící stěny, většinou nesplňuje izolační požadavky. Proto je doporučeno, aby všechny nosníky nacházející se na hranici požárního úseku byly opatřeny dodatečnou požární ochranou, viz obr. 17.

6 Řešený příklad

Kapitola popisuje realizovanou konstrukci spřaženého stropu, která je navržena pomocí programu FRACOF.

6.1 Zadání

Strop je součástí čtyřpodlažní ocelové rámové administrativní budovy. Požadavek na požární odolnost konstrukce podle národních předpisů je 60 min.

Stropní konstrukce každého patra je tvořena spřaženou deskou pomocí trapézového plechu Confraplus 60, běžného betonu a jedné vrstvy výztužné sítě. Deska je pnutá mezi stropnicemi dlouhými 9 m, které jsou navrženy jako spřažené a jsou uloženy do spřažených průvlaků o délkách 9 a 12 m. Krajiní nosníky jsou navrženy jako nespřažené nosníky podle normy ČSN EN 1993-1-1.

Schémata řešené konstrukce jsou na obr 19 až 22.

Obr. 18 zachycuje schéma uspořádání. Uspořádání se v přilehlých podélných polích opakuje po celé délce objektu. Sloupy jsou navrženy jako nespřažené z profilu HD 320 × 158 podle normy ČSN EN 1993-1-1.

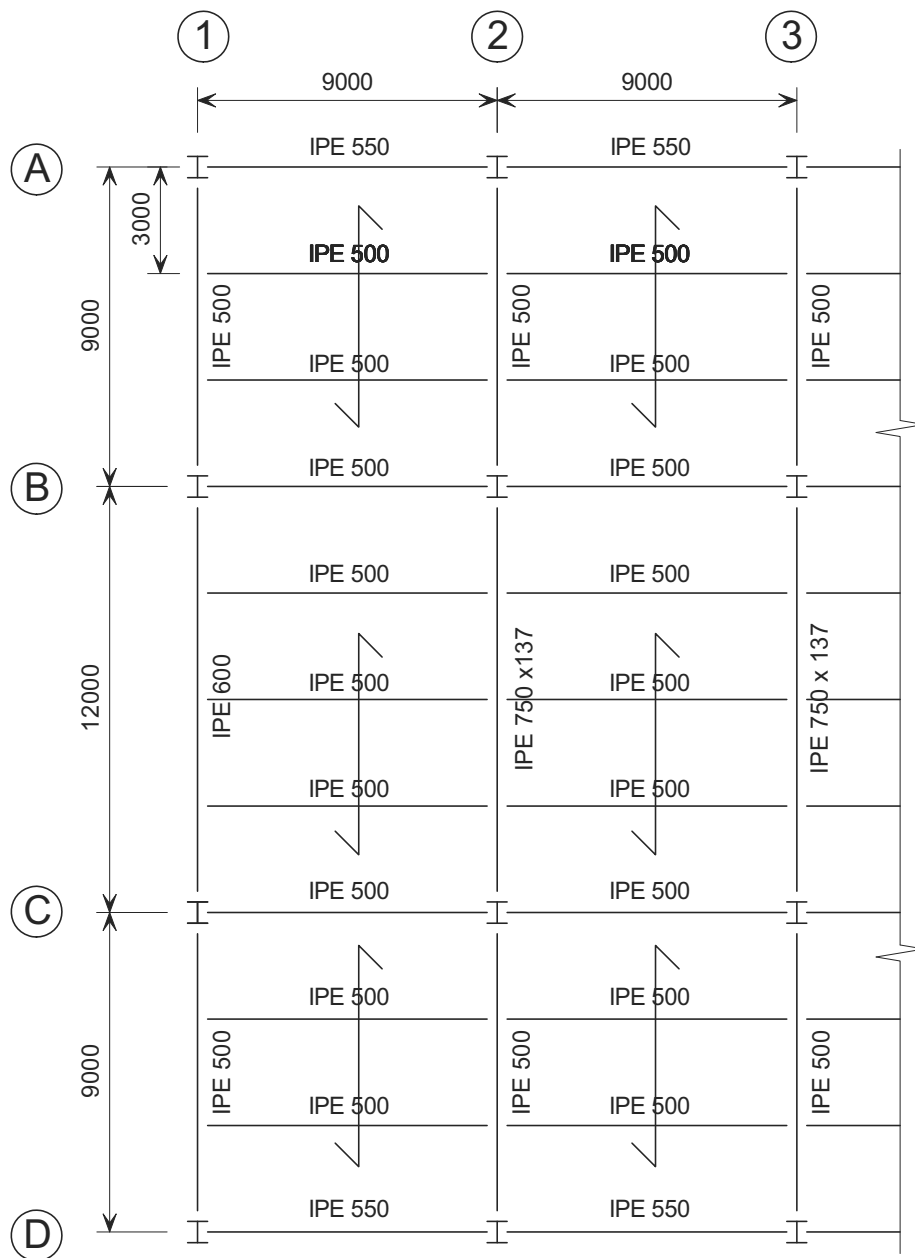
Je uvažováno se zatížením konstrukce:

- užité provozní zatížení: 4 kN/m^2
- užité zatížení lehkými příčkami: 1 kN/m^2
- stálé zatížení: $0,7 \text{ kN/m}^2$
- vlastní tíha nosníku: $0,5 \text{ kN/m}^2$.

Pro návrh krajních nosníků se uvažuje zatížení od fasády: 2 kN/m .

Výsledek návrhu konstrukce při běžné teplotě je zobrazen na obr. 19. Vnitřní nosníky jsou spřažené. Spřažení nosníků je uvedeno v tab. 8.

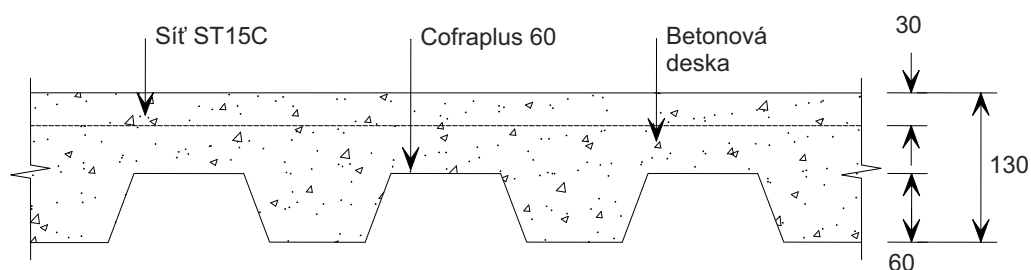
Na obr. 20 je zobrazen řez spřaženým stropem. Betonová deska je z běžného betonu C25/30, výška desky je 130 mm. Deska je vyztužena sítí ST 15C, mez kluzu výztuže je 500 MPa. Návrh při běžné teplotě vyhovuje. Pokud takto navržena konstrukce nebude vyhovovat při požáru, lze zvětšit průřez výztužné sítě, plochu výztuže.



Obr. 19 Schéma ocelové konstrukce stropu v řešeném příkladu

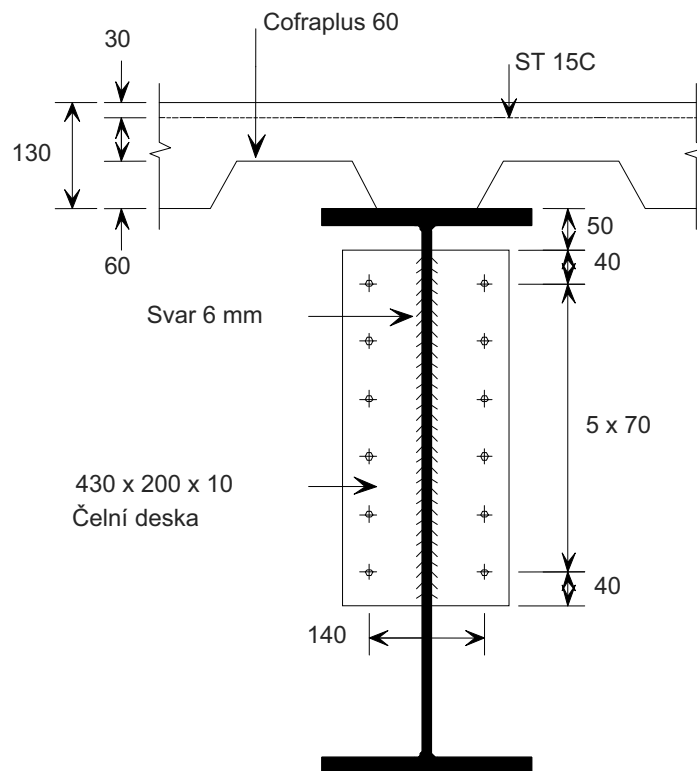
Tab. 8 Nosníky navržené za běžné teploty

Průřez (S355)	Poloha	Spřažení	Míra spřažení (%)	Počet spřahovacích trnů ve skupině a vzdálenost skupin
IPE 500	Vnitřní stropnice	Ano	51	1 @ 207mm
IPE 550	Krajní stropnice	Ne	N/A	
IPE 500	Vnitřní průvlak	Ano	72	2 @ 207mm
IPE 500	Krajní průvlak	Ne	N/A	
IPE 750 × 137	Vnitřní průvlak	Ano	71	2 @ 207 mm
IPE 600	Krajní průvlak	Ne	N/A	

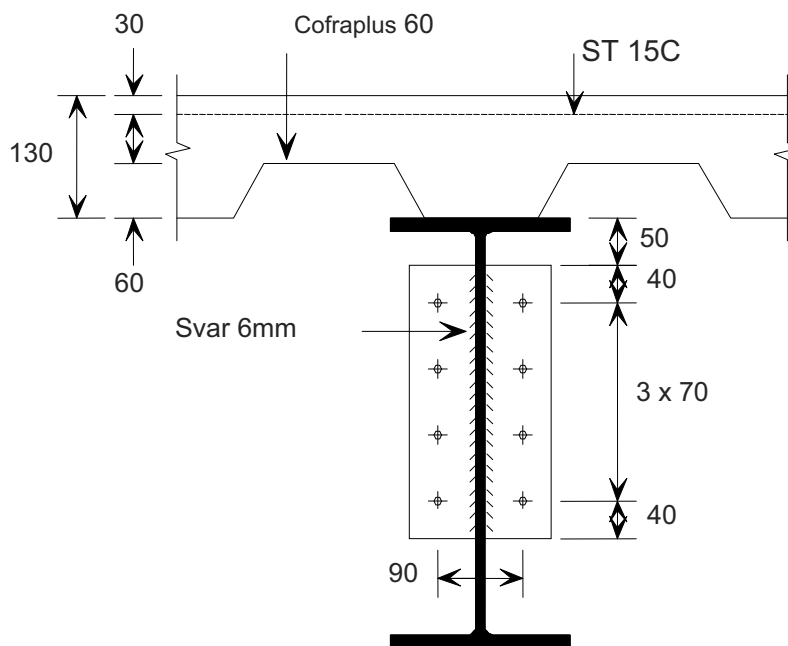


Obr. 20 Konstrukce stropní desky

Přípoje ocelové konstrukce jsou kloubové pomocí krátké čelní desky. Na obr. 21(a) je schéma přípoje průvlaku na sloup. Schéma přípoje stropnice na sloup je zobrazeno na obr. 21(b). Detail přípoje stropnice na průvlak je na obr. 22.

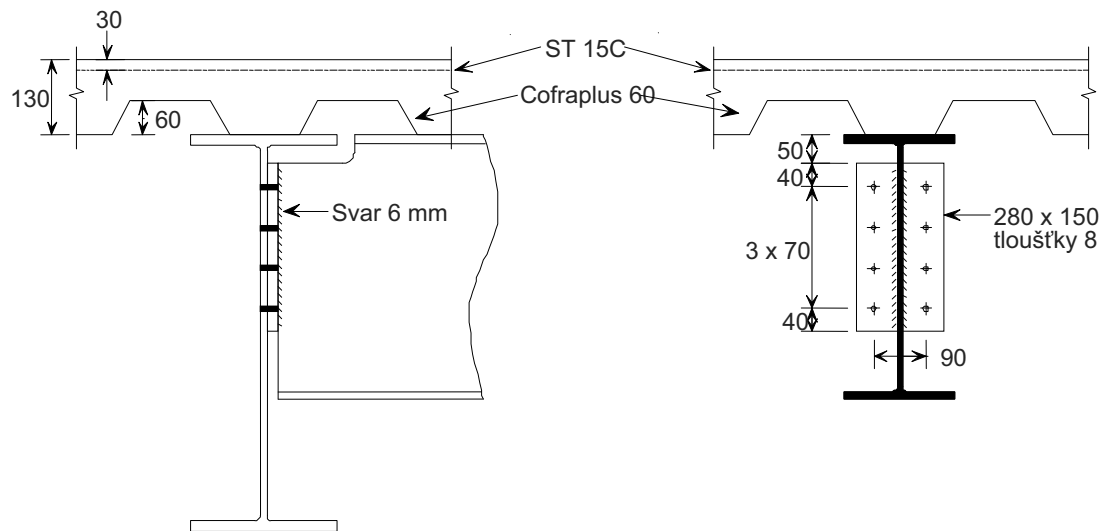


(a) Připoj průvlaku na sloup



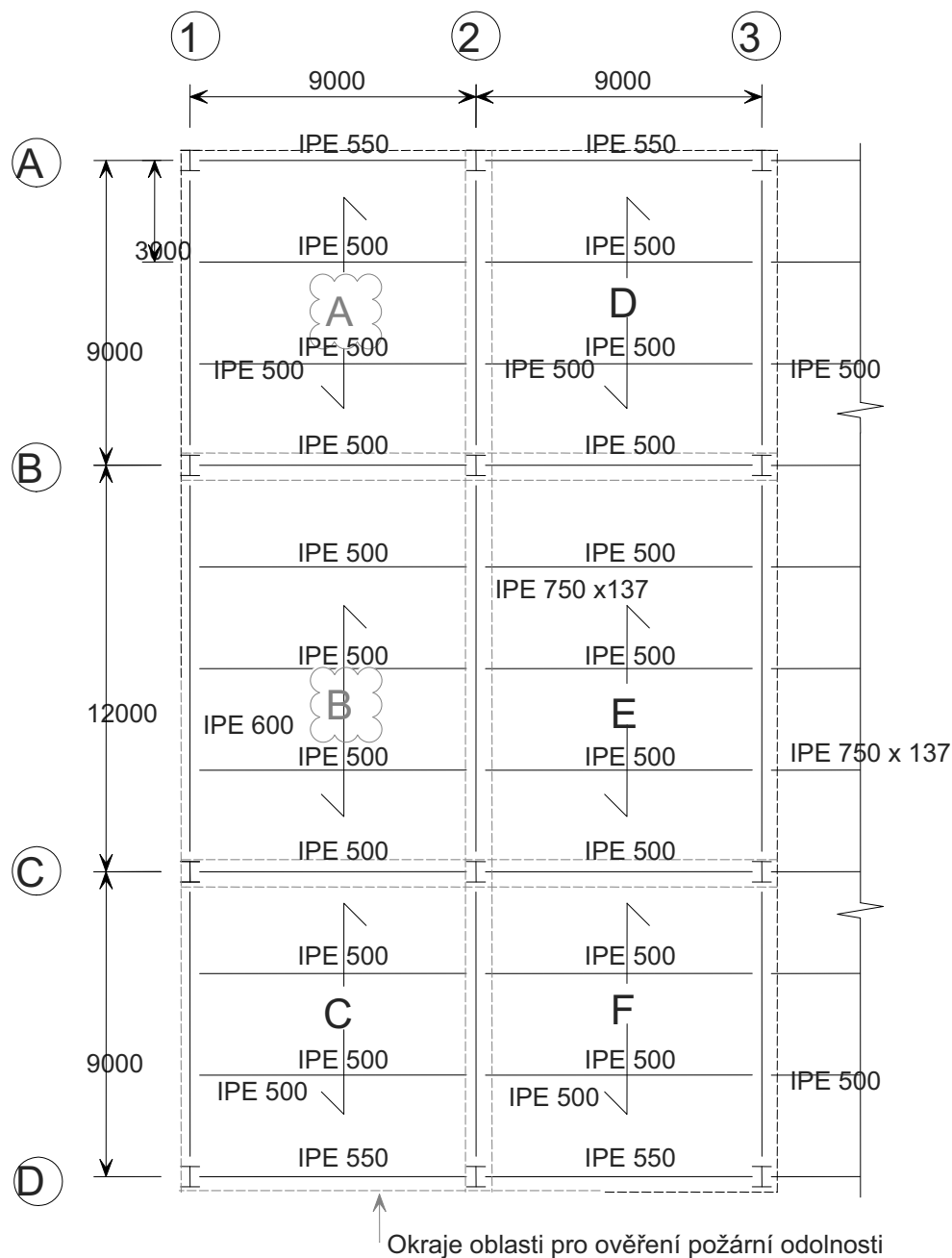
(b) Připoj stropnice na sloup

Obr. 21 Připoje nosníků na sloup



Obr. 22 Připoj stropnice na průvlak

Na obr. 23. je stropní konstrukce rozdělena do oblastí pro návrh. Oblasti A a B budou mít nejnepříznivější podmínky a jejich požární odolnost bude prověřena.



