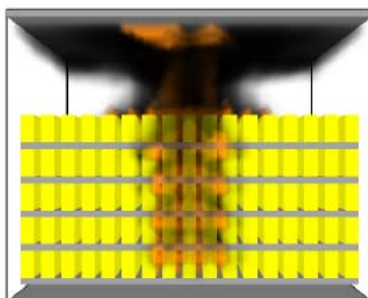


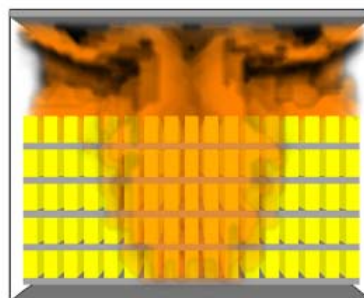


Software ke stanovení požární odolnosti nosných konstrukcí

150 kW/m²



1000 kW/m²



Software
ke stanovení požární odolnosti
nosných konstrukcí

Prokazování požární odolnosti statickým výpočtem

Wald F., Angelis J., Bednář J., Dvořák O., Hejduk P., Horová K., Kuklík P., Jána T., Procházka J., Sokol Z., Starý J., Štefan R.

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.

Tisk Česká technika - nakladatelství ČVUT v Praze
Leden 2011

ISBN 978-80-01-04746-0

250 výtisků, 134 stran, 11 tabulek, 107 obrázků

Úvodem

Předkládaná monografie seznamuje se současnými možnostmi využití software k návrhu stavebních nosných konstrukcí vystavených účinkům požáru v České republice.

Jedním z předpokladů dosažení vysoké úrovně požární ochrany v České republice bylo obdobně jako v dalších evropských zemích její oddělení jako samostatné disciplíny při návrhu budov v Československu v roce 1965. Normy, které byly zprvu zaměřeny pouze na požární zkoušky, v roce 1967 zohlednily již i výhody vyhodnocování požárních rizik, návrh požární odolnosti výpočty, dělení objektu na požární úseky, plány úniku osob, odstupové vzdálenosti a možnosti zásahu požárních jednotek. Kodex požárních norem ČSN 73 08xx, který vznikl v roce 1971, tak integroval zkušební i návrhové požadavky na konstrukce. Rozvoj experimentálního poznání, výpočtových programů a analytických a diskrétních modelů v devadesátých letech minulého století přináší dostatečně přesné ověření požární odolnosti stavebních nosných konstrukcí výpočtem v reálném čase při projektování. Statické výpočty vychází z exaktních kontrolovatelných vstupů a řešení je opakovatelné. Samostatně se modeluje/dokládá teplota v požárním úseku, přestup a rozvoj tepla v konstrukci a chování nosné konstrukce vystavené vysokým teplotám. V současnosti se ve výpočtech přechází od ověřování odolnosti prvků, které vychází ze znalostí z chování při experimentech a z namáhání za běžné teploty, na ověřování celé konstrukce, které umožňuje zahrnout chování celé konstrukce vystavené požáru. Toto pokročilé řešení, viz např. kap. 5 monografie, vyžaduje obvykle analýzu konstrukce za zvýšené teploty a nabízí řádově přesnější ověření a ekonomičtější návrh.

Silným nástrojem pro podporu návrhu konstrukcí za běžné i zvýšené teploty je software, který lze rozdělit na nástroje pro jednoduchá řešení analytickými modely a na nástroje pro pokročilé diskrétní modely obvykle metodou konečných prvků. Pro požární návrh konstrukcí seznamuje nabízená monografie s oběma typy nástrojů, které lze získat zdarma nebo v komerční formě, která přináší záruky ověření použitých modelů a podporu návrhu softwarovými firmami.

Na textech kapitol autoři pracovali následovně: Mgr. Jan Angelis kap. 10, Ing. Jan Bednář kap. 5, plk. Ing. Otto Dvořák, Ph.D. kap. 10, Ing. Pavel Hejduk Ph.D. kap. 9, Ing. K. Horová kap. 2., doc. Ing. Petr Kuklík CSc. kap. 8 a 9, Ing. Tomáš Jána kap. 6., prof. Ing. Jaroslav Procházka kap. 3 a 4., Ing. Zdeněk Sokol Ph.D. kap. 7, Ing. Jan Starý kap. 8, Ing. Radek Štefan kap. 3 a 4 a prof. Ing. František Wald, CSc. úvod a kap. 1, 5, a 6. Recenze monografie se laskavě ujali plk. Ing. Rudolf Kaiser, Ing. Martin Beneš, Ph.D. a Ing. Petra Studecká, Ph.D.

V Praze 23. 1. 2011

František Wald

Obsah

	strana
Úvodem	3
1 Software pro požární návrh nosných konstrukcí	
1.1 Úvod	7
1.2 Dělení programů.....	10
1.3 Modely úniku osob.....	17
1.4 Modely odezvy čidel	17
1.5 Nezařazené modely.....	19
1.6 Veřejně přístupné programy	19
1.7 Ověřování programů	20
2 Rychlost uvolňování tepla při modelování požáru	
2.1 Úvod	21
2.2 Rychlost uvolňování tepla v ČSN EN 1991-1-2: 2004.....	21
2.3 Rychlost uvolňování tepla podle zjednodušených modelů	23
2.4 Rychlost uvolňování tepla pomocí simulací	23
2.5 Vliv RHR na průběh požáru.....	24
2.6 Příklad - popis křivky RHR programem Ozon v2.2.....	25
2.7 Závěr	27
3 Modelování rozvoje tepla v betonových konstrukcích při požáru	28
3.1 Úvod	28
3.2 TempAnalysis – program pro teplotní analýzu průřezu	29
3.3 HygroThermAnalysis – program pro teplotně-vlhkostní analýzu průřezu.....	33
3.4 Závěr	37
4 Programy pro požární návrh betonových a zděných konstrukcí	38
4.1 Úvod	38
4.2 Popis software	38
4.3 Závěr	46
5 Požární odolnost ocelobetonového stropu	47
5.1 Úvodem	47
5.2 Požární zkoušky	47
5.3 Podklady návrhu.....	49
5.4 Požadavky na konstrukční prvky	59
5.5 Požární úseky.....	70
5.6 Řešený příklad.....	72
6 Požární návrh ve výstupech projektů RFCS	89
6.1 Softwarové nástroje ArcellorMittal	89
6.2 Požární odolnost.....	90
6.3 Řešený příklad – Posouzení ocelobetonového nosníku.....	91
na požární odolnost R 60	
6.4 Zkušenosti s využitím	94

7 Návrh sloupu při lokálním požáru	95
7.1 Úvod.....	95
7.2 Konstrukce při lokálním požáru.....	95
7.3 Modelování lokálního požáru	96
7.4 Teplota sloupu neobklopeného plameny	97
7.5 Polohový součinitel	99
7.6 Výsledky řešení.....	100
7.7 Shrnutí.....	106
8 Program pro požární návrh prvků dřevěných konstrukcí	107
8.1 Zbytkový průřez, rychlost zuhelnatění.....	107
8.2 Průřezy s požární ochranou	108
8.3 Pevnost materiálu, návrhové hodnoty	109
8.4 Metody výpočtu posouzení požární odolnosti průřezu prvku	109
8.5 Metoda redukováného průřezu	110
8.6 Metoda redukováných vlastností.....	110
8.7 Řešený příklad - posouzení požární odolnosti tlačného prvku.....	111
s požární ochranou	
8.8 Výpočet požární odolnosti prvku	114
9 Numerický model stěny dřevěného ,skeletu za požáru	116
9.1 Numerický model stěny.....	116
10 Simulace při vyšetřování požárů	121
10.1 Úvod.....	121
10.2 Matematické modelování požárů pro ZPP/PTE	121
10.3 Řešení výzkumného projektu v Technickém ústavu PO	123
10.4 Závěr	126
LITERATURA.....	127

1 Software pro požární návrh nosných konstrukcí

1.1 Úvod

K ověřování požární odolnosti staveb výpočtem je třeba spolupráce zejména autorizovaného inženýra pro požární bezpečnost staveb, stavebního inženýra a autorizovaného statika. Požadovanou požární odolnost, tj. levou stranu rovnice spolehlivosti, vypracovává autorizovaný inženýr pro požární bezpečnost staveb podle celkové koncepce požární spolehlivosti budovy s podporou národních předpisů, daných zejména kodexem norem požární bezpečnosti řady ČSN 7308xx. Při současném návrhu se používá informačních technologií, které výše zmíněnou spolupráci výrazně usnadňují.

Prokázání požární odolnosti statickým výpočtem, tj. pravou stranu rovnice spolehlivosti statického výpočtu konstrukce vystavené účinkům požáru, provádí statik s využitím dat a znalostí o návrhu a chování nosné konstrukce za běžné teploty s podporou návrhových norem ČSN EN 1990 až 1999. Nezbytnou oblastí spolupráce mezi autorizovaným inženýrem pro požární bezpečnost staveb a autorizovaným statikem je určení požárního scénáře, ze kterého pro danou stavbu plyne vhodný model pro tepelné zatížení, návrhový požár a vstupní data pro tento model, např. požární zatížení, rychlost uvolňování tepla a velikost lokalizovaného požáru. K dispozici jsou nominální teplotní křivky, zjednodušené a zdokonalené modely požáru, viz kap. 3 v ČSN EN 1991-1-2.

Při využití výpočtových softwarů, je zpracovatel povinen prověřit a doložit jejich vhodnost pro daný případ. Zejména je třeba dbát o vhodné použití a doložení vstupů a výstupů z modelování požáru, z výpočtu přestupu tepla do konstrukce a rozvoje teploty v ní a z globální analýzy, tj. statickém modelu, za běžné nebo zvýšené teploty, a ověření spolehlivosti konstrukce obvykle po jednotlivých prvcích a styčnicích.

Dále navržená forma dokumentace uvádí nezbytné náležitosti pro schválení ověření požární odolnosti statickým výpočtem dotčenými úřady státní správy, ve které se s využitím software počítá a ve které jsou zdůrazněny data o použitém programu, vstupy a výstupy. Strukturu statického výpočtu k prokázání požární odolnosti stavebních konstrukcí, která vychází z tradiční formy statického výpočtu za běžné teploty a z požadované formy požárně bezpečnostního řešení stavby, se doporučuje členit do tří částí s následujícími odstavci:

Vstupní informace

- A) Identifikační údaje o stavebním objektu, investorovi, zhotoviteli stavby a zhotoviteli dokumentace
- B) Přehled podkladů, vstupních údajů a požadavků
- C) Koncepční řešení statického působení konstrukce
- D) Dispoziční řešení objektu
- E) Přehled užití literatury a norem

F) Údaje o použitém softwaru (název, autor, verze)

Vlastní výpočet

G) Vstupní data

H) Grafická schémata

I) Tepelná zatížení

J) Mechanická zatížení

K) Ověření při běžné teplotě (pokud je podkladem pro požární návrh)

L) Ověření při vystavení účinkům požáru

L1) Teplotní analýza

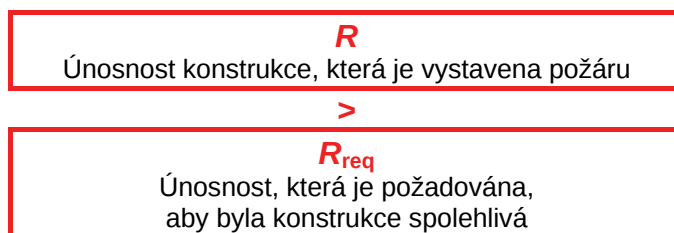
L2) Mechanická analýza

M) Shrnutí rozhodujících výsledků

Požadavky na provádění stavby

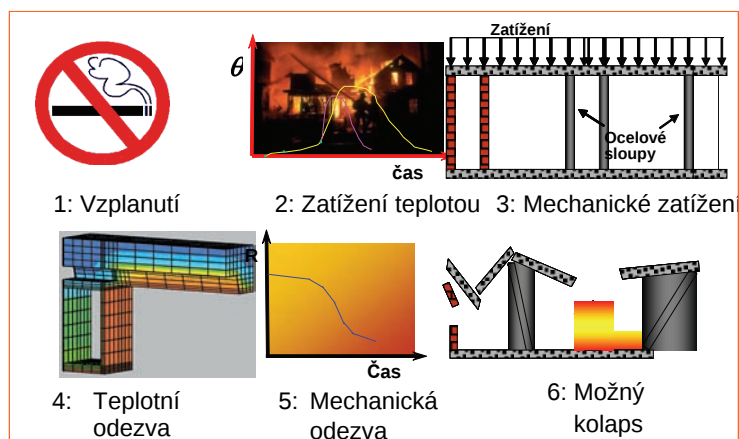
N) Požadavky na postup výstavby a kontrolu jakosti použitého materiálu

O) Předpoklady použití a speciální nároky spojené s výstavbou konstrukce



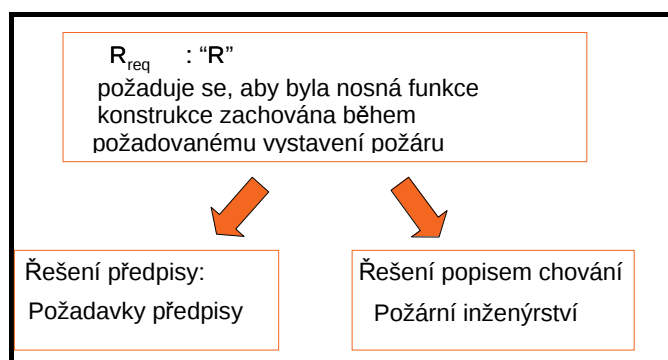
Obr. 1.1 Podmínka požárně odolné konstrukce

V řadě Evropských zemí jsou programy pro modelování požáru a nejen kontrolovány a autorizovány státní správou, ale i vyvíjeny a ověřovány hasiči. Při požárním návrhu konstrukcí se výpočtem se prokazuje, že si konstrukce zachová nosnou funkci po dobu delší než je doba požadovaná z hlediska spolehlivosti, viz obrázek 1.1. Během posledních byla dokončena řada projektů, které připravily výpočtové postupy pro stanovení únosnosti konstrukce vystavené účinkům požáru. Metodika, která je založena na řešení jednotlivých událostí za požáru, viz obrázek 1.2, byla využita i v evropských návrhových normách. Jedním z projektů, ve kterém byla podrobně rozpracována databáze možných programů pro podporu požární bezpečnosti je projekt DIFISEK. Na základě spolupráce v tomto projektu jsou připraveny i informace shrnuté v této kapitole. Cílem práce v projektu, který skončil v roce 2008, bylo připravit průvodce, který umožní vybrat program vyhovující nejlépe požadavkům uživatele. Pro porovnání je podstatná znalost modelu požáru a rozsah jeho použití. Pro ověření vybráno 172 programů, z nichž je 27 volně dostupných. Materiály projektu jsou volně dostupné v českém jazyce na fire.fsv.cvut.cz/difisek/index.htm.



Obr. 1.2 Postup událostí během požáru, viz projekt DIFISEK⁺

Pro stanovení spolehlivosti konstrukce je třeba určit požadavky, které má konstrukce splňovat. Běžně se požadavky definují jako funkce času. V jednotlivých zemích se liší normy a předpisy, které stanovují tyto požadavky, ale princip je stejný. Nosnou funkci konstrukce za požáru lze zajistit předpisy nebo požární inženýrstvím, viz obrázek 1.3.



Obr. 1.3 Požadavky

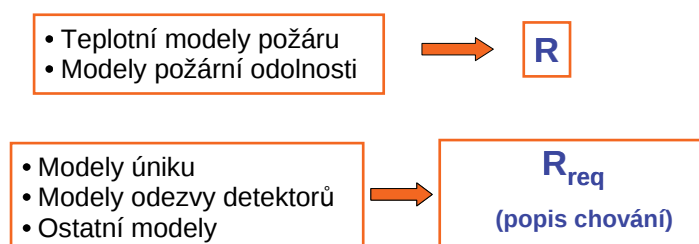
Pro stanovení dvou parametrů $R_{únosnost}$ konstrukce vystavené požáru a $R_{požadavky}$ na spolehlivost byla vyvinuta řada programů. Požární modelování popisuje celou událost požáru nejen rozvoj tepla a kouře, ale od rozhořívání po evakuaci a kolaps konstrukce. Modely lze rozdělit na experimentální a matematické. Experimentální modely, které pracují ve fyzikálním nebo společenském prostředí, nejsou předmětem této práce. Matematické modely sestávají ze soustavy rovnic, které v našem případě popisují jevy ve vztahu k požáru. Na tyto modely je příspěvek zaměřen. Matematické modely se dělí na deterministické a statistické. První vycházejí z fyzikálních, teplotních a chemických závislostí. Statistické modely nejsou přímo těmito závislostmi řízeny, předpovídají se pouze statisticky. Pro složitost řešených rovnic a velký počet nutných iterací, které jsou potřeba k dosažení přesného řešení, se používá počítačů. Programy pro požární návrh jsou nástroje k řešení matematických rovnic, jak deterministických, tak statistických. S požárem se pojí řada jevů. Pro usnadnění ověření

vhodnosti programů byla použita klasifikace funkcí nejběžnějších jevů, které se popisují, tj. rozsah použití programů.

1.2 Dělení programů

Programy pro požární návrh nejčastěji popisují transport kouře a tepla v uzavřených prostorách. Programy využívají zónové a prostorové modely. Pro spolehlivý návrh je ale potřeba více typů modelů, např. i modely požární únosnosti konstrukcí nebo modely odezvy čidel. Klasifikace, kterou použili Olenick a Carpenter, dělí programy na šest oblastí: únosnost konstrukce za požáru, zónové, prostorové modely a modely úniku, odezvy čidel a další nezařazené. V tomto příspěvku je dělení omezeno na pět oblastí použití. Zónové a prostorové modely byly sloučeny do teplotních modelů požáru. Tak vznikla klasifikace podle oblastí použití programů, která není založena na matematických metodách, která řeší jednotlivé jevy. Klasifikaci lze dostupné programy rozdělit na dvě skupiny, viz obrázek 1.4:

- první skupina popisuje tepelnou a mechanickou odezvu konstrukce za požáru, viz obrázek 1.2,
- druhá se zaměřuje na stanovení požadavků, které musí konstrukce splnit, aby byla za požáru spolehlivá.



Obr. 1.4 Skupiny programů pro požární návrh podle oblastí použití

Teplotní modely požáru		
Nominální teplotní křivky (Předpisy)	Normová teplotní křivka	
	Křivka vnějšího požáru	
	Uhlovodíková křivka	
Přirozené modely požáru (Požární inženýrství)	Jednoduché modely	Prostorový požár
		Lokalizovaný pož.
	Pokročilé modely	Zónové modely
		Prostor. modely

Obr. 1.5 Teplotní modely požáru

1.2.1 Modely pro teplotní analýzu

V této části lze nalézt různé typy programů, které se liší metodami řešení teplotní odezvy při požáru. Pro klasifikaci je dále použito řešení, které je shrnuto v EN 1991-1-2:2002, viz obrázek 1.5.

Takto lze klasifikovat modely pro stanovení teploty v požárním úseku na:

- Jednoduché modely, které se dělí na modely prostorového a lokalizovaného požáru
- Pokročilé modely, které se dělí na zónové a prostorové modely

1.2.2 Jednoduché teplotní modely

Tyto modely jsou založeny na fyzikálních parametrech, které mají omezený rozsah použití. Pro prostorové požáry v požárním úseku se předpokládá rovnoměrné a pro lokalizované požáry nerovnoměrné rozložení teploty. Tyto tři programy byly vyvinuty a aktualizovány společností Profile Arbed Researchers (PARE) v rámci projektu DIFISEK

Tab.1.1 Jednoduché modely požáru

Model	Země	Krátký popis
DIFISEK-CaPaFi	Lucemb.	Výpočet teploty v ocelovém prvku, který je ohříván 1 až 5 lokálními zdroji. Podle EN 1991-1-2, EN 1993-1-2 a ECSC projektů "Large Compartment" & "Closed Car Parks".
DIFISEK-EN 1991-1-2 Příloha A	Lucemb.	Výpočet parametrické teplotní křivky a teploty chráněných a nechráněných ocelových prvků podle EN 1991-1-2 příloha A a EN 1993-1-2.
DIFISEK-TEFINAF	Lucemb.	Výpočet teplotního pole ocelového průřezu pod stropem v závislosti na čase a vzdálenosti od požáru, podle zprávy EUR 18868 "Development of design rules for steel structures submitted to natural fires in large compartments".

1.2.3 Pokročilé teplotní modely

Zónové modely

V zónových modelech je místnost, popřípadě místnosti, rozdělena na objemy nebo zóny. Nejběžnější je dělení na dvě zóny, horní teplou a dolní chladnou. Zvláštním případem zónových modelů je jednozónový model, který je založen na předpokladu, že prostor není teplotně rozvrstven a lze jej uvažovat jako pec s rovnoměrnými vlastnostmi. Některé zónové modely umožňují změnu z dvouzónového na jednozónový model při dosažení požadovaných předpokladů, tj. celkového vzplanutí.

Tab. 1.2. Zónové modely

Model	Země	Krátký popis
ARGOS	Dánsko	Zónový model pro více místností
ASET/ASET-B	USA	Zónový model pro jednu místnost bez ventilace
ASMET	USA	Nástroj Atria Smoke Management Engineering
Branzfire	Nový Zéland	Zónový model pro více místností s integrovaným rozhoříváním pro prostorové požáry
BRI-2	Japonsko/USA	Zónový model s dvěma vrstvami pro vícepodlažní místnosti pro transport kouře mezi místnostmi
CCFM/Vents	USA	Zónový model pro více místností s ventilací
Cfire-X	Německo/Norsko	Zónový model pro uhlovodíkové požáry tekutin v nádržích v požárním úseku
CiFi	France	Zónový model pro více místností
COMPBRN	USA	Zónový model pro požární úsek
COMPF2	USA	Model v požárním úseku s jednou místností po celkovém vzplanutí
DACFIR-3	USA	<i>Zónový model pro kabiny letadel</i>
DSLAYV	Švédsko	Zónový model pro jeden požární úsek
FAST/CFAST	USA	Zónový model pro předpověď prostředí v požárním úseku
FASTLite	USA	Omezená verze CFAST
FFM	USA	Zónový model před celkovým vzplanutím
FIGARO II	Německo	<i>Zónový model pro udržitelnost</i>
FIRAC	USA	Používá FIRIN, včetně složitých ventilačních systémů
FireMD	USA	Zónový model pro jednu místnost se dvěma zónami
FireWalk	USA	Používá CFAST, vylepšena ventilace
FireWind	Austrálie	Zónový model pro více místností s řadou dílčích modelů
FIRIN	USA	Zónový model pro více místností s kouřem, ventilací a filtrací
FIRM	USA	Zónový model pro jednu místnost se dvěma zónami
FIRST	USA	Zónový model pro jednu místnost s ventilací
FLAMME-S	Francie	Zónový model pro jednu místnost se dvěma zónami
FMD	USA	Zónový model pro atria
HarvardMarkVI	USA	Předchozí verze FIRST
HEMFAST	USA	Požár nábytku v místnosti
HYSLAB	Švédsko	Zónový model před celkovým vzplanutím
IMFE	Polsko	Zónový model pro jednu místnost s ventilací
MAGIC	Francie	<i>Zónový model pro jaderné elektrárny se dvěma zónami</i>
MRFC	Německo	Zónový model pro více místností, řeší též pohyb kouře a teplotní zatížení konstrukce
NAT	Francie	Zónový model pro více místností zaměřený na odezvu konstrukce
NBS	USA	Zónový model před celkovým vzplanutím
NRCC1	Kanada	Zónový model pro jednu místnost
NRCC2	Kanada	Zónový model pro velkoprostorové kanceláře
OSU	USA	Zónový model pro jednu místnost
Ozone	Belgie	Zónový model zaměřený na odezvu konstrukce
POGAR	Rusko	Zónový model pro jednu místnost
RADISM	VB	Zónový model, včetně podhledů, vzduchotechniky, sprinklerů a ventilace
RFIRES	USA	Zónový model před celkovým vzplanutím
R-VENT	Norsko	Zónový model ventilace kouře v jedné místnosti
SFIRE-4	Švédsko	Zónový model po celkovém vzplanutí
SICOM	Francie	Zónový model pro jeden požární úsek
SMKFLW	Japonsko	Zónový model s jednou vrstvou pro pohyb kouře v budově
Smokepro	Austrálie	Zónový model pro pohyb kouře v jednom požárním úseku
SP	VB	Zónový model po celkovém vzplanutí
WPI-2	USA	Zónový model pro jeden požární úsek
WPIFIRE	USA	Zónový model pro více místností
ZMFE	Polsko	Zónový model pro jeden požární úsek

Pro užití rovnic, na kterých jsou modely založeny, je třeba zvolit řadu předpokladů. Většina předpokladů je založena na experimentálním pozorování. Mezi hlavní předpoklady patří:

- Kouř se při požáru ukládá do dvou vrstev, což je dobře vidět na skutečných požárech. Předpokládá se, že vrstvy jsou homogenní. To není zcela pravda, ale rozdíly v jednotlivé vrstvě jsou v porovnání s rozdíly mezi vrstvami malé.
- Oblaka kouře vynášejí hmotu (částičky kouře) a ohřívají horní vrstvu. Objem kouře se předpokládá v porovnání s objemy dolní a horní vrstvy malý a zanedbává se.
- Většina vybavení místnosti se zanedbává. Předpokládá se, že se teplo ztrácí na povrchu místnosti a ne v nábytku. Některé zónové modely mohou stanovit rozšíření plamenů do omezeného množství vnitřního vybavení místnosti.

Mezi vstupní data obvykle patří geometrie a konstrukce místnosti, která zahrnuje všechny stěny, podlahu a strop, počet otvorů a jejich velikost, charakteristiku vybavení a rychlost odhořívání. Mezi výstupy obvykle patří požadavky na sprinklery a na čas aktivace čidel, doba do celkového vzplanutí, teplota dolní a horní vrstvy a výška vrstvy kouře. Zónové modely neuvažují se zpětnou radiací prostředí. Rychlost odhořívání není výstupem. Velikost požáru je založena na experimentech. Vhodné předpoklady modelování pro dané parametry se zajistí inženýrskou expertizou.

Většina programů v této kategorii se orientuje na transport kouře a tepla. Při požárním návrhu konstrukcí se jimi stanovuje teplota plynu, ze které se teplota konstrukce určuje v dalším kroku. Programy, které jsou označeny proloženým písmem, se orientují na navrhování konstrukcí. Programy, které jsou označeny ležatým písmem, jsou zaměřeny na zvláštní případy a jejich využití pro navrhování konstrukcí je omezené. Byly nalezeny další tři programy, u kterých ale chybí další popis: CISOV (Rusko), FirePro (VB) a FireWalk (USA).

Prostorové modely

Prostorové modely umožňují nejkvalitnější řešení. Modely dynamické analýzy plynů (Computational Fluid Dynamic, CFD) využívají 3D modelování objemů, které jsou popisovány. Popisované objemy jsou obdobné těm, které se používají v zónových modelech. Rozdíl je v tom, že tam, kde zónové modely využívají dva nebo tři popisované objemy, popisují CFD modely stovky a tisíce objemů.

CFD modely řeší diferenciální rovnice v čase, Navier-Stokes rovnice, pro každý popisovaný objem. Podrobný postup je časově náročnější, ale Navier-Stokes rovnice závisí pouze na okrajových podmínkách. Řešení není tak závislé na předpokladech a umožňuje řešit členité prostory.

Vstupní data zahrnují podrobnou geometrii místnosti, konstrukční řešení stěny, stropu a podlahy, počet a velikost otvorů, charakteristiku zařízení, charakteristiku paliva/hořlaviny, parametry turbulencí a radiace.

Výstupem je změna teploty a rychlosti plynu, předpověď chování sprinklerů a požárních čidel, doby do celkového vzplanutí, teplota oblastí, rychlosti a výška vrstvy kouře a další informace.

CFD programy mají velké požadavky na dobu výpočtu. S nárůstem popisovaných objemů doba výpočtu roste. Některé parametry se pro zjednodušení řešení ve výpočtu předpokládají. Výsledky CFD modelů je potřeba před použitím ověřit.

CFD modely se hodí pro popis složitých prostorů, jako jsou např. místnosti se zakřivenými zdmi. CFD modelování se intenzivně využívá v některých inženýrských disciplínách, např. ve strojírenství a letectví, což umožňuje řadě inženýrů, mnohem více než u zónových modelů, vyvíjet a ověřovat CFD programy.