Obr. 23 Oblasti na ověření požární odolnosti, A – F

6.2 Požární návrh stropu

Na účinky požáru se ověří sprážená ocelobetonová stropní konstrukce, která vyhovuje na únosnost a použitelnost za běžné teploty V případě, že konstrukce nebude na účinky požáru vyhovovat, zesílí se výtuzná síť, případně se zvětší tloušťka stropní desky. Nejprve se prověří oblast B, s největším rozponem.

6.2.1 Oblast B

Obr. 24 až 26 zachycují vstupní a výstupní data programu FRACOF pro oblast B, s rozměry 9 × 12 m a výztužnou sítí ST 15C. V oblasti se nacházejí tři nechráněné spřažené nosníky.

Z výstupu je zřejmé, že únosnost stropní desky při porušení mechanismem plastických lomových čar je 0,46 kN/m². Hodnota se zvětší o únosnost při membránovém působení a celková únosnost stropní desky v 60. min je 2,83 kN/m². Zvětšující součinitel v 60. min se stanoví z mezního přípustného průhybu desky, který je 629 mm.

Únosnost stropní konstrukce je rovna součtu únosnosti spřažených nosníků a stropní desky. Únosnost nosníku závisí na jeho teplotě, která se v čase mění. V 60 min je únosnost tří nechráněných nosníků v ohybu 2,56 kN/m². Únosnost stropní konstrukce v oblasti je rovna součtu 2,83 + 2,56 = 5,39 kN/m², což je méně než působící zatížení při požáru, které je 6,35 kN/m². Navržená konstrukce za požáru nevyhovuje, proto je třeba volit větší profily výztužné sítě.

2. Obecné uspořádání			
• Rozpětí			
Rozpětí 1:	9 m		
Rozpětí 2:	12 m		
• Nechráněný nosník			
Počet vnitřních nechráněných nosníků:	3		
3. Plech			
• Vlastnosti plechu			
Plech:	COFRAPLUS 60	Typ:	Trapézový
Výška:	58 mm	Horní pásnice:	106 mm
Vzdálenost mezi vlnami:	207 mm	Dolní pásnice:	62 mm
Výška výztuhy:	0 mm		
4. Betonová deska			
• Beton			
Třída betonu:	Normální	Výška desky:	130 mm
		Válcová pevnost betonu v tlaku (f_{ck}):	25 N/mm ²
• Výztužná síť			
Typ sítě:	ST 15 C		
Podélná plocha výztuže:	142 mm ² /m	Velikost výztužných prutů:	6 mm
Příčná plocha výztuže:	142 mm ² /m	Velikost výztužných prutů:	6 mm
Průměrná vzdálenost jednotlivých prutů:	30 mm	Mez kluzu výztuže:	500 N/mm ²
5. Podrobnosti o nosník			
• Nechráněný nosník			
Třída průřezu:	Evropské profily	Druh oceli:	S355
Velikost průřezu:	IPE 500	Stupeň spřažení:	51 %
Detaily:	h = 500 mm, b = 200 mm, t_w = 10.2 mm, t_f = 16 mm		

Obr. 24 Vstupní data pro oblast stropu B na obrazovce programu FRACOF

• Obvodový nosník na straně A			
Třída průřezu:	Evropské profily	Druh oceli:	S355
Velikost průřez:	IPE 500		
Detaily:	h = 500 mm, b = 200 mm, t _w = 10.2 mm, t _f = 16 mm		
Poloha nosníku:	Krajní nosník	Typ konstrukce:	Nespřažený
• Obvodový nosník na straně B			
Třída průřezu:	Evropské profily	Druh oceli:	S355
Velikost průřez:	IPE 750x137		
Detaily:	h = 753 mm, b = 263 mm, t _w = 11.5 mm, t _f = 17 mm		
Poloha nosníku:	Vnitřní nosník	Typ konstrukce:	Spřažený
		Stupeň spřažení:	71 %
• Obvodový nosník na straně C			
Třída průřezu:	Evropské profily	Druh oceli:	S355
Velikost průřez:	IPE 500		
Detaily:	h = 500 mm, b = 200 mm, t _w = 10.2 mm, t _f = 16 mm		
Poloha nosníku:	Vnitřní nosník	Typ konstrukce:	Spřažený
		Stupeň spřažení:	51 %
• Obvodový nosník na straně D			
Třída průřezu:	Evropské profily	Druh oceli:	S355
Velikost průřez:	IPE 600		
Detaily:	h = 600 mm, b = 220 mm, t _w = 12 mm, t _f = 19 mm		
Poloha nosníku:	Krajní nosník	Typ konstrukce:	Nespřažený
6. Zatížení - detaily			
• Běžná (pokojová)			
Rozhodující nahodilé zatížení:	5 kN/m ²		
Doplňující nahodilé zatížení:	0 kN/m ²		
Vlastní tíha včetně nosníku, bez stopní desky:	1.2 kN/m ²		
Vypočtená tíha stropní desky s výztuží:	2.65 kN/m ²		
• Za požáru (zvýšená)			
Součinitel stálého zatížení:	1.0		
Součinitel rozhodujícího nahodilého zatížení:	0.5		
Součinitel pro ostatní nahodilé zatížení:	0.3		

Obr. 25 Vstupní data pro oblast stropu B na obrazovce programu FRACOF

Zatížení při požáru: 6.35 kN/m ²											
• Tabulkové výsledky											
Čas	Nosník	Výztužná síť	Horní povrch betonové desky	Spodní povrch betonové desky	Únosnost nosníku	Maximální přípustný průhyb	Plastifikace desky	Zvětšení	Únosnost desky	Celková únosnost	Stupeň využití
min	°C	°C	°C	°C	kN/m ²	mm	kN/m ²		kN/m ²	kN/m ²	
0	20	20	20	20	38.54	254	0.46	3.05	1.40	39.94	0.16
5	180	24	20	143	38.54	315	0.46	3.56	1.64	40.18	0.16
10	423	37	22	343	36.90	414	0.46	4.37	2.01	38.92	0.16
15	621	53	28	485	19.77	482	0.46	4.94	2.27	22.04	0.29
20	732	74	36	586	9.25	529	0.46	5.32	2.45	11.70	0.54
25	790	102	48	657	5.95	559	0.46	5.57	2.56	8.51	0.75
30	826	120	62	711	4.75	579	0.46	5.73	2.64	7.39	0.86
35	853	125	71	753	4.10	595	0.46	5.87	2.70	6.80	0.93
40	875	163	83	787	3.56	606	0.46	5.96	2.74	6.30	1.01
45	894	190	89	815	3.09	618	0.46	6.05	2.79	5.88	1.08
50	911	214	103	840	2.84	623	0.46	6.09	2.81	5.65	1.12
55	926	238	119	861	2.69	625	0.46	6.12	2.82	5.51	1.15
60	940	263	131	880	2.56	629	0.46	6.15	2.83	5.39	1.18

Maximální stupeň využití: 1.18 **Stropní deska nevyhovuje**

Obr. 26 Výstupní data pro oblast stropu B na obrazovce programu FRACOF

Obrázky 27 až 29 zachycují vstupní a výstupní data z programu FRACOF pro oblast B pro výztužnou síť ST 25C.

Z výstupu na obr. 29 je zřejmé, že únosnost stropní desky při porušení mechanismem plastických lomových čar se zvětšila na 0,79 kN/m². Tato hodnota se zvětší o membránové působení a celková únosnost stropní desky v 60 min je 5,07 kN/m². Zvětšující součinitel vlivu průhybu v 60. min se stanoví pro průhyb 629 mm.

Celková únosnost je rovna součtu únosnosti spřaženého nosníku s únosností stropní desky. Únosnost nosníku závisí na jeho teplotě. V 60. min je únosnost tří nechráněných nosníků v ohybu 2,56 kN/m². Celková únosnost stropu v oblasti B je rovna součtu 5,07 + 2,56 = 7,63 kN/m², což je více než zatížení za požáru 6,35 kN/m² a navržená konstrukce vyhovuje.

2. Obecné uspořádání			
• Rozpětí			
Rozpětí 1:	9 m		
Rozpětí 2:	12 m		
• Nechráněný nosník			
Počet vnitřních nechráněných nosníků:	3		
3. Plech			
• Vlastnosti plechu			
Plech:	COFRAPLUS 60	Typ:	Trapézový
Výška:	58 mm	Horní pásnice:	106 mm
Vzdálenost mezi vlnami:	207 mm	Dolní pásnice:	62 mm
Výška výztuhy:	0 mm		
4. Betonová deska			
• Beton			
Třída betonu:	Normální	Výška desky:	130 mm
		Válcová pevnost betonu v tlaku (f_{ck}):	25 N/mm ²
• Výztužná síť			
Typ sítě:	ST 25 C		
Podélná plocha výztuže:	257 mm ² /m	Velikost výztužných prutů:	7 mm
Příčná plocha výztuže:	257 mm ² /m	Velikost výztužných prutů:	7 mm
Průměrná vzdálenost jednotlivých prutů:	30 mm	Mez kluzu výztuže:	500 N/mm ²
5. Podrobnosti o nosník			
• Nechráněný nosníky			
Třída průřezu:	Evropské profily	Druh oceli:	S355
Velikost průřez:	IPE 500	Stupeň spřažení:	51 %
Detaily:	h = 500 mm, b = 200 mm, $t_w = 10.2$ mm, $t_f = 16$ mm		
• Obvodový nosník na straně A			
Třída průřezu:	Evropské profily	Druh oceli:	S355
Velikost průřez:	IPE 500		
Detaily:	h = 500 mm, b = 200 mm, $t_w = 10.2$ mm, $t_f = 16$ mm		
Poloha nosníku:	Krajní nosník	Typ konstrukce:	Nespřažený
• Obvodový nosník na straně B			
Třída průřezu:	Evropské profily	Druh oceli:	S355
Velikost průřez:	IPE 750x137		
Detaily:	h = 753 mm, b = 263 mm, $t_w = 11.5$ mm, $t_f = 17$ mm		
Poloha nosníku:	Vnitřní nosník	Typ konstrukce:	Spřažený
		Stupeň spřažení:	71 %

Obr. 27 Vstupní data pro oblast stropu B na obrazovce programu FRACOF

• Obvodový nosník na straně C			
Třída průřezu:	Evropské profily	Druh oceli:	S355
Velikost průřez:	IPE 500		
Detaily:	h = 500 mm, b = 200 mm, t _w = 10.2 mm, t _f = 16 mm		
Poloha nosníku:	Vnitřní nosník	Typ konstrukce:	Spřažený
		Stupeň spřažení:	51 %
• Obvodový nosník na straně D			
Třída průřezu:	Evropské profily	Druh oceli:	S355
Velikost průřez:	IPE 600		
Detaily:	h = 600 mm, b = 220 mm, t _w = 12 mm, t _f = 19 mm		
Poloha nosníku:	Krajní nosník	Typ konstrukce:	Nespřažený
6. Zatížení - detaily			
• Běžná (pokojevá)			
Rozhodující nahodilé zatížení:	5 kN/m ²		
Doplňující nahodilé zatížení:	0 kN/m ²		
Vlastní tíha včetně nosníku, bez stopní desky:	1.2 kN/m ²		
Vypočtená tíha stropní desky s výztuží:	2.65 kN/m ²		
• Za požáru (zvýšená)			
Součinitel stálého zatížení:	1.0		
Součinitel rozhodujícího nahodilého zatížení:	0.5		
Součinitel pro ostatní nahodilé zatížení:	0.3		
7. Požár a Analýza			
• Normový teplotní křivka			
Doba požární odolnosti:	60 min		

Obr. 28 Vstupní data pro oblast stropu B na obrazovce programu FRACOF

Zatížení při požáru: 6.35 kN/m ²											
• Tabulkové výsledky											
Čas	Nosník	Výztužná síť	Horní povrch betonové desky	Spodní povrch betonové desky	Únosnost nosníku	Maximální přípustný průhyb	Plastifikace desky	Zvětšení	Únosnost desky	Celková únosnost	Stupeň využití
min	°C	°C	°C	°C	kN/m ²	mm	kN/m ²		kN/m ²	kN/m ²	
0	20	20	20	20	38.54	254	0.79	3.13	2.49	41.03	0.15
5	180	24	20	143	38.54	315	0.79	3.67	2.91	41.45	0.15
10	423	37	22	343	36.90	414	0.79	4.52	3.59	40.49	0.16
15	621	53	28	485	19.77	482	0.79	5.11	4.06	23.83	0.27
20	732	74	36	586	9.25	529	0.79	5.52	4.38	13.63	0.47
25	790	102	48	657	5.95	559	0.79	5.77	4.58	10.53	0.60
30	826	120	62	711	4.75	579	0.79	5.95	4.72	9.47	0.67
35	853	125	71	753	4.10	595	0.79	6.09	4.84	8.93	0.71
40	875	163	83	787	3.56	606	0.79	6.18	4.91	8.47	0.75
45	894	190	89	815	3.09	618	0.79	6.28	4.99	8.08	0.79
50	911	214	103	840	2.84	623	0.79	6.33	5.02	7.87	0.81
55	926	238	119	861	2.69	625	0.79	6.35	5.04	7.74	0.82
60	940	263	131	880	2.56	629	0.79	6.38	5.07	7.63	0.83
Maximální stupeň využití: 0.83 Stropní deska vyhovuje											

Obr. 29 Výstupní data pro oblast stropu B na obrazovce programu FRACOF

Výstup programu FRACOF informuje o kritických teplotách obvodových nosníků, viz obr. 30. Obvodové nosníky se požárně chrání, aby jejich teplota nepřekročila kritickou hodnotu. Stupněm využití se v tomto výstupu rozumí poměr mezi účinkem zatížením působícím při požáru a momentovou únosností nosníku za požáru v čase nula, za běžné teploty.