Tab. 1.3 Prostorové modely (CFD)

Model	Země	Krátký popis
ALOFT-FT	USA	<i>Pohyb kouře při rozsáhlých venkovních požárech</i>
CFX	VB	Obecný CFD program
FDS	USA	CFD program pro šíření požáru
FIRE	Austrálie	CFD model s vodní clonou v interakci s pevným/tekutým palivem pro předpověď rychlosti hoření a procesu hašení
FISCO-3L	Německo/Norsko	Prostorový model pro jednu místnost pro popis interakce sprinklerů a požárních plynových zařízení pro umělou nebo přirozenou ventilaci
FLUENT	USA	Obecný CFD program
JASMINE	VB	CFD program pro šíření požáru a kouře
KAMALEON	Norsko	CFD program požáru spojený s MKP modelem pro tepelnou odezvu konstrukcí
KOBRA-3D	Německo	CFD program pro šíření požáru a kouře
MEFE	Portugalsko	CFD program pro jeden nebo dva požární úseky včetně časové odezvy termočlánků
PHOENICS	VB	Obecný CFD program
RMFIRE	Kanada	Dvourozměrný prostorový model pro výpočet pohybu kouře
SMARTFIRE	VB	Prostorový model požáru
SmokeView	USA	Nástroj pro vizualizaci FDS dat
SOFIE	VB/Švédsko	CFD program pro šíření požáru a kouře
SOLVENT	USA	<i>CFD model přenosu tepla a kouře v tunelech</i>
SPLASH	VB	Prostorový model pro popis interakce sprinklerů a požárních plynových zařízení
STAR-CD	VB	Obecný CFD program
TUNFIRE	VB	<i>CFD model přenosu tepla a kouře v tunelech</i>
UNSAFE	USA/Japonsko	Prostorový model vnějších a vnitřních požárů

Většina programů je zaměřena na transport kouře a tepla v případě požáru. Jejich použití pro požární návrh konstrukcí se omezuje na stanovení teploty konstrukčních prvků. Proložené jsou označeny CFD programy pro obecné použití. Programy označené ležatým písmem jsou zaměřeny na speciální případy a jejich využití pro požární návrh konstrukcí je malé. Byly nalezeny další tři programy, ale nepodařilo se o nich získat informace. Jedná se o STREAM (Japonsko), VESTA (Holandsko) a FLOTRAN (USA).

Modely požární odolnosti

Tyto modely simulují odezvu konstrukčních prvků budovy, která je vystavena požáru. Hlavním cílem je určit dobu do kolapsu konstrukčních prvků v požáru. Programy jsou založeny na mechanických a tepelných zákonech.

Tak jako u teplotních modelů lze i zde nalézt více typů programů, které se liší metodami řešení mechanické odezvy v případě požáru. Při klasifikaci se dále postupuje podle Eurokódů EN 1991-1-2:2002 a EN 1993-1-2:2005, které shrnují požadavky na návrhové postupy, viz obrázek 1.6.

Modely v programech pro výpočet požární odolnosti konstrukcí lze dělit na jednoduché a pokročilé.

Vstupními daty bývají materiálové charakteristiky a okrajové podmínky konstrukčních prvků, včetně požárního zatížení.

Výstupem je doba do zřícení, napětí a deformace prvků.

Postup návrhu			Tabulky	Jednoduché metody	Pokročilé metody
Návrh předpisem	Analýza po prvcích	Výpočet mechanického zatížení a reakcí	Ano	Ano	Ano
	Analýza části konstrukce		Ne	Ano pokud je dostupné	Ano
	Analýza celé konstrukce	Výběr mechanického zatížení	Ne	Ne	Ano
Návrh popisem chování	Analýza po prvcích	Výpočet mechanického zatížení a reakcí	Ne	Ano pokud je dostupné	Ano
	Analýza části konstrukce		Ne	Ne	Ano
	Analýza celé konstrukce	Výběr mechanického zatížení	Ne	Ne	Ano

Obr. 1.6 Klasifikace postupu návrhu konstrukce

Tab. 1.4 Jednoduché modely pro požární návrh konstrukce

Model	Země	Krátký popis
FRACOF	Lucembursko	Požární návrh částečně chráněného ocelobetonového stropu
AFCB	Lucembursko	Požární návrh ocelobetonových nosníků podle Eurokódu 4
AFCC	Lucembursko	Požární návrh ocelobetonových sloupů podle Eurokódu 4
CIRCON	Kanada	Požární návrh ocelobetonových sloupů kruhového průřezu
COFIL	Kanada	Požární návrh ocelových uzavřených profilů vyplněných nevyztuženým betonem
Elefir	Belgie	Požární návrh ocelových prvků podle Eurokódu 3
H-Fire	Německo	Požární návrh ocelobetonových prvků podle Eurokódu 4
INSTAI	Kanada	Požární návrh ocelových sloupů uzavřeného průřezu
INSTCO	Kanada	Požární návrh ocelových sloupů uzavřeného průřezu vyplněných betonem
POTFIRE	Francie	Požární návrh ocelových sloupů uzavřených průřezů vyplněných betonem podle přílohy G Eurokódu 4
RCCON	Kanada	Požární návrh betonových sloupů obdélníkového průřezu
RECTST	Kanada	Požární návrh chráněných ocelových sloupů uzavřeného obdélníkového průřezu
SQCON	Kanada	Požární návrh betonových sloupů čtvercového průřezu
WSHAPS	Kanada	Požární návrh chráněných ocelových sloupů průřezu W

Programy, které jsou označeny ležatým písmem, jsou určeny pouze pro betonové prvky.

1.2.4 Jednoduché modely pro požární návrh konstrukce

Modely počítají chování prvků samostatně, pro každý prvek jednotlivě, na základě jednoduchých metod. Některé modely jsou přiřčeny k zónovým nebo prostorovým modelům požáru.

1.2.5 Pokročilé modely pro požární návrh konstrukce

Tyto modely mohou staticky nebo dynamicky simulovat chování části nebo celé konstrukce, u které se určuje případná doba do jejího kolapsu. Využívá se MKP a často se jedná o obecné programy.

Tab. 1.5 Pokročilé modely pro požární návrh konstrukce

Model	Země	Krátký popis
ABAQUS	USA	Obecný program MKP
ALGOR	USA	Obecný program MKP
ANSYS	USA	Obecný program MKP
BoFire	Německo	Nestacionární, nelineární, přírůstkový MKP program, který pro změnu mechanických vlastností využívá EN 1994-1-2. Lze uvažovat ocelové, betonové a ocelobetonové konstrukce.
BRANZ-TR8	Nový Zéland	<i>Program na analýzu požární odolnosti železobetonových a předpjatých stropních systémů.</i>
CEFICOSS	Belgie	Model na požární únosnost
CMPST	Francie	Mechanická únosnost průřezů za zvýšené teploty
COMPSL	Kanada	<i>Teplota v desce o více vrstvách při vystavení požáru</i>
COSMOS	USA	Obecný program MKP
FASBUS	USA	Mechanická únosnost konstrukčních prvků za zvýšené teploty
FIRES-T3	USA	MKP model na přestup tepla v jedno, dvou a třírozměrných konstrukcích
HSLAB	Švédsko	Nestacionární rozvoj tepla při ohřevu desky z jedné nebo více vrstev
LENAS	France	Mechanické chování ocelových konstrukcí vystavených požáru
LUSAS	VB	Obecný inženýrský program pro analýzu
NASTRAN	USA	Obecný program MKP
SAFIR	Belgie	Nestacionární rozvoj tepla a mechanická analýza konstrukcí vystavených požáru
SAWTEF	USA	Konstrukční analýza dřevěných příhradových nosníků spojených ocelovými deskami
SISMEF	Francie	Mechanické chování ocelových a ocelobetonových konstrukcí vystavených požáru
STA	VB	Nestacionární vedení tepla v prvcích
STELA	VB	Třírozměrný program metodou konečných objemů, který je pro výpočet teplotní odezvy konstrukčních prvků vystavených plynům při požáru integrován do JASMINE a SOFIE
TASEF	Švédsko	MKP pro teplotní analýzu konstrukcí vystavených požáru
TCSLBM	Kanada	<i>Dvourozměrné rozložení teploty v betonové desce/nosníku, které jsou vystaveny požáru</i>
THELMA	VB	MKP pro teplotní analýzu konstrukcí vystavených požáru
TR8	Nový Zéland	<i>Požární odolnost betonové desky a stropu</i>
VULCAN	VB	Trojrozměrná analýza pro prutové ocelové a ocelobetonové soustavy s uvažováním chování stropních desek za požáru
WALL2D	Kanada	<i>Model pro předpověď přestupu tepla stěnami ze dřeva, které jsou vystaveny požáru</i>

Programy označené ležatým písmem nejsou určeny pro ocelové konstrukce. Proloženy jsou zvýrazněny obecné programy MKP. Byly nalezeny i dva další modely, o kterých ale není dostatek informací, HEATING a TAS (USA).

1.3 Modely úniku osob

Modely úniku osob předpovídají čas, který je potřeba k evakuaci budovy. Modely se obvykle používají při inženýrských analýzách jako alternativní řešení a k určení oblastí, které se mohou při evakuaci ucpat.

Některé tyto modely, které jsou připraveny na stanovení času do počátku nevhodných podmínek v budově, jsou navázány na zónové nebo prostorové modely. Nejpropracovanější programy obsahují i zajímavé vlivy, jako jsou psychologické účinky požáru na uživatele, účinky toxických látek a snížení viditelnosti. Některé jsou vybaveny užitečnými grafickými možnostmi, které umožňují zviditelnění pohybu osob při evakuaci. Vstupem do programů obvykle bývají nároky na obsazení budovy, její geometrie, únikové východy, schodiště, výtahy, chodby atd. Výstupem bývá doba potřebná k evakuaci budovy a poloha oblastí s možností ucpání. Pro řešení se obvykle využívá statistiky.

Tab 1.6 Modely úniku osob

Model	Země	Krátký popis
AEA	USA	Analýza úniku osob
EGRESS		
ALLSAFE	Norsko	Model úniku včetně lidského faktoru
ASERI	Německo	Pohyb osob ve složitých prostorách včetně vlivu kouře a rozvoje požáru
BGRAF	USA	Modely nouzového úniku včetně pravděpodobnostních modelů rozhodování osob
EESCAPE	Austrálie	Evakuace vícepodlažních budov schodišti
EGRESS	VB	Modely úniku ve složitých prostorách včetně vizualizace
EGRESSPRO	Austrálie	Model úniku včetně sprinklerů a aktivace čidel
ELVAC	USA	Evakuace vícepodlažních budov schodišti
EVACNET	USA	Stanoví optimální plán evakuace
EVACS	i	Model evakuace pro vhodný návrh
EXIT89	USA	Evakuace vícepodlažních budov
EXITT	USA	Souřadnicový a křivkový model úniku s popisem chování lidí
EXODUS	VB	Evakuační nástroje pro bezpečnostní složky
GRIDFLOW	VB	Simulace úniku k vyklizení jednotlivých podlaží a celé budovy
PATHFINDER	USA	Model úniku
PEDROUTE	VB	Model simulace chodců
SEVE_P	Francie	Model úniku s grafickým výstupem včetně možnosti ucpání únikových cest
SIMULEX	VB	Souřadnicový únikový model
STEPS	VB	Program na simulaci pohybu chodců s trojrozměrnou vizualizací
WAYOUT	Austrálie	Část simulace úniku programového balíku FireWind

Bylo nalezeno dalších pět modelů, ale nebyly o nich získány žádné informace: BFIRE, ERM, Magnetic Simulation, Takashi's Fluid Model a VEGAS (VB).

1.4 Modely odezvy čidel

Modely odezvy čidel stanovují čas k uvedení v činnost aktivních požárních zařízení jako čidel tepla, sprinklerů a čidel kouře. Modely k výpočtu kouře a k přestupu tepla předpokládají rozdělení požárního úseku na zóny a pro stanovení odezvy využívají dílčí modely pro

teplotní čidla v závislosti na proudění tepla a kouře. Přestup tepla do prvků čidel se pro stanovení času do aktivace stanovuje zjednodušeně.

Tab 1.7 Modely odezvy čidel

Model	Země	Krátký popis
ASCOS	USA	Analýza systému kontroly kouře
DETECT-QS	USA	Stanoví dobu aktivace tepelných čidel u neohraničených stropů pro libovolný požár
DETECT-T2	USA	Stanoví dobu aktivace tepelných čidel u neohraničených stropů pro t2
FPETOOL	USA	Soustava inženýrských rovnic pro odhad rizika požáru a odezvy prostoru a zabezpečovacích systémů
G-JET	Norsko	Model kontroly kouře
JET	USA	Model pro předpověď aktivace čidel a teploty plynu za předpokladu vrstvy kouře
LAVENT	USA	Odezva sprinklerů při prostorových požárech s clonami a střešní ventilací
PALDET	Finsko	Odezva sprinklerů a požárních čidel pro rovné stropy
SPARTA	VB	Model účinků sprinklerů ve spojení s JASMINE
SPRINK	USA	Odezva sprinklerů na požár ve skladových zakladačích
TDISX	USA	Odezva sprinklerů ve skladech

Tab 1.8 Nezařazené modely

Model	Země	Krátký popis
ALARM	VB	Ekonomická optimalizace shody měření
ASKFRS	VB	Balík modelů, včetně zónového
BREAK1	USA	Chování oken za požáru
BREATH	VB	Šíření znečištění v požárním úseku při nuceném větrání
Brilliant	Norsko	CFD model kombinovaný s analytickým
COFRA	USA	Model na stanovení rizik při požáru
CONTAMW	USA	Model proudění vzduchu
CRISP	VB	Zónový model požáru s únikem analýzou rizik
FIERASystem	Kanada	Analýza rizik na základě korelačních vztahů
FireCad	USA	Výstup pro CFAST
FIRECAM	Kanada	Riziková analýza poškození
FIREDEMND	USA	Stanovení objemu vody pro hašení
FIRESYS	Nový Zéland	Sada programů pro popis chování
FIREX	Německo	Jednoduché zónové modely v kombinaci s analytickými
FIVE	USA	Ověření náchylnosti k požárům
FRAME	Belgie	Posouzení požárního rizika
FREM	Austrálie	Ověření požárního rizika
FriskMD	USA	Riziková část zónového modelu FireMD
HAZARD I	USA	Zónový model s řešením úniku
JOSEFINE	VB	Integrované rozhraní pro zónové a CFD modely, únik a rizikovou analýzu
MFIRE	USA	Ventilace v dolech
RadPro	Austrálie	Model záření z požáru
Risiko	Švýcarsko	Riziková analýza
RISK-COST	Kanada	Předpokládaná rizika ztrát na životech a majetku při požáru
RiskPro	Austrálie	Model hodnocení rizik
SMACS	USA	Pohyb kouře v klimatizaci
SPREAD	USA	Předpověď rychlosti hoření a šíření plamene na stěně
ToxFED	VB	Výpočet dílčí účinné dávky (Fractional Effective Dose FED) koncentrace kouře
UFSG	USA	Předpověď rozvoje plamenů a jejich šíření na materiálech se zuhelnatěním i bez něho
WALLEX	USA	Výpočet přestupu tepla z plamenů v okně na stěnu proti oknu

Vstupy do programu jsou charakteristiky čidel, jejich poloha a rychlost odhořívání při požáru. U více propracovaných modelů se uvažuje i s geometrií požárního úseku a s

materiály ohraničujících konstrukcí. Výstupem je čas do aktivace zařízení a v pokročilých modelech i dopad aktivace zařízení na mimořádnou situaci. Při výběru modelu je třeba volit odpovídající řešení, protože některá jsou navržena pouze pro rovné nebo neohraničené stropy.

1.5 Nezařazené modely

Některé modely, které se v požárním inženýrství používají, nejsou zařazeny v předchozích kategoriích. Některé lze zařadit do více předcházejících kategorií a některé jsou zaměřeny na specifické otázky při požáru, které nejsou jinde řešeny.

Tyto programy často obsahují více částí a při dělení podle účelu je lze použít ve více částech. Balíky programů jsou sestaveny z dílčích modelů, které řeší jednotlivé problémy při požáru.

1.6 Veřejně přístupné programy

Z programů, které jsou uvažovány, je 27 veřejně přístupných. Tyto programy jsou shrnuty v následující tabulce.

Tab 1.9 Volně přístupné programy

Model	Rozsah použití	K dispozici na
FRACOF	Návrh ocelobetonového stropu	fire.fsv.cvut.cz/fracof/index.htm
DIFISEK-CaPaFi	Modely požáru – jednoduché	www.sections.arcelor.com
DIFISEK-EN 1991-1-2 Příloha A	Modely požáru – jednoduché	www.sections.arcelor.com
DIFISEK-TEFINAF	Modely požáru – jednoduché	www.sections.arcelor.com
ASET/ASET-B	Modely požáru – zónové	www.fire.nist.gov
ASMET	Modely požáru – zónové	www.fire.nist.gov
CCFM/Vents	Modely požáru – zónové	www.fire.nist.gov
FAST/CFAST	Modely požáru – zónové	www.fire.nist.gov
FIRST	Modely požáru – zónové	www.fire.nist.gov
OZONE	Modely požáru – zónové	www.ulg.ac.be www.sections.arcelor.com
ALOFT-FT	Modely požáru – Prostorové	www.fire.nist.gov
FDS	Modely požáru – Prostorové	www.fire.nist.gov
SmokeView	Modely požáru – Prostorové	www.fire.nist.gov
AFCB	Požární odolnost konstrukce	www.sections.arcelor.com
AFCC	Požární odolnost konstrukce	www.sections.arcelor.com
ELEFIR	Požární odolnost konstrukce	www.ulg.ac.be
H-Fire	Požární odolnost konstrukce	www.stahlbau.uni-hannover.de
POTFIRE	Požární odolnost konstrukce	www.cidect.org
ELVAC	Modely úniku	www.fire.nist.gov
EVACNET	Modely úniku	http://www.ise.ufl.edu/kisko/files/evacnet
ASCOS	Odezva čidel	www.fire.nist.gov
DETECT-QS	Odezva čidel	www.fire.nist.gov
DETECT-T2	Odezva čidel	www.fire.nist.gov
FPETOOL	Odezva čidel	www.fire.nist.gov
JET	Odezva čidel	www.fire.nist.gov
LAVENT	Odezva čidel	www.fire.nist.gov
BREAK1	Nezařazené	www.fire.nist.gov
FIREDEMND	Nezařazené	www.fire.nist.gov

1.7 Ověřování programů

V rámci projektu DIFISEK byla získána data o řadě programů. Ve studii jsou shrnuty údaje o čtrnácti kvalitních programech, které byly podrobně prověřeny. Údaje jsou shrnuty v databázi v textovém zápisu. Informace o programech, které nejsou uvedeny v příloze, jsou shrnuty v databázi, které je přístupná na internetových stránkách partnerů projektu DIFISEK, viz fire.fsv.cvut.cz/difisek/index.htm.

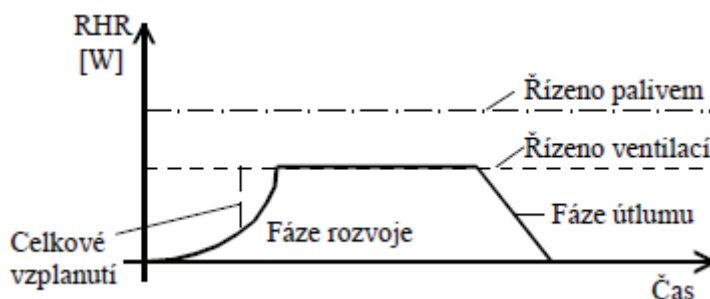
2 Rychlost uvolňování tepla při modelování požáru

2.1 Úvod

Rychlost uvolňování tepla (Rate of Heat Release, RHR) je jednou z nejdůležitějších tepelně technických veličin popisující vývoj požáru. Projektantům, investorům či příslušným orgánům může pro výpočet RHR sloužit současně platná norma ČSN EN 1991-1-2: 2004, viz [2.1], která uvádí tepelné a mechanické zatížení pro navrhování pozemních staveb vystavených účinkům požáru. V mnoha případech, kdy je potřeba přesnější výpočet, je vyčíslení této hodnoty obtížné. V některých zemích je příloha E, kde je RHR definováno, nahrazena přesnějšími tradičně používanými modely. Základním způsobem stanovení RHR je pochopitelně experiment, popřípadě analýza a syntéza experimentálních dat, viz [2.2]. V případech, kdy nejsou data dostupná lze pro výpočet použít modelování a simulaci CFD. Předpověď růstu a šíření požáru na základě fyzikálních vlastností požárního úseku a v něm přítomných hořlavých materiálů je zahrnuto v současných softwarech pro simulaci požáru.

2.2 Rychlost uvolňování tepla v ČSN EN 1991-1-2: 2004

Průběh požáru je rozdělen do tří fází: fáze rozvoje, ustálený stav a fáze útlumu, viz obr. 2.1 [2.3].



Obr. 2.1 Rychlost uvolňování tepla v čase [2.3]

Fázi rozvoje požáru lze podle ČSN EN 1991-1-2: 2004 čl. E.4(1) do dosažení nejvyšší hodnoty popsat vztahem:

$$Q = 10^6 (t/t_a)^2 \quad (2.1)$$

kde Q je rychlost uvolňování tepla [W],

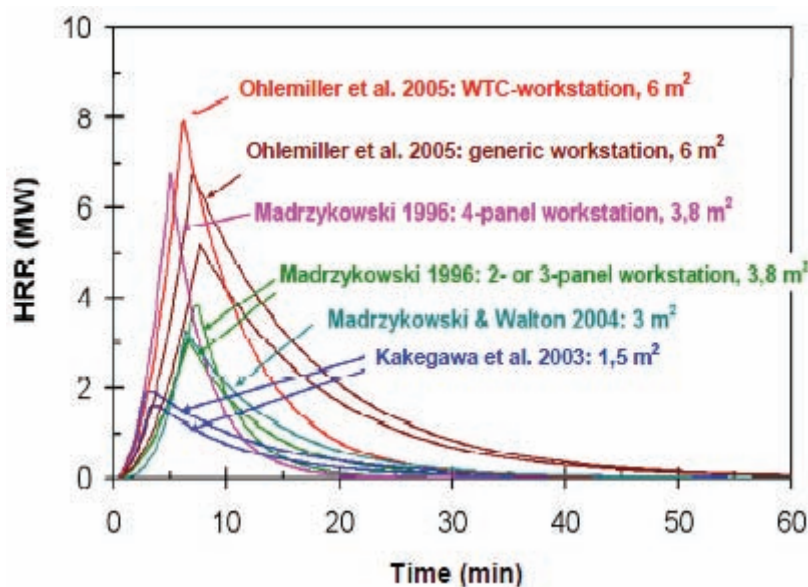
t je čas [s],

t_a je doba potřebná pro dosažení rychlosti uvolňování tepla 1MW, která se stanoví podle ČSN EN 1991-1-2: 2004 tab. E.5.

Největší rychlost uvolňování tepla RHR, které je dosaženo v ustáleném stavu, závisí na typu provozu, ale i na dalších okolnostech. Lze ji stanovit podle ČSN EN 1991-1-2: 2004 čl. E.4(2) tab. E.5. Fáze útlumu nastane po vyhoření 70 % paliva, je vyjádřena lineárním poklesem RHR. Při požáru řízeném větráním je nutno úroveň RHR snížit.

Rychlost uvolňování tepla na základě experimentálních dat

Prvním krokem ke stanovení RHR je shromáždění dat. Na obrázku 2.2 je příklad naměřených dat z experimentů pro typ provozu kanceláře [2.2].



Obr. 2.2 Data z experimentů, typ provozu- kancelář [2.2]

Pro další zobecnění dat jsou zavedeny veličiny s ohledem na jednotku plochy, které jsou analyzovány pomocí statistických metod. Parametry charakterizující požáry z obr. 2.2 jsou uvedeny v tabulce 2.1. Hodnota RHR na jednotku plochy z tabulky může být porovnána s hodnotou z normy. Podle ČSN EN 1991-1-2: 2004 tab. E.5 maximální rychlost uvolňování tepla pro provoz kanceláře a střední rychlost rozvoje požáru uvažuje s hodnotou 250 kW/m². Zatímco z tab. 2.3 je vidět, že v devíti experimentech provedených v letech 1996 až 2005 se hodnota pohybuje v průměru kolem 1156 kW/m². V případě porovnání hustoty požárního zatížení je to přímo naopak. Hodnoty uvedené v normě jsou přibližně dvakrát větší než ve studiích. 80 % kvantil hustoty požárního zatížení pro provoz bytu ze studie provedené v roce 2004 v Kanadě uvádí hodnotu 565 MJ/m², viz [2.2]. Podle ČSN EN 1991-1-2: 2004 tab. E.4 je tato hodnota rovna 948 MJ/m².

	Madrzykowski 1996 [4] 2-panel workstation	Madrzykowski 1996 [4] 3-panel workstation	Madrzykowski 1996 [4] 4-panel workstation	Kakegawa et al. 2003 [6] case 11	Kakegawa et al. 2003 [6] case 12	Ohlemiller et al. 2005 [3] generic workstation, test 2	Ohlemiller et al. 2005 [3] generic workstation, test 3	Ohlemiller et al. 2005 [3] WTC-workstation, test 4	Madrzykowski & Walton 2004 [5] County Cook workstation	Average	Standard deviation
HRR_{max} (kW)	3 100	3 800	6 800	1 600	1 900	6 800	5 200	8 000	3 300		
t_1 (s)	396	429	300	190	165	417	456	368	380		
t_2 (s)	–	450	–	240	220	–	–	–	–		
τ (s)	380	210	190	480	600	660	660	360	480	447	177
Q_{tot} (MJ)	1 587	1 422	1 972	958	1 358	5 444	4 225	3 907	1 916		
HRR''_{max} (kW/m ²)	820	1 005	1 799	1 067	1 267	1 142	873	1 344	1 086	1 156	294

Tab. 2.1 Parametry popisující požáry kancelářských provozů [2.2]

2.3 Rychlost uvolňování tepla podle zjednodušených modelů

RHR je odhadnuto na základě naměřených kalorických hodnot esenciálních objektů nacházejících se v požárním úseku. Babrauskas uvádí model, který předpovídá maximální hodnotu RHR pomocí součtu jednotlivých hodnot nábytku, viz [2.7] a [2.8]:

$$Q = 210 \cdot FF \cdot PF \cdot SF \cdot FC \cdot m \quad (2.2)$$

kde Q je rychlost uvolňování tepla [kW],

m je hmotnost [kg],

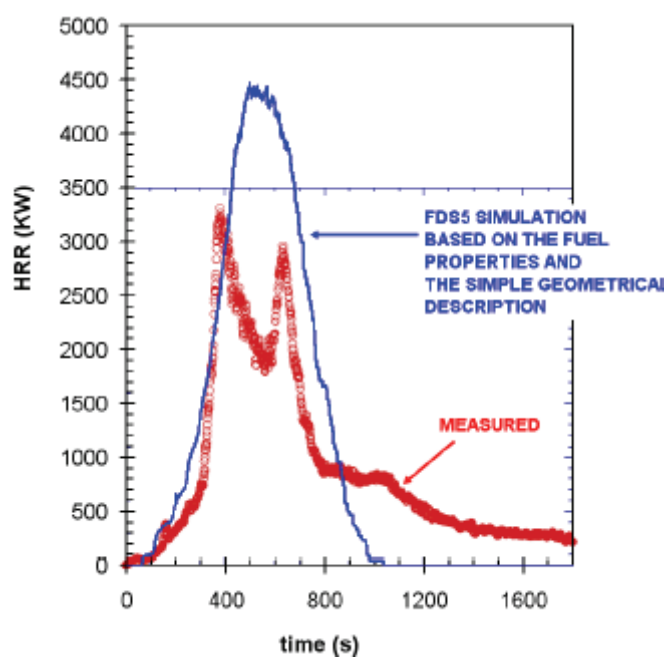
součinitele FF , PF , SF a FC jsou uvedeny v tab. 2.2.

2.4 Rychlost uvolňování tepla pomocí simulací

Počítat lze např. programem FDS 5, který byl validován podle mnoha požárních experimentů, viz (VTT Finsko, NIST Maryland) [2.2]. Za vstupní parametr se volí požární zatížení se všemi charakteristikami. Na ukázkou je porovnán výpočet provedený programem FDS 5 ve VTT ve Finsku, viz obr. 2.3 z [2.2], s experimentem provedeným Madrzykowskim a Waltonem v roce 2004, viz [2.5]. Výsledky se dobře shodují.

Tab. 2.2 Součinitele ovlivňující hodnotu RHR podle Babrauskase [2.8]

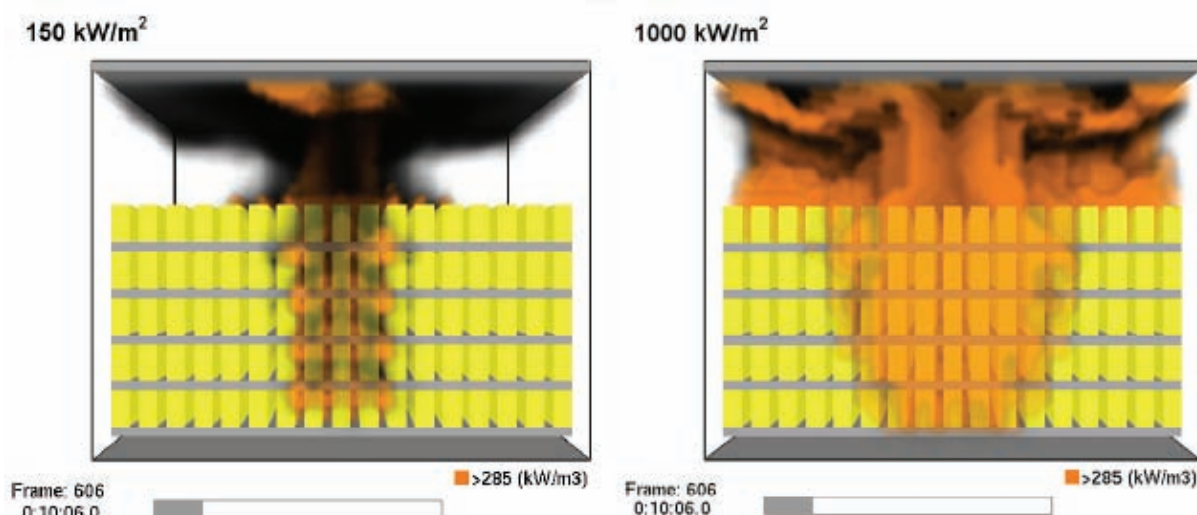
Factors	Description	Values for specific materials
FF	Fabric factor	1.00 for thermoplastic fabrics (e.g., polyolefin) 0.40 for cellulosic fabrics (e.g, cotton) 0.25 for PVC or polyurethane film-type coverings
PF	Padding factor	1.00 for polyurethane foam, latex foam or mixed materials 0.40 for cotton batting or neoprene foam
CM	Combustion mass (kg)	User's input
SF	Style factor	1.5 for ornate convoluted shapes 1.25 for intermediate shapes 1.0 for plain, primarily rectilinear construction
FC	Frame combustibility factor	1.66 for non-combustible frames 0.58 for melting plastic 0.30 for wood 0.18 for charring plastic



Obr. 2.3 Porovnání hodnot simulace VTT Finsko s experimentem kanceláře provedeným Madrzykowskim a Waltonem, viz [2.2]

2.5 Vliv RHR na průběh požáru

Vliv RHR na vývoj požáru a důležitost správného určení jeho hodnot je zřejmý ze studie provedené ve VTT Finsko, viz obr. 2.4 [2.2]. Při stejné hustotě požárního zatížení, výhřevnosti paliva a geometrii úseku je vidět rozdíl v síle požáru v daném čase.



Obr. 2.4 Ilustrace vlivu RHR na vývoj požáru z programu FDS 5 [2.2]

2.6 Příklad - popis křivky RHR programem Ozone v2.2

Půdorys požárního úseku je 5 m x 3 m, výška 2,7 m. Velikost otvoru je 1 m². Plocha hranice z dřevěných hranolů je 1 m² a výška 0,5 m. Pro dřevěné hranoly 50 x 50 x 1000 mm se uvažuje s rychlostí rozvoje požáru $Q = 1250 \text{ kW/m}^2$. Dobu potřebnou pro dosažení rychlosti uvolňování tepla 1 MW lze počítat $t_d = 300 \text{ s}$.

Postup:

Compartment - Overeni vysledku

File Tools View Help

Form of Compartment

☒ Rectangular Floor

Height: 2,7 m

Depth: 5 m

Length: 3 m

☐ Flat Roof

☐ Single Pitch Roof

☐ Double Pitch Roof

☐ Any Compartment

Define Layers and Openings

Select Wall:

Floor

Define

Select Walls to Copy to:

Ceiling

Wall 1

Wall 2

Wall 3

Wall 4

Copy

☒ Copy Openings

Defined Walls:

Wall	Type	Openings
Floor	1	
Ceiling	1	
Wall 1	1	yes
Wall 2	1	
Wall 3	1	
Wall 4	1	

Forced Ventilation

Smoke Extractors:

0

Height	Diameter	Volume	In/Out
m	m	m3/sec	

OK Cancel

Obr. 2.5 Zadání geometrie PÚ v programu Ozone v2.2

V případě lokálního požáru je ve výpočtu uvedena celková plocha PÚ i plocha, na které se nachází požární zatížení. Hodnota požárního zatížení může být vypočtena ručně podle [2.1]:

$$Q_{fi,k} = \sum M_{k,i} \cdot H_{ui} \cdot \psi_i \quad [\text{MJ}] \quad (2.3)$$

kde $M_{k,i}$ je množství hořlavého materiálu [kg],

H_{ui} je hodnota čisté výhřevnosti [MJ/kg],

$[\psi_i]$ je volitelný součinitel pro stanovení chráněného požárního zatížení.

Hustota požárního zatížení se dopočítá podle [2.1]:

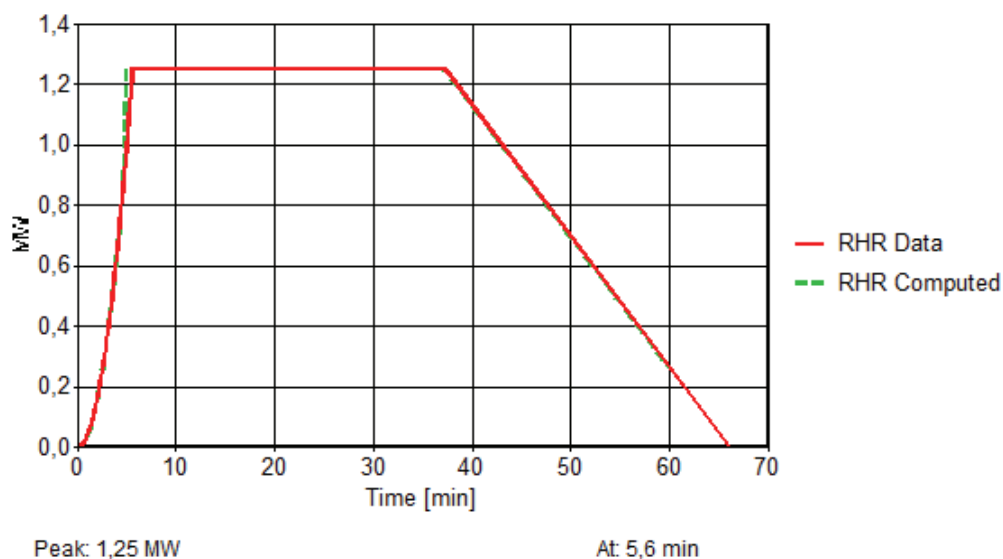
$$q_{f,k} = Q_{fi,k} / A \quad [\text{MJ/m}^2] \quad (2.4)$$

kde A je podlahová plocha ohně [m²].

Při objemové hmotnosti dřeva 500 kg/m³, objemu paliva 0,5 m³ a výhřevnosti 17,5 MJ/kg je hustota požárního zatížení rovna 4375 MJ/m².

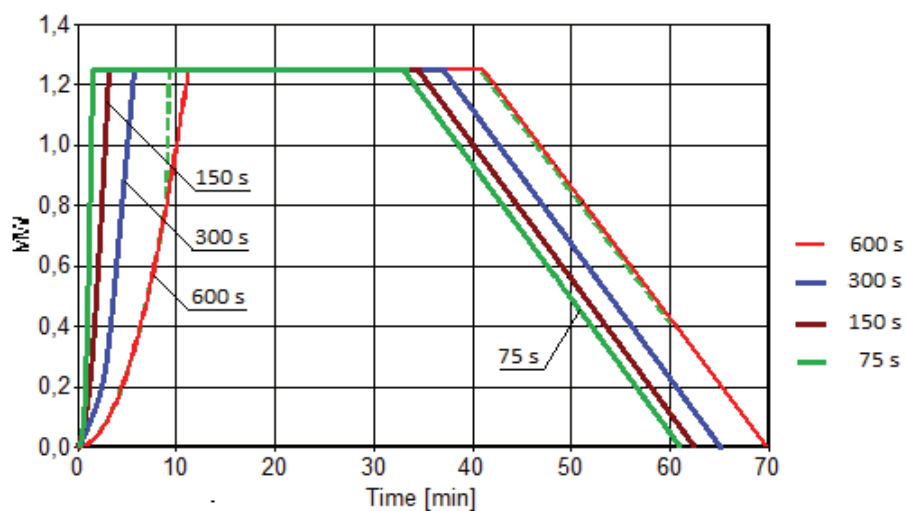
Obr. 2.6 Definování parametrů požáru v programu Ozone v2.2

Graf rychlosti uvolňování tepla vypočtený v programu je na obrázku 2.7. K dosažení maximální hodnoty nastane v 336 s požáru. Po vyhoření přibližně 70 % paliva začne křivka lineárně klesat [2.4].



Obr. 2.7 Graf rychlosti uvolňování tepla, $t_d = 300$ s, Ozone v2.2

Při změně doby pro dosažení rychlosti uvolnění tepla 1 MW na $t_d = 600$ s, 150 s a 75 s jsou křivky s maximální hodnotou RHR 1,25 MW uvedeny na obr. 2.8.



Obr. 2.8 RHR při změně doby pro dosažení rychlosti uvolňování tepla 1 MW, Ozone v2.2

2.7 Závěr

Příspěvek shrnuje možnosti stanovení rychlosti uvolňování tepla jako jednu z nejdůležitějších tepelně technických vlastností, která ovlivňuje vývoj požáru, viz [2.9]. Podle typu provozu lze hodnotu RHR odečíst z normy. Pro popis křivky rychlosti uvolňování tepla během požáru je možno využít např. program Ozone v2.2. V případech, kdy tato data nejsou dostatečně přesná, lze použít výsledky z experimentů, zjednodušených modelů nebo počítačových simulací.

3 Modelování rozvoje tepla v betonových konstrukcích při požáru

3.1 Úvod

Jedním z důležitých kroků při návrhu a posouzení betonových konstrukcí na účinky požáru je stanovení rozložení teploty, případně i dalších fyzikálních veličin (vlhkosti, pórového tlaku), v analyzované konstrukci nebo její části (prvku, průřezu). To lze provést v zásadě třemi způsoby: (i) požární zkouškou, (ii) výpočtem, (iii) s využitím dříve změřených nebo vypočítaných hodnot [3.2, 3.10, 3.14].

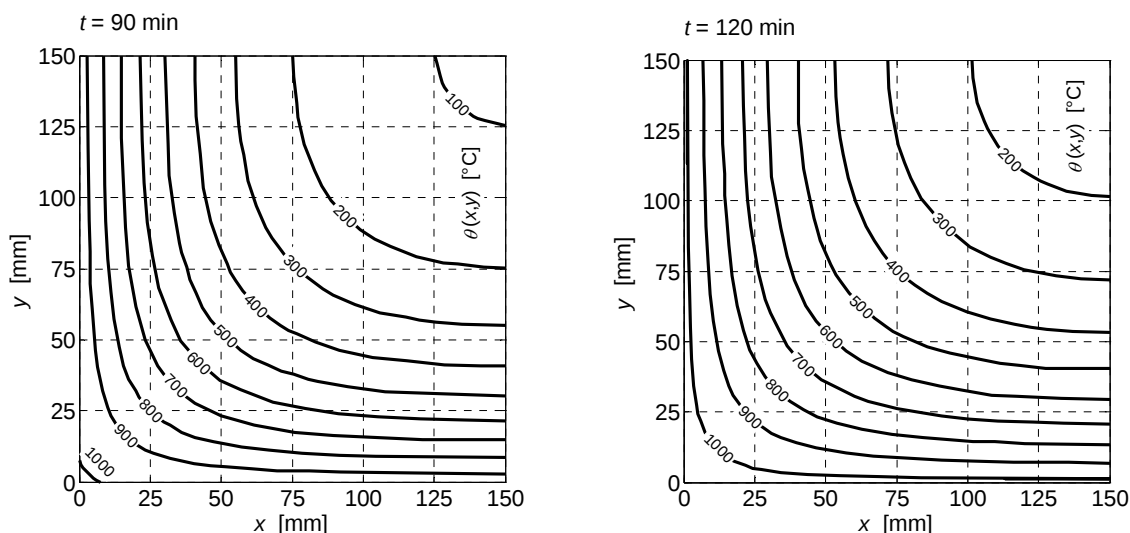
Provedení požárních zkoušek bývá velice nákladné. Tyto zkoušky se využívají zejména pro analýzu netypických konstrukcí, pro ověření výpočetních modelů a postupů, pro zjištění vlastností a chování netradičních materiálů apod.

Teplotní analýza konstrukce nebo její části pomocí výpočtu spočívá ve vyřešení problému sdílení tepla, popsaného modelem zahrnujícím diferenciální rovnici vedení tepla a odpovídající okrajové a počáteční podmínky. Pokud se má stanovit také rozložení dalších fyzikálních veličin, je třeba použitý model doplnit o příslušné rovnice zohledňující transport těchto veličin (bilanční a stavové rovnice, počáteční a okrajové podmínky) [3.2, 3.14].

Složitost modelů popisujících transportní procesy v betonu vystaveném požáru prakticky znemožňuje řešit dané úlohy analyticky. Proto se k tomuto účelu využívají numerické metody výpočtu – např. metoda konečných prvků. Vlastní řešení lze provádět téměř výhradně s využitím výpočetní techniky.

Pro stanovení rozložení teploty v betonových průřezích vystavených požáru jsou v literatuře popsány také některé zjednodušené metody, např. [3.6, 3.16]. Tyto metody se však v současnosti příliš nevyužívají (z důvodu nepřesnosti a omezené platnosti) [3.14].

Nejjednodušším přístupem ke stanovení rozložení teploty (případně i dalších fyzikálních veličin) v betonové konstrukci nebo její části vystavené požáru je využití dříve změřených nebo vypočítaných hodnot. Tyto hodnoty mohou být dostupné ve formě tabulek nebo grafických pomůcek a společně představují databázi příslušných údajů. Příkladem jsou teplotní profily uvedené v příloze A normy ČSN EN 1992-1-2 [3.5], viz **obr. 3.1**. Norma udává teplotní profily průřezů běžných betonových prvků (desky/stěny, nosníky, sloupy) vystavených normovému požáru pro doby odpovídající klasifikačním dobám požární odolnosti. Jistou nevýhodou využívání databázových údajů je omezenost jejich platnosti – údaje platí pouze pro takové parametry (rozměry průřezů, vlastnosti materiálů, požární scénář, dobu požární expozice), pro které byly naměřeny, resp. vypočítány.



Obr. 3.1 Příklady teplotních profilů uvedených v normě ČSN EN 1992-1-2 [3.5]: průřez betonového sloupu o rozměrech $300 \times 300 \text{ mm}^2$, vystavení normovému požáru ze čtyř stran po dobu 90 minut (vlevo), resp. 120 minut (vpravo) (převzato z [3.9])

V příspěvku jsou popsány výpočetní programy *TempAnalysis* [3.15] a *HygroThermAnalysis* [3.12], které umožňují teplotní, resp. teplotně-vlhkostní analýzu betonových průřezů vystavených požáru.

Programy byly vytvořeny v prostředí matematického nástroje MATLAB [3.8] a jsou volně dostupné na webové stránce <<http://concrete.fsv.cvut.cz/~stefan/vyzkum.htm>>. Níže uvedený popis programů je převzat z jejich uživatelských příruček (dostupné tamtéž) a dále z publikací [3.2, 3.9, 8.11, 3.13, 3.14].

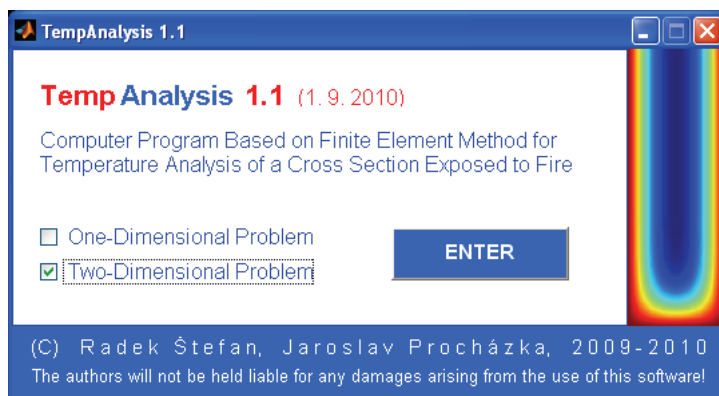
3.2 TempAnalysis – program pro teplotní analýzu průřezu

Program *TempAnalysis* [3.15] slouží k teplotní analýze pravoúhlých průřezů (desek, stěn, nosníků, sloupů) vystavených požáru. V programu lze modelovat průřezy z libovolných stavebních materiálů definovaných pomocí konstantních nebo teplotně závislých materiálových charakteristik. Na stranách průřezu vystavených požáru je možné zadat izolační vrstvu. Návrhový požární scénář může být reprezentován normovou nebo parametrickou teplotní křivkou podle přílohy A normy ČSN EN 1991-1-2 [3.4].

Problém sdílení tepla je v programu řešen numericky. Diskretizace podle prostorových proměnných je realizována metodou konečných prvků, časová diskretizace semiimplicitním schématem.

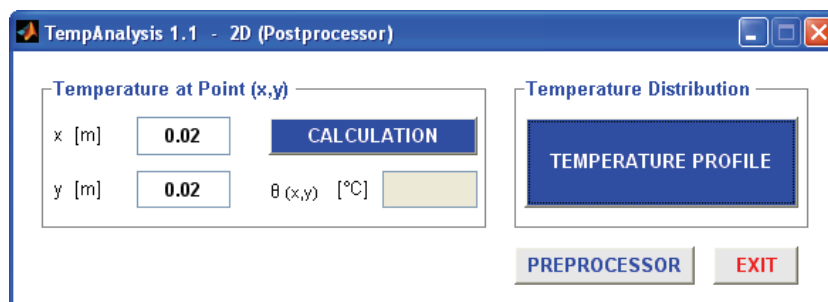
Dvourozměrný problém je řešen zjednodušeným postupem založeným na odděleném výpočtu rozložení teploty ve směru šířky a výšky analyzovaného průřezu. Výsledná teplota v bodě (x,y) je stanovena vztahem definovaným např. v publikacích [3.6, 3.7]. Použití tohoto postupu výrazně přispívá k rychlosti výpočtu, podrobněji viz [3.14].

Program disponuje interaktivním uživatelským rozhraním v anglickém jazyce. Hlavní části uživatelského rozhraní jsou zobrazeny na **obr. 3.2–3.4**. **Obr. 3.2** znázorňuje úvodní okno pro výběr typu úlohy, tj. výběr mezi jednorozměrným problémem (desky, stěny) a dvourozměrným problémem (nosníky, sloupy). Na **obr. 3.3** je uvedeno okno pro zadání vstupů a spuštění výpočtu a na **obr. 3.4** okno pro zobrazení výsledků.



Obr. 3.2 Úvodní okno programu *TempAnalysis* [3.15]

Obr. 3.3 Okno programu *TempAnalysis* [3.15] pro zadání vstupů (2D úloha)



Obr. 3.4 Okno programu *TempAnalysis* [3.15] pro zobrazení výsledků (2D úloha)

Vstupními parametry výpočtu jsou materiálové vlastnosti a rozměry průřezu, tloušťka a vlastnosti izolační vrstvy, údaje o návrhovém požárním scénáři a o požární expozici.

Materiál průřezu lze definovat konstantními nebo teplotně závislými hodnotami objemové hmotnosti, měrné tepelné kapacity a součinitele tepelné vodivosti. Pro beton je možné využít přednastavený materiálový model podle normy ČSN EN 1992-1-2 [3.5].

Rozměry průřezu se v programu rozumí tloušťka (desky, stěny), resp. šířka a výška (nosníky, sloupy), a to bez započítání tloušťky případné izolační vrstvy.

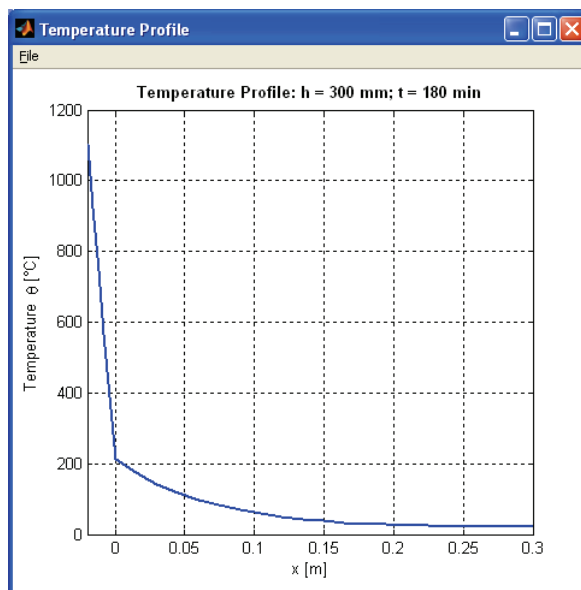
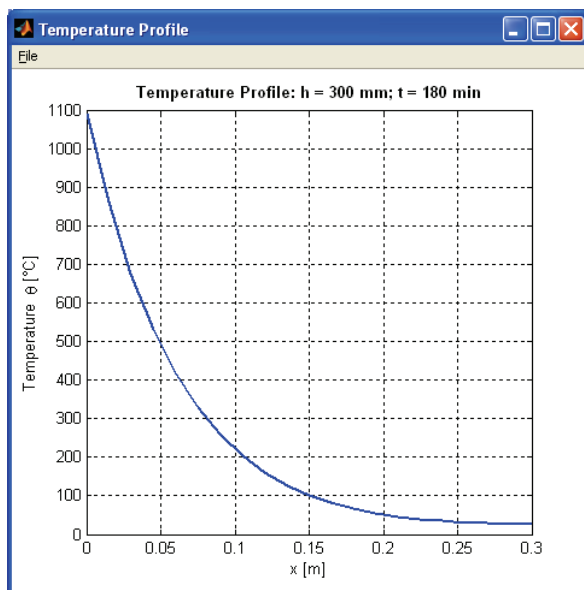
Pokud má být na stranách průřezu vystavených požáru uvažována izolační vrstva, je třeba zadat její tloušťku a hodnoty objemové hmotnosti, měrné tepelné kapacity a součinitele tepelné vodivosti (pro jednoduchost uvažovány konstantní, tj. nezávislé na teplotě izolačního materiálu).

Návrhový požární scénář se definuje normovou teplotní křivkou nebo parametrickou teplotní křivkou podle normy ČSN EN 1991-1-2 [3.4].

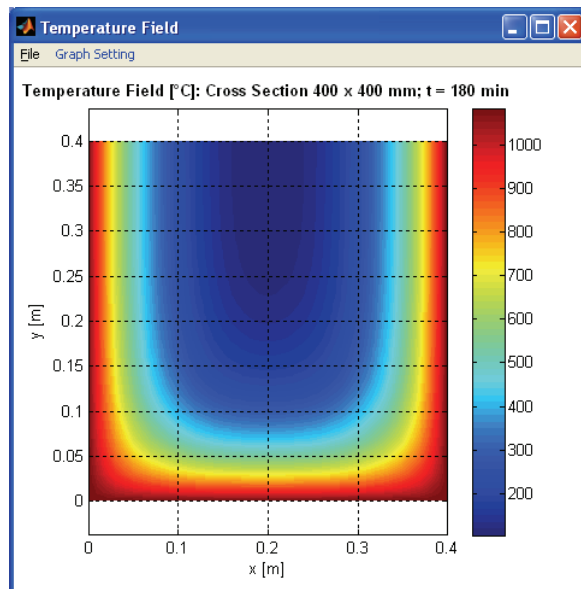
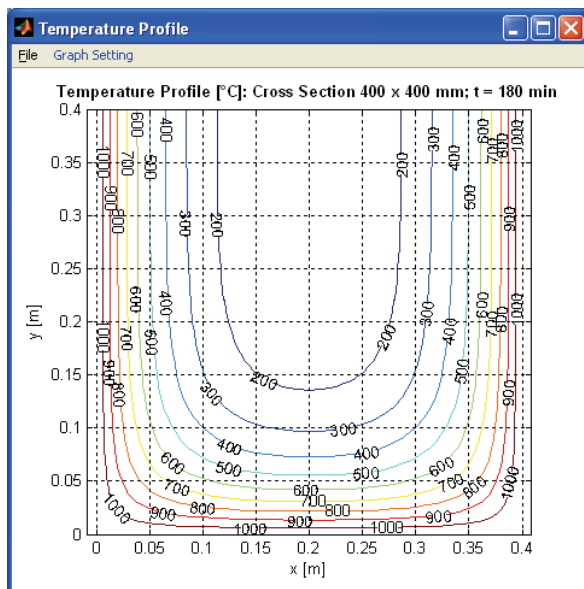
Požární expozice je reprezentována polohou požáru vzhledem k průřezu (požár z jedné strany, ze dvou stran atd.) a dobou vystavení požáru.

Program umožňuje zobrazit teplotní profil analyzovaného průřezu a vyčíslit teplotu v jeho libovolném bodě. Příklady teplotních profilů viz **obr. 3.5–3.6**.

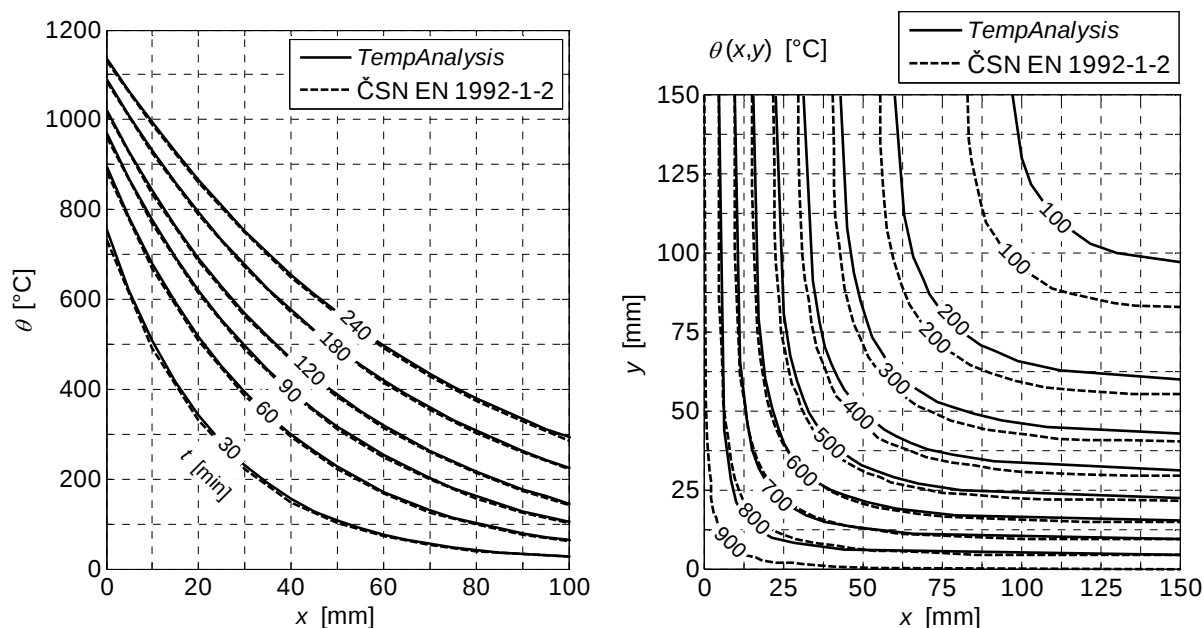
Přesnost výpočtu teplot programem *TempAnalysis* [3.15] byla ověřena na příkladech betonových i zděných průřezů a byla vyhodnocena jako plně dostačující (viz např. [3.14]). Pro jednorozměrnou úlohu se výsledky získané programem *TempAnalysis* [3.15] prakticky shodují s teplotními profily uvedenými v normě [3.5], viz **obr. 3.7 vlevo**. Při porovnání výsledků řešení dvourozměrného problému s normovými profily lze sledovat jisté rozdíly ve stanovených teplotách, viz **obr. 3.7 vpravo**. To je způsobeno použitím zjednodušeného postupu řešení dvourozměrné úlohy programem *TempAnalysis* [3.15]. Tyto rozdíly je však možné zanedbat, neboť se výrazněji liší pouze teploty ve vnitřní části průřezu, které nemají na výslednou požární odolnost daného prvku podstatný vliv. Teploty určené programem *TempAnalysis* [3.15] jsou navíc vyšší než teploty uvedené v normě [3.5], což je bezesporu na straně bezpečnosti [3.14].