• Návrh krajního nosníku			
Strana A	Velikost průřez:	IPE 500	Nespřažený Krajní nosník
	Požadovaná momentová únosnost:	437.15 kNm	
	Stupeň využití:	0.58	
	Kritická teplota:	563 °C	
Strana B	Velikost průřez:	IPE 750x137	Spřažený Vnitřní nosník
	Požadovaná momentová únosnost:	806.46 kNm	
	Stupeň spřažení:	72 %	
	Stupeň využití:	0.31	
	Kritická teplota:	684 °C	
Strana C	Velikost průřez:	IPE 500	Spřažený Vnitřní nosník
	Požadovaná momentová únosnost:	437.15 kNm	
	Stupeň spřažení:	51 %	Nesplňuje minimum specifikované v normě EN 1994-1-1
	Stupeň využití:	0.37	
	Kritická teplota:	670 °C	
Strana D	Velikost průřez:	IPE 600	Nespřažený Krajní nosník
	Požadovaná momentová únosnost:	806.46 kNm	
	Stupeň využití:	0.67	
	Kritická teplota:	534 °C	

Obr. 30 Požadavky na únosnost obvodových nosníků oblasti B, výstup na obrazovce programu FRACOF

6.2.2 Oblast A

Obr. 31 až 33 zachycují vstupní a výstupní data programu FRACOF pro oblast A o rozměrech 9 × 9 m. Z důvodu zjednodušení je po celé ploše oblasti A použita též výztužná síť ST 25C, viz oblast B. V oblasti se nacházejí dva nechráněné spřažené nosníky.

Z výstupu je zřejmé, že únosnost stropní desky na základě mechanismu plastických lomových čar je 1,03 kN/m². Hodnota je zvětšena o únosnost při membránovém působení, takže celková únosnost stropní desky v 60. min je 5,39 kN/m². Zvětšující součinitel v 60. min je vypočten z průhybu desky 566 mm.

Celková únosnost je rovna součtu únosnosti spřaženého nosníku a únosnosti stropní desky. Únosnost nosníku závisí na jeho teplotě. V 60. min je únosnost tří nechráněných nosníků v ohybu 2,56 kN/m². Celková únosnost oblasti je rovna součtu 5,39 + 2,56 = 7,95 kN/m², což je více než zatížení při požáru 6,35 kN/m² a navržená konstrukce za požáru vyhovuje pro požární odolnost 60 min.

2. Obecné uspořádání			
• Rozpětí			
Rozpětí 1:	9 m		
Rozpětí 2:	9 m		
• Nechráněný nosník			
Počet vnitřních nechráněných nosníků:	2		
3. Plech			
• Vlastnosti plechu			
Plech:	COFRAPLUS 60	Typ:	Trapézový
Výška:	58 mm	Horní pásnice:	106 mm
Vzdálenost mezi vlnami:	207 mm	Dolní pásnice:	62 mm
Výška výztuhy:	0 mm		
4. Betonová deska			
• Beton			
Třída betonu:	Normální	Výška desky:	130 mm
		Válcová pevnost betonu v tlaku (f_{ck}):	25 N/mm ²
• Výztužná síť			
Typ sítě:	ST 25 C		
Podélná plocha výztuže:	257 mm ² /m	Velikost výztužných prutů:	7 mm
Příčná plocha výztuže:	257 mm ² /m	Velikost výztužných prutů:	7 mm
Průměrná vzdálenost jednotlivých prutů:	30 mm	Mez kluzu výztuže:	500 N/mm ²
5. Podrobnosti o nosník			
• Nechráněný nosníky			
Třída průřezu:	Evropské profily	Druh oceli:	S355
Velikost průřez:	IPE 500	Stupeň spřažení:	51 %
Detaily:	h = 500 mm, b = 200 mm, $t_w = 10.2$ mm, $t_f = 16$ mm		
• Obvodový nosník na straně A			
Třída průřezu:	Evropské profily	Druh oceli:	S355
Velikost průřez:	IPE 550		
Detaily:	h = 550 mm, b = 210 mm, $t_w = 11.1$ mm, $t_f = 17.2$ mm		
Poloha nosníku:	Krajní nosník	Typ konstrukce:	Nespřažený
• Obvodový nosník na straně B			
Třída průřezu:	Evropské profily	Druh oceli:	S355
Velikost průřez:	IPE 500		
Detaily:	h = 500 mm, b = 200 mm, $t_w = 10.2$ mm, $t_f = 16$ mm		
Poloha nosníku:	Vnitřní nosník	Typ konstrukce:	Spřažený
		Stupeň spřažení:	72 %

Obr. 31 Vstupní data pro oblast A na obrazovce programu FRACOF

• Obvodový nosník na straně C			
Třída průřezu:	Evropské profily	Druh oceli:	S355
Velikost průřez:	IPE 500		
Detaily:	h = 500 mm, b = 200 mm, t _w = 10.2 mm, t _f = 16 mm		
Poloha nosníku:	Krajní nosník	Typ konstrukce:	Spřažený
		Stupeň spřažení:	51 %
• Obvodový nosník na straně D			
Třída průřezu:	Evropské profily	Druh oceli:	S355
Velikost průřez:	IPE 500		
Detaily:	h = 500 mm, b = 200 mm, t _w = 10.2 mm, t _f = 16 mm		
Poloha nosníku:	Krajní nosník	Typ konstrukce:	Nespřažený
6. Zatížení - detaily			
• Běžná (pokojová)			
Rozhodující nahodilé zatížení:	5 kN/m ²		
Doplňující nahodilé zatížení:	0 kN/m ²		
Vlastní tíha včetně nosníku, bez stopní desky:	1.2 kN/m ²		
Vypočtená tíha stropní desky s výztuží:	2.65 kN/m ²		
• Za požáru (zvýšená)			
Součinitel stálého zatížení:	1.0		
Součinitel rozhodujícího nahodilého zatížení:	0.5		
Součinitel pro ostatní nahodilé zatížení:	0.3		
7. Požár a Analýza			
• Normový teplotní křivka			
Doba požární odolnosti:	60 min		

Obr. 32 Vstupní data pro oblast A v programu FRACOF

Zatížení při požáru:		6.35 kN/m ²										
• Tabulkové výsledky												
Čas	Nosník	Výztužná síť	Horní povrch betonové desky	Spodní povrch betonové desky	Únosnost nosníku	Maximální přípustný průhyb	Plastifikace desky	Zvětšení	Únosnost desky	Celková únosnost	Stupeň využití	
min	°C	°C	°C	°C	kN/m ²	mm	kN/m ²		kN/m ²	kN/m ²		
0	20	20	20	20	38.54	190	1.03	2.39	2.46	41.00	0.15	
5	180	24	20	143	38.54	252	1.03	2.86	2.94	41.48	0.15	
10	423	37	22	343	36.90	351	1.03	3.61	3.71	40.61	0.16	
15	621	53	28	485	19.77	419	1.03	4.13	4.25	24.02	0.26	
20	732	74	36	586	9.25	465	1.03	4.49	4.61	13.86	0.46	
25	790	102	48	657	5.95	495	1.03	4.72	4.84	10.79	0.59	
30	826	120	62	711	4.75	516	1.03	4.87	5.00	9.75	0.65	
35	853	125	71	753	4.10	532	1.03	4.99	5.13	9.23	0.69	
40	875	163	83	787	3.56	543	1.03	5.08	5.21	8.77	0.72	
45	894	190	89	815	3.09	554	1.03	5.16	5.30	8.39	0.76	
50	911	214	103	840	2.84	559	1.03	5.20	5.34	8.19	0.78	
55	926	238	119	861	2.69	562	1.03	5.22	5.36	8.06	0.79	
60	940	263	131	880	2.56	566	1.03	5.25	5.39	7.95	0.80	
Maximální stupeň využití:		0.8 Stropní deska vyhovuje										

Obr. 33 Výstupní data pro oblast A na obrazovce programu FRACOF

Výstup programu informuje o kritických teplotách obvodových nosníků, viz obr. 34. Obvodové nosníky by měly být chráněny takovým způsobem, aby bylo zajištěno, že v požadovaném čase požární odolnosti nepřekročí jejich teplota tuto kritickou hodnotu. Stupněm využití se v tomto výstupu rozumí poměr mezi zatížením působícím při požáru a momentovou únosností nosníku za požáru v čase nula (tzn. za pokojové teploty).

• Návrh krajního nosníku			
Strana A	Velikost průřez:	IPE 550	Nespřažený Krajní nosník
	Požadovaná momentová únosnost:	270.96 kNm	
	Stupeň využití:	0.29	
	Kritická teplota:	677 °C	
Strana B	Velikost průřez:	IPE 500	Spřažený Vnitřní nosník
	Požadovaná momentová únosnost:	464.99 kNm	
	Stupeň spřažení:	72 %	
	Stupeň využití:	0.37	
Strana C	Velikost průřez:	IPE 500	Spřažený Krajní nosník
	Požadovaná momentová únosnost:	270.96 kNm	
	Stupeň spřažení:	51 %	
	Stupeň využití:	0.27	
Strana D	Velikost průřez:	IPE 500	Nespřažený Krajní nosník
	Požadovaná momentová únosnost:	464.99 kNm	
	Stupeň využití:	0.62	
	Kritická teplota:	552 °C	

Obr. 34 Požadavky na únosnost okrajových nosníků návrhové zóny A, výstup na obrazovce programu FRACOF

6.3 Výztuž

Při návrhu oblastí A a B za požáru vyhovuje výztužná síť ST 25C.

Síť je tvořena pruty o průměru 7 mm ve vzdálenosti 150 mm v obou směrech, plocha výztuže je 257 mm²/m, mez kluzu výztuže je 500 MPa s tažností třídy C podle normy EN 10080.

V místě spojů výztužných sítí musí být provedeno takové překrytí sítí, aby bylo zajištěno plné využití tahové únosnosti sítí v případě požáru. U sítě ST 25C s průměrem prutu 7 mm je minimální délka překrytí 300 mm, viz tab. 7. Zároveň musí být sítě v místě překrytí upraveny podle obr. 13. U obvodových nosníků by měla dodatečná výztuž ve tvaru U zajistit dostatečné kotvení mezi nosníkem a spřaženou deskou.

6.4 Požární návrh obvodových nosníků

6.4.1 Obvodové nosníky mezi oblastmi

Obvodové nosníky mezi oblastmi spadají do návrhů více oblastí zároveň. Na příklad nosník v ose B1 - B2 na obr. 23 je obvodový na straně C návrhové oblasti A a zároveň je obvodový na straně A oblasti B. Požární ochrana tohoto prvku musí vycházet z nižší kritické teploty z návrhů obou oblastí, které se stanoví programem FRACOF. Z výstupu programu při návrhu

oblasti B, viz obr. 30, lze odečíst kritickou teplotu 670 °C. Při návrhu oblasti A lze pro stejný nosník odečíst z obr. 34 hodnotu kritické teploty 693°C. V tomto případě rozhoduje nižší kritická teplota nosníku, tj. hodnota 670°C z návrhu oblasti B. S touto teplotou se uvažuje při návrhu ochrany nosníku.

Požadované požární ochrany vychází z požadavků, viz obr. 30:

- doba požární odolnosti 60 min
- průřez IPE 500
- kritická teplota 670°C

Součinitele průřezu se určí podle normy ČSN EN 1993-1-2:

- 104 m⁻¹ součinitel průřezu pro povrch obdélníka opsaného průřezu nosníku ohřivaného ze tří stran
- 134 m⁻¹ součinitel průřezu nosníku ohřivaného ze tří stran.

6.4.2 Obvodové nosníky na kraji stropu

V tomto případě jsou krajní nosníky navrženy jako nespřažené. Tyto nosníky měly být dostatečně ukotveny do spřažené desky. Toho lze dosáhnout pomocí dodatečné výztuže ve tvaru U, viz kap. 4.3.2 a 4.4, zároveň s provedením spřahovacích trnů po celé délce nosníku. Trny by měly být ve vzdálenostech 300 mm od sebe na straně trapézového plechu, která je rovnoběžná s nosníkem. Na straně trapézového plechu, která je k nosníku kolmá, by trny měly být provedeny v každé vlně plechu, viz doporučení v kap. 4.4.

Požadavky na požární ochranu krajních nosníků se uvedou stejně jako u obvodových nosníků jednotlivých oblastí.

6.5 Požární ochrana sloupů

Požadavky na požární ochranu sloupů zahrnují všechny sloupy v tomto příkladu. Uvede se:

- Požadovaná požární odolnost 60 min
- Průřez HD 320 × 158

Součinitele průřezu:

- 63 m⁻¹ pro povrch obdélníka opsaného průřezu sloupu ohřivaného ze čtyř stran
- 89 m⁻¹ součinitel průřezu ohřivaný ze čtyř stran.

Kritická teplota menší z hodnot: 500 °C a hodnota o 80 °C menší, než je hodnota kritické teploty spočtené podle ČSN EN 1993-1-2

Požární ochrana by měla být provedena po celé výšce sloupu až ke spřažené ocelobetonové desce.

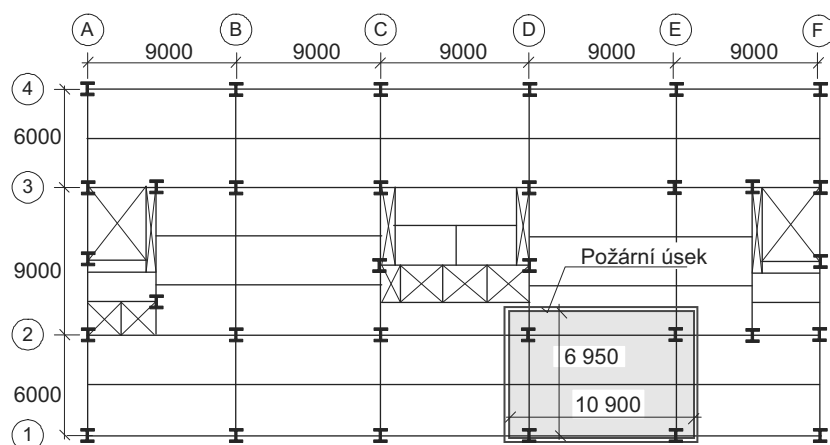
7 Požární návrh stropu experimentální budovy v Cardingtonu

7.1 Experimentální budova

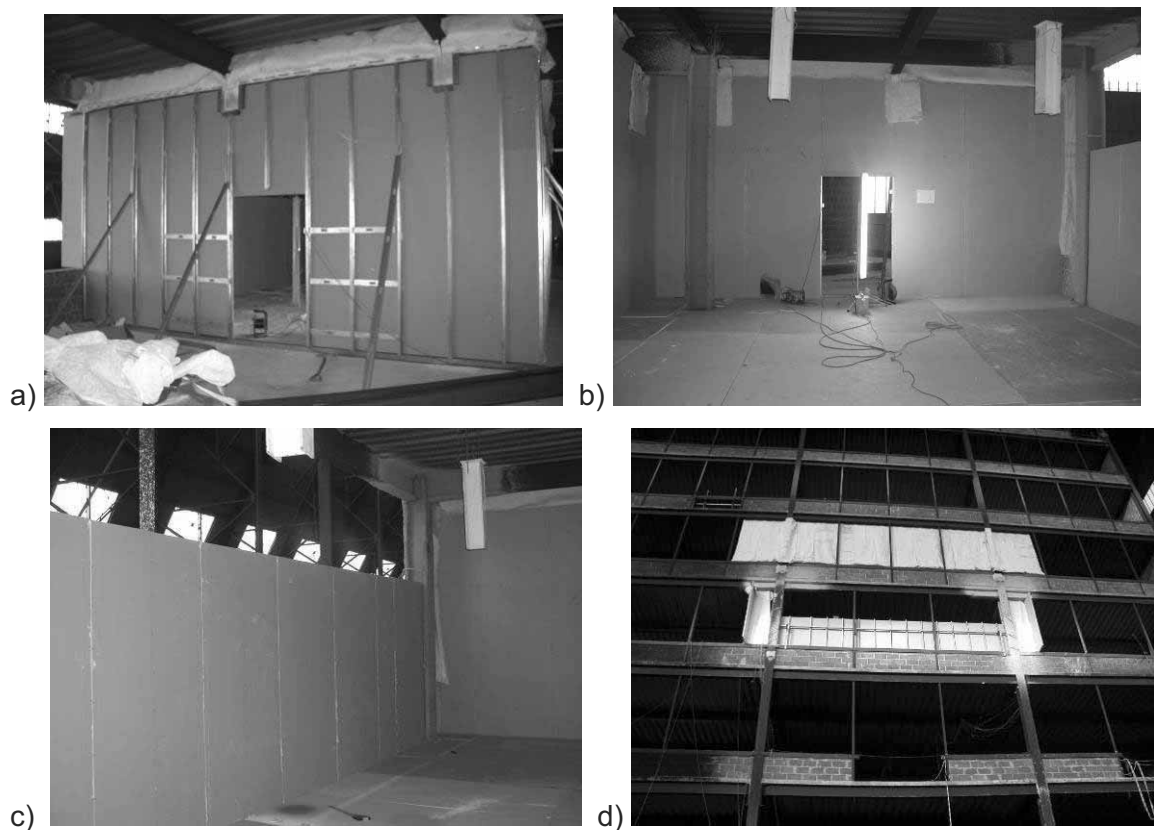
Ocelobetonový skelet experimentální budovy byl postaven v roce 1993 jako typická moderní administrativní budova o užitné ploše 945 m², viz [31]. Objekt je vysoký 33 m o půdorysných rozměrech 21 m x 45 m se třemi trakty 6 m + 9 m + 6 m o pěti polích rozpětí 9 m. Konstrukce je v obou směrech ztužena diagonálními ztužidly umístěnými kolem tří přístupových svislých šachet, viz půdorys na obr. 34. Ocelové nosníky jsou navrženy z otevřených průřezů I jako prostě uložené a jsou spřaženy trny s plechobetonovou deskou o tloušťce 130 mm z trapézových plechů a betonu s lehkým kamenivem. Přípoje nosníků na průvlaky tvoří desky na stojině. Přípoje na sloupy jsou navrženy pomocí čelních desek. Ocelobetonová stropní deska je vyztužena jednou vrstvou sítě trhlinové výztuže o ploše 142 mm²/m v obou směrech.