Obr. 3.5 Teplotní profil betonové desky/stěny tloušťky 300 mm vystavené normovému požáru z jedné strany po dobu 180 minut: bez izolace (vlevo), s izolační vrstvou tloušťky 20 mm (vpravo) – stanoveno programem *TempAnalysis* [3.15]



Obr. 3.6 Teplotní profil betonového nosníku o průřezu $400 \times 400 \text{ mm}^2$ vystaveného normovému požáru ze tří stran po dobu 180 minut: zobrazení pomocí izoterm (vlevo), zobrazení pomocí izopásů (vpravo) – stanoveno programem *TempAnalysis* [3.15]



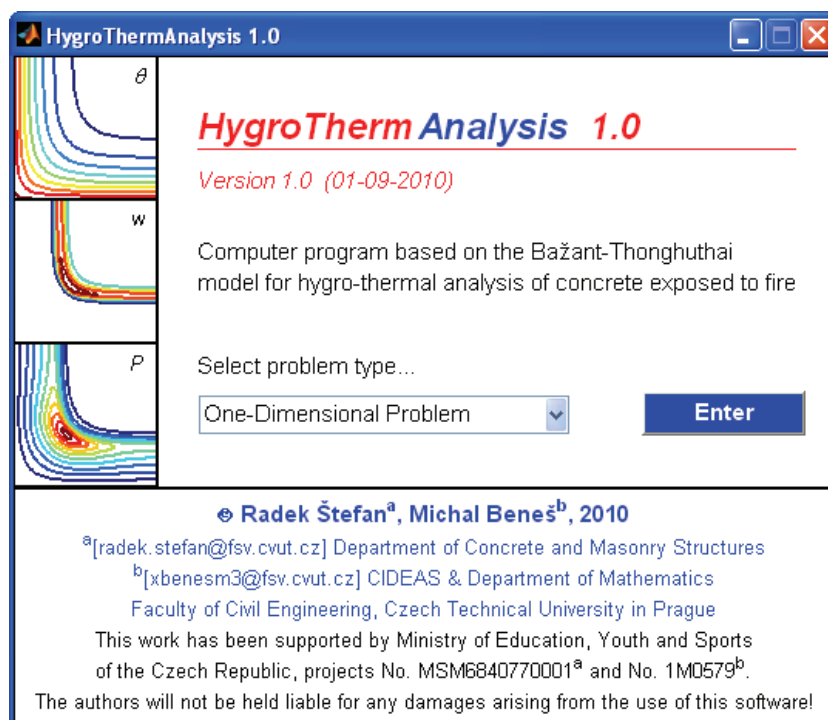
Obr. 3.7 Porovnání teplotních profilů stanovených programem *TempAnalysis* [3.15] s teplotními profily uvedenými v normě ČSN EN 1992-1-2 [3.5]: betonová deska tloušťky 200 mm (vlevo), betonový sloup o průřezu $300 \times 300 \text{ mm}^2$ vystavený požáru po dobu 60 minut (vpravo) (převzato z [3.14])

3.3 HygroThermAnalysis – program pro teplotně-vlhkostní analýzu průřezu

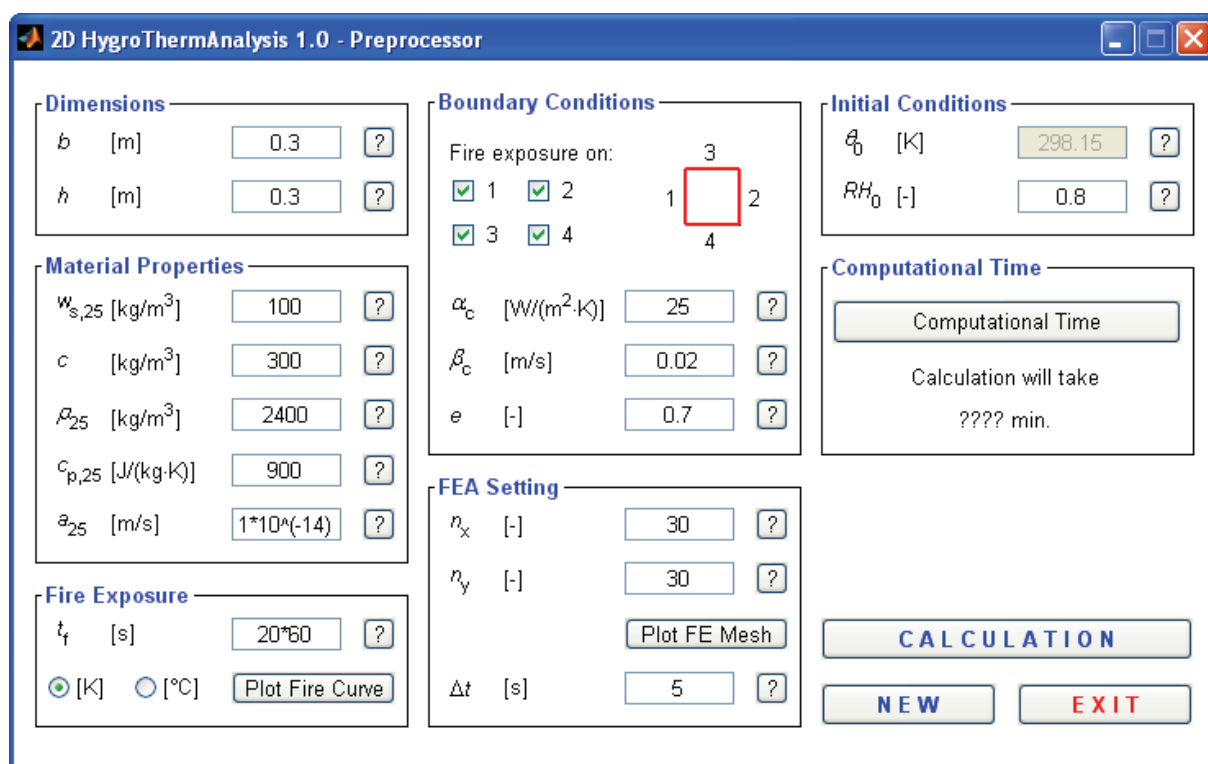
Při vystavení požáru je transport tepla v betonu doprovázen mnoha dalšími fyzikálními a chemickými procesy (transportem vlhkosti, hydratačními a dehydratačními procesy apod.). Norma ČSN EN 1992-1-2 [3.5] dovoluje v modelu teplotní odezvy vliv vlhkosti a jejího transportu zanedbat a řešit tak pouze samotnou úlohu transportu tepla. Tento přístup, použitý také ve výše popsaném programu *TempAnalysis* [3.15], sice může poskytnout dostatečně přesný popis rozložení teploty v konstrukci, neumožňuje však vystihnout další důležité jevy, jako je například odštěpování betonu.

Program *HygroThermAnalysis* [3.12] je určen ke stanovení rozložení teploty, vlhkosti a pórového tlaku v betonových obdélníkových průřezích vystavených účinkům požáru. Programem lze stanovit riziko explosivního odštěpování způsobného nárůstem pórového tlaku. Program je založen na modelu sdruženého transportu tepla a vlhkosti definovaném autory *Bažantem* a *Thonguthaiem* (viz např. [3.1]). Podrobné informace o použitém modelu, způsobu numerického řešení a principu simulace odštěpování jsou popsány v publikacích [3.2, 3.3].

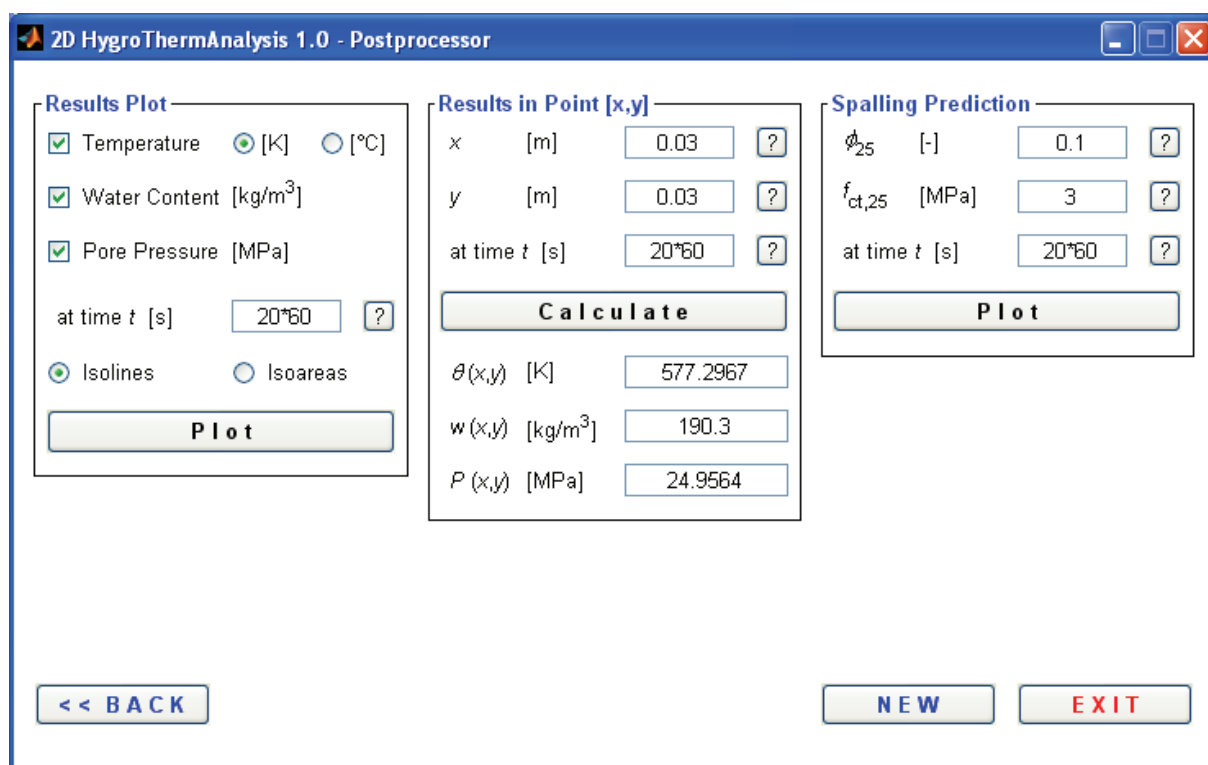
Program disponuje interaktivním uživatelským rozhraním v anglickém jazyce. Hlavní části uživatelského rozhraní jsou zobrazeny na **obr. 3.8–3.10**. **Obr. 3.8** znázorňuje úvodní okno pro výběr typu úlohy, tj. výběr mezi jednorozměrným problémem (desky, stěny) a dvourozměrným problémem (nosníky, sloupy). Na **obr. 3.9** je uvedeno okno pro zadání vstupů a spuštění výpočtu a na **obr. 3.10** okno pro zobrazení výsledků.



Obr. 3.8 Úvodní okno programu *HygroThermAnalysis* [3.12]

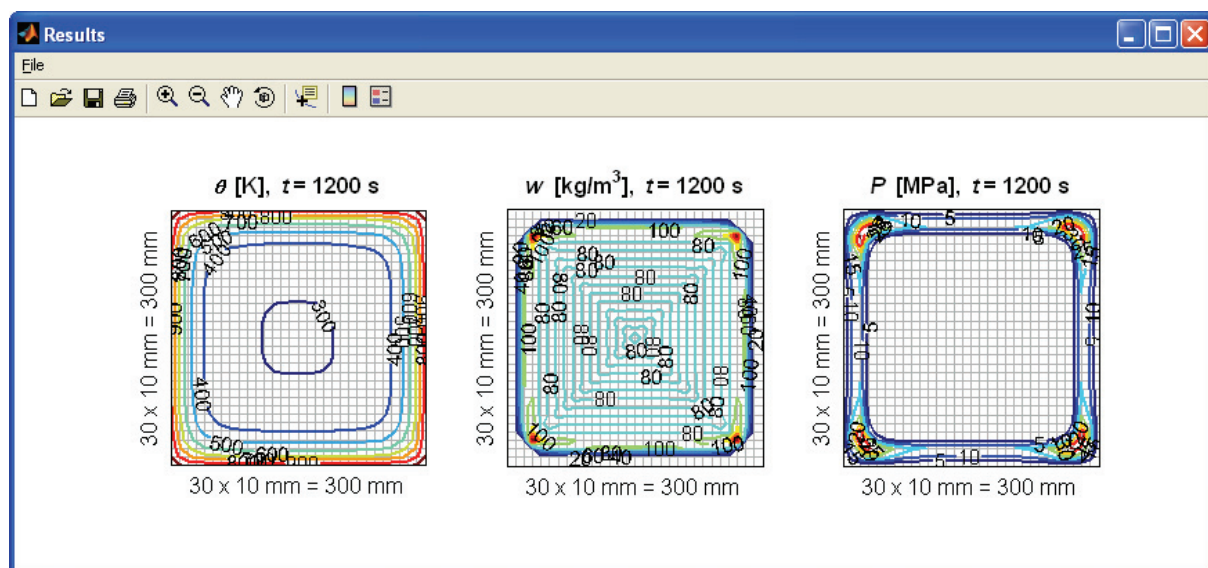


Obr. 3.9 Okno programu *HygroThermAnalysis* [3.12] pro zadání vstupů (2D úloha)

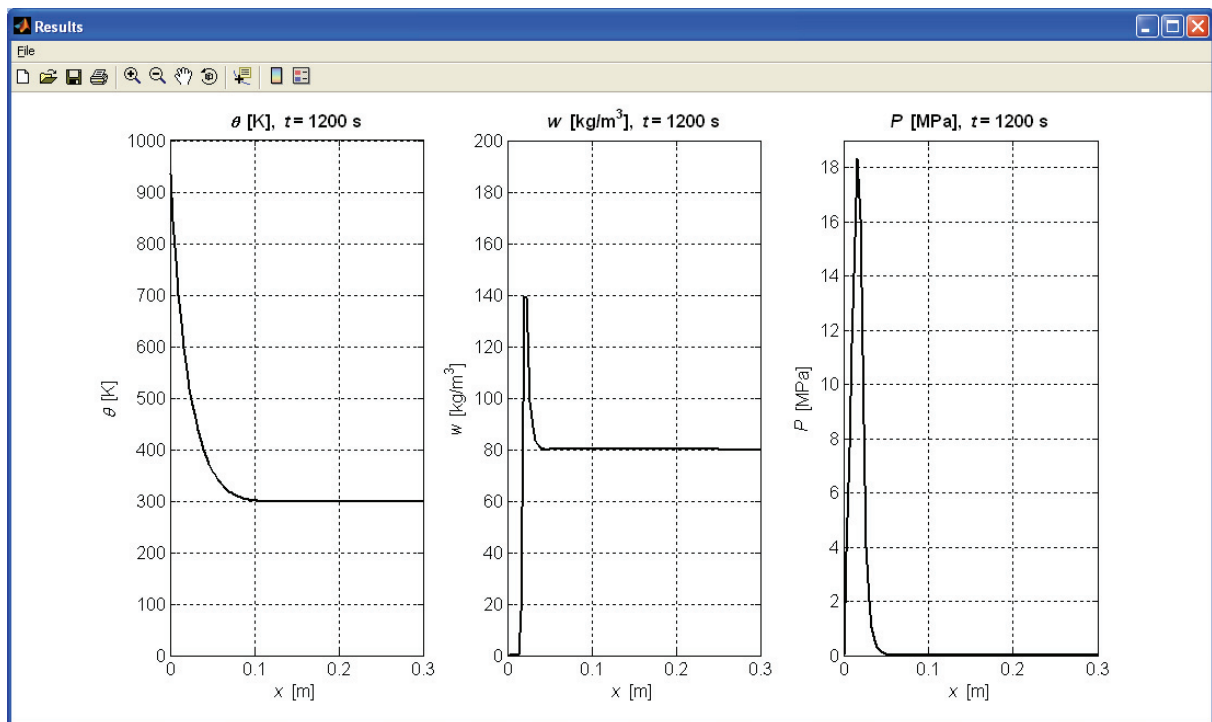


Obr. 3.10 Okno programu *HygroThermAnalysis* [3.12] pro zobrazení výsledků (2D úloha)

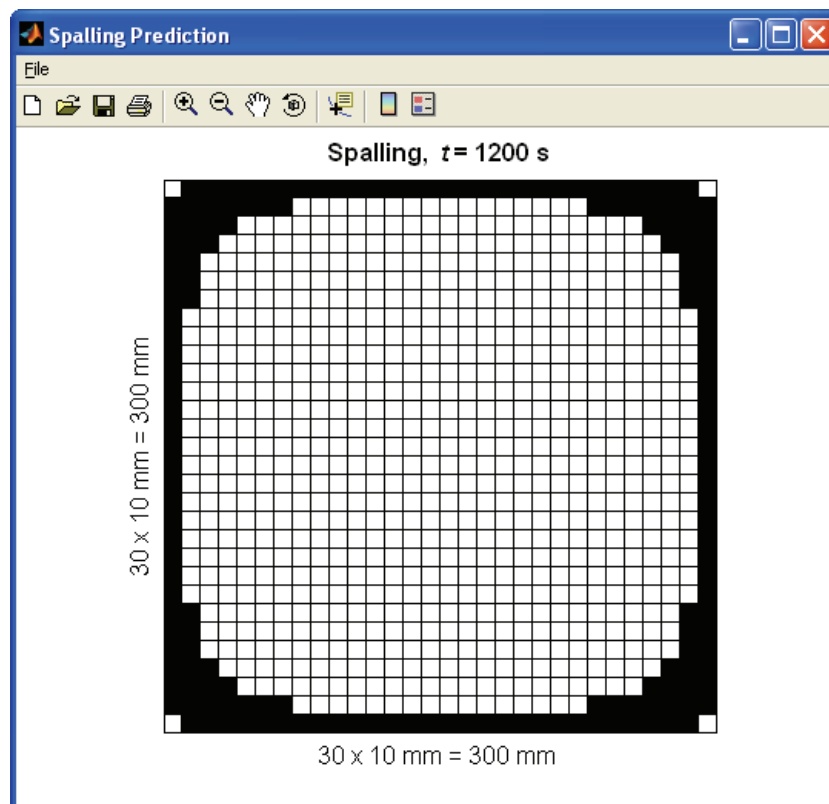
Program umožňuje graficky znázornit rozložení hledaných veličin v analyzovaném průřezu (**obr. 3.11** a **obr. 3.12**), vyčíslit hodnoty hledaných veličin v libovolném bodě průřezu (**obr. 3.10**) a vyznačit oblast průřezu, ve které je riziko odštěpení betonu (**obr. 3.13** a **obr. 3.14**).



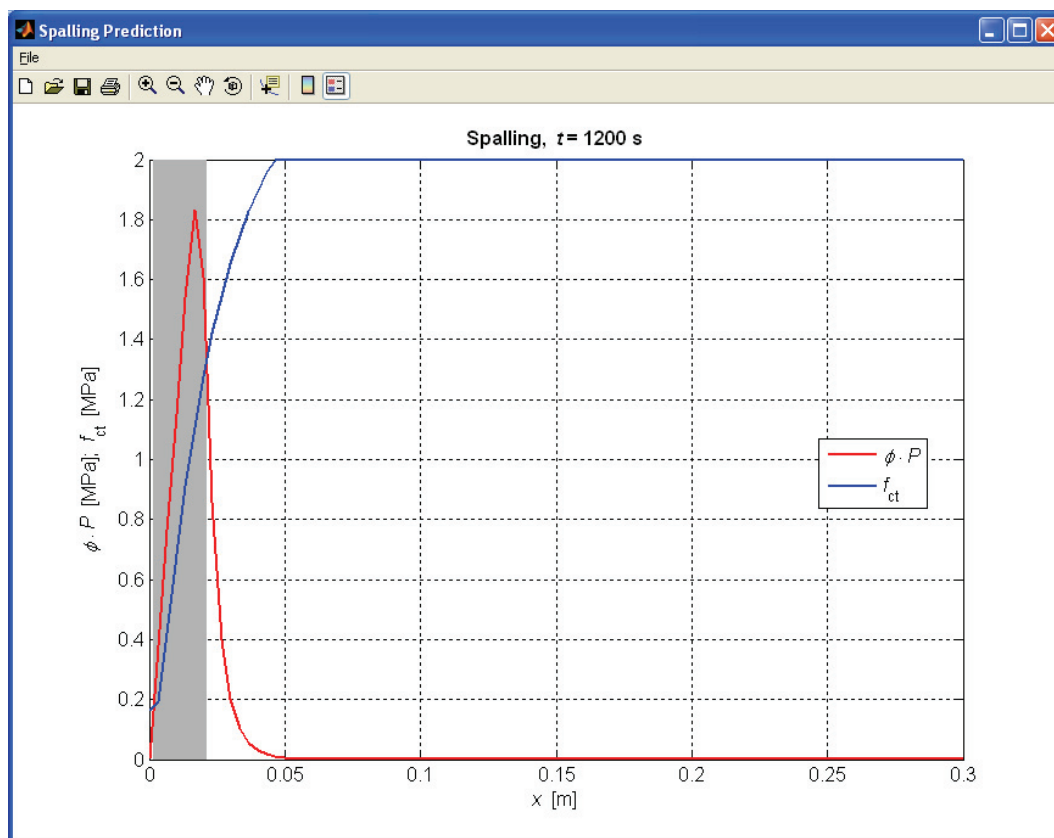
Obr. 3.11 Rozložení teploty, vlhkosti a pórového tlaku v analyzovaném průřezu (2D úloha) – stanoveno programem *HygroThermAnalysis* [3.12]



Obr. 3.12 Rozložení teploty, vlhkosti a pórového tlaku v analyzovaném průřezu (1D úloha) – stanoveno programem *HygroThermAnalysis* [3.12]



Obr. 3.13 Vyznačení oblasti průřezu, ve které je riziko odštěpení betonu (2D úloha) – stanoveno programem *HygroThermAnalysis* [3.12]



Obr. 3.14 Vyznačení oblasti průřezu, ve které je riziko odštěpení betonu (1D úloha) – stanoveno programem *HygroThermAnalysis* [3.12]

3.4 Závěr

Důležitým krokem návrhu a posouzení betonových konstrukcí na účinky požáru je stanovení rozložení teploty, případně i dalších fyzikálních veličin, v analyzované konstrukci nebo její části. Jednou z možností, jak tuto problematiku řešit, je provedení výpočtu.

Složitost modelů popisujících transportní procesy v betonu vystaveném požáru prakticky znemožňuje řešit dané úlohy analyticky. Proto se k tomuto účelu využívají numerické metody – např. metoda konečných prvků. Vlastní řešení lze provádět téměř výhradně s využitím výpočetní techniky.

V příspěvku byly popsány výpočetní programy *TempAnalysis* [3.15] a *HygroThermAnalysis* [3.12], které umožňují teplotní, resp. teplotně-vlhkostní analýzu betonových průřezů vystavených požáru. Programy jsou široce využitelné v oblasti vědy a výzkumu, při výuce předmětů zaměřených na problematiku požární odolnosti konstrukcí i při praktickém navrhování a posuzování betonových konstrukcí na účinky požáru.

4 Programy pro požární návrh betonových a zděných konstrukcí

4.1 Úvod

Požární návrh betonových a zděných konstrukcí se řídí normou ČSN EN 1992-1-2 [4.2], resp. ČSN EN 1996-1-2 [4.3], společně s dalšími souvisejícími evropskými normami (Eurokódy). Podle uvedených norem lze při návrhu vycházet z požárních zkoušek, z tabulkových údajů, ze zjednodušených nebo zpřesněných výpočetních metod, případně z kombinace těchto přístupů. Z hlediska úrovně návrhu (resp. posouzení) normy rozlišují analýzu jednotlivých prvků, analýzu části konstrukce a globální analýzu konstrukce [4.2, 4.3, 4.5, 4.7, 4.8]. V případě betonových a zděných konstrukcí je v praxi obvykle postačující návrh jednotlivých konstrukčních prvků s využitím tabulkových údajů nebo zjednodušených výpočetních metod [4.5].

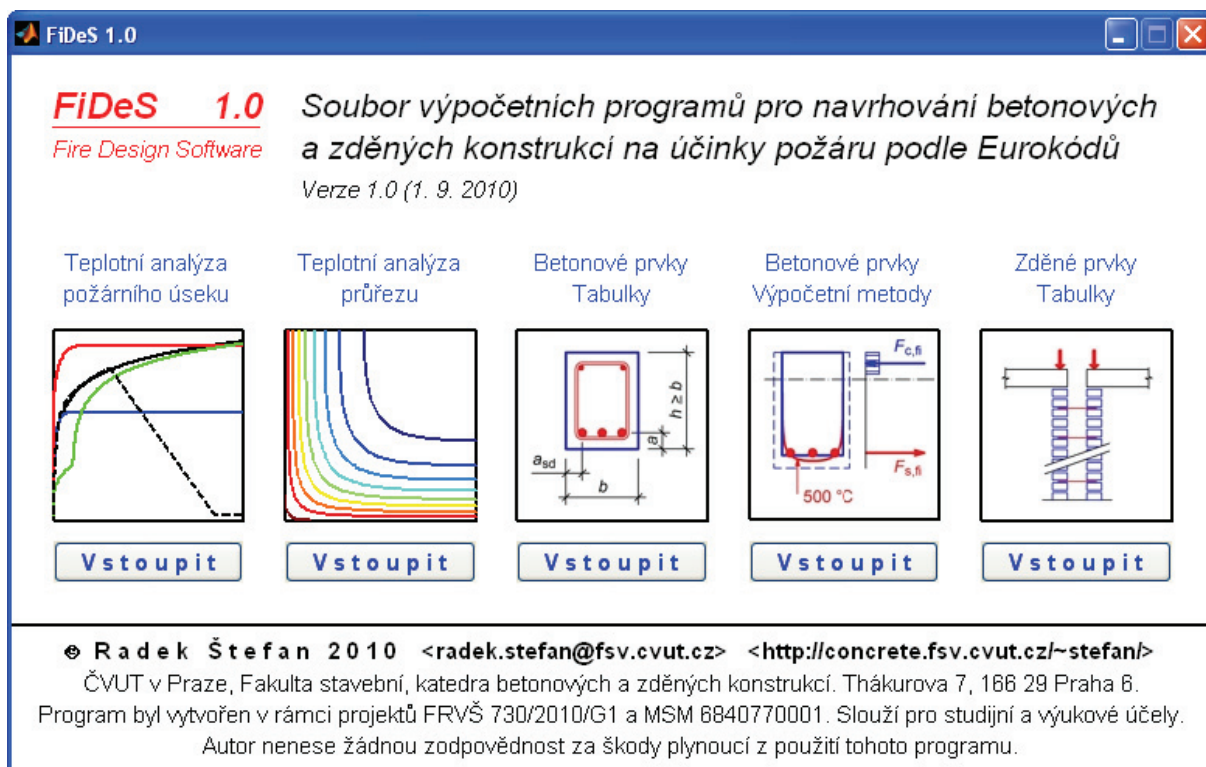
V příspěvku je stručně popsán soubor výpočetních programů *FiDeS* [4.6], určený pro navrhování betonových a zděných konstrukcí na účinky požáru podle Eurokódů. Software *FiDeS* [4.6] je vyvíjen na katedře betonových a zděných konstrukcí Fakulty stavební ČVUT v Praze. Jedná se primárně o výukovou pomůcku, která slouží především k seznámení s nově zavedenými evropskými návrhovými normami. Software byl vytvořen v prostředí matematického nástroje MATLAB [4.4] a je volně dostupný na webové stránce <http://concrete.fsv.cvut.cz/~stefan/vyzkum.htm>. Níže uvedený popis softwaru je převzat z jeho uživatelské příručky (dostupná tamtéž) a dále z publikací [4.7–4.9].

4.2 Popis softwaru

Software *FiDeS* (*Fire Design Software*) [4.6] zahrnuje celkem pět samostatných programů:

- program pro teplotní analýzu požárního úseku pomocí nominálních teplotních křivek a pomocí parametrické teplotní křivky podle přílohy A normy ČSN EN 1991-1-2 [4.1],
- program pro teplotní analýzu pravoúhlých průřezů z různých stavebních materiálů vystavených normovému nebo parametrickému požáru,
- program pro posouzení normové požární odolnosti vybraných betonových prvků pomocí tabulek uvedených v normě ČSN EN 1992-1-2 [4.2],
- program pro stanovení požární odolnosti vybraných betonových prvků pomocí zjednodušených výpočetních metod podle normy ČSN EN 1992-1-2 [4.2],
- program pro posouzení normové požární odolnosti vybraných zděných prvků pomocí tabulek uvedených v normě ČSN EN 1996-1-2 [4.3].

Software *FiDeS* [4.6] disponuje interaktivním uživatelským rozhraním. V úvodním okně softwaru lze zvolit jeden z pěti nabízených programů, viz **obr. 4.1**.



Obr. 4.1 Úvodní okno softwaru *FiDeS* [4.6]

Program pro teplotní analýzu požárního úseku využívá nominální teplotní křivky (normová teplotní křivka, křivka vnějšího požáru, uhlovodíková teplotní křivka, křivka pomalého zahřívání) a parametrickou teplotní křivku popsanou v příloze A normy ČSN EN 1991-1-2 [4.1]. Program umožňuje stanovit teplotu plynů v požárním úseku v libovolném čase působení požáru nebo vykreslit příslušnou teplotní křivku pro zadaný časový interval.

Pro teplotní analýzu průřezu je v softwaru *FiDeS* [4.6] použit výpočetní program *TempAnalysis* [4.10], umožňující stanovení rozložení teploty v pravoúhlých průřezích z různých stavebních materiálů vystavených normovému nebo parametrickému požáru. Pomocí programu lze vykreslit teplotní profil analyzovaného průřezu a vyčíslit teplotu v jeho libovolném bodě. Podrobnější popis programu viz **kapitola 8**.

Program pro posouzení normové požární odolnosti betonových prvků pomocí tabulek uvedených v normě ČSN EN 1992-1-2 [4.2] slouží jednak jako databáze příslušných tabulek, jednak provádí veškeré potřebné výpočty potřebné k vlastnímu posouzení požární odolnosti (výpočet pomocných hodnot, interpolace tabulkových hodnot apod.) a upozorňuje na nutnost dodržení daných omezujících podmínek. V současné verzi je pomocí programu možné posoudit požární odolnost betonových (resp. železobetonových) sloupů a stěn. Posouzení dalších prvků bude do programu začleněno v jeho příštích verzích.