Pro zkoušku byl ve třetím podlaží zkušebního podlažního objektu vytvořen požární úsek o rozměrech 7 m x 11 m, viz obr. 34. Zkoušela se stropní deska nad třetím podlažím. Stěny požárního úseku byly umístěny ve vzdálenosti cca 1 m za vnější líc sloupů. Stěny tvořily příčky ze sádkartonových desek (tloušťky 15 + 12,5 + 15 mm, koeficient tepelné vodivosti $\lambda_p = 0,20 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$) na ocelových tenkostěnných profilech. Konstrukce příčky byla ukončena 0,5 m pod stropem. Mezera byla uzavřena rohožemi z křemičitých vláken tak, aby byla umožněna volná deformace stropu. U obvodového pláště byl ponechán ventilační otvor o výšce 1,30 m a délce 9 m nad sádkartonovou příčkou, viz obr. 35 [32], umístěnou za plynosilikátovou vyzdívku výšky 900 mm.

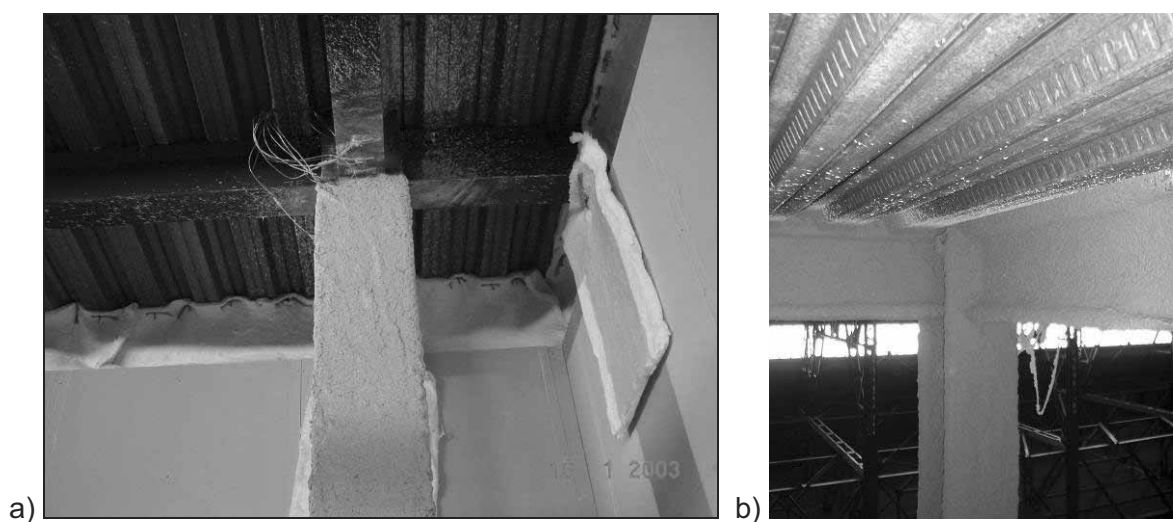
Sloupy uvnitř požárního úseku byly opatřeny protipožárním nástřikem (Cafco 300) o tloušťce 18 mm až 26 mm na bázi vermikulitu o tepelné vodivosti $\lambda_p = 0,078 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$. Vnitřní sloupy (D2, E2) byly chráněny pod styčníky s nosníky. Na vnějších sloupech (D1, E1) byl nástřik až ke stropní desce včetně 1,2 m připojovaných nosníků, obr. 36. Trapézové plechy konstrukce stropu v požárním úseku byly bez tepelné izolace.



Obr. 34 Půdorys ocelobetonové experimentální budovy s vyznačením požárního úseku ve třetím podlaží



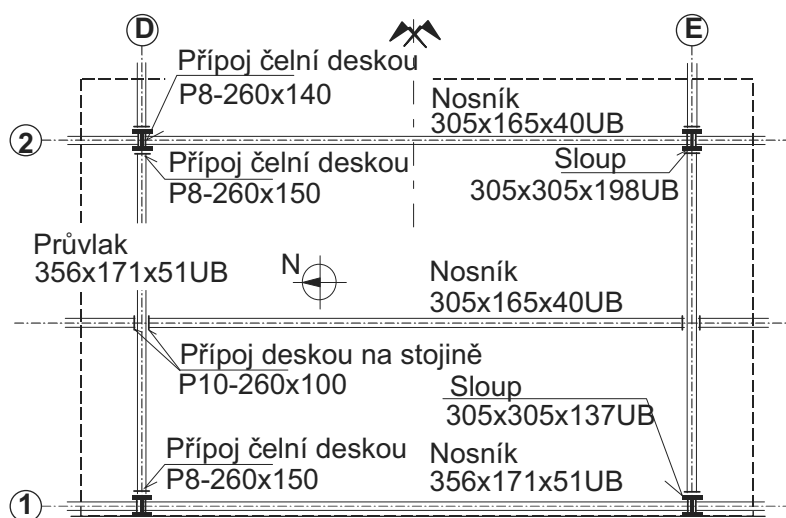
Obr. 35 Sádrokartonové požárně dělící stěny - a) nosná konstrukce příčky, b) požární úsek zevnitř, c) okenní otvor v požárním úseku zevnitř, d) okenní otvor zvenku; podlaží nad požárním úsekem je chráněno křemičitanovými rohožemi



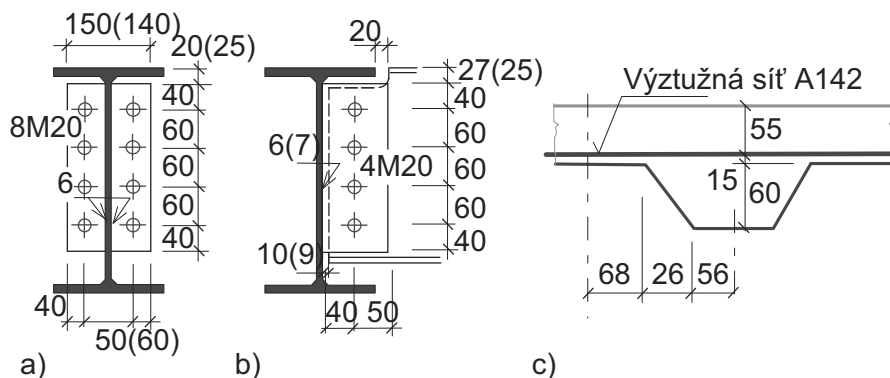
Obr. 36 Tepelná ochrana sloupů - a) vnitřní sloupy po úroveň přípojů, b) vnější sloupy včetně přípojů a 1,2 m připojených nosníků

7.2 Zkoušený požární úsek

Ocelovou konstrukci stropu v požárním úseku, která byla přímo vystavena požáru, tvořily válcované nosníky 305x165x40UB (vnitřní) resp. 356x171x51UB (vnější) na rozpětí 9 m z oceli S275, mez kluzu z experimentů 303 MPa a mez pevnosti 469 MPa. Průvlaky byly provedeny z profilu 356x171x51UB na rozpětí 6 m z oceli S355 s experimentálně stanovenou mezí kluzu 396 MPa a mezí pevnosti 544 MPa. Vnitřní sloupy 305x305x198UC a vnější sloupy 305x305x137UC byly navrženy z oceli S355. Přípoje nosníku na sloup tvořily čelní desky P8-260x140 z oceli S275 a přípoje průvleků desky P8-260x150 (ocel S275) s osmi šrouby M20-8.8 o mezi pevnosti 869 MPa. Přípoje nosníků na průvlaky tvořily desky na stojině P10-260x100 se čtyřmi šrouby M20-8.8. Ocelobetonová deska byla betonována z lehkého betonu LW 35/38 o tloušťce 70 mm nad vrchol vlny. Před zkouškou byla Schmidtovým kladivem ověřena krychelná pevnost $39,39 \pm 0,48$ MPa. Deska byla vyztužena sítí o $142 \text{ mm}^2/\text{m}$. Spřahovací trny $\varnothing 19-95$ s charakteristickou hodnotou meze kluzu 350 MPa byly na nosnících umístěny do každé vlny trapézového plechu PMF CF70 tloušťky 0,9 mm, tj. po 300 mm na nosnících (na průvlacích po 200 mm).



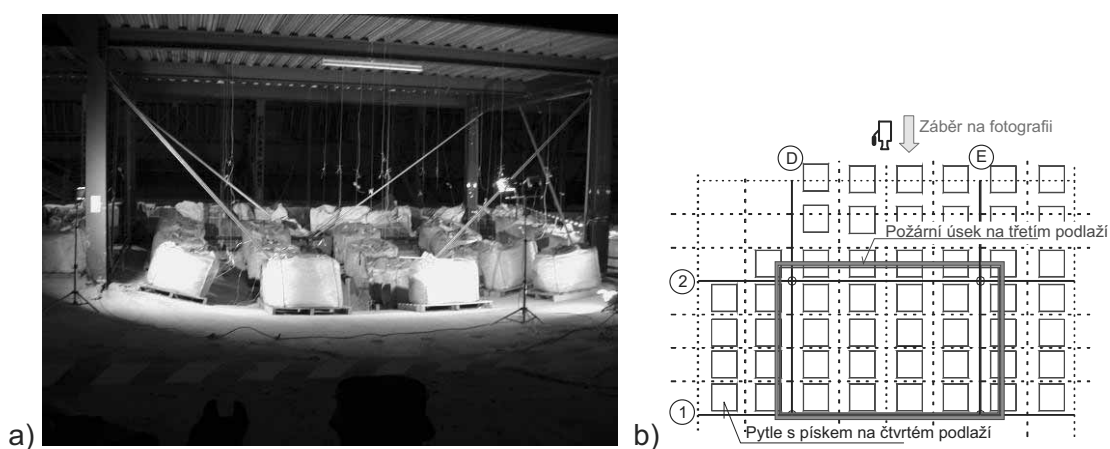
Obr. 37 Prvky konstrukce stropu vystavené požáru



Obr. 38 Stropní konstrukce - a) přípoje čelní deskou, b) přípoje deskou na stojině a c) ocelobetonové desky

7.3 Zatížení

Budova byla navržena jako běžná administrativní budova v hrabství Bedford v jihovýchodní Anglii, tj. ve výpočtu se uvažovalo s $3,65 \text{ kN/m}^2$ stálého zatížení a s $3,5 \text{ kN/m}^2$ nahodilého zatížení. Pytle s pískem, každý o tíze 11 kN na ploše $18 \text{ m} \times 10,5 \text{ m}$, viz obr. 38, doplňovaly během zkoušky plné stálé a dlouhodobé nahodilé zatížení a představovaly 56 % krátkodobého nahodilého zatížení. Mechanické zatížení bylo navrženo na kolaps ocelobetonové desky. Mezního stavu celistvosti otevřením trhliny u sloupu D2 dosáhla deska v 57 min experimentu. Mezního únosnost desky nebyla vyčerpána. 32 hranic z dřevěných hranolů $50 \times 50 \times 1000 \text{ mm}$ o vlhkosti 11,8 % tvořilo požární zatížení 40 kg/m^2 , které odpovídá požárnímu zatížení v administrativní budově, viz obr. 39.



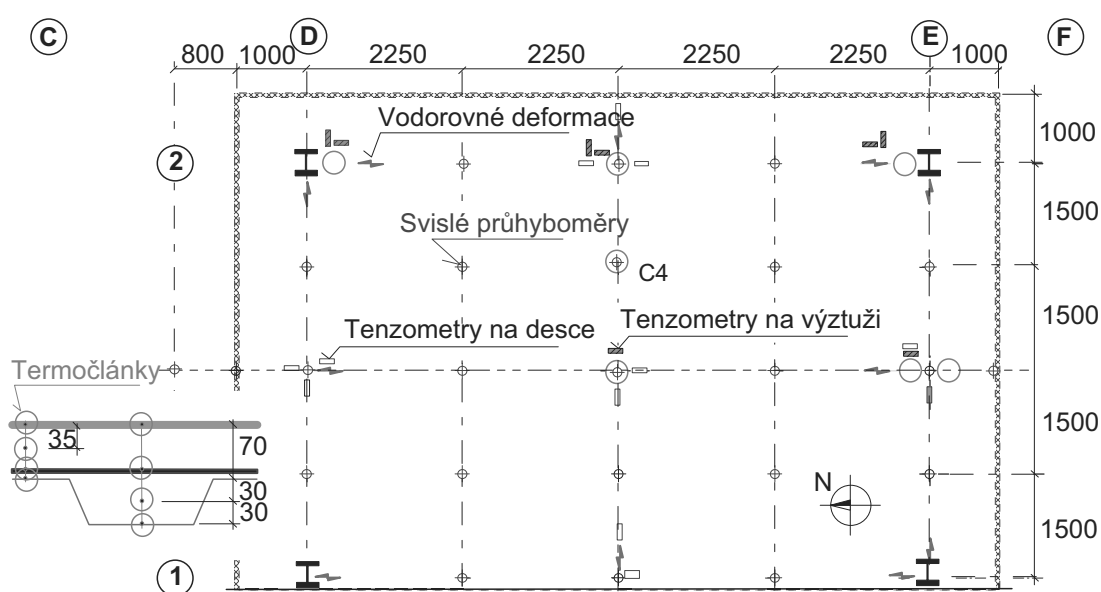
Obr. 38 Mechanické zatížení pytlů s pískem – a) zatížení po experimentu, trvalá deformace desky 950 mm; b) schéma rozmístění pytlů



Obr. 39 Požární zatížení dřevěnými hranoly ve 32 hranicích

7.4 Měření

250 snímačů zaznamenávalo teploty a poměrné deformace, viz obr. 40. Snímače byly propojeny s ústřednou Orion Delta umístěnou v přízemí objektu, která data odečítala, převáděla a zaznamenávala. K vyhodnocení byla data ukládána připojeným osobním počítačem. Teploty v požárním úseku, na nosnících, styčnicích a v betonové desce zaznamenávalo 148 termočlánků. Vnitřní síly ve styčnicích byly určovány deseti vysokoteplotními tenzometry (HITEC PRODUCTS, INC., HBWAH-12-250-6NL). Napjatost v tepelně izolovaných sloupech a v ocelobetonové desce byla vyšetřována 57 nálepkovými tenzometry pracujícími do teplot 200 až 250 °C. 37 inductivních snímačů deformací zachycovalo změnu geometrie konstrukce.



Obr. 40 Měření na ocelobetonové stropní desce třetího podlaží

Během rozvinutého požáru, viz obr. 41, šlehaly plameny pouze 3 m z požárního úseku. Mezního stavu celistvosti ocelobetonové desky bylo dosaženo až v 54 min, na počátku chladnutí plynů, experimentu rozevřením trhliny u sloupu E2. Po požáru zbylo v požárním úseku na zemi malé množství popela, viz obr. 42. Stěny ze tří vrstev sádkartonových desek zachovaly celistvost. Na záběru je vidět veliký průhyb stropu požárního úseku. Největší dosažený průhyb, který byl v desce, nebyl zaznamenán průhyboměrem. Měřicí zařízení umožňovalo odečítat průhyboměry pouze do 1000 mm. Ze záběrů video kamery umístěné na pátém podlaží a termo kamery z konstrukce objektu hangáru se potvrdilo, že největší průhyb ocelobetonové desky přesáhl 1,2 m. Po požáru byla naměřena zbytková deformace stropu 925 mm.



Obr. 41 Pohled na požární úsek ve 39. min plně rozvinutém požáru

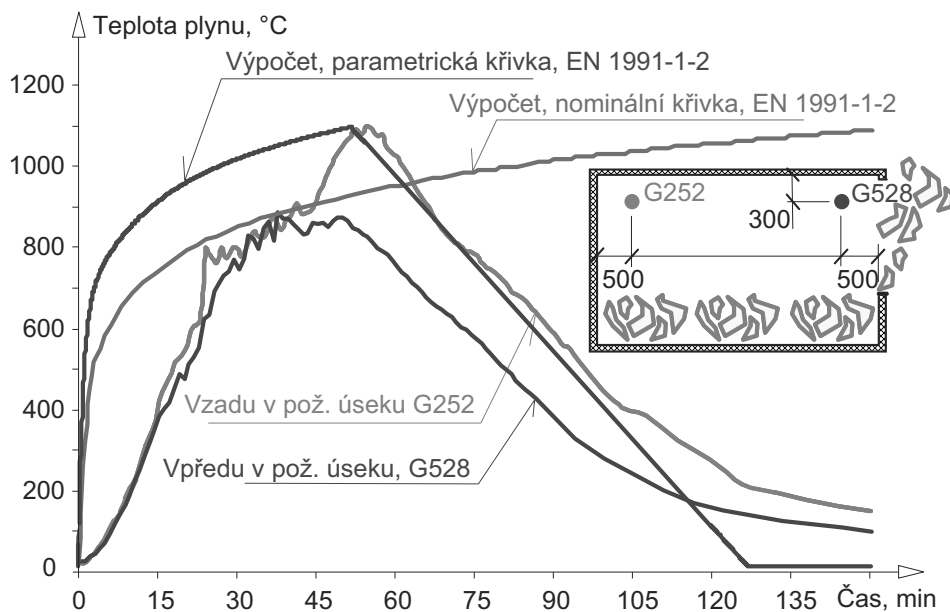


a)

b)

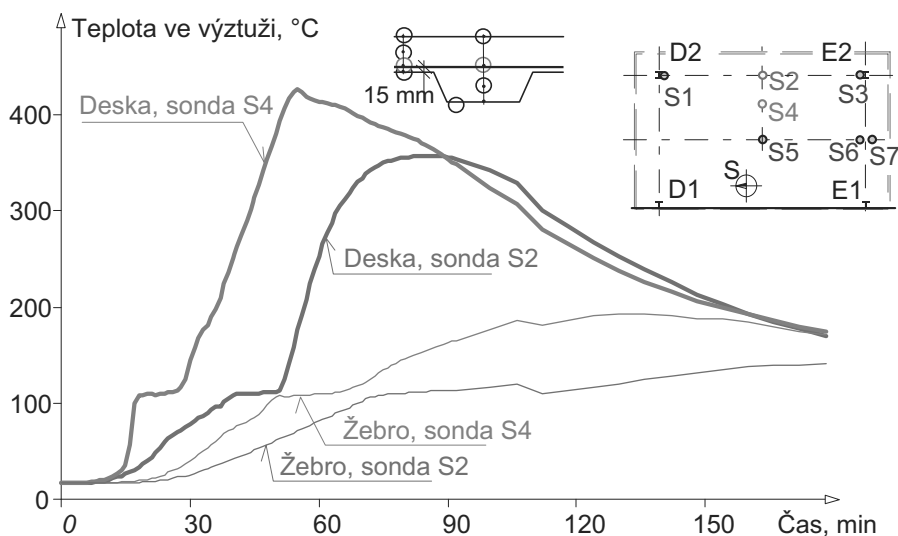
Obr. 42a) Požární úsek po požáru, b) zbytková deformace ocelobetonové desky 925 mm

Termočlánky snímaly teplotu v požárním úseku 300 mm pod stropem. Obr. 43 popisuje rozvoj teploty v čase. Nejvyšší teplota 1107,8 °C byla naměřena na termočlánek G525 2 250 mm od sloupu D2 v 54 min požáru. Na teplotní křivce je možno rozlišit tři fáze. Prudký nárůst teploty v požárním úseku trval asi do 24 min požáru. V této části byl požár řízen odhoříváním paliva. Ve druhé části, za vysokých teplot, byl od 24 min požár řízen ventilací. Od 55 min plyny v požárním úseku chladly přibližně lineárně, ve 130 min požáru poklesla teplota pod 200 °C. Izotermie na obr. 5a ukazují, že při nárůstu teplot se nejvyšší teploty koncentrovaly ve středu požárního úseku, s rozdílem teplot 102 °C v 15 min požáru. Nejvyšší teploty byly naměřeny vzadu v požárním úseku, kdy byl ve 45 min požáru v přední části úseku rozdíl teplot 194 °C. Při chladnutí se rozdíly teplot zmenšovaly, např. v 95 min požáru dosahovaly 105 °C.

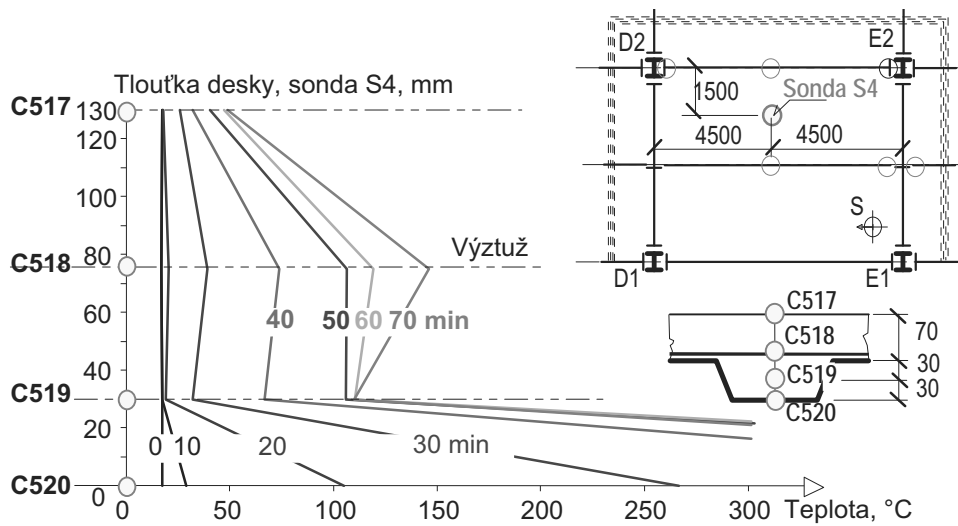


Obr. 44 Rozložení teplot plynu v požárním úseku v čase a předpověď parametrickou a nominální teplotní křivkou

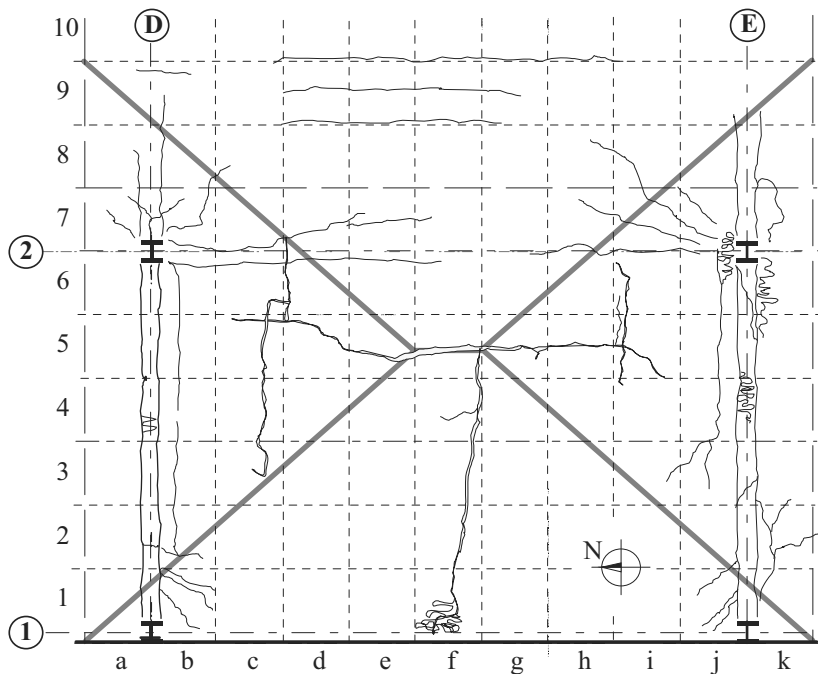
Teplota ocelobetonové desky v žebro byla měřena v sondách S1 – S4 na trapézovém plechu (0 mm), v betonu (30 mm), na výztuži (75 mm) a na horním povrchu desky (130 mm), viz obr. 44. Poblíž žebra byly termočlánky na plechu (0 mm), na výztuži (15 mm), v betonu (35 mm) a na horním povrchu (70 mm); v sondách S5 až S7 se měřila pouze teplota výztuže. Plech se od betonu oddělil ve 20. min experimentu. Ve středu desky byly změřeny v žebro i mimo něj obdobné nejvyšší teploty, a to jak ve fázi zahřívání, tak i ve fázi chladnutí, okolo 250 °C ve 100. až 150. min. Na horním povrchu dosáhla teplota betonové desky 110 °C. Teplota výztuže v žebro nepřekročila 200 °C a mimo žebro 420 °C. Změřená teplota po výšce desky v sondě S4 nad žebrem je zobrazena na obr. 45.



Obr. 44 Teplota výztuže v ocelobetonové desce a v žebro ve středu požárního úseku



Obr. 44 Naměřená teplota po výšce desky v sondě S4 nad žebrem



Obr. 7.

Obr. 44 Tvar trhlin v ocelobetonové desce po požáru ukazuje dobrou shodu předpokládáné, stanovenou pro požárně chráně chráněnou oblast, a skutečné trhliny v desce

Hlavní trhliny v desce jsou vidět na obr. 46. Při experimentu byla zbytková deformace 919 mm ovlivněna i deformací průvlaků, viz obr. 47.



Obr. 47 Deformace desky po požáru

7.5 K návrhu stropu v Cardingtonu programem FRACOF

Na účinky požáru lze pro budovu v Cardingtonu stanovit únosnost oblasti o tvaru obdélníka D1-D2-E2-E1 spřažené ocelobetonové stropní konstrukce o velikosti 6 m x 9 m za předpokladu, že obvodové nosníky jsou požárně chráněny na odolnost R60. V oblasti se nachází jeden nechráněný spřažený nosník. Výpočet je shrnut na obr. 48 až 51 v podrobném protokolu, který je výstupem programu FRACOF.

2. Obecné uspořádání

- Rozpětí
Rozpětí 1: 9 m
Rozpětí 2: 9 m
- Nechráněný nosník
Počet vnitřních nechráněných nosníků: 2

3. Plech

- Vlastnosti stropu
Plech: COFRAPLUS 60 Typ: Trapézový
Výška: 58 mm Horní pásnice: 106 mm
Vzdálenost mezi vlnami: 207 mm Dolní pásnice: 62 mm
Výška výztuhy: 0 mm

4. Betonová deska

- Concrete
Třída betonu: Vylehčený Výška desky: 130 mm
Válcová pevnost betonu v tlaku (f_{ck}): 39 N/mm²
- Výztužná síť
Typ sítě: A142
Podélná plocha výztuže: 142 mm²/m Bar size: 6 mm
Příčná plocha výztuže: 142 mm²/m Bar size: 6 mm
Průměrná vzdálenost jednotlivých prutů: 40 mm Mez kluzu výztuže: 600 N/mm²

5. Detaily nosníků

- Nechráněný nosník
Třída průřezu: Britské profily Druh oceli: S275
Velikost průřezu: UB 305x165x40 Stupeň spřažení: 100 %
Detaily: $h = 303.4 \text{ mm}$, $b = 165 \text{ mm}$, $t_w = 6 \text{ mm}$, $t_f = 10.2 \text{ mm}$
- Obvodový nosník na straně A
Třída průřezu: Britské profily Druh oceli: S275
Velikost průřezu: UB 305x165x40
Detaily: $h = 303.4 \text{ mm}$, $b = 165 \text{ mm}$, $t_w = 6 \text{ mm}$, $t_f = 10.2 \text{ mm}$
Poloha nosníku: Vnitřní nosník Typ konstrukce: Spřažený
Stupeň spřažení: 100 %
- Obvodový nosník na straně B
Třída průřezu: Britské profily Druh oceli: S355
Velikost průřezu: UB 356x171x51
Detaily: $h = 355 \text{ mm}$, $b = 171.5 \text{ mm}$, $t_w = 7.4 \text{ mm}$, $t_f = 11.5 \text{ mm}$
Poloha nosníku: Vnitřní nosník Typ konstrukce: Spřažený
Stupeň spřažení: 100 %
- Obvodový nosník na straně C
Třída průřezu: Britské profily Druh oceli: S275
Velikost průřezu: UB 305x165x40
Detaily: $h = 303.4 \text{ mm}$, $b = 165 \text{ mm}$, $t_w = 6 \text{ mm}$, $t_f = 10.2 \text{ mm}$
Poloha nosníku: Vnitřní nosník Typ konstrukce: Spřažený
Stupeň spřažení: 100 %
- Obvodový nosník na straně D
Třída průřezu: Britské profily Druh oceli: S355
Velikost průřezu: UB 356x171x51
Detaily: $h = 355 \text{ mm}$, $b = 171.5 \text{ mm}$, $t_w = 7.4 \text{ mm}$, $t_f = 11.5 \text{ mm}$
Poloha nosníku: Vnitřní nosník Typ konstrukce: Spřažený
Stupeň spřažení: 100 %

Obr. 48 Rekapitulace vstupů v protokolu programu FRACOF pro návrh pro stropní desky objektu v Cardingtonu, popis konstrukce

6. Zatížení - detaily

- Běžná (pokojevá)