Program pro stanovení požární odolnosti betonových prvků pomocí zjednodušených výpočetních metod podle normy ČSN EN 1992-1-2 [4.2] v současné verzi umožňuje stanovit

normovou požární odolnost betonových sloupů metodou popsanou v čl. 5.3.2(4) normy ČSN EN 1992-1-2 [4.2]. Stanovení požární odolnosti dalších prvků bude do programu začleněno v jeho příštích verzích.

Program pro posouzení normové požární odolnosti zděných prvků pomocí tabulek uvedených v normě ČSN EN 1996-1-2 [4.3] slouží, stejně jako v případě programu pro posouzení betonových prvků, jednak jako databáze příslušných tabulek, jednak provádí veškeré potřebné výpočty potřebné k vlastnímu posouzení požární odolnosti (výpočet pomocných hodnot, interpolace tabulkových hodnot apod.) a upozorňuje na nutnost dodržení daných omezujících podmínek. V současné verzi je pomocí programu možné posoudit požární odolnost zděných stěn (dělicích nenosných a dělicích nosných) z pálených zdicích prvků. Posouzení dalších konstrukčních prvků bude do programu začleněno v jeho příštích verzích.

Práce v uživatelském rozhraní všech součástí softwaru *FiDeS* [4.6] je snadná a intuitivní. Příklady oken pro zadání vstupů a zobrazení výsledků viz **obr. 4.2–4.5**.



Obr. 4.2 Úvodní okno programu pro posouzení požární odolnosti betonových prvků pomocí tabulek uvedených v normě ČSN EN 1992-1-2 [4.2]

FiDeS 1.0 Betonové prvky - Tabulky

FiDeS 1.0 Betonové prvky - Tabulky
Fire Design Software

Sloup (železobeton) - Metoda A

Ověření použitelnosti metody A:

Tvar, rozměry

Pravouhlý průřez

b [mm] 400 ?

h [mm] 600 ?

$l_{0,fi}$ [mm] 2500 ?

Excentricita

$e_{0,fi}$ [mm] 15 ?

- ve směru ☒ b ☐ h

Plocha výztuže

A_s [mm²] 1300 ?

<< Zpět Konec Pokračovat >>

Obr. 4.3 Okno programu pro posouzení požární odolnosti betonových prvků pomocí tabulek uvedených v normě ČSN EN 1992-1-2 [4.2] – sloup (Metoda A), zadání vstupů

FiDeS 1.0 Betonové prvky - Tabulky

FiDeS 1.0 Betonové prvky - Tabulky
Fire Design Software

Sloup (železobeton) - Metoda A

Ověření použitelnosti metody A:

Metodu A lze použít!

- $l_{0,fi} = 2500 \text{ mm} \leq 3000 \text{ mm}$ Splněno!
- $e_{0,fi} = 15 \text{ mm} \leq e_{\max} = 0.15 \cdot b = 0.15 \cdot 400 = 60 \text{ mm}$ Splněno!
- $A_s = 1300 \text{ mm}^2 \leq 0.04 A_c = 0.04 \cdot 240000 = 9600 \text{ mm}^2$ Splněno!

<< Zpět Konec Pokračovat >>

Obr. 4.4 Okno programu pro posouzení požární odolnosti betonových prvků pomocí tabulek uvedených v normě ČSN EN 1992-1-2 [4.2] – sloup (Metoda A), ověření použitelnosti metody

FiDeS 1.0 Betonové prvky - Tabulky

FiDeS 1.0 Betonové prvky - Tabulky
Fire Design Software

Sloup (železobeton) - Metoda A

Vstupy

Pravouhlý průřez, $b = 400$ mm, $h = 600$ mm. Výztuž umístěna ve více vrstvách. $A_s = 1300$ mm².
 $l_{0,fi} = 2500$ mm, $e_{0,fi} = 15$ mm - ve směru b
Vystavení požáru z více stran, $\mu_{fi} = 0.7$.
Požadovaná požární odolnost R 30.
Průřez vyztužen méně než 8 pruty.

$a_1, a_2, \dots, a_n$ [mm] 30,30,50
 $A_{s,1}, A_{s,2}, \dots, A_{s,n}$ [mm²] 400,400,500
 $f_{yk,1}, f_{yk,2}, \dots, f_{yk,n}$ [MPa] 500,500,450

Výstupy [mm]

a_m 37.2 $b_{min} / a_{m,min}$ 200 / 32 $b_{min}(a_m)$ 200 $b_{min} / a_{l,min,R30}$ 200 / 32 $a_{l,min,R30}(b)$ 27
 $a_{m,min}(b)$ 27 $a_{l,min} = a_m / 2$ 18.6

<< Zpět Konec Sloup splňuje R 30. Protokol

Obr. 4.5 Okno programu pro posouzení požární odolnosti betonových prvků pomocí tabulek uvedených v normě ČSN EN 1992-1-2 [4.2] – sloup (Metoda A), výsledek posouzení

Software *FiDeS* [4.6] je vybaven rozsáhlou nápovědou. Po stisknutí tlačítka s otazníkem, umístěného u příslušného pole nebo jiného ovládacího prvku pro zadání vstupů, je zobrazeno okno s popisem toho, o jaký vstup se jedná a jaká jsou případná omezení pro zadání. Příklady oken nápovědy viz **obr. 4.6.–4.9.**

Kromě vlastní práce v uživatelském prostředí lze v softwaru *FiDeS* [4.6] vygenerovat protokol přehledně shrnující nejdůležitější informace o provedeném výpočtu. Tento protokol může sloužit např. jako příloha statického výpočtu. Příklady protokolů viz **obr. 4.10.–4.11.**

FiDeS 1.0 HELP

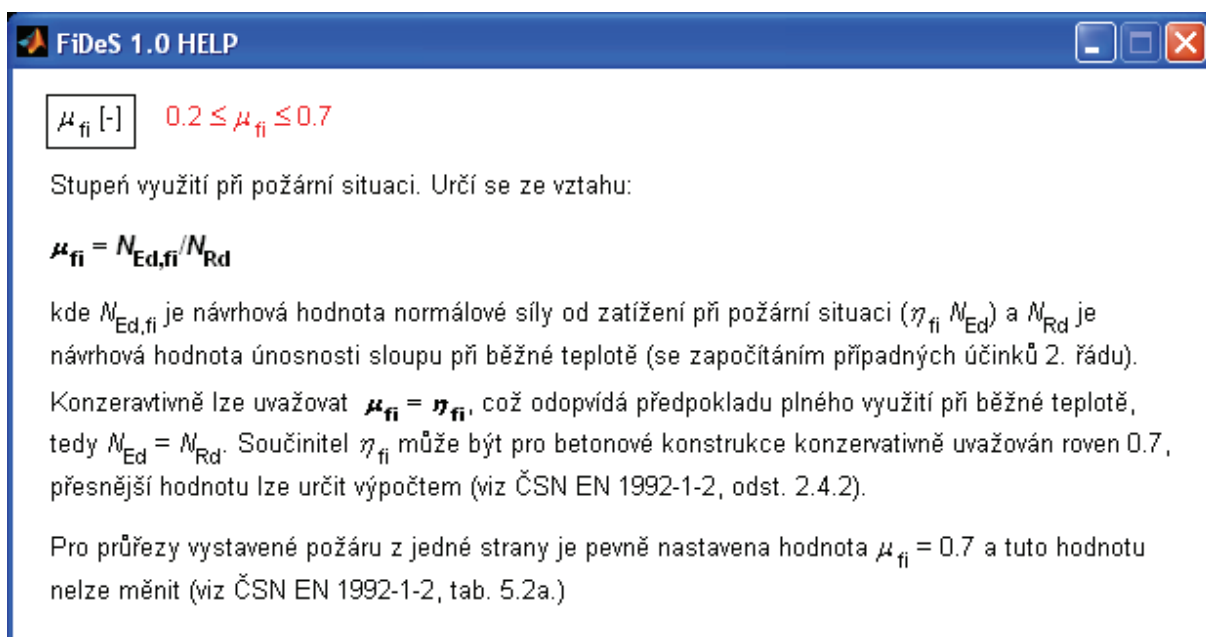
$N_{Ed,fi}$ [kN] $N_{Ed,fi} > 0$

Návrhová hodnota normálové síly od zatížení při požární situaci. Určí se ze vztahu:

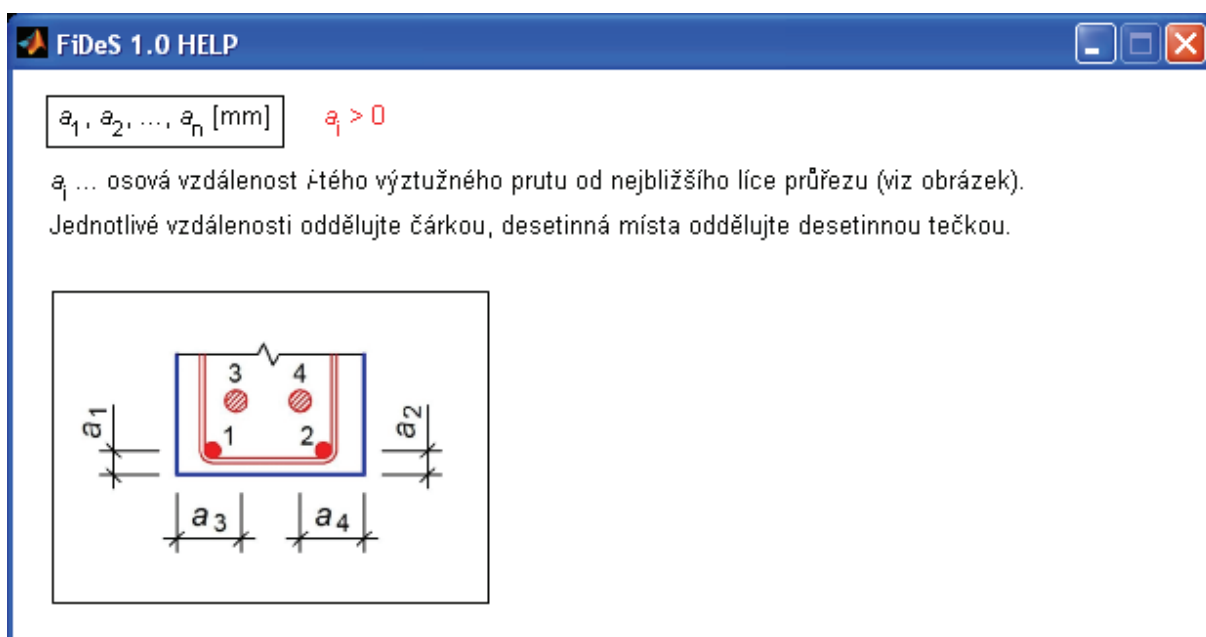
$$N_{Ed,fi} = \eta_{fi} N_{Ed}$$

kde N_{Ed} [kN] je návrhová hodnota normálové síly od zatížení při běžné teplotě a η_{fi} [-] je redukční součinitel pro úroveň návrhového zatížení při požární situaci, který lze pro betonové konstrukce konzervativně uvažovat roven 0.7, přesnější hodnotu lze určit výpočtem (viz ČSN EN 1992-1-2, odst. 2.4.2).

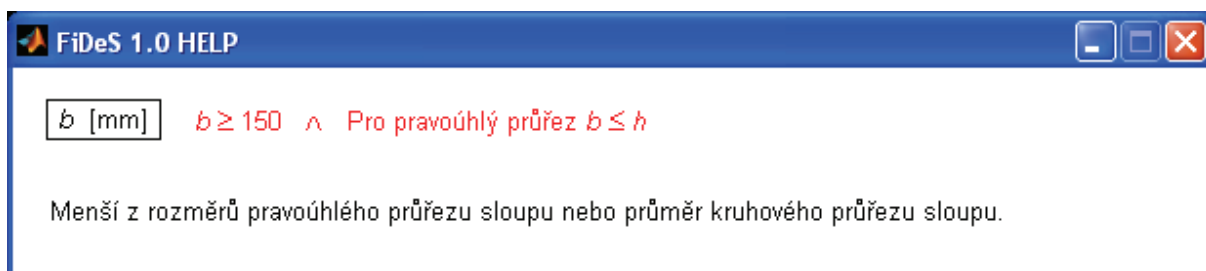
Obr. 4.6 Okno nápovědy – návrhová hodnota normálové síly od zatížení při požární situaci



Obr. 4.7 Okno nápovědy – stupeň využití při požární situaci



Obr. 4.8 Okno nápovědy – osová vzdálenost prutů od líce průřezu



Obr. 4.9 Okno nápovědy – rozměr průřezu b

Teplotní analýza požárního úseku

FiDeS 1.0

Fire Design Software

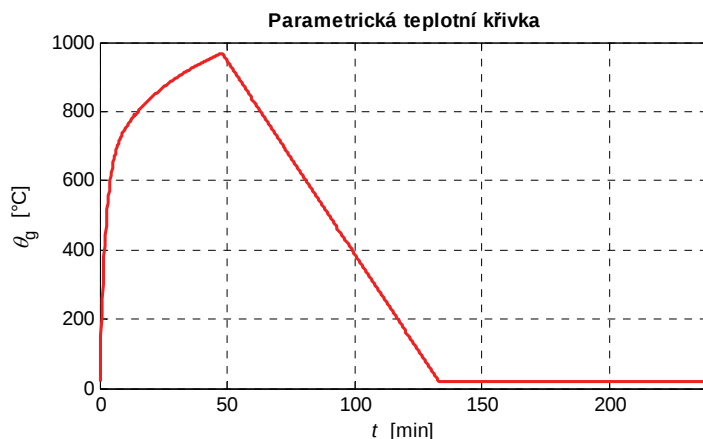
Verze 1.0 (1. 9. 2010)

Parametrická teplotní křivka

- Definovaná v příloze A normy ČSN EN 1991-1-2.

- Platí pro požární úseky s podlahovou plochou max. 500 m², bez otvorů ve střeše a s max. výškou požárního úseku 4 m.

Vstupní parametry: $q_{t,d} = 200 \text{ MJ m}^{-2}$
 $O = 0.05 \text{ m}^{1/2}$
 $b = 1200 \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1/2} \text{ K}^{-1}$
Rychlost rozvoje požáru - střední



Výsledné parametry: $\theta_{g,max} = 968.028 \text{ °C}$

$t_{max} = 48 \text{ min}$

$t_{20} = 133.0642 \text{ min}$

Požár řízený ventilací (malá plocha otvorů vzhledem k velikosti požárního zatížení).

Zadanému času $t = 30 \text{ min}$ odpovídá teplota $\theta_g = 895.8813 \text{ °C}$.

© Radek Štefan 2010 <radek.stefan@fsv.cvut.cz> <<http://concrete.fsv.cvut.cz/~stefan/>>

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, katedra betonových a zděných konstrukcí. Thákurova 7, 166 29 Praha 6.

Program byl vytvořen v rámci projektů FRVŠ 730/2010/G1 a MSM 6840770001. Program slouží pro studijní a výukové účely. Autor nenese žádnou zodpovědnost za škody plynoucí z použití tohoto programu.

Obr. 4.10 Protokol – teplotní analýza požárního úseku

Betonové prvky - Tabulky

FiDeS 1.0

Fire Design Software

Verze 1.0 (1. 9. 2010)

Sloup - Metoda A (čl. 5.3.2 normy ČSN EN 1992-1-2)

Platí pouze pro sloupy, které jsou součástí ztužených konstrukcí a které vyhoví dle ČSN EN 1992-1-1.

Vstupy

Pravoúhlý průřez, $b = 500$ mm, $h = 600$ mm, $l_{0,fi} = 2500$ mm, $e_{0,fi} = 15$ mm - ve směru b

Vystavení požáru z více stran, $\mu_{fi} = 0.64$, požadovaná požární odolnost R 120

Průřez vyztužen 8 nebo více pruty, výztuž umístěna ve více vrstvách, $A_s = 6000$ mm²

$a_1, a_2, \dots, a_n$ [mm] = 50,50,50,60,60,50,50,50,60,60

$A_{s,1}, A_{s,2}, \dots, A_{s,n}$ [mm²] = 500,500,500,750,750,500,500,500,750,750

$f_{yk,1}, f_{yk,2}, \dots, f_{yk,n}$ [MPa] = 500,500,500,500,500,500,500,500,500,500

Ověření použitelnosti metody A

1) $l_{0,fi} = 2500$ mm ≤ 3000 mm - **splněno**

2) $e_{0,fi} = 15$ mm $\leq e_{max} = 0.15 b = 0.15 \cdot 500 = 75$ mm - **splněno**

3) $A_s = 6000$ mm² $\leq 0.04 A_c = 0.04 \cdot 300000 = 12000$ mm² - **splněno**

Metodu A lze použít.

Posouzení

Pozn.: [*] - min. 8 prutů, [avg] - není definována žádná hodnota

Průměrná vzdálenost výztužných prutů od líce průřezu $a_m = \Sigma(a_i A_{s,i} f_{yk,i}) / \Sigma(A_{s,i} f_{yk,i}) = 55$ mm

Tabulkové hodnoty $b_{min} / a_{m,min}$ pro R 120 a $\mu_{fi} = 0.64$ (ČSN EN 1992-1-2, tab. 5.2a):

350 / 53.4*

420 / 49.2*

380 / 51.9*

450 / 47.7*

Rozhodující hodnoty: $b_{min}(a_m) = 350 \leq b = 500$ mm - **splněno**

$a_{m,min}(b) = 47.7 \leq a_m = 55$ mm - **splněno**

Posouzení jednotlivých prutů - musí platit $a_i \geq \max(a_{i,min,R30}; a_m/2)$

Tabulkové hodnoty $b_{min} / a_{i,min}$ pro R 30 a $\mu_{fi} = 0.64$ (ČSN EN 1992-1-2, tab. 5.2a):

200 / 29.9

270 / 26.4

Rozhodující hodnoty: $a_{i,min,R30}(b) = 26.4 \leq a_i = (50,50,50,60,60,50,50,50,60,60)$ mm - **splněno**

$a_m/2 = 27.5 \leq a_i = (50,50,50,60,60,50,50,50,60,60)$ mm - **splněno**

Sloup splňuje požadovanou požární odolnost R 120.

© Radek Štefan 2010 <radek.stefan@fsv.cvut.cz> <http://concrete.fsv.cvut.cz/~stefan/>

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, katedra betonových a zděných konstrukcí. Thákurova 7, 166 29 Praha 6.

Program byl vytvořen v rámci projektů FRVŠ 730/2010/G1 a MSM 6840770001. Program slouží pro studijní a výukové účely. Autor nenese žádnou zodpovědnost za škody plynoucí z použití tohoto programu.

Obr. 4.11 Protokol – posouzení požární odolnosti betonového sloupu pomocí tabulek uvedených v normě ČSN EN 1992-1-2 [4.2]

4.3 Závěr

Při návrhu a posouzení betonových a zděných konstrukcí na účinky požáru je v současné době nutné postupovat podle nově zavedených evropských návrhových norem – Eurokódů. V příspěvku byl stručně popsán volně dostupný výukový software *FiDeS* [4.6], který je zaměřen právě na tuto problematiku. Pomocí softwaru lze provádět teplotní analýzu požárního úseku, teplotní analýzu průřezu a návrh, resp. posouzení betonových a zděných prvků na účinky požáru s využitím tabulkových hodnot a zjednodušených výpočetních metod.

5 Požární odolnost ocelobetonového stropu

5.1 Úvodem

Požární zkoušky velkého rozsahu, které proběhly v poslední době v řadě zemí, a pozorování chování konstrukcí při skutečných požárech budov ukázaly, že účinek požáru na spřažené ocelobetonové prutové konstrukce je jiný než ukazují zkoušky požární odolnosti samostatných konstrukčních prvků. Je zřejmé, že konstrukce jako celek může mít vyšší požární odolnost a výsledky zkoušek požární odolnosti jednotlivých prvků lze zpřesnit zkoušením/modelováním větších celků.

Publikace popisuje požární návrh, který je rozpracován v softwaru FRACOF. Návrh byl vyvinut 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 budov lze určit, které prvky mohou zůstat při zachování požadovaného stupně požární odolnosti 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 pomůcky a softwaru, připraveny teoretické podklady, které obsahují podrobnosti o požárních zkouškách a o jejich vyhodnocení metodou konečných prvků. Hlavní poznatky plynou ze zkoušek, které se uskutečnily na osmipodlažní budově v Cardingtonu a na podlažních garážích. Teoretické podklady jsou připraveny k pochopení požadavků při návrhu a principů, které jsou v této publikaci rozpracovány.

5.2 Požární zkoušky

Výpočet požární odolnosti ocelobetonových stropů v publikaci vychází z poznatků získaných při požárech budov a požárních zkouškách konstrukcí ve skutečném měřítku[5.1, 5.2, 5.3]. Navržené řešení lze podle členění v konstrukčních Eurokódech zařadit mezi pokročilé analytické metody řešení.

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 [5.4], ČSN EN 1993-1-2 [5.5] a ČSN EN 1994-1-2 [5.6]. 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, nástřiky nebo zpěňujícími nátěry.

Požární zkoušky velkého rozsahu [5.7], 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.

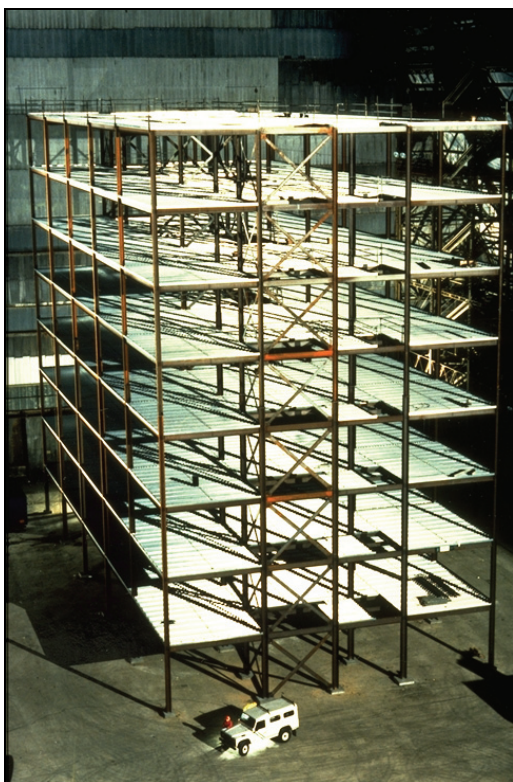
Návrhové postupy v publikaci jsou připraveny i pro pokročilé modely požáru, lze je ale použít i pro modely požáru pomocí nominální normové křivky, jak bylo doloženo při zkoušce stropu ve skutečném měřítku v rámci projektu FRACOF. Při návrhu vícepodlažních budov s ocelobetonovou konstrukcí jsou výhody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

Zkoušená budova v Cardingtonu a její konstrukce jsou ukázány na obr. 5.1a 5.2.

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



Obr. 5.1 Zkušební budova v Cardingtonu před betonáží desek



Obr. 5.2 Pohled na požárně nechráněnou ocelovou konstrukci zkušební budovy v Cardingtonu

5.3 Podklady návrhu

Kapitola shrnuje principy a předpoklady jednoduché analytické návrhové metody pro stanovení požární odolnosti stropu. Podrobnější informace jsou uvedeny v průvodním dokumentu [5.7]. V kapitole je i vymezen typ konstrukce, pro kterou je uvedený návrh vhodný.

Doporučení pro návrh bylo vypracováno v rámci výzkumu, který byl založen na výsledcích požárních zkoušek, zkoušek při běžné teplotě a analýze metodou konečných prvků.

5.3.1 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 nepřípustné deformace stropu, který je vystaven požáru, které by způsobily selhání celistvosti požárně dělících konstrukcí. Konstrukční řešení zajistí, že požár se nebude šířit vodorovně ani svisle.

5.3.2 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 vodorovného 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 [5.9],
- 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 obsahují otvory.

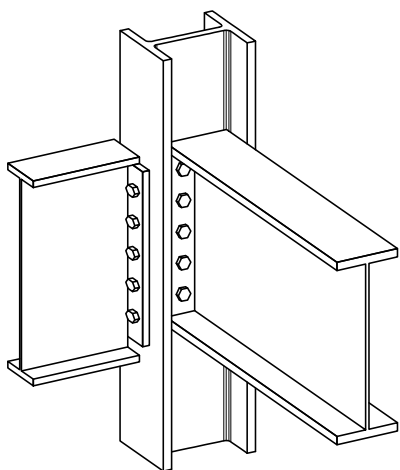
5.3.2.1 Styčníky

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

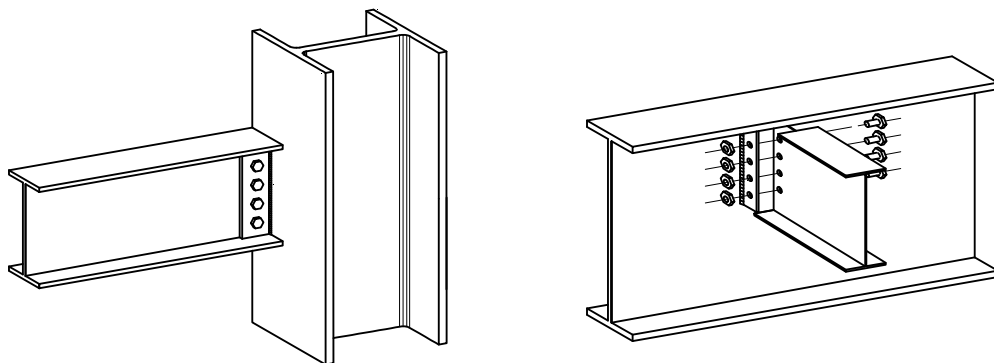
Přípoje nosníku na sloup, které lze považovat za kloubové jsou zejména:

- krátkou čelní deskou, viz obr. 5.3,
- deskou na stojině, viz obr. 5.4,
- úhelníky na stojině, viz obr. 5.5.

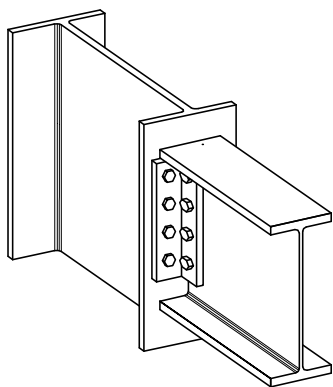
Návrhu částí kloubových přípojí je posán v části 5.4.6 této monografie.



Obr. 5.3 Příklad přípoje krátkou čelní deskou



Obr. 5.4 Příklad přípoje deskou na stojně



Obr. 5.5 Příklad přípoje úhelníky na stojně

5.3.2.2 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 otrýskávání betonu na spodní straně desky. Předpokládaná stropní konstrukce je znázorněna na obr. 5.6.

Výpočet lze použít pro isotropní nebo ortotropní výztužnou síť, tj. síť stejné nebo rozdílné průřezové plochy v pravoúhlých 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.

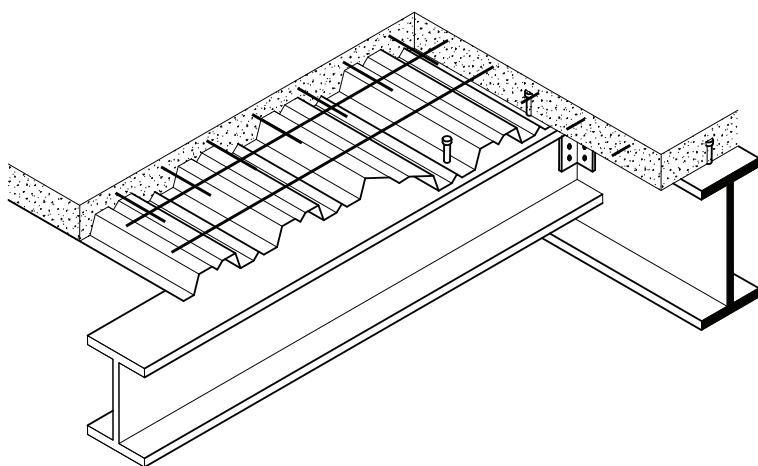
Software zahrnuje kategorii A i B běžně vyráběných sítí podle národních norem VB [5.11 a 5.12], viz tab. 5.1, a sítě podle francouzských národních norem [5.13 a 5.14], viz tab. 5.2. Dále lze v softwaru FRACOF počítat i s uživatelsky definovanou velikostí svařované sítě podle jednotlivých národních požadavků.

Tab. 5.1 Síť na britském trhu podle BS 4483 [5.11],

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. 5.2 Sítě na francouzském trhu

Druh sítě	Oka sítě (mm)	Hmotnost (kg/m ²)	Podélný dráty		Příčný dráty	
			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. 5.6 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.