Rozhodující nahodilé zatížení:	3,5 kN/m ²
Doplňující nahodilé zatížení:	0 kN/m ²
Vlastní tíha včetně nosníku, bez stopní desky:	3,65 kN/m ²
Vypočtená tíha stropní desky s výztuží:	2.15 kN/m ²
- Za požáru (zvýšená)

Součinitel stálého zatížení:	1.0
Součinitel rozhodujícího nahodilého zatížení:	0.5
Součinitel pro ostatní nahodilé zatížení:	0.3

7. Požár a Analýza

- Normový teplotní křivka
Doba požární odolnosti: 60 min

Obr. 49 Rekapitulace vstupů v protokolu programu FRACOF pro návrh pro stropní desky objektu v Cardingtonu, zatížení

8. Shrnující výstup

• Výchozí orientace výztužné sítě

Maximální stupeň využití: 1.42 **Stropní deska nevyhovuje**

Zatížení při požáru: 6.65 kN/m²

Teplotní křivka: Nominální teplotní křivka

9. Výchozí orientace výztužné sítě

• Tabular Results

Podélná plocha výztuže: 142 mm²/m Bar size: 6 mm

Příčná plocha výztuže: 142 mm²/m Bar size: 6 mm

Zatížení při požáru: 6.65 kN/m²

Čas	Nosník	Výztužná síť	Horní povrch betonové desky	Spodní povrch betonové desky	Únosnost nosníku	Maximální přípustný průhyb	Plastifikace desky	Zvětšení	Únosnost desky	Celková únosnost	Stupeň využití
min	°C	°C	°C	°C	kN/m ²	mm	kN/m ²		kN/m ²	kN/m ²	
0	20	20	20	20	12.49	208	0.98	2.45	2.39	14.88	0.45
5	256	31	20	219	12.49	275	0.98	2.92	2.86	15.34	0.43
10	546	58	21	432	8.06	346	0.98	3.42	3.35	11.41	0.58
15	697	74	25	561	3.03	387	0.98	3.72	3.64	6.67	1.00
20	763	127	31	644	1.98	413	0.98	3.91	3.82	5.80	1.15
25	803	174	40	704	1.40	430	0.98	4.02	3.93	5.33	1.25
30	833	209	51	749	1.20	441	0.98	4.11	4.01	5.22	1.27
35	858	230	59	784	1.04	451	0.98	4.17	4.08	5.12	1.30
40	879	266	69	814	0.91	457	0.98	4.22	4.12	5.03	1.32
45	897	298	79	840	0.79	463	0.98	4.26	4.16	4.95	1.34
50	914	325	84	861	0.74	468	0.96	4.29	4.13	4.87	1.37
55	929	350	99	881	0.70	469	0.95	4.30	4.08	4.78	1.39
60	942	375	114	898	0.66	470	0.93	4.31	4.03	4.69	1.42

Maximum unity factor: 1.42 **Stropní deska nevyhovuje**

• Posudky krajních nosníků

Strana A Velikost průřez: UB 305x165x40 Spřažený Vnitřní nosník

Požadovaná momentová únosnost: 362.87 kNm

Stupeň spřažení: 100 %

Stupeň využití: 0.96

Kritická teplota: 419 °C

Strana B Velikost průřez: UB 356x171x51 Spřažený Vnitřní nosník

Požadovaná momentová únosnost: 389.79 kNm

Stupeň spřažení: 100 %

Stupeň využití: 0.75

Kritická teplota: 566 °C

Strana C Velikost průřez: UB 305x165x40 Spřažený Vnitřní nosník

Požadovaná momentová únosnost: 362.87 kNm

Stupeň spřažení: 100 %

Stupeň využití: 0.96

Kritická teplota: 419 °C

Strana D Velikost průřez: UB 356x171x51 Spřažený Vnitřní nosník

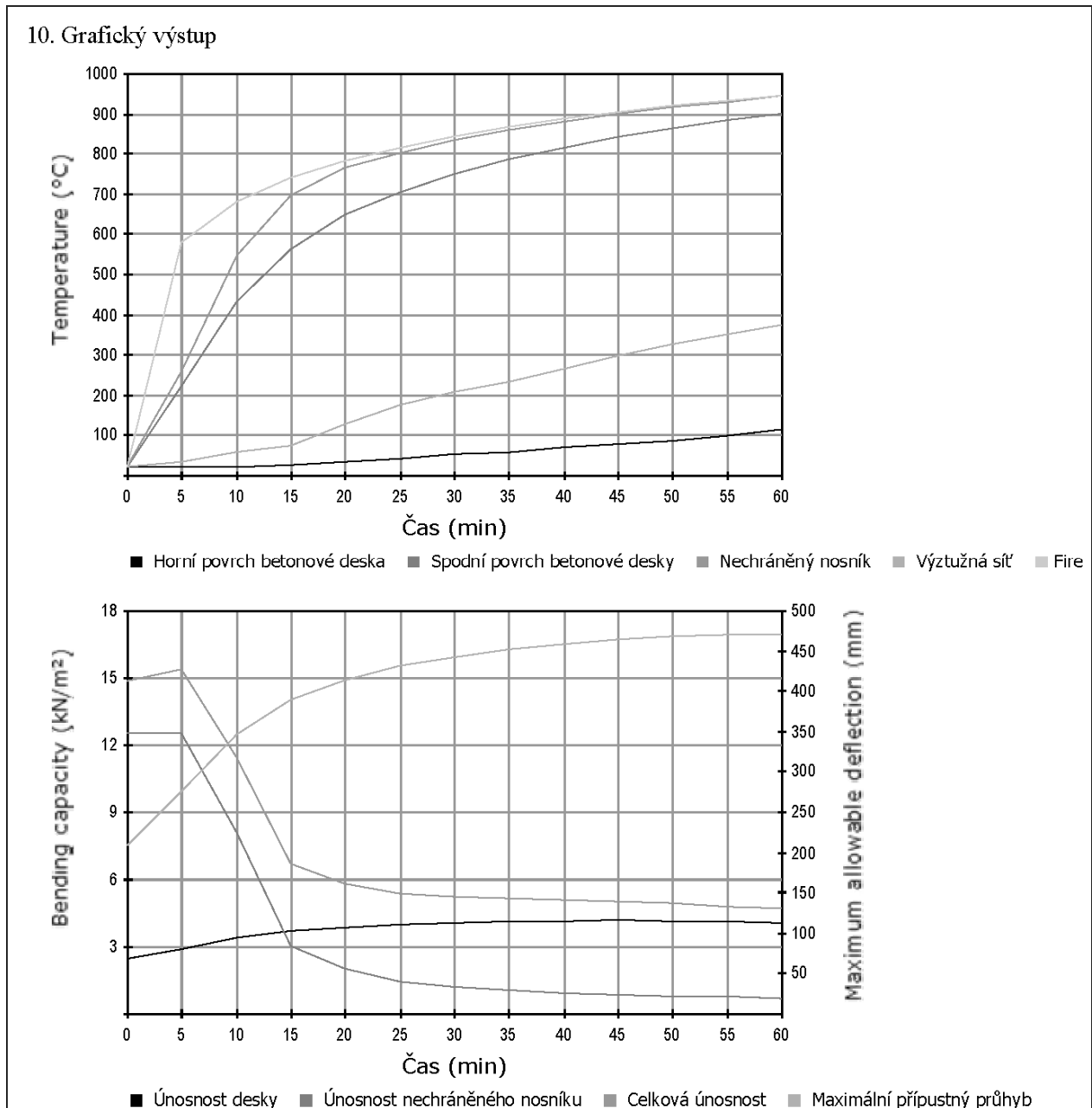
Požadovaná momentová únosnost: 389.79 kNm

Stupeň spřažení: 100 %

Stupeň využití: 0.75

Kritická teplota: 566 °C

Obr. 50 Textová rekapitulace výstupů v protokolu programu FRACOF pro návrh pro stropní desky objektu v Cardingtonu



Obr. 51 Grafická rekapitulace výstupů v protokolu programu FRACOF pro návrh pro stropní desky objektu v Cardingtonu

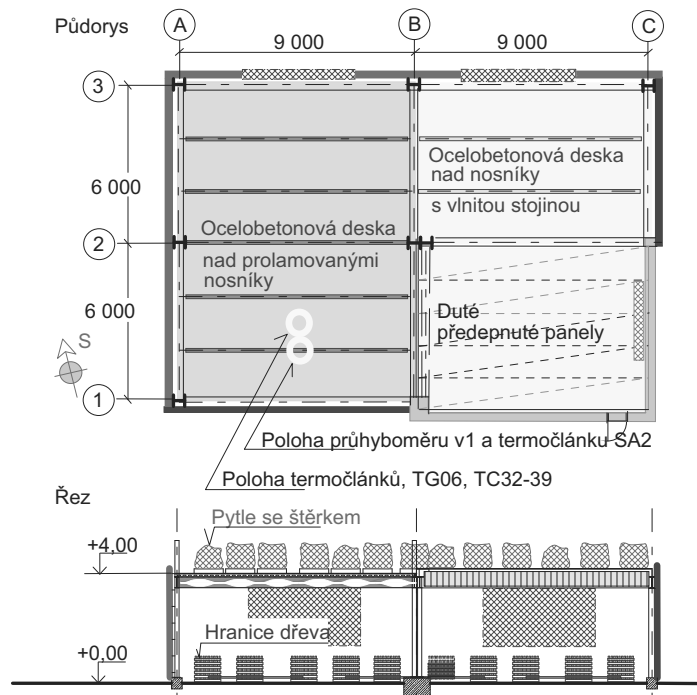
7.6 Přesnost výpočtu

Během experimentu se nepodařilo dosáhnout plánovaného místního porušení ocelobetonové desky. Při experimentu, viz [34], který byl zaměřen na návrh styčnicků, požární úsek a obvodové požárně chráněné nosníky neodpovídají předpokladům výpočtu jednoduchou metodou SCI. Deska byla při experimentu zatížena $6,1 \text{ kN/m}^2$ a únosnost programem FRACOF pro obdélníkovou oblast mezi sloupy je $4,33 \text{ kN/m}^2$, deska byla tedy přetížena 1,4krát. K porušení celistvosti ocelobetonové desky došlo v 54. min požáru prolomením desku u sloupu. Konstrukce prokázala dobrou konstrukční celistvost.

8 Požární návrh stropu experimentální budovy v Mokrsku

8.1 Část administrativní budovy pro experiment

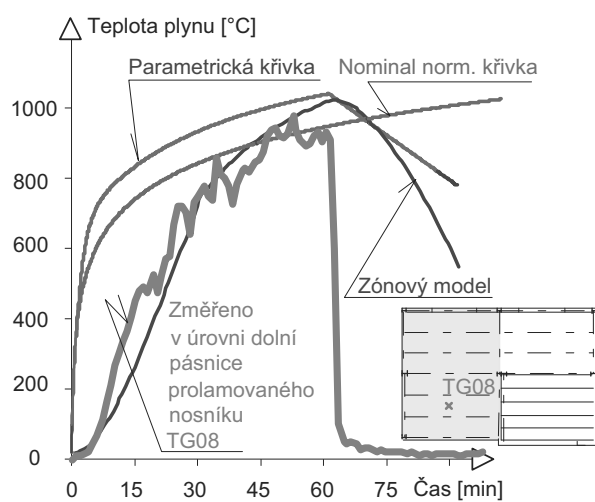
Možnosti modelování lze dokumentovat na požární zkoušce v Mokrsku, která byla kromě jiného také zaměřena na ověření přesnosti modelování konstrukčně velmi složitě částečně chráněného stropu. Zkušební objekt představoval část jednoho podlaží administrativní budovy o rozměrech 18 x 12 m, obr. 52 viz [35]. Mechanické zatížení bylo navrženo pro běžnou administrativní budovu, ve které se proměnné zatížení pohybuje v rozmezí 2,5 až 3,5 kN/m². Vlastní tíha zkoušené ocelobetonové konstrukce dosáhla 2,6 kN/m². Při zkoušce bylo proměnné zatížení vyvozeno 78 pytlí se šterkem hmotnosti 793 kg až 1087 kg, tj. průměrně 3,01 kN/m² viz obr. 53. Při mezním stavu na mezi únosnosti za běžné teploty by zatížení v charakteristických hodnotách odpovídalo proměnnému zatížení 3,0 kN/m² a zatížení podlahami a příčkami 1,0 kN/m². Požární zatížení administrativní budovy tvořily hranice z nehořlavých latí z měkkého dřeva průměrně 35,5 kg/m², které dávaly podle kalorimetrické zkoušky průměrně zatížení 514,75 MJ/m². Při návrhu administrativní budovy se uvažuje s charakteristickou hodnotou požární zatížení 420 MJ/m² viz obr. 54. Polovinu stropu objektu tvořila ocelobetonová deska 12 x 9 m nad prolamovanými požárně nechráněnými nosníky Angelina[®] společnosti ArcelorMittal a čtvrtinu ocelobetonová deska nad požárně nechráněnými nosníky s vlnitou stojinou. Porušení stropu experimentálního objektu nastalo prolomením ocelobetonové desky nad prolamovanými nosníky v pravém zadním rohu objektu po ztrátě její únosnosti v tlaku v 62. min experimentu. Krajní nosník se na vzniklé volné části porušil klopením, viz [36] obr. 55 a 56.



Obr. 52 Schéma stropní konstrukce na experimentálním objektu v Mokrsku



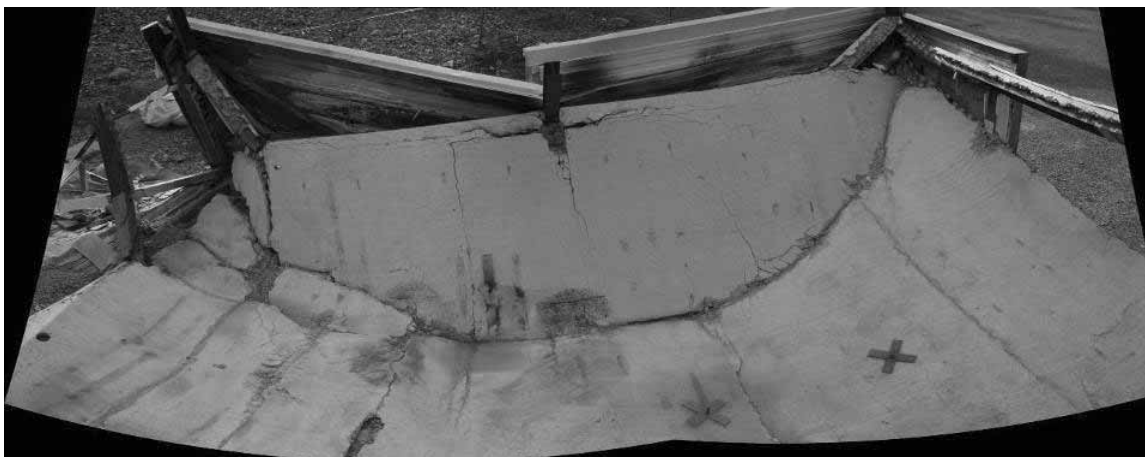
Obr. 53 Mechanické zatížení pytlí se šěrskem a měření teploty stropu termočlánky