5.3.3 Rozdělení stropní konstrukce

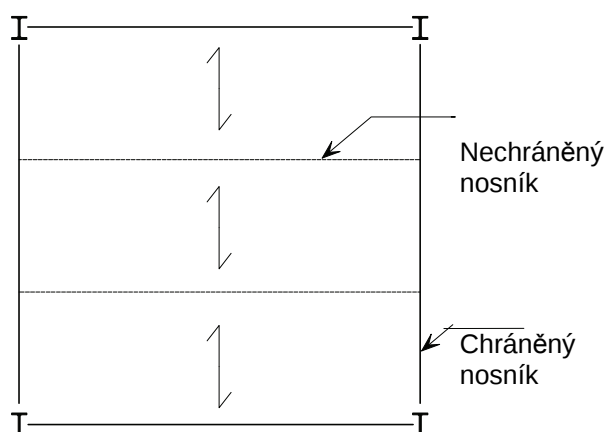
Pro výpočet se stropní deska dělí do několika oblastí, jak je vidět na obr. 5.7. Nosníky na okraji oblasti jsou navrženy požárně chráněny, aby dosáhly požární odolnosti požadované pro stropní desku.

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. 5.7.



Obr. 5.7 Příklad navrhované oblasti stropní konstrukce

5.3.4 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 [5.15]. 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. 5.3. Pro rovnoměrně rozdělené zatížení pro přemístitelné příčky je uvedeno v čl. 6.3.1.2(8) normy ČSN EN 1991-1-1 [5.16]:

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. 5.4 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. 5.3 Hodnoty součinitele ψ

Působení	Normou doporučené hodnoty, pro ČR		Hodnoty přílohy pro VB		Hodnoty přílohy 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. 5.4 Zatížení v kancelářích

Kategorie blasti	Normou doporučené hodnoty, ČR		Hodnoty přílohy pro VB		Hodnoty přílohy 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

5.3.5 Vystavení požáru

Doporučení v jednoduché návrhové metodě 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 návrhu je třeba dbát na požadavky národních předpisů o únikových cestách.

5.3.5.1 Požární odolnost

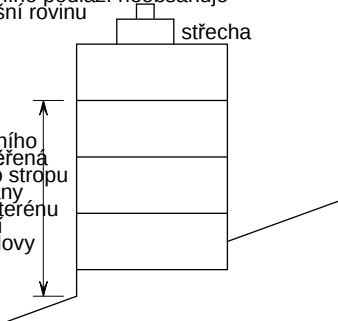
Požární zkoušky v Cardingtonu simulovaly skutečný požár hořením hranic dřeva. Pro model požáru pomocí nominální normové teplotní křivky bylo řešení ověřeno numericky pomocí teplotní analýzy.

Požadované doby požární odolnosti prvků konstrukce jsou stanoveny v požárně technickém řešení objektu. Hodnoty v některých národních předpisech jsou uvedeny v tab. 5.5 a 5.6. 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 [5.1].

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

Tab. 5.5 Požadavky na požární odolnost dokumentu B pro Anglii a Wales

	Požární odolnost (min)				
	Pro výšku horního patra(m)				
	<5	≤18	≤30	>30	
Obytné domy	30	60	90	120	Výška horního podlaží neobsahuje Horní střešní rovinu Výška horního podlaží měřena od horního stropu vrchní strany podlahy k terénu na nejnižší straně budovy 
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 ze 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. 5.6 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

5.3.5.2 Parametrická teplotní křivka

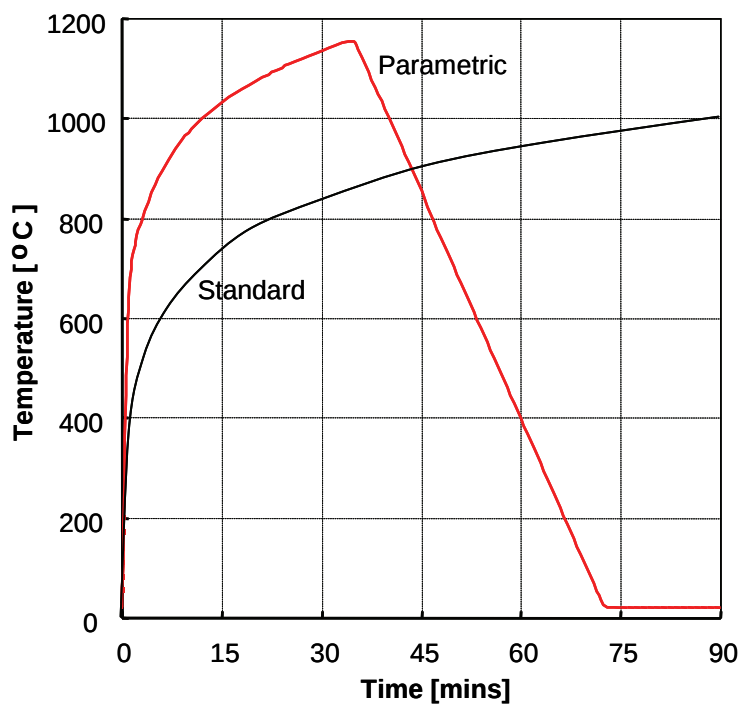
Program FRACOF umožňuje využít parametrické teplotní křivky podle přílohy A k normě ČSN EN 1991-1-2. Pomocí parametrické teplotní křivky se při rozdělení teploty přihlídně k:

- velikosti požárního úseku

- o délce
- o šířce
- o výšce
- výšce a ploše otvorů:
 - o výšce
 - o délce
 - o koeficientu otvorů
- množství hořavin a jejich rozdělení v prostoru
 - o požárnímu zatížení
 - o součiniteli hoření
 - o 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. 5.8.



Obr. 5.8 Porovnání příkladu parametrické a nominální normové teplotní křivky

5.4 Požadavky na konstrukční prvky

5.4.1 Dělení stropu na části

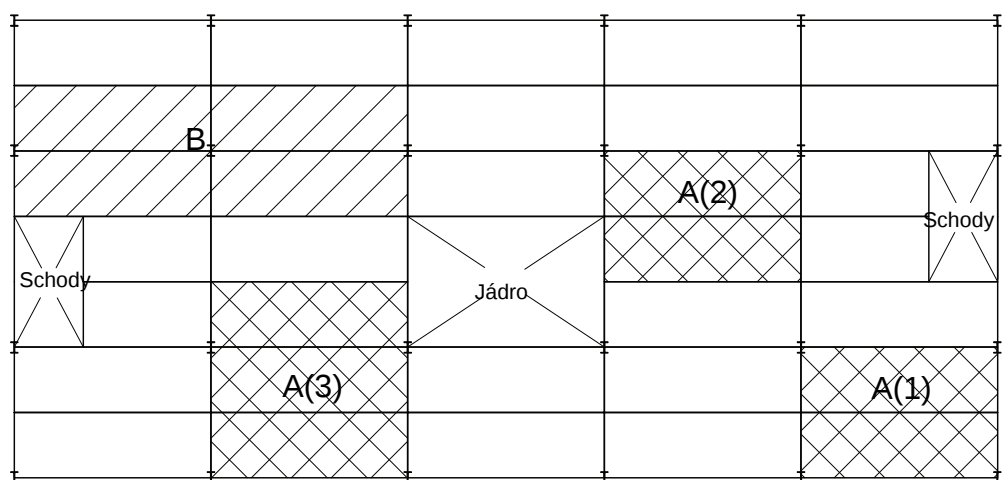
Pro výpočet požární odolnosti lze konstrukci stropu rozdělit na části, viz [5.3.3].

Rozdělení podlaží na části je ukázáno na obr. 5.9. 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. 5.10 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. 5.10.

V kapitole [5.3.2.2] 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. 5.7, 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.



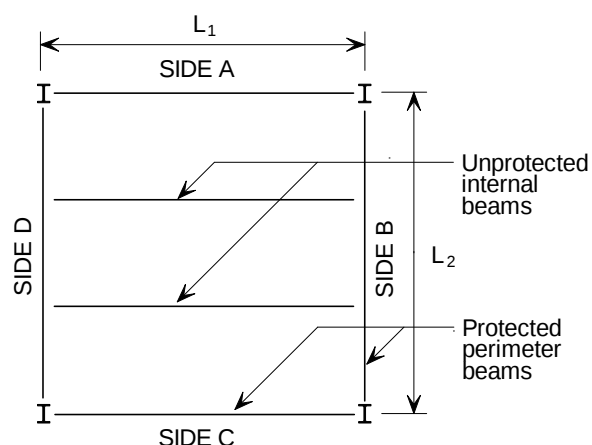
Vysvětlivky k obrázku

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

A(1) bez požadavku na dobu požární odolnosti

A(2) & A(3) jen pro požární odolnost do 30 min

Obr. 5.9 Oblasti stropu vhodné k ověření jednoduchou metodou



Obr. 5.10 Určení rozponu 1 (L_1) a 2 (L_2) umístění nosníku při požadované požární odolnosti 60 min

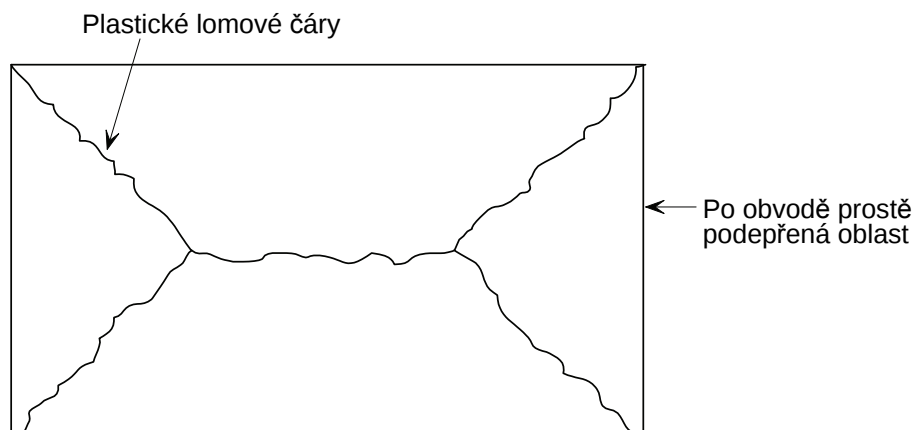
5.4.2 Stropní deska a nosníky

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.

5.4.2.1 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 5.11.



Obr. 5.11 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. 5.12. Velikost průhybu se ve výpočtu uvažuje včetně přírůstku od teplotního zakřivení a napětí ve výztuži

$$w = \frac{\alpha (T_2 - T_1) l^2}{19,2 h} + \sqrt{\left(\frac{0,5 f_y}{E_a} \right) \frac{3L^2}{8}}$$

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

L delší rozměr stropní návrhové zóny

l kratší rozměr stropní návrhové zóny

f_y mez luzu ve výztužné síti

E modul pružnosti ocele

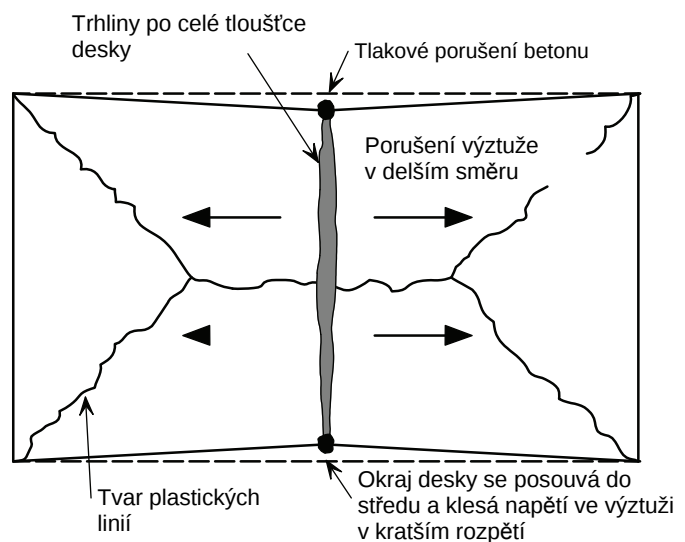
h tloušťka ocelobetonové desky

α koeficient tepelné roztažnosti betonu.

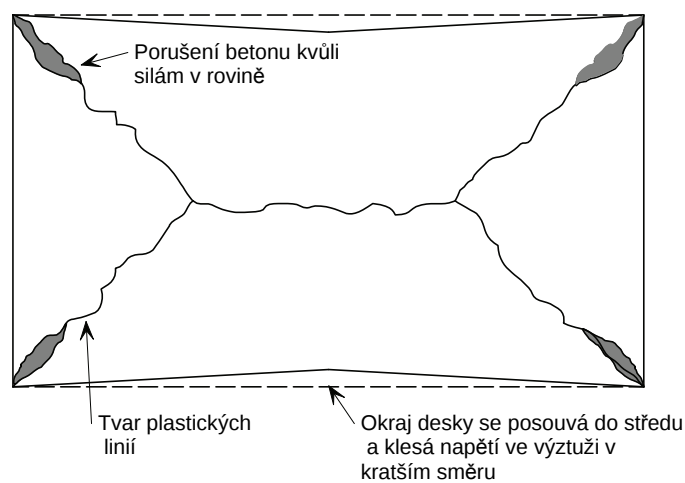
Zkoušky prokázaly, že tato stanovená velikost průhybu bude menší než průhyb při ztrátě únosnosti desky. Předpovězena odolnost je konzervativní.

Celkový průhyb desky se omezuje dále výrazem

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



(a) Porušení výztuže



(b) Rozdrcení betonu

Obr. 5.12 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 kompozitní 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 [5.4.3].

5.4.2.2 Požární návrh obvodových nosníků

Obvodové nosníky oblasti, na obr. 5.10 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:

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

kde

$E_{ti,d}$ 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 z FRACOF podklady [5.7].

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 dvěmi oblastmi s membránovým působením je ukázána na příkladu v kap. [5.4.3.1]. 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 [5.16] nebo pro zpěňující nátěry s ČSN EN 13381-8 [5.18]. Tloušťka požární ochrany se stanoví pro teplotu menší než odpovídající kritická teplota prvku.

5.4.3 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

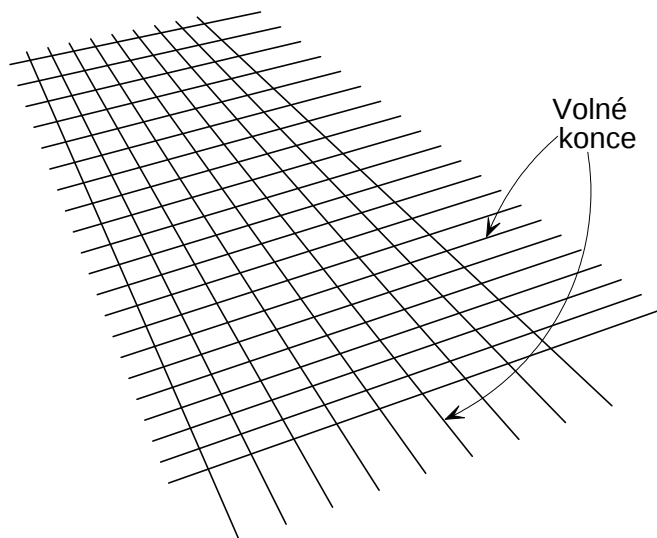
dostatečnou tažnost, aby umožnila vývoj membránového působení. Za dostatečné se uvažuje výztuž třídy B nebo lépe třída C.

V ocelobetonových deskách se výztužné sítě za běžné teploty navrhují na omezení trhlin betonu. Výztužná síť bývá umístěna u povrchu betonu v minimální tloušťkou krycí vrstvy betonu pro požadovanou trvanlivost v souladu s ČSN EN 1992-1-1 [5.19]. 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 5.4.3.1 informuje o podrobnostech vyztužení. Další informace, lze získat v ČSN EN 1994-1-1 [5.9] a ČSN EN 1994-1-2 [5.6] nebo v literatuře [5.20].

5.4.3.1 Výztužné sítě

Výztužné sítě se dodávají o velikosti $4,8 \times 2,4$ 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[5.19] a v tab. 5.7. Minimální délka přesahu výztužné sítě by měla být 250 mm. Optimální návrh je s volnými pruty na koncích, viz obr. 5.13, bez nastavování prutů pro přesah.



Obr. 5.13 Výztuž s volnými pruty na koncích

Tab. 5.7 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.

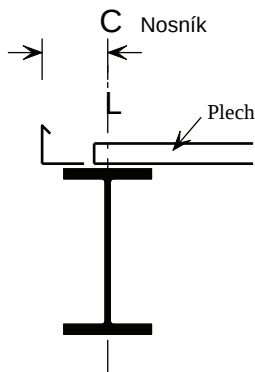
Pro přesah v horní části průřezu a krytí menší než dvojnásobek strany výztuže v přesahu by přesah měl vzrůst 1,4krát.

Žebrované pruty jsou určeny v ČSN EN 10080.

5.4.3.2 Okraje ocelobetonové desky

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

Okrajová lišta by měla být
připevněna mimo osu nosníku

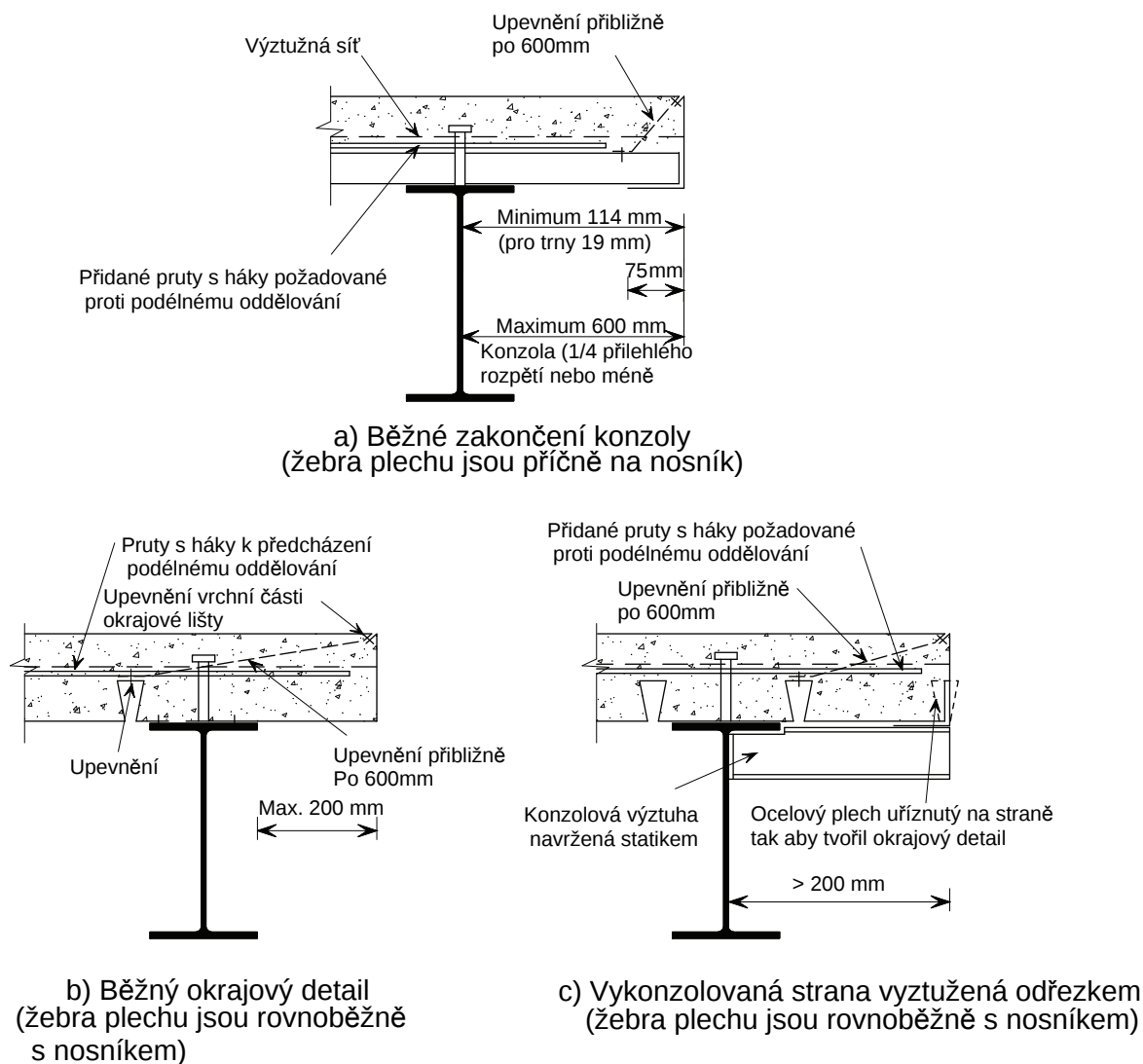


Obr. 5.14 Okraj ocelobetonové desky

Obvykle je okraj desky tvořen pásy pozinkovaného plechu, který je připevněn k nosníku, viz obr. 5.14. Háky na konci výztužných prutů brání oddělení okraje ocelobetonové desky.

Detaily okraje desky pro oba směry plechu jsou uvedeny na obr. 5.15. Pro žebra desky kolmo k obvodovému nosníku a konzole vyložené na menší vzdálenost lze upevnit pás pozinkovaného plechu podle obr. 5.15(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. 5.15(b). Pro desku delší než 200 mm se přidává mezi nosník a okrajový lem krátký nosník, viz obr. 5.15(c). Tyto krátké nosníky jsou běžně méně jak 3 m od sebe a jsou součástí dodávky hlavní nosné ocelové konstrukce.



Obr. 5.15 Ukončení ocelobetonové desky na nosníku

5.4.4 Návrh nespřažených obvodových nosníků

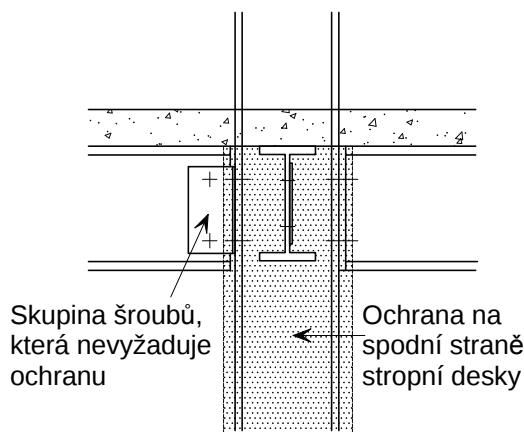
Nosníky na okrajích stropní desky lze navrhnout jako nespřažené. Cena příčné smykové výztuže bývá větší než cena vyššího nosníku, který není spřažený. Stropní deska musí být vhodně ukotvena k okrajovému nosníku na okraji oblasti s membránovým působením. Pro návrh za zvýšené teplotě se doporučuje, aby spřahovací prvky byly po 300 mm a výztužné tyče s háky umístěny okolo spřahovacích prvků, viz kap. 5.4.3.2.

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

5.4.5 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. 5.16. Řešení zabrání místnímu boulení sloupu a zajistí lokalizaci poškození konstrukce případným požárem pouze v jednom podlaží.



Obr. 5.16 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 [5.22] 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.

5.4.6 Přípoje

Ve skeletech se předpokládá využití kloubových přípojů podle kap. 5.3.2.1 jako jsou přípoj čelní deskou, deskou na stojně 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 stojně. 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 [5.23].

5.4.6.1 Klasifikace styčníků

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

- Kloubové styčníky
 - Styčník přenesení vnitřní smykové síly bez přenesení významných momentů.
- Polotuhé styčníky
 - Styčník nesplňuje kritéria kloubového ani tuhého spojení
- Tuhé styčníky
 - Styčník 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 styčníků, viz kap. 5.3.2.1. Přípoj nemá přenášet významné ohybové momenty a má mít dostatečnou rotační kapacitu. Toho lze dosáhnout vhodnou geometrií spoje. Pokyny pro geometrii k zajištění dostatečné tvárnosti spoje jsou uvedeny v dokumentu Access-steel [5.24].

5.4.6.2 Přípoj čelní deskou

Přípoje čelní deskou se liší podle výšky čelní desky, kterou lze navrhnout 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.

Únosnot 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 dešek 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 [5.25].

Informace o stanovení odolnosti připevnění čelních dešek lze nalézt v textu SN015 [5.25].

5.4.6.3 Přípoj deskou na stojině

V přípoji deskou na stojině lze navrhnout jednu nebo dvě svislé řady šroubů, viz texty SN014 [5.25], 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 [5.26] v materiálu AccessSteel [5.26].

5.4.6.4 Přípoj úhelníky na stojině

Přípoje úhelníky na stojině nosníků nebyly Při požárních experimentech na ocelobetonové objektu v Cardingtonu ověřeny. Řada experimentů s ocelovými a ocelobetonovými přípoji prokázala jejich dobrou požární odolnost, viz SCI [5.27]. 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.

5.4.6.5 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.

5.4.7 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.

5.5 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.

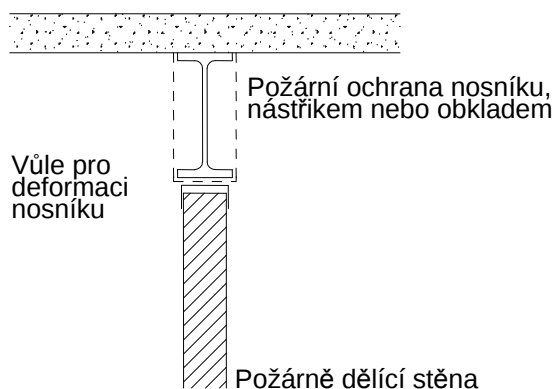
Izolační funkce popisuje schopnost konstrukce zamezit přestupu tepla ze strany vystavené požáru na stranu požáru nevystavenou.

5.5.1 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

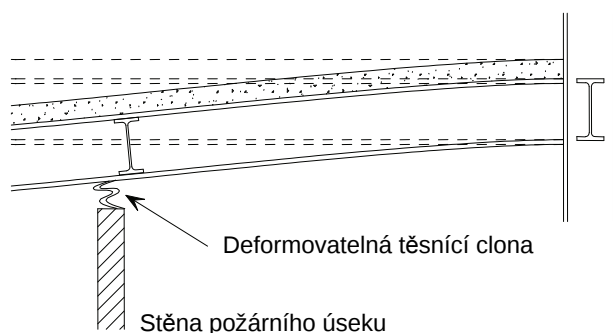
Požární zkoušky v Cardingtonu prokázaly, že nechráněné nosníky umístěné nad požárně dělící stěnou v její ose, viz obr. 5.17, které jsou ohřívány z jedné strany, se neprohýbají do takové míry, aby porušily celistvost požárně dělících konstrukcí. Pro volnou tepelnou deformaci nosníku postačují běžné vůle. 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 [5.28 a 5.29].



Obr. 5.17 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. 5.18. Požárně dělící konstrukce mají dosahovat až ke stropu požárního úseku.



Obr. 5.18 deformovatelná těsnící clona požárně dělící stěny

5.5.2 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.5.18.

5.5.3 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. 5.17.

5.6 Řešený příklad

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

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 pnuta 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 řešení konstrukce jsou na obr 5.19 až 5.22

Obr. 5.18 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.

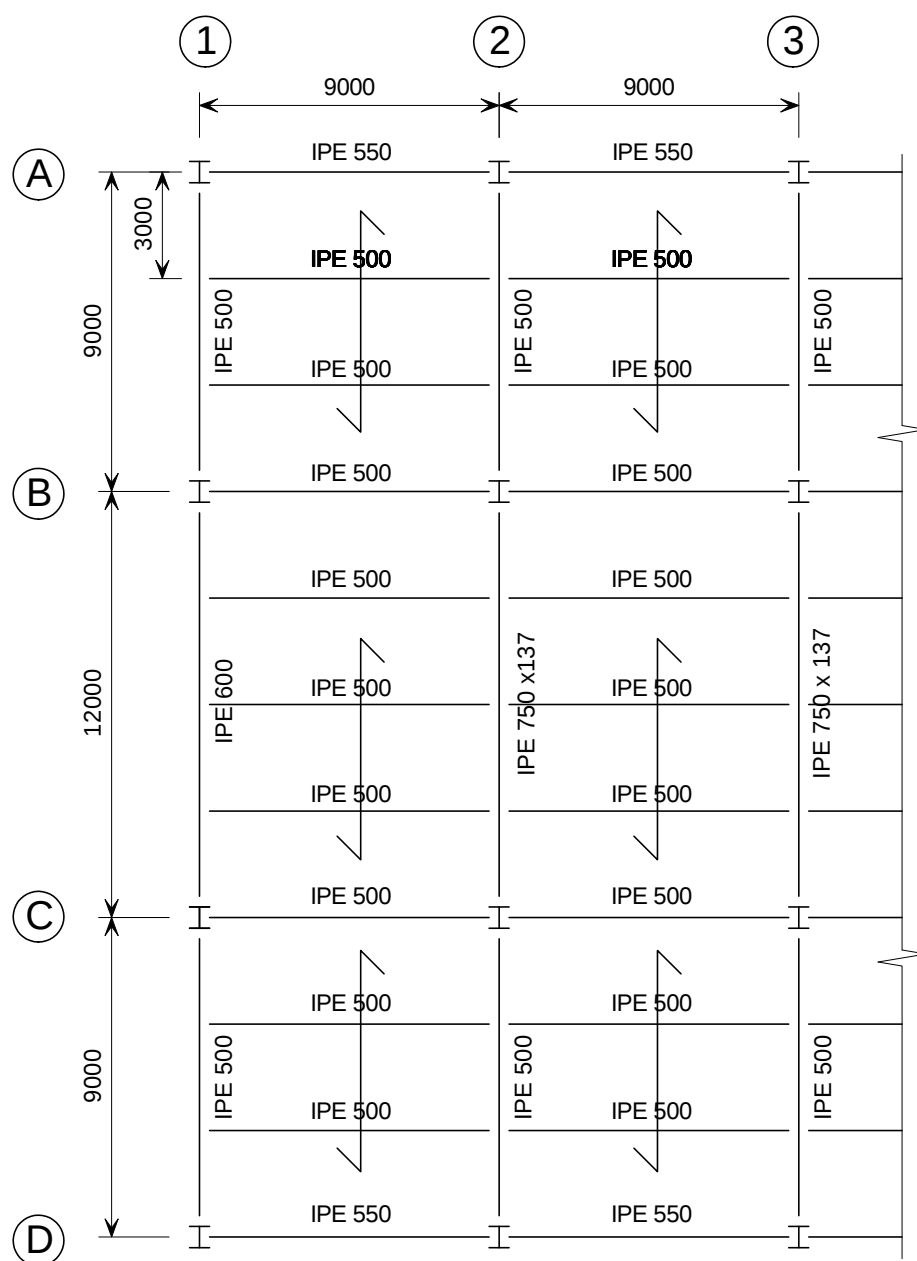
Je uvažováno se zatížením konstrukce:

- 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. 5.19. Vnitřní nosníky jsou spřažené. Spřažení nosníků je uvedeno v tab. 5.8.

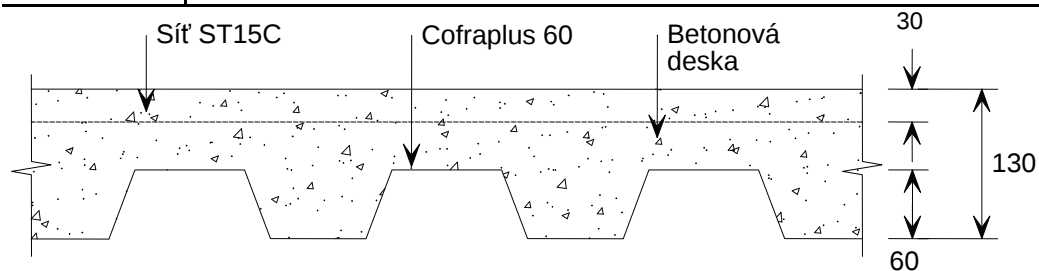
Na obr. 5.20 je zobrazen řez spřaženým stropem. Betonová deska je z běžného betonu C25/30, výška desky je 130 mm. Deska je vyztužena sítí ST 15C, mez kluzu výztuže je 500 MPa. Návrh při běžné teplotě vyhovuje. Pokud takto navržená konstrukce nebude vyhovovat při požáru, lze zvětšit průřez výztužné sítě, plochu výztuže.



Obr. 5.19 Schéma ocelové konstrukce stropu v řešeném příkladu

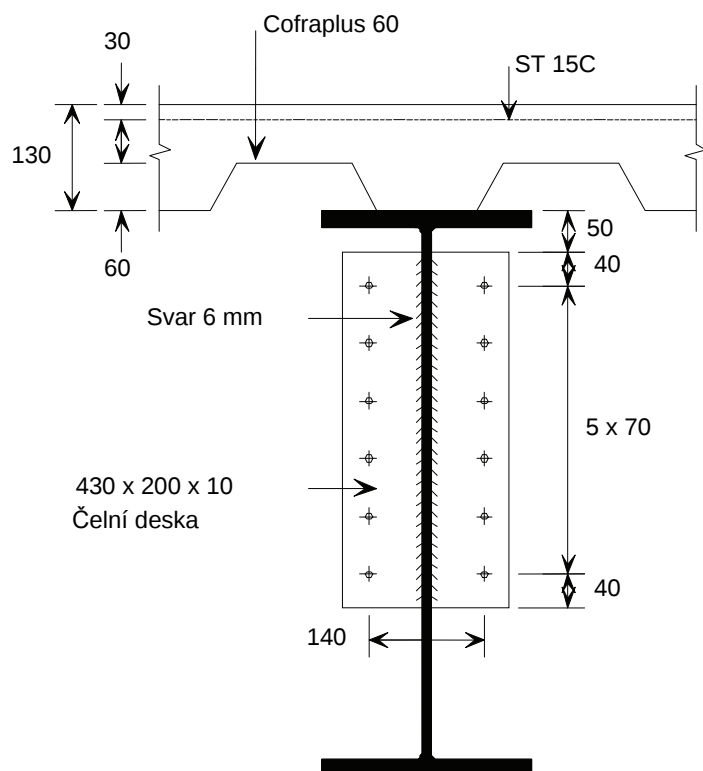
Tab. 5.8 Nosníky navržené za běžné teploty

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	

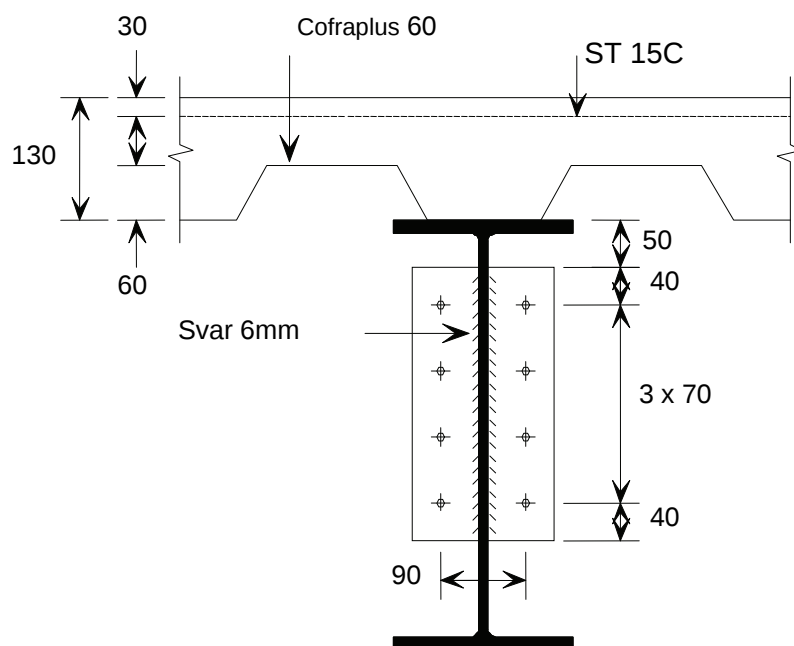


Obr. 5.20 Konstrukce stropní desky

Přípoje ocelové konstrukce jsou kloubové pomocí krátké čelní desky. Na obr. 5.21(a) je schéma přípoje průvlaku na sloup. Schéma přípoje stropnice na sloup je zobrazeno na obr. 5.21(b). Detail přípoje stropnice na průvlak je na obr. 5.22.

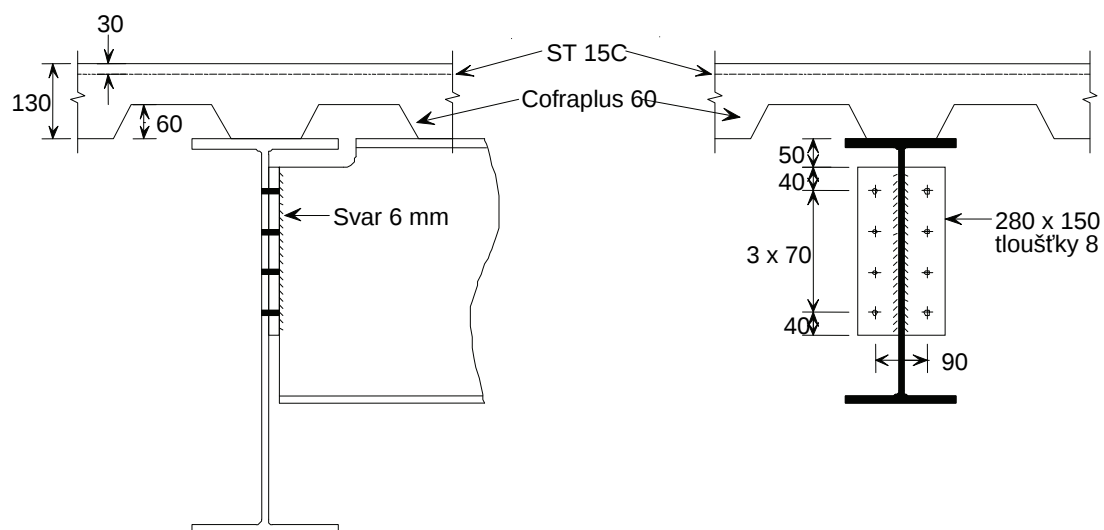


(a) Připoj průvlaku na sloup



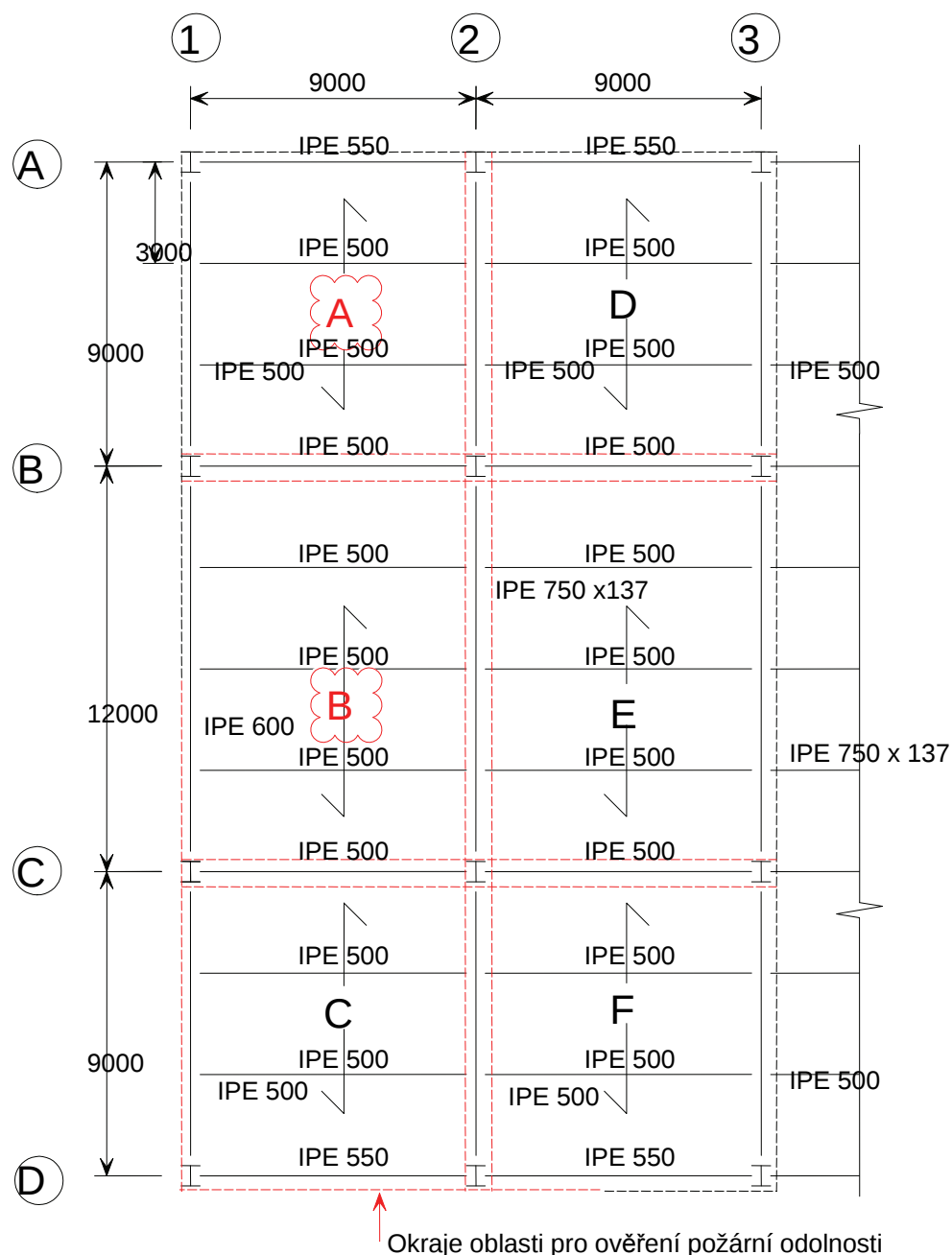
(b) Připoj stropnice na sloup

Obr. 5.21 Připoje nosníků na sloup



Obr. 5.22 Připoj stropnice na průvlak

Na obr. 5.23. je stropní konstrukce rozdělena do oblastí pro návrh. Oblasti A a B budou mít nejnepříznivější podmínky a jejich požární odolnost bude prověřena.



Obr. 5.23 Oblasti na ověření požární odolnosti, A – F

5.6.1 Požární návrh stropu

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

5.6.1.1 Oblast B

Obr. 5.24 až 5.26 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.

• Spans			
Span 1: 9 m			
Span 2: 12 m			
• Unprotected Beams			
Number of internal unprotected beams:		3	
3. Deck Details			
• Deck Properties			
Deck:	COFRAPLUS 60	Type:	Trapezoidal
Depth:	58 mm	Top flange:	106 mm
Pitch:	207 mm	Bottom flange:	62 mm
Stiffener height:	0 mm		
4. Slab Details			
• Concrete			
Concrete type:	Normal	Slab depth:	130 mm
		Cylinder compressive strength of concrete (f_{ck}):	25 N/mm ²
• Mesh			
Mesh type:	ST 15 C		
Transverse mesh area:	142 mm ² /m	Bar size:	6 mm
Longitudinal mesh area:	142 mm ² /m	Bar size:	6 mm
Average mesh axis distance:	30 mm	Mesh yield stress:	500 N/mm ²
5. Beams Details			
• Unprotected Beams			
Section family:	European sections	Steel grade:	S355
Section size:	IPE 500 +	Degree of shear connection:	51 %
Details:	h = 500 mm, b = 200 mm, t _w = 10.2 mm, t _f = 16 mm		

Obr. 5.24 Vstupní data pro oblast stropu B v programu FRACOF

• Side A Perimeter Beam			
Section family:	European sections	Steel grade:	S355
Section size:	IPE 500 +		
Details:	h = 500 mm, b = 200 mm, t _w = 10.2 mm, t _f = 16 mm		
Beam Location:	Edge Beam	Construction type:	Non Composite
• Side B Perimeter Beam			
Section family:	European sections	Steel grade:	S355
Section size:	IPE 750x137 +		
Details:	h = 753 mm, b = 263 mm, t _w = 11.5 mm, t _f = 17 mm		
Beam Location:	Internal Beam	Construction type:	Composite
		Degree of shear connection:	71 %
• Side C Perimeter Beam			
Section family:	European sections	Steel grade:	S355
Section size:	IPE 500 +		
Details:	h = 500 mm, b = 200 mm, t _w = 10.2 mm, t _f = 16 mm		
Beam Location:	Internal Beam	Construction type:	Composite
		Degree of shear connection:	51 %
• Side D Perimeter Beam			
Section family:	European sections	Steel grade:	S355
Section size:	IPE 600 *		
Details:	h = 600 mm, b = 220 mm, t _w = 12 mm, t _f = 19 mm		
Beam Location:	Edge Beam	Construction type:	Non Composite
Note(s):			
+ Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement			
* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement			
6. Loading Details			
• Normal (Cold)			
Leading variable action:		5 kN/m ²	
Accompanying variable action:		0 kN/m ²	
Dead load including beam, excluding slab:		1.2 kN/m ²	
Calculated slab weight including mesh:		2.65 kN/m ²	
• Fire (Hot)			
Combination factor for leading variable action:		0.5	
Combination factor for other variable action:		0.3	

Obr. 5.25 Vstupní data pro oblast stropu B v programu FRACOF

Factored load in fire: 6.35 kN/m ²											
• Tabular Results											
Time	Beam	Mesh	Slab top	Slab bottom	Beam capacity	Displacement	Slab yield	Enhancement	Slab capacity	Total capacity	Unity factor
mins	°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
Maximum unity factor: 1.18 Floor slab fails											

Obr. 5.26 Výstupní data pro oblast stropu B v programu FRACOF

Obrázky 5.27 až 5.29 zachycují vstupní a výstupní data z programu FRACOF pro oblast B pro výztužnou síť ST 25C.

Z výstupu na obrázku 5.29 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 pruhybu 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. General Arrangement			
• Spans			
Span 1:		9 m	
Span 2:		12 m	
• Unprotected Beams			
Number of internal unprotected beams:		3	
3. Deck Details			
• Deck Properties			
Deck:	COFRAPLUS 60	Type:	Trapezoidal
Depth:	58 mm	Top flange:	106 mm
Pitch:	207 mm	Bottom flange:	62 mm
Stiffener height:	0 mm		
4. Slab Details			
• Concrete			
Concrete type:	Normal	Slab depth:	130 mm
		Cylinder compressive strength of concrete (f_{ck}):	25 N/mm ²
• Mesh			
Mesh type:	ST 25 C		
Transverse mesh area:	257 mm ² /m	Bar size:	7 mm
Longitudinal mesh area:	257 mm ² /m	Bar size:	7 mm
Average mesh axis distance:	30 mm	Mesh yield stress:	500 N/mm ²
5. Beams Details			
• Unprotected Beams			
Section family:	European sections	Steel grade:	S355
Section size:	IPE 500 +	Degree of shear connection:	51 %
Details:	h = 500 mm, b = 200 mm, t _w = 10.2 mm, t _f = 16 mm		
• Side A Perimeter Beam			
Section family:	European sections	Steel grade:	S355
Section size:	IPE 500 +		
Details:	h = 500 mm, b = 200 mm, t _w = 10.2 mm, t _f = 16 mm		
Beam Location:	Edge Beam	Construction type:	Non Composite
• Side B Perimeter Beam			
Section family:	European sections	Steel grade:	S355
Section size:	IPE 750x137 +		
Details:	h = 753 mm, b = 263 mm, t _w = 11.5 mm, t _f = 17 mm		
Beam Location:	Internal Beam	Construction type:	Composite
		Degree of shear connection:	71 %

Obr. 5.27 Vstupní data pro oblast stropu B v programu FRACOF

• Side C Perimeter Beam			
Section family:	European sections	Steel grade:	S355
Section size:	IPE 500 +		
Details:	h = 500 mm, b = 200 mm, t _w = 10.2 mm, t _f = 16 mm		
Beam Location:	Internal Beam	Construction type:	Composite
		Degree of shear connection:	51 %
• Side D Perimeter Beam			
Section family:	European sections	Steel grade:	S355
Section size:	IPE 600 *		
Details:	h = 600 mm, b = 220 mm, t _w = 12 mm, t _f = 19 mm		
Beam Location:	Edge Beam	Construction type:	Non Composite
Note(s):			
+ Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement			
* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement			
6. Loading Details			
• Normal (Cold)			
Leading variable action:	5 kN/m²		
Accompanying variable action:	0 kN/m²		
Dead load including beam, excluding slab:	1.2 kN/m²		
Calculated slab weight including mesh:	2.65 kN/m²		
• Fire (Hot)			
Combination factor for leading variable action:	0.5		
Combination factor for other variable action:	0.3		
7. Fire & Analysis			
• Standard Temperature-time Curve			
Fire resistance period:	60 min		

Obr. 5.28 Vstupní data pro oblast stropu B v programu FRACOF

Factored load in fire: 6.35 kN/m ²											
• Tabular Results											
Time	Beam	Mesh	Slab top	Slab bottom	Beam capacity	Displacement	Slab yield	Enhancement	Slab capacity	Total capacity	Unity factor
mins	°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
Maximum unity factor: 0.83 Floor slab adequate											

Obr. 5.29 Výstupní data pro oblast stropu B v programu FRACOF

Výstup programu FRACOF informuje o kritických teplotách obvodových nosníků, viz obr. 5.30. 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.

• Perimeter Beam Check			
Side A	Section Size:	IPE 500	Non Composite Edge Beam
	Degree of Utilization:	0.58	
	Critical Temperature:	563 °C	
Side B	Section Size:	IPE 750x137	Composite Internal Beam
	Shear Connection:	71 %	
	Degree of Utilization:	0.31	
Side C	Section Size:	IPE 500	Composite Internal Beam
	Shear Connection:	51 %	
	Degree of Utilization:	0.37	
Side D	Section Size:	IPE 600	Non Composite Edge Beam
	Degree of Utilization:	0.67	
	Critical Temperature:	534 °C	

Obr. 5.30 Požadavky na únosnost obvodových nosníků oblasti B, výstup z programu FRACOF

5.6.1.2 Oblast A

Obr. 5.31 až 5.33 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. General Arrangement			
• Spans			
Span 1:		9 m	
Span 2:		9 m	
• Unprotected Beams			
Number of internal unprotected beams:		2	
3. Deck Details			
• Deck Properties			
Deck:	COFRAPLUS 60	Type:	Trapezoidal
Depth:	58 mm	Top flange:	106 mm
Pitch:	207 mm	Bottom flange:	62 mm
Stiffener height:	0 mm		
4. Slab Details			
• Concrete			
Concrete type:	Normal	Slab depth:	130 mm
		Cylinder compressive strength of concrete (f_{ck}):	25 N/mm ²
• Mesh			
Mesh type:	ST 25 C		
Transverse mesh area:	257 mm ² /m	Bar size:	7 mm
Longitudinal mesh area:	257 mm ² /m	Bar size:	7 mm
Average mesh axis distance:	30 mm	Mesh yield stress:	500 N/mm ²
5. Beams Details			
• Unprotected Beams			
Section family:	European sections	Steel grade:	S355
Section size:	IPE 500 +	Degree of shear connection:	51 %
Details:	h = 500 mm, b = 200 mm, t_w = 10.2 mm, t_f = 16 mm		
• Side A Perimeter Beam			
Section family:	European sections	Steel grade:	S355
Section size:	IPE 550 *		
Details:	h = 550 mm, b = 210 mm, t_w = 11.1 mm, t_f = 17.2 mm		
Beam Location:	Edge Beam	Construction type:	Non Composite
• Side B Perimeter Beam			
Section family:	European sections	Steel grade:	S355
Section size:	IPE 500 +		
Details:	h = 500 mm, b = 200 mm, t_w = 10.2 mm, t_f = 16 mm		
Beam Location:	Internal Beam	Construction type:	Composite
		Degree of shear connection:	72 %

Obr. 5.31 Vstupní data pro oblast A v programu FRACOF

• Side C Perimeter Beam			
Section family:	European sections	Steel grade:	S355
Section size:	IPE 500 +		
Details:	h = 500 mm, b = 200 mm, t _w = 10.2 mm, t _f = 16 mm		
Beam Location:	Internal Beam	Construction type:	Composite
		Degree of shear connection:	51 %
• Side D Perimeter Beam			
Section family:	European sections	Steel grade:	S355
Section size:	IPE 500 +		
Details:	h = 500 mm, b = 200 mm, t _w = 10.2 mm, t _f = 16 mm		
Beam Location:	Edge Beam	Construction type:	Non Composite
Note(s):			
+ Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement			
* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement			
6. Loading Details			
• Normal (Cold)			
Leading variable action:	5 kN/m ²		
Accompanying variable action:	0 kN/m ²		
Dead load including beam, excluding slab:	1.2 kN/m ²		
Calculated slab weight including mesh:	2.65 kN/m ²		
• Fire (Hot)			
Combination factor for leading variable action:	0.5		
Combination factor for other variable action:	0.3		
7. Fire & Analysis			
• Standard Temperature-time Curve			
Fire resistance period:	60 min		

Obr. 5.32 Vstupní data pro oblast A v programu FRACOF

Factored load in fire:		6.35 kN/m ²										
• Tabular Results												
Time	Beam	Mesh	Slab top	Slab bottom	Beam capacity	Displacement	Slab yield	Enhancement	Slab capacity	Total capacity	Unity factor	
mins	°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	
Maximum unity factor:		0.8 Floor slab adequate										

Obr. 5.33 Výstupní data pro oblast A v programu FRACOF

Výstup programu zároveň informuje o kritických teplotách obvodových nosníků, viz obr. 5.34. 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).

• Perimeter Beam Check			
Side A	Section Size:	IPE 550	Non Composite Edge Beam
	Degree of Utilization:	0.38	
	Critical Temperature:	636 °C	
Side B	Section Size:	IPE 500	Composite Internal Beam
	Shear Connection:	72 %	
	Degree of Utilization:	0.37	
Side C	Section Size:	IPE 500	Composite Internal Beam
	Shear Connection:	51 %	
	Degree of Utilization:	0.31	
Side D	Section Size:	IPE 500	Non Composite Edge Beam
	Degree of Utilization:	0.62	
	Critical Temperature:	552 °C	

Obr. 5.34 Požadavky na únosnost okrajových nosníků návrhové zóny A, výstup z programu FRACOF

5.6.2 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 výstužných 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. 5.7. Zároveň musí být síť v místě překrytí upraveny podle obr. 5.13.

U obvodových nosníků by měla dodatečná výztuž ve tvaru U zajistit dostatečné kotvení mezi nosníkem a spřaženou deskou.

5.6.3 Požární návrh obvodových nosníků

5.6.3.1 Obvodové nosníky mezi oblastmi

Obvodové nosníky mezi oblastmi spadají do návrhů více oblastí zároveň. Na příklad nosník v ose B1 - B2 na obr. 5.23 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. 5.30, lze odečíst kritickou teplotu 670 °C. Při návrhu oblasti A lze

pro stejný nosník odečíst z obr. 5.34 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. 5.30:

- 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 ohříváného ze tří stran
- 134 m^{-1} součinitel průřezu nosníku ohříváného ze tří stran.

5.6.3.2 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. 5.4.3.2 a 5.4.4, 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. 5.4.4.

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

5.6.4 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 ohříváného ze čtyř stran
- 89 m^{-1} součinitel průřezu ohříváný 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.

6 POŽÁRNÍ NÁVRH VE VÝSTUPECH PROJEKTŮ RFCS

6.1 Softwarové nástroje ArcelorMittal

Pod ředitelstvím vědy a výzkumu Evropské Unie pracuje Grantová agentura RFCS, Research Fond for Cole and Steel, která podporuje rozvoj techniky a inovace Evropského sdružení pro uhlí a ocel. Významné místo při získávání poznatků o navrhování ocelových a ocelobetonových konstrukcí vystavených požáru má výzkumné pracoviště největšího světového výrobce oceli ArcelorMittal v Asche. Softwarové nástroje, které vznikly v rámci projektů RFCS, jsou k dispozici technické veřejnosti na internetu. Nástroje, které jsou volně dostupné na stránkách ArcelorMittal, lze pracovně rozdělit na řešení ocelových konstrukcí, ocelobetonových konstrukcí, prolamovaných nosníků a požární odolnosti konstrukcí, viz tab. 6.1.

Tab. 6.1 Rozdělení nástrojů pro navrhování na www.arcelormittal.com/sections

Oblast	Označení	Zaměření	Verze	Norma ČSN	Poznámka
Ocelové konstrukce	PORTAL	Jednopodlažní rámy	1.0	ENV 1993-1-1	Předběžný návrh
	PSL	Návrh nosníků a sloupů	1.02	ENV 1993-1-1 ENV 1994-1-1	Předběžný návrh
	ACoP	Styčníky	1.0.2	ENV 1993-1-1	Čelní desky a úhelníky
	AIFB	Nosníky pro štíhlé stropní konstrukce	5.31	ENV 1993-1-1 ENV 1994-1-1	Otevřené profily
Ocelobetonové konstrukce	ABC	Ocelobetonové nosníky	2.13	EN 1994-1-1	Druhá verze
	COBEC4	Ocelobetonové nosníky	2.0	ENV 1994-1-2	Spojité nosníky
	ACP	Ocelobetonové nosníky	1.0.2	EN 1993-1-1	Montážní stav
	ACD	Ocelobetonové sloupy	3.06	ENV 1994-1-1	Interakční diagram
Prolamované nosníky	ACB+	Prolamované nosníky	2.02	EN 1993-1-1	Kruhové otvory
	ANGELINA	Prolamované nosníky	1.01	EN 1993-1-1	Otvory ve tvaru křivek
Požární odolnost	OZone	Teplotní křivka plynu	2.2.6	EN 1991-1-2	Zónový model
	AFCB	Ocelobetonové nosníky	3.08	ENV 1994-1-2	Samostatný nosník
	AFCC	Ocelobetonové sloupy	3.06	ENV 1994-1-2	Samostatný sloup
	FRACOF	Ocelobetonový strop	1.00. 11	EN 1994-1-2	Deska, chráněné a nechráněné nosníky

Nástroje jsou většinou k dispozici v anglické, německé a francouzské verzi. Nejedná se o komerční software, ale o podporu výrobce oceli, a inovace programů je omezena. Některé programy jsou zpracovány podle předběžných textů evropských norem, které se označovaly

ENV. Protože součinitele spolehlivosti jsou národně určené parametry, lze je změnit na hodnoty shodné s platnou verzí národních norem.