Obr. 54 Porovnání předpovědi teploty plynu s naměřenými hodnotami



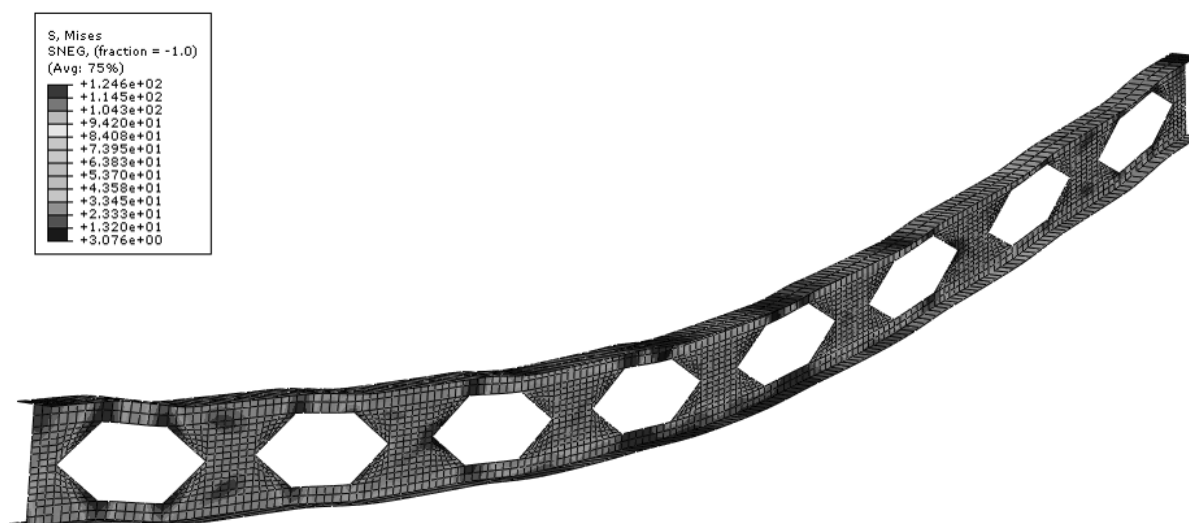
Obr. 55 Pohled na objekt při plně rozvinutém požáru



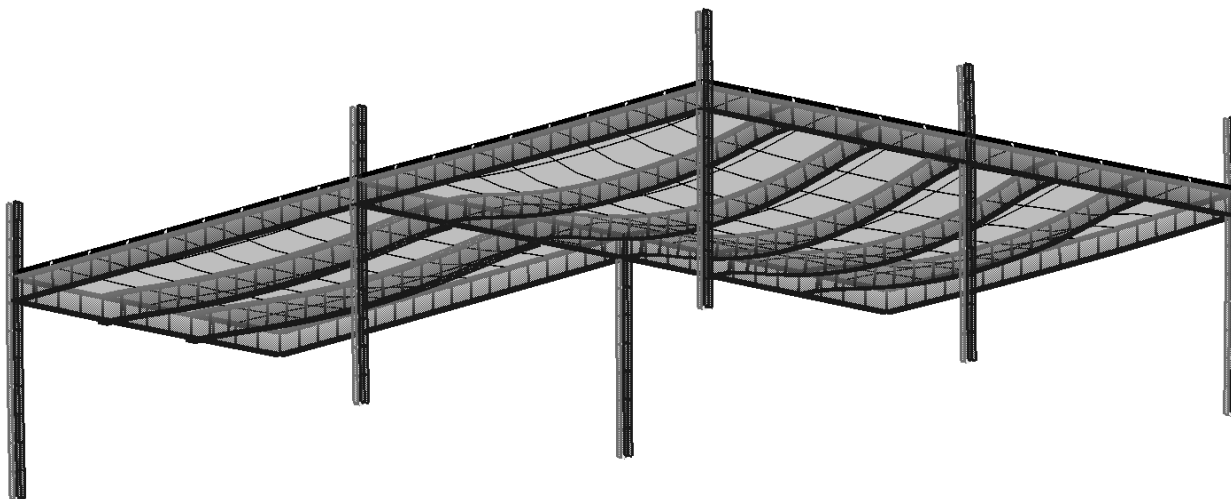
Obr. 56 Pohled na porušenou ocelobetonovou desku s vyznačenými hlavními plastickými lomovými liniemi po odklizení mechanického zatížení

8.2 Modelování pokročilým modelem

Pokročilý model experimentu byl připraven kolegy z University v Sheffieldu, viz [37]. K modelování chování jednotlivých prolamovaných nosníku za zvýšené teploty nosníku byl použit program ABAQUS, viz obr. 57. Programem byla stanovena náhradní tloušťka stojiny nosníku 4,13 mm, která dobře zohledňovala i smykové porušení nosníku velkými otvory ve stojinách. Deformovaný tvar celého stropu ve 42 min, z analýzy programem VULKAN, který patří k jednomu z nejúčinnějších speciálních nástrojů na analýzu ocelových a betonových konstrukcí za požáru, je vidět na obr. 58. Požární odolnost stropu při zatížení parametrickou teplotní křivkou programem VULKAN byla vypočtena na 45 min.



Obr. 57 Přetvoření a hlavní napětí v prolamovaném nosníku Angelina[®] při výpočtu náhradní tloušťky stojiny programem ABAQUS



Obr. 58 Deformovaný tvar stropu při výpočtu programem VULCAN

8.3 K návrhu stropu programem FRACOF

Při výpočtu jednoduchými analytickými návrhovými modely se požaduje, aby každý sloup byl připojen k požárně chráněnému nosníku, viz [38]. Tato zásada nebyla na experimentálním objektu v Mokrsku dodržena a výpočet dává pouze konzervativní orientační hodnoty. Doporučení pro modelování deskového působení stropů s prolamovanými nosníky v praxi se na základě experimentů a MKP modelů připravují.

Pro modelování jednoduchým modelem byly prolamované nosníky simulovány s náhradní tloušťkou stojiny z modelování programem ABAQUS, protože program uvažuje pouze s plnostěnnými nosníky. Podle výsledků výpočtu byla pro požární odolnost R60 při vystavení požáru, který byl modelován nominální normovou teplotní křivkou, únosnost desky překročena 1,25krát. Při výpočtu pro parametrickou křivku byla přesažena dokonce 1,65krát a pro při experimentu skutečně změřené teploty plynu 1,13krát. Výpočet pro nominální normovou křivku je shrnut v podrobném protokolu, který je výstupem programu na obr. 59 až 62.

2. Obecné uspořádání			
• Rozpětí			
Rozpětí 1: 9 m			
Rozpětí 2: 12 m			
• Nechráněný nosník			
Počet vnitřních nechráněných nosníků: 5			
3. Plech			
• Vlastnosti stropu			
Plech:	COFRAPLUS 60	Typ:	Trapézový
Výška:	58 mm	Horní pásnice:	106 mm
Vzdálenost mezi vlnami:	207 mm	Dolní pásnice:	62 mm
Výška výztuhy:	0 mm		
4. Betonová deska			
• Concrete			
Třída betonu:	Normální	Výška desky:	120 mm
		Válcová pevnost betonu v tlaku (f_{ck}):	34 N/mm ²
• Výztužná síť			
Typ sítě:	User defined		
Podélná plocha výztuže:	196 mm ² /m	Bar size:	5 mm
Příčná plocha výztuže:	196 mm ² /m	Bar size:	5 mm
Průměrná vzdálenost jednotlivých prutů:	40 mm	Mez kluzu výztuže:	500 N/mm ²
5. Detaily nosníků			
• Nechráněný nosník			
Třída průřezu:	Evropské profily	Druh oceli:	S235
Velikost průřez:	IPE 330	Stupeň spřažení:	100 %
Detaily:	h = 330 mm, b = 160 mm, $t_w = 7.5$ mm, $t_f = 11.5$ mm		
• Obvodový nosník na straně A			
Třída průřezu:	Evropské profily	Druh oceli:	S235
Velikost průřez:	IPE 400		
Detaily:	h = 400 mm, b = 180 mm, $t_w = 8.6$ mm, $t_f = 13.5$ mm		
Poloha nosníku:	Krajní nosník	Typ konstrukce:	Spřažený
		Stupeň spřažení:	100 %
• Obvodový nosník na straně B			
Třída průřezu:	Evropské profily	Druh oceli:	S235
Velikost průřez:	IPE 400		
Detaily:	h = 400 mm, b = 180 mm, $t_w = 8.6$ mm, $t_f = 13.5$ mm		
Poloha nosníku:	Vnitřní nosník	Typ konstrukce:	Spřažený
		Stupeň spřažení:	100 %
• Obvodový nosník na straně C			
Třída průřezu:	Evropské profily	Druh oceli:	S235
Velikost průřez:	IPE 400		
Detaily:	h = 400 mm, b = 180 mm, $t_w = 8.6$ mm, $t_f = 13.5$ mm		
Poloha nosníku:	Vnitřní nosník	Typ konstrukce:	Spřažený
		Stupeň spřažení:	100 %
• Obvodový nosník na straně D			
Třída průřezu:	Evropské profily	Druh oceli:	S235
Velikost průřez:	IPE 400		
Detaily:	h = 400 mm, b = 180 mm, $t_w = 8.6$ mm, $t_f = 13.5$ mm		
Poloha nosníku:	Vnitřní nosník	Typ konstrukce:	Spřažený
		Stupeň spřažení:	100 %

Obr. 59 Rekapitulace vstupů v protokolu programu FRACOF pro návrh pro stropní desky objektu v Mokrsku, popis konstrukce

6. Zatížení - detaily

- Běžná (pokojová)

Rozhodující nahodilé zatížení:	3 kN/m ²
Doplňující nahodilé zatížení:	0 kN/m ²
Vlastní tíha včetně nosníku, bez stropní desky:	0.2 kN/m ²
Vypočtená tíha stropní desky s výztuží:	2.41 kN/m ²

- Za požáru (zvýšená)

Součinitel stálého zatížení:	1.0
Součinitel rozhodujícího nahodilého zatížení:	1
Součinitel pro ostatní nahodilé zatížení:	1

7. Požár a Analýza

- Normový teplotní křivka

Doba požární odolnosti: 60 min

Obr. 60 Rekapitulace vstupů v protokolu programu FRACOF pro návrh pro stropní desky objektu v Mokrsku, zatížení pro nominální normovou teplotní křivku

8. Shrnující výstup

• Výchozí orientace výztužné sítě

Maximální stupeň využití: 1.25 **Stropní deska nevyhovuje**

Zatížení při požáru: 5.61 kN/m²

Teplotní křivka: Nominální teplotní křivka

9. Výchozí orientace výztužné sítě

• Tabular Results

Podélná plocha výztuže: 196 mm²/m Bar size: 5 mm

Příčná plocha výztuže: 196 mm²/m Bar size: 5 mm

Zatížení při požáru: 5.61 kN/m²

Čas	Nosník	Výztužná síť	Horní povrch betonové desky	Spodní povrch betonové desky	Únosnost nosníku	Maximální přípustný průhyb	Plastifikace desky	Zvětšení	Únosnost desky	Celková únosnost	Stupeň využití
min	°C	°C	°C	°C	kN/m ²	mm	kN/m ²		kN/m ²	kN/m ²	
0	20	20	20	20	18.94	254	0.86	2.51	2.16	21.10	0.27
5	233	39	20	143	18.94	322	0.86	2.93	2.52	21.46	0.26
10	515	72	24	343	14.02	431	0.86	3.59	3.09	17.11	0.33

15	683	93	33	485	5.27	505	0.86	4.04	3.48	8.75	0.64
20	758	153	45	586	3.14	554	0.86	4.35	3.74	6.88	0.82
25	801	201	61	658	2.16	586	0.86	4.54	3.90	6.06	0.93
30	832	237	72	711	1.85	609	0.86	4.68	4.02	5.88	0.95
35	857	278	83	753	1.61	626	0.86	4.78	4.11	5.72	0.98
40	878	315	98	787	1.40	637	0.85	4.85	4.13	5.53	1.01
45	897	350	119	816	1.22	641	0.83	4.87	4.07	5.28	1.06
50	913	383	135	840	1.13	646	0.82	4.90	4.01	5.14	1.09
55	928	414	147	861	1.07	651	0.78	4.92	3.83	4.90	1.14
60	942	442	176	880	1.02	646	0.71	4.88	3.49	4.51	1.25

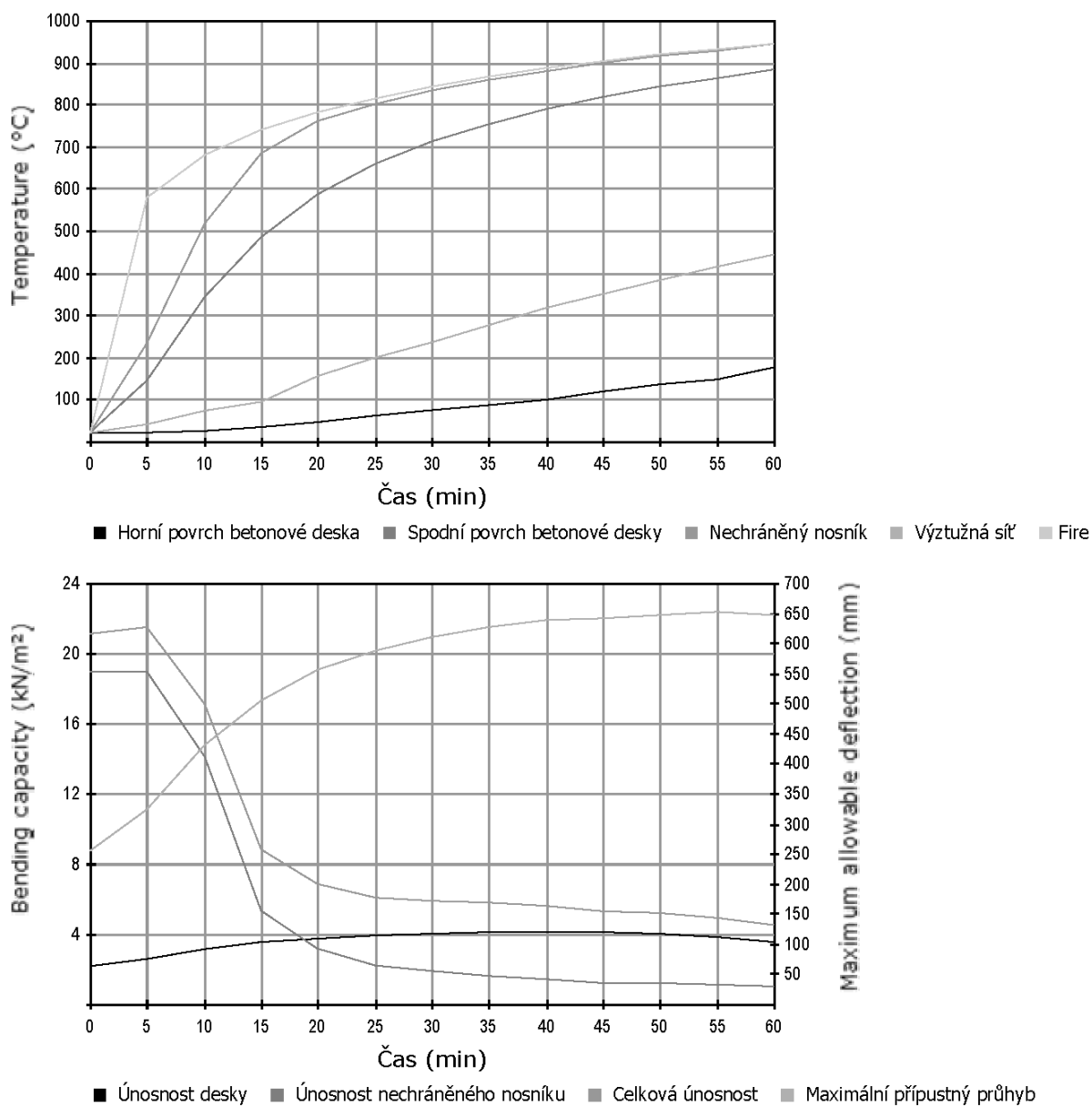
Maximum unity factor: 1.25 **Stropní deska nevyhovuje**

• Posudky krajních nosníků

Strana A	Velikost průřez:	IPE 400	Spřažený	Krajní nosník
	Požadovaná momentová únosnost:	364.78 kNm		
	Stupeň spřažení:	100 %		
	Stupeň využití:	0.68		
	Kritická teplota:	544 °C		
Strana B	Velikost průřez:	IPE 400	Spřažený	Vnitřní nosník
	Požadovaná momentová únosnost:	593.39 kNm		
	Stupeň spřažení:	100 %		
	Stupeň využití:	1.01	Nevyhovuje – zvětšete profil	
	Kritická teplota:	400 °C		
Strana C	Velikost průřez:	IPE 400	Spřažený	Vnitřní nosník
	Požadovaná momentová únosnost:	364.78 kNm		
	Stupeň spřažení:	100 %		
	Stupeň využití:	0.63		
	Kritická teplota:	550 °C		
Strana D	Velikost průřez:	IPE 400	Spřažený	Vnitřní nosník
	Požadovaná momentová únosnost:	593.39 kNm		
	Stupeň spřažení:	100 %		
	Stupeň využití:	1.01	Nevyhovuje – zvětšete profil	
	Kritická teplota:	400 °C		

Obr. 61 Textová rekapitulace výstupů v protokolu programu FRACOF pro návrh pro stropní desky objektu v Mokrsku pro nominální normovou teplotní křivku

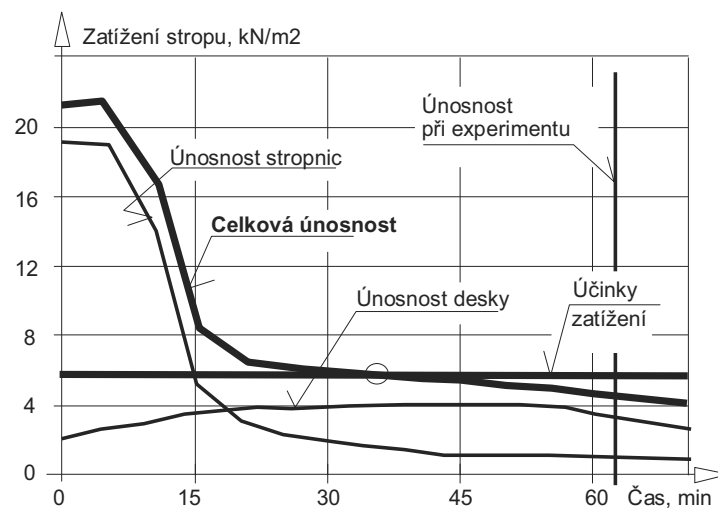
10. Grafický výstup



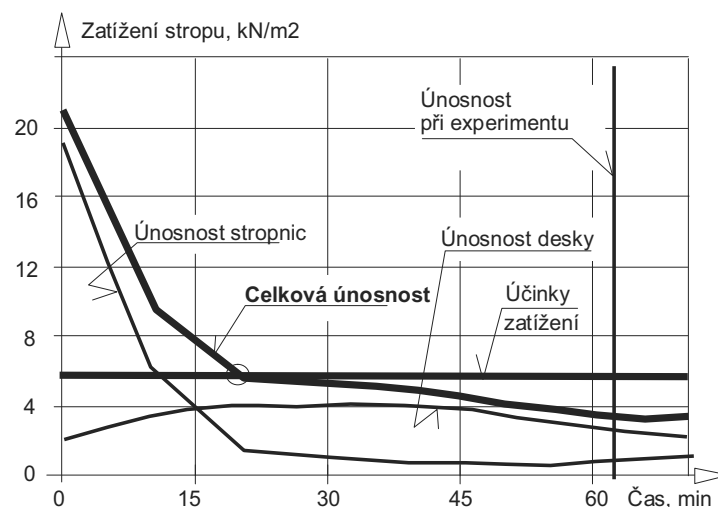
Obr. 62 Grafická rekapitulace výstupů v protokolu programu FRACOF pro návrh pro stropní desky objektu v Mokrsku pro nominální normovou teplotní křivku

8.4 Volba teplotní křivky

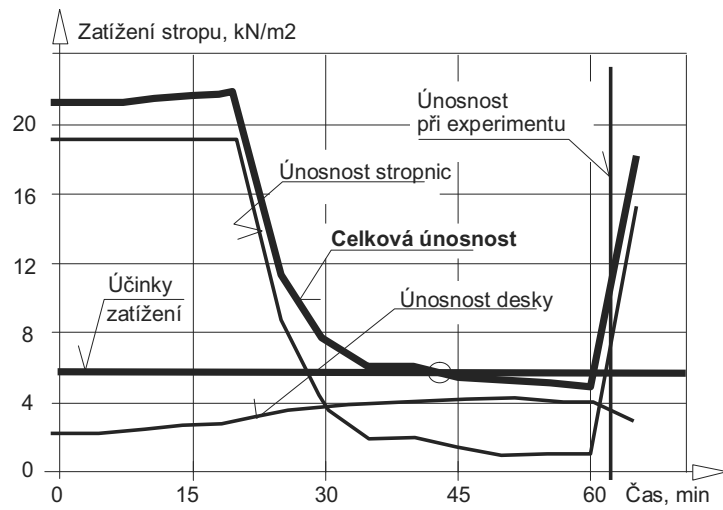
Redukce únosnosti stropnic a nárůst únosnosti desky pro zatěžování stropu nominální normovou teplotní křivkou je dokumentována na obr. 63. Citlivost požárního návrhu na rozvoj teploty v požárním úseku dokumentují výstupy z programu pro namáhání parametrickou teplotní křivkou, viz obr. 64, kdy bylo únosnosti stropu při tomto zatěžování dosaženo již v 17 min požáru, zatím co pro zatěžování změřenou teplotou plynů při zkoušce v 42. min, viz obr. 65. Pro všechny modely vidět, že celková návrhová únosnost desky i nosníků je konzervativní, protože při působícím zatížení $5,61 \text{ kN/m}^2$ se strop porušil v 62. min experimentu. Výpočtový model navíc předpokládá, že vnitřní sloup je držen v rovině stropu požárně chráněným nosníkem. Požárně chráněné obvodové nosníky IPE 400 byly podle tohoto modelu přetíženy asi 1,01 až 1,02 krát.



Obr. 63 Únosnost stropnic a desky při zatěžování stropu experimentální budovy v Mokrsku nominální normovou teplotní křivkou



Obr. 64 Únosnost stropnic a desky při zatěžování stropu experimentální budovy v Mokrsku parametrickou teplotní křivkou



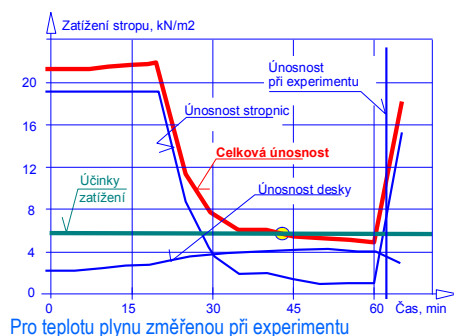
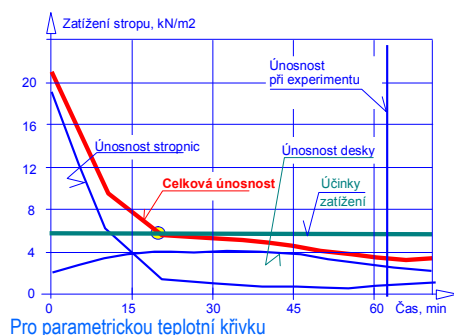
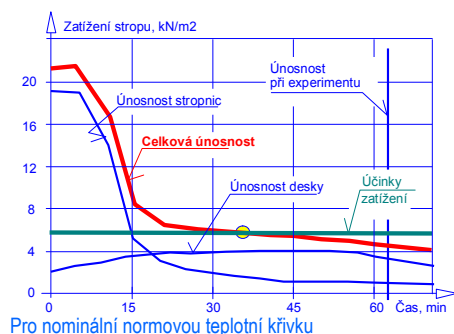
Obr. 65 Únosnost stropnic a desky při zatěžování stropu experimentální budovy v Mokrsku změřenou teplotou plynů

Literatura

- [1] Bailey C.G. , Moore D.B., The structural behaviour of steel frames with composite floor slabs subject to fire, Part 1: Theory The Structural Engineer, June 2000.
- [2] Bailey C.G., Moore D.B., The structural behaviour of steel frames with composite floor slabs subject to fire, Part 2: Design The Structural Engineer, June 2000.
- [3] Bailey C.G., Membrane action of slab/beam composite floor systems in fire Engineering Structures 26.
- [4] ČSN EN 1991-1-2, Zatížení konstrukcí, Obecná zatížení, část 1-2: Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru, ČSN, Praha 2004.
- [5] ČSN EN 1993-1-2, Navrhování ocelových konstrukcí, část 1-2: Navrhování konstrukcí na účinky požáru, ČNI, Praha 2006.
- [6] ČSN EN 1994-1-2, Navrhování ocelobetonových konstrukcí, část 1-2: Navrhování konstrukcí na účinky požáru, ČNI, Praha 2006.
- [7] Fire Resistance Assessment of Partially Protected Composite Floors (FRACOF) Engineering Background, SCI P389, The Steel Construction Institute, 2009.
- [8] The Building Regulations 2000, Approved Document B (Fire safety) 2006 Edition: Volume 2: Buildings other than dwellinghouses, Department of Communities and Local Government, UK, 2006.
- [9] ČSN EN 1994-1-2, Navrhování ocelobetonových konstrukcí, část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, ČNI, Praha 2006.
- [10] EN 10080, Ocel pro výztuž do betonu - Svařitelná betonářská ocel - Všeobecně ČSN, Praha 2005.
- [11] BS 4483:2005, Steel fabric for the reinforcement of concrete. Specification. BSI.
- [12] BS 4449:1:2005, Steel for the reinforcement of concrete. Weldable reinforcing steel. Bar, coil and decoiled product. Specification, BSI.
- [13] NF A 35-016-2, Aciers pour béton armé – Aciers soudables à verrous – Partie 2: Treillis soudés, novembre 2007, AFNOR.
- [14] NF A 35-019-2, Aciers pour béton armé – Aciers soudables à empreintes – Partie 2: Treillis soudés, novembre 2007, AFNOR.
- [15] ČSN EN 1990: Eurokód, Zásady navrhování konstrukcí, ČSN, Praha 2004.
- [16] ČSN EN 1991-1-1, Zatížení konstrukcí, Obecná zatížení, Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb, ČSN, Praha 2004.
- [17] ČSN P ENV 13381-4, Zkušební metody pro stanovení příspěvku k požární odolnosti konstrukčních prvků, Nezpěňující ochrana ocelových prvků, ČSN, Praha 2010.
- [18] ČSN P ENV 13381-4, Zkušební metody pro stanovení příspěvku k požární odolnosti konstrukčních prvků, Zpěňující ochrana ocelových prvků, ČSN, Praha 2010.
- [19] ČSN EN 1992-1-1, Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, ČNI 2006.
- [20] Couchman,G.H., Hicks,S.J and Rackham,J.W., Composite Slabs and Beams Using Steel Decking: Best Practice for Design & Construction (2nd edition), SCI P300, The Steel Construction Institute, 2008.

- [21] BS 8110-1 Structural use of concrete. Code of practice for design and construction, BSI, London, 1997.
- [22] Bailey, C.G., The influence of thermal expansion of beams on the structural behaviour of columns in steel framed buildings during a fire Engineering Structures Vol. 22, July 2000, s. 755-768.
- [23] ČSN EN 1993-1-8, Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčnicků, ČNI, Praha, 2006.
- [24] Volba rozměrů přípoje čelní deskou, Access-steel document SN013a Volba rozměrů přípoje deskou na stojině, Access-steel document SN016a, www.access-steel.com.
- [25] Únosnost ve smyku přípoje čelní deskou, Access-steel document SN014a a SN015a Vazebná únosnost přípoje čelní deskou, Access-steel document SN015a, www.access-steel.com.
- [26] Únosnost ve smyku přípoje deskou na stojině nosníku, Access-steel document SN017a Vazebná únosnost přípoje deskou na stojině nosníku, Access-steel document SN018a, www.access-steel.com.
- [27] Lawson, R.M., Enhancement of fire resistance of beams by beam to column connections, The Steel Construction Institute, 1990.
- [28] ČSN EN 1363-1, Zkoušení požární odolnosti, Základní požadavky, ČSN, Praha 2000.
- [29] ČSN EN 1365, Zkoušení požární odolnosti nosných prvků; ČSN EN 1365-1 Stěny; ČSN EN 1365-2: Stropy a střechy; ČSN EN 1365-3: Nosníky; ČSN EN 1365-4: Sloupy, ČSN, Praha 2000.
- [30] Wald F. a kol., Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí, ČVUT v Praze, 2005, 336 s., ISBN 80-01-03157-8.
- [31] Wald F., Simões da Silva L., Moore D., Lennon T., Chladná M., Experimental Behaviour of a Steel Structure Under Natural Fire, Fire Safety Journal, 2006, vol. 41, no. 7, p. 509-522. ISSN 0379-7112.
- [32] Wald F., Beneš, M., Požární experiment na osmipodlažním objektu v Cardingtonu, Konstrukce, 2004, roč. 3, č. 1, s. 30-34. ISSN 1213-8762.
- [33] Chladná, M. - Wald, F. Veľkorozmerový požiarový test spriahnutej ocelobetónovej konštrukcie, EUROSTAV, 2005, roč. 2005, č. 3, s. 26-28, ISSN 1335-1249.
- [34] Štujberová M., Požiarna odolnosť spriahnutých ocelobetónových stropných konštrukcií, dokt. práce, VŠTB, Bratislava 2007.
- [35] Wald, F. a kol., Fire Test on an Administrative Building in Mokrsko, Nakladatelství ČVUT v Praze, 2010, 152 s., ISBN 978-80-01-04571-8, URL: fire.fsv.cvut.cz/firetest_mokrsko.
- [36] Kallerová P., Chlouba J., Wald, F., Požární zkouška v Mokrsku, Konstrukce, 2009, roč. 8, č. 1, s. 8-13, ISSN 1213-8762.
- [37] Abu A., Wong B., Block F., Burgess I., Structural fire engineering assessments of the Mokrsko fire tests, Stiff Forum, Sheffield, 2009.
- [38] Wald F., Štujberová M., Bednář J., Odolnost ocelobetónového stropu při požárním experimentu v Mokrsku, Konstrukce, 2009, roč. 8, č. 5, s. 11-14, ISSN 1213-8762.

Publikace popisuje požární návrh požárně částečně chráněného stropu jednoduchým analytickým modelem SCI, který byl vyvinut na základě pozorování konstrukcí po požárech, vyhodnocení programu požárních zkoušek na objektech v Cardingtonu BRE v letech 1995 až 2003 a pomocí numerických simulací. Řešení je omezeno na konstrukce, které jsou podobné zkoušeným, tj. ocelová konstrukce s ocelobetonovými stropy a které splňují konstrukční zásady v příručce. Při modelování chování podlaží budovy lze stanovit a ověřit, které prvky mohou zůstat při zachování požadované úrovně požární odolnosti nechráněné a které je třeba chránit. Model odpovídá evropským normám pro požární návrh konstrukcí, ČSN EN 199x-1-2. V monografii je ukázána aplikace modelu softwarem FRACOF na vzorovém projektu a na požárních zkouškách, na kterých měli pracovníci katedry ocelových a dřevěných konstrukcí Českého vysokého učení technického příležitost se podílet.



Požární návrh částečně chráněného ocelobetonového stropu pomocí software

Wald F., Bednář J., Žižka J., Vassart O., Zhao B.

Tiskárna Nakladatelství ČVUT v Praze
Leden 2011

ISBN 978-80-01-04759-0

250 výtisků, 72 stran, 7 tabulek, 61 obrázků