6.2 Požární odolnost

Skupina programů, která se zabývá požárním návrhem konstrukcí, je v tab. 6.1 zvýrazněna a obsahuje:

Ozone v. 2.2.6 – Zónový model

Program spojuje výhody jednozónového a dvojzónového modelu. Při výpočtu se po předem definovaných krocích řeší rovnováha energie ve vrstvách. Pro popis prostupu tepla vně požárního úseku je využita MKP. Přejít z dvojzónové simulace na počátku požáru k jednozónovému popisu po celkovém vzplanutí se zadává výškou hranice mezi zónami, teplotou horní vrstvy a rozdílem teplot ve vrstvách. Výška hranice mezi vrstvami v čase a přechod na jednozónový model jsou součástí výstupu. Lze navrhnout prostor libovolného půdorysu. Strop se volí rovný nebo skloněný, v jednom nebo ve dvou směrech. Materiálové vlastnosti obvodových konstrukcí lze čerpat z databáze. Otvory se zadávají tvarem a výškou parapetu. Ve vodorovném stropu je možno počítat s kruhovými otvory. Rozbití výplní okenních otvorů se předpokládá najednou, po krocích nebo postupně v závislosti na čase, na teplotě nebo při celkovém vzplanutí. Ve vstupech je integrováno požární zatížení podle platné evropské normy ČSN EN 1991-1-2, viz [6.2], včetně součinitelů nebezpečí požáru. Jiná, než normová požární zatížení, se zadávají spolu s předpokládanou rychlostí odhořívání paliva. Kromě hlavního výstupu, teplotní křivky, se zobrazuje křivka uvolňování tepla, výška neutrální plochy při volbě dvojzónového modelu, bilance kyslíku a tlak v požárním úseku. Pro ocelové konstrukce lze programem stanovit teplotu nechráněných i chráněných průřezů a při zadání vnitřních sil a geometrie se prvek posoudí na základě platné návrhové požární normy ČSN EN 1993-1-2, viz [6.3].

AFCB v. 3.08 - Ocelobetonové nosníky

Nástroj posuzuje požární odolnost spřaženého ocelobetonového nosníku. Pro zadání ocelového profilu je připravena databáze válcovaných profilů, nelze zadat vlastní, například prolamovaný nosník. Je možné uvažovat i nosník s obetonovanou stojinou. Pro ocelobetonovou desku lze volit několik variant jejího uspořádání. Pro výpočet požární odolnosti se uvažuje nominální normová teplotní křivka. Vlastní teplotní křivku nelze zadat. Po výběru požadované požární odolnosti se nabízí volba výpočtu. Lze stanovit pouze únosnost nebo pro zadané zatížení provést ověření. Využívá se předběžná evropská norma ČSN ENV 1994-1-2, viz [6.4], s možností změny součinitelů.

AFCC v. 3.06 - Ocelobetonové sloupy

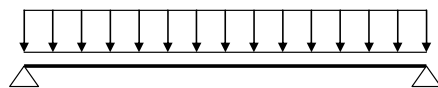
Program umožňuje posouzení požární odolnosti ocelobetonového sloupu. Pro zadání průřezu je připravena databáze válcovaných profilů. Lze uvažovat s několika druhy obetonování. Zadájí se materiálové charakteristiky, excentricita, vzpěrná délka za běžné a požární situace. Pro výpočet požární odolnosti pracuje program s nominální normovou teplotní křivkou. Vlastní teplotní křivku nelze zadat. Výstupem programu je tabulka, ve které jsou únosnosti sloupu pro významné doby požární odolnosti. Program využívá předběžnou evropskou normu ČSN ENV 1994-1-2, viz [6.4], s možností změny součinitelů.

FRACOF v. 1.00.011

Program FRACOF ověřuje požární odolnost spřažené ocelobetonové stropní konstrukce s uvažováním membránového působení slabě vyztužené desky, viz kap. 5. Uvažuje se s požárně nechráněnou ocelobetonovou deskou, nechráněnými vnitřními a chráněnými obvodovými nosníky. Začíná se vstupy pro tvar a parametry trapézového plechu, obvodových i vnitřních ocelových nosníků, betonové desky a její výztuže. Nosníky lze uvažovat pouze válcované z knihovny průřezů, nelze vkládat vlastní průřezy. Dále se zadává mechanické zatížení za požární situace a teplotní křivka plynu v požárním úseku. Lze uvažovat nominální normovou, parametrickou a vlastní teplotní křivku. Parametrickou teplotní křivku po zadání vstupních údajů program sám vypočítá. Po výpočtu přestupu tepla se vyhodnotí požární únosnost desky a všech prvků během požadované doby vystavení požáru. Program při výpočtu vychází z normy ČSN EN 1994-1-2, viz [6.5].

6.3 Řešený příklad – Posouzení ocelobetonového nosníku na požární odolnost R 60

Využití nástrojů je ukázáno na návrhu prostě uloženého stropního spřaženého ocelobetonového nosníku s obetonovanou stojinou na požární odolnost R 60. Na rozpětí 5,0 m je navržen průřez HEB 180 z oceli S235 s betonovou deskou třídy C20/25 tloušťky $d = 120$ mm. Výztuž v obetonování průměru $\phi = 25$ mm má mez kluzu $f_{sk} = 500$ MPa. Účinná šířka betonové desky je 1 m. Nosník je při pokojové teplotě zatížen rovnoměrným návrhovým stálým zatížením $g_d = 10$ kN/m a proměnným zatížením $q_d = 35$ kN/m.



Obr. 6.1 Statické schéma posuzovaného nosníku

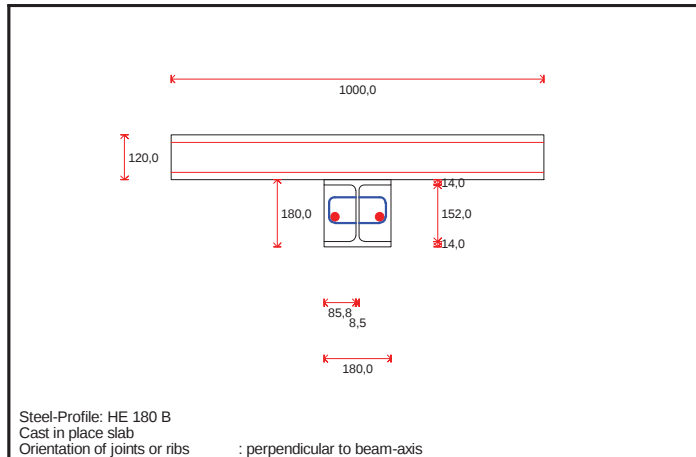
Dílčí součinitele spolehlivosti pro stálé zatížení $\gamma_G = 1,35$ a pro proměnné zatížení $\gamma_Q = 1,50$ jsou určeny podle ČSN EN 1990 [6.6], pro ocel $\gamma_{M0} = 1,0$ a $\gamma_{M1} = 1,0$ podle ČSN EN 1993-1-1 [6.7] a pro výztuž $\gamma_s = 1,15$ a beton $\gamma_c = 1,5$ podle ČSN EN 1992-1-1 [6.8]. Mezní stav únosnosti je ověřen programem ArcellorMittal AFCEB v. 3.08. Vstupy a výstupy ze softwaru jsou ukázány dále.

Požární návrh podle evropských projektů RFCS

AFCB distributed by ArcelorMittal
ArcelorMittal
Composite Beam Fire Design
Commercial Sections

14.1.2011 20:44:47

1



Project

Project-Name: Požární návrh podle evropských projektů RFCS
Project-Number:
Position-Name: Ukázka posouzení ocelobetonového nosníku
Position-Number:
User: Ing. Tomáš Jána
Comment:
created: 14.1.2011
modified last: 14.1.2011

Input values:

Steel-Profile: HE 180 B

h: 180 mm
b: 180 mm
t.w: 8,5 mm
t.f: 14 mm
r: 15 mm
b*: 180 mm

Concrete slab

Type of slab : Cast in place slab
Orientation of joints or ribs : perpendicular to beam-axis
effective width of the concrete slab (for ult. pos. moments) : 1000 mm
thickness of the concrete slab : 120 mm

Rebars

Diameter of stirrups : 6,00 mm
Distance from upper flange to stirrup z1 : 30,00 mm
Distance from lower flange to rebars in middle row z2 : 0,00 mm
Distance from lower flange to stirrup z3 : 47,50 mm
Distance from concrete border to stirrup c1 : 11,50 mm
Rebars proposed by user at start of the calculation
Rebars in row 1 (top) :
Rebars in row 2 (middle) :
Rebars in row 3 (bottom) : d25

Požární návrh podle evropských projektů RFCS

AFCB distributed by ArcelorMittal

ArcelorMittal

14.1.2011 20:44:47

Composite Beam Fire Design

Commercial Sections

2

This rebar definition led to the following rebar positions

Number of Rebars per side	:	1
Rebar	d [mm]	us [mm]
1	25,00	30,00
		u [mm]
		66,00

Rebars in the concrete slab

Distance of the upper mesh to the upper border of the slab : 20 mm

Distance of the lower mesh to the lower border of the slab : 20 mm

Rebars proposed by user at start of the calculation

Upper mesh section in the concrete slab : 0 cm²/m

Lower mesh section in the concrete slab : 0 cm²/m

Materials

Yield point of the steel-profile : 235 N/mm²

Reduced yield point of the steel profile : 235 N/mm²

Yield point of rebars : 500 N/mm²

Yield point of the meshes in the concrete slab : 500 N/mm²

Cylindrical compressive strength of concrete in the profile : 20 N/mm²

Cylindrical compressive strength of concrete of the slab : 20 N/mm²

Safety factors

	Service conditions	Fire conditions
Profile steel	1,000	1,000
Concrete	1,500	1,000
Rebar steel	1,150	1,000

System

Calculation type : Dimensioning under given minimum section resistance

Sagging Moment M+ Hogging Moment M-

cold 140,6 0

fire 98,4 0

Fire resistance class : R60

Warnings

The distance between the outer bars and the concrete border should be 20 mm or more

Results

General notes:

The table gives the maximum positive and negative failure moments

The indications in parenthesis give the position of the neutral axis

THE MAXIMUM SHEAR FORCE PRODUCED BY THE LOADS MUST BE LESS THAN T.ult

This verification is not made by the program.

Fire class	Ultimate positive Moments M+ [kNm]	Ultimate negative Moments M- [kNm]	Ultimate Shear Forces T.ult [kN]
------------	------------------------------------	------------------------------------	----------------------------------

cold	256,39 (12,66)	103,40 (22,28)	175,30
R60	154,12 (5,12)	26,89 (13,23)	77,27

Section resistance sufficient without reinforcements

Capacity ratio M- cold: 0,00 %

Capacity ratio M+ cold: 54,84 %

Capacity ratio M- fire: 0,00 %

Capacity ratio M+ fire: 63,85 %

Results of the calculation of the flexural stiffness

6.4 Zkušenosti s využitím

Nástroje ArcellorMittal usnadňují ruční výpočet analytických modelů. Při řešení komplikovaných postupů vhodně ověřují všechny okrajové podmínky, kterou jsou v textu normy někdy obtížně identifikovatelné.

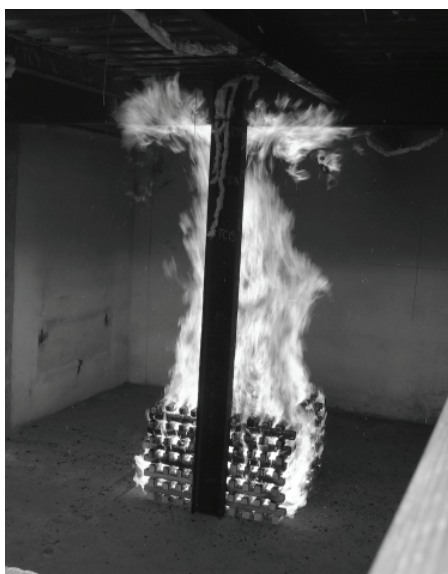
Projekční kanceláře se zaměřují na určité ověřené postupy a materiály, se kterými mají dobré zkušenosti, a ke kterým vlastní komerční software pro ověření dané konstrukce. Volně dostupné nástroje se nepovažují za plnohodnotnou náhradu statického výpočtu, protože mívají různá omezení, ale mohou být užitečnou pomůckou. Jejich výstupy se osvědčily pro studii proveditelnosti variant návrhu. Konkrétně využití programu AFCB je omezeno tím, že vychází pouze z nominální normové křivky, a jelikož program ověřuje únosnost nosníku i za běžné teploty, nemožnost zvolit způsob a míru spřažení ocelového nosníku s betonovými částmi. Naopak se programem dají velmi rychle zkontrolovat hranice použití daného uspořádání konstrukce.

Před použitím jednotlivých volně šiřitelných programů je třeba ověřit jejich funkčnost. Chyba často vzniká nevhodnou aplikací softwaru. Pro analytické modely se funkčnost nejlépe ověří porovnáním výsledků programu s ručním výpočtem. Ruční výpočet řešeného příkladu v kap. 6.3, kterým lze ověřit software AFCB, připravil prof. Studnička, viz [6.9].

7 Návrh sloupu při lokálním požáru

7.1 Úvod

Při posuzování konstrukcí na účinky požáru je třeba znát teplotu jednotlivých konstrukčních prvků, od které se odvíjí výpočet jejich únosnosti. Teplota prvků je závislá na průběhu požáru, poloze prvku v konstrukci a ochraně proti účinkům požáru. Pro ocelové konstrukce existují poměrně jednoduché modely přestupu tepla pro chráněné i nechráněné prvky. Tyto modely se dají použít pro nosníky a sloupy vystavené prostorovému požáru a pro nosníky při lokálním požáru.



Obr. 7.1 Sloup při lokálním požáru, experiment Mittal Steel v Ostravě, červen 2006

7.2 Konstrukce při lokálním požáru

Při lokálním požáru není teplota plynů v požárním úseku konstantní. Nejvyšší teplota je dosahována v ohnisku požáru a v plamenech vystupujících z požáru. Horké plyny se hromadí ve vrstvě pod stropem požárního úseku, ve zbývajících částech úseku je teplota relativně nízká.

Vzhledem k tomuto rozložení teplot je teplota konstrukčních prvků vystavených lokálnímu požáru proměnná po jejich délce. Nosníky dosahují nejvyšších teplot přímo nad požárem, se vzrůstající vzdáleností od požáru jejich teplota klesá. Pro výpočet teploty nosníků jsou k dispozici dva modely: Heskestad model pro nosníky, které nejsou obklopeny plameny (v případě, že plameny nedosahují ke stropu požárního úseku) a Hasemi model pro nosníky obklopené plameny. Tyto modely byly převzaty do české normy ČSN EN 1993-1-2.

Pro sloupy tato norma žádný postup pro výpočet teploty neuvádí, aplikaci přírůstkové metody pro výpočet teploty sloupu při lokálním požáru ukazuje tento příspěvek.

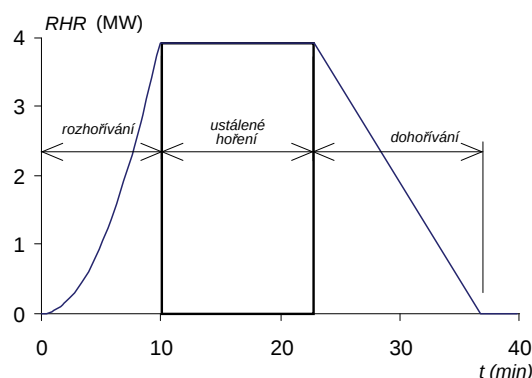
7.3 Modelování lokálního požáru

Pro modelování průběhu lokálního požáru byl použit Heskestad model udávající délku plamenů a teplotu plamenů po výšce (ČSN EN 1991-1-2, příloha C).

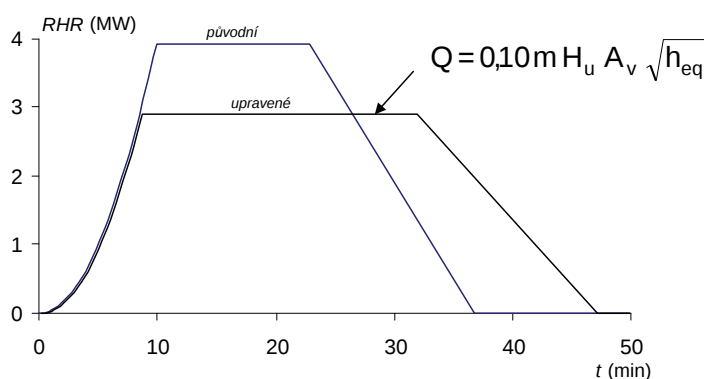
Pro modelování průběhu požáru, resp. rychlosti uvolňování tepla, jsou rozhodující tyto parametry:

- rychlost rozvoje požáru vyjádřenou jako čas t_a potřebný k dosažení rychlosti uvolňování tepla 1 MW,
- množství hořlavých materiálů,
- maximální rychlost uvolňování tepla RHR_f , která odpovídá ustálenému hoření (závisí na druhu hořlavých materiálů),
- maximální průměr požáru D ve fázi ustáleného hoření.

Vstupním údajem pro model lokálního požáru je rychlost uvolňování tepla. Pro její výpočet lze použít postup podle ČSN EN 1991-1-2, příloha E, viz obr 7.2. Tento obrázek popisuje průběh hoření - udává množství tepelné energie v libovolném čase, které se při požáru uvolňuje (tepelný výkon). Předpokládá se úplné shoření hořlavého materiálu a dostatek kyslíku potřebného k hoření. Při nedostatku kyslíku se snižuje maximální rychlost uvolňování tepla, v důsledku toho dojde k prodloužení celkové doby hoření, viz obr 7.3. Podrobnosti jsou uvedeny v ČSN EN 1991-1-2.



Obr. 7.2 Model rychlosti uvolňování tepla podle ČSN EN 1993-1-2



Obr. 7.3 Model rychlosti uvolňování tepla při nedostatku kyslíku podle ČSN EN 1993-1-2

Teplota plynů v ose požáru ve výšce z nad podlahou se určí podle následujícího vztahu (ČSN EN 1991-1-2, příloha C):

$$\theta_g = 20 + 0,25 Q_c^{2/5} (z - z_0)^{-5/3}$$

kde konvekční složka tepelného toku Q_c je

$$Q_c = 0,8 Q$$

a virtuální počátek z_0 je

$$z_0 = -1,02 D + 0,00524 Q^{2/5}.$$

V závislosti na rychlosti uvolňování tepla Q se určí délka plamene v čase t

$$L_f = -1,02 D + 0,0148 Q^{2/5}$$

kde plocha požáru A a jeho průměr D v čase t se určí podle vztahů

$$A = \frac{Q}{RHR_f},$$

$$D = \sqrt{\frac{4 A}{\pi}}.$$

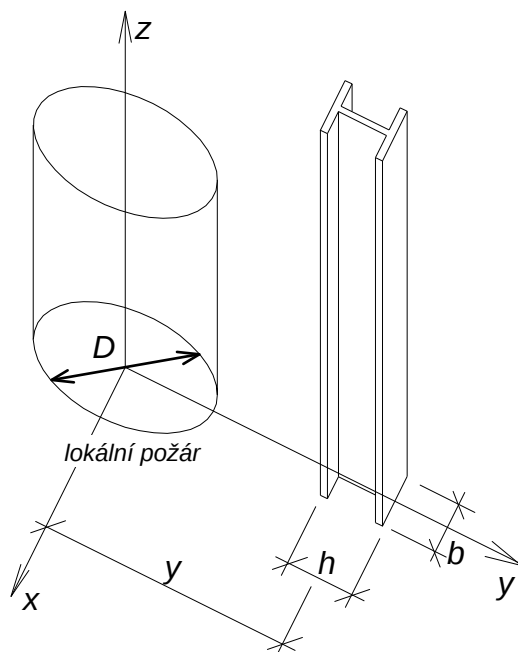
7.4 Teplota sloupu neobklopeného plameny

Pro určení teploty sloupu při lokálním požáru není v normě ČSN EN 1993-1-2 uvedena žádná metoda. V případě, že plameny lokálního požáru dosahují ke stropu požárního úseku, lze použít Hasemi model používaný pro nosníky. Alternativně by bylo možno použít zónový model a odvodit teplotu sloupu z teploty horké vrstvy pod stropem. Takto určené teploty udávají teplotu horní části sloupu a jsou použitelné pro malé a nízké požární úseky, kdy je teplota v horké vrstvě vysoká.

V rozlehlých požárních úsecích s velkou výškou (průmyslové haly) se horké plyny rozptýlí, teplota v horní části bude velmi nízká a nejvyšší teploty mohou být dosaženy ve spodní části sloupu. Teplota sloupu neobklopeného plameny (obr 7.4) je ovlivněna sáláním z plamenů a jeho ochlazováním vlivem chladného okolního vzduchu a zpětného sálání do okolního prostoru. Pro výpočet teploty lze použít přírůstkovou metodu podle ČSN EN 1993-1-2, je však třeba ji upravit tak, aby popisovala mechanismus přestupu tepla do sloupu. K tomu je třeba zavést následující předpoklady:

- teplota plamenů při lokálním požáru je určena podle Heskestad modelu (ČSN EN 1991-1-2, příloha C pro plameny nedosahující ke stropu),
- plameny lokálního požáru jsou nahrazeny válcovou plochou o průměru shodném s průměrem lokálního požáru. Vzájemná poloha sloupu a požáru je na obr 7.4,
- sloup není obklopen plameny, přenos tepla se uskutečňuje výhradně sáláním,

- emisivita plamenů je 0,7,
- teplota okolního vzduchu je 20°C,
- teplota sloupu se mění po výšce sloupu,
- nerovnoměrné rozložení teploty po průřezu je zanedbáno.
- účinky vedení tepla nejsou zohledněny (konzervativní předpoklad poskytující vyšší teploty ve sloupu).



Obr. 7.4 Sloup při lokálním požáru, model

Pro přenos tepla sáláním z libovolného místa válcové plochy, která nahrazuje plameny, se použije tepelný tok (tepelný zisk) určený podle vztahu

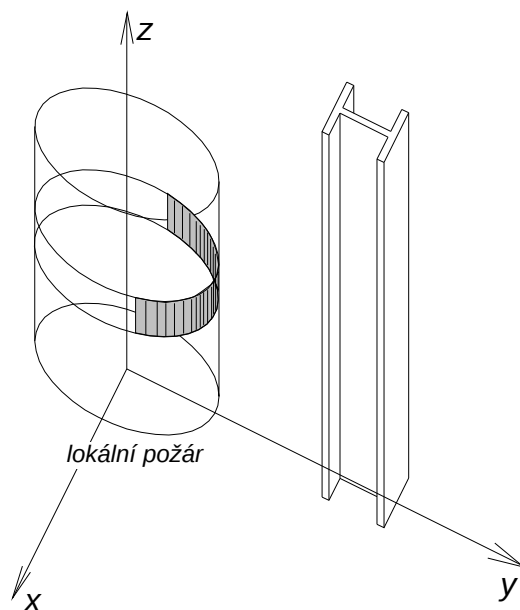
$$h_{net,zisk} = \Phi \varepsilon_{res} \sigma \left((\theta_g(z) + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4 \right),$$

kde teplota sálající plochy (plamenů) $\theta_g(z)$ závisí na výšce z nad podlahou a určí se jako teplota plynů lokálního požáru.

Při požáru dochází současně na povrchu sloupu ke ztrátám tepla vyzařováním do okolního prostředí a přestupem tepla do okolního vzduchu. Tepelný tok představující tyto ztráty je

$$h_{net,ztraty} = (1 - \Phi) \varepsilon_m \varepsilon_f \sigma \left((\theta_m + 273)^4 - (20 + 273)^4 \right) + \alpha_c (\theta_m - 20),$$

kde součinitel přestupu tepla $\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$.

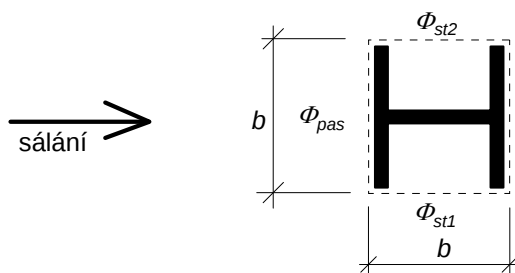


Obr. 7.5 Prstenec pro určení tepelného toku a polohového součinitele

Protože teplota plamenů se mění s výškou, je třeba rozdělit válcovou plochu po výšce tak, že vzniknou prstence, jejichž teplotu lze považovat za konstantní. Pro výpočet teploty sloupu v libovolném bodě po jeho výšce je třeba určit celkový tepelný tok, který dopadá na tento bod na povrchu sloupu, jako součet tepelných toků z jednotlivých prstenců válcové plochy, viz obr 7.5.

$$h_{net} = \sum h_{net,zisk} - h_{net,ztraty}$$

Povrch sloupu je vystaven účinkům sálání po třech stranách, viz obr 7.6. Účinky stínění jsou zohledněny použitím obálky průřezu sloupu podle ČSN EN 1991-1-2, Příloha G.



Obr. 7.6 Obálka průřezu a polohové součinitele na plochách vystavených sálání

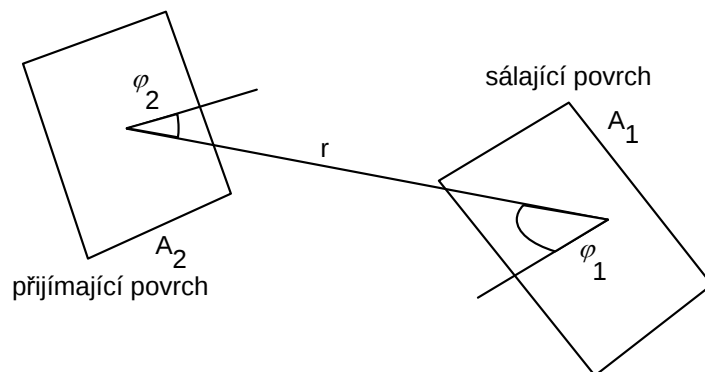
7.5 Polohový součinitel

Při určování tepelného toku dopadajícího na sloup je třeba zohlednit vliv sálání pomocí polohového součinitele.

Polohový součinitel ϕ se obecně určí jako

$$\Phi = \int_{A_1} \frac{\cos \varphi_1 \cos \varphi_2}{\pi r^2} dA_1,$$

kde úhel vyzařování z plochy A_1 a dopadu záření na plochu A_2 jsou na obr 7.7, viz ČSN EN 1991-1-2, Příloha G.



Obr. 7.7 Polohový součinitel Φ

Polohový součinitel se určuje pro každou dílčí plošku na prstenci na válcové ploše nahrazující plameny. Výsledný tepelný tok od účinků sálání z jednoho prstence (s konstantní teplotou) na sledovaný bod na sloupu se potom určí jako součet tepelných toků z jednotlivých dílčích plošek.

Polohový součinitel lze výhodně určit numericky podle výše uvedeného vztahu. Počítá se polohový součinitel samostatně pro čelní plochu sloupu tvořenou pásnicí Φ_{pas} a obě boční plochy sloupu Φ_{st1} a Φ_{st2} , přitom se bere v úvahu pouze část válcové plochy (prstence) přímo viditelná z povrchu sloupu podle obr 7.5.

Výsledný polohový součinitel vyjadřující účinky sálání na celý povrch sloupu se určí podle následujícího vztahu

$$\Phi = \frac{b \Phi_{pas} + h (\Phi_{st1} + \Phi_{st2})}{b + 2h}.$$

7.6 Výsledky řešení

Popsaná metoda byla použita pro výpočet teploty sloupů výrobní haly o rozměrech cca 60 × 150 m a výšce 7 m. V hale je instalována linka pro obrábění kovů, tzn. jsou zpracovávány pouze nehořlavé materiály, proto předpoklad vzniku lokálního požáru vystihuje charakter požárního zatížení. Dále jsou prezentovány výsledky dvou požárních scénářů: požár obráběcího stroje a vysokozdvizného vozíku a jejich účinky na sloup haly.

Požár obráběcího stroje

Charakteristická hodnota hustoty požárního zatížení vychází z hmotnosti a čisté výhřevnosti hořlavých součástí obráběcího stroje. Přesné určení druhu a množství hořlavých látek je obtížné, výpočet je založen na následujícím odhadu.

- elektrovýzbroj (izolace elektrických kabelů, spínače, kryty apod.), $m = 10$ kg, $H_u = 40$ MJ/kg
- olejová náplň (převodový olej), $m = 5$ kg, $H_u = 43,2$ MJ/kg

Charakteristická hodnota požárního zatížení je

$$Q_{f,k} = \sum m H_u = 10 \cdot 40 + 5 \cdot 43,2 = 616 \text{ MJ}.$$

Návrhová hodnota hustoty požárního zatížení je

$$Q_{f,d} = \delta_{q1} \delta_{q2} \prod \delta_{n,i} m Q_{f,k} = 2,2 \cdot 1,22 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 616 = 1326 \text{ MJ}.$$

Pro lokální požár jsou použity tyto parametry:

- rychlost rozvoje požáru: střední $t_\alpha = 300$ s
- maximální rychlost uvolňování tepla $RHR_f = 500 \text{ kW/m}^2$
- požár o maximálním průměru $D = 2$ m, plocha požáru je tedy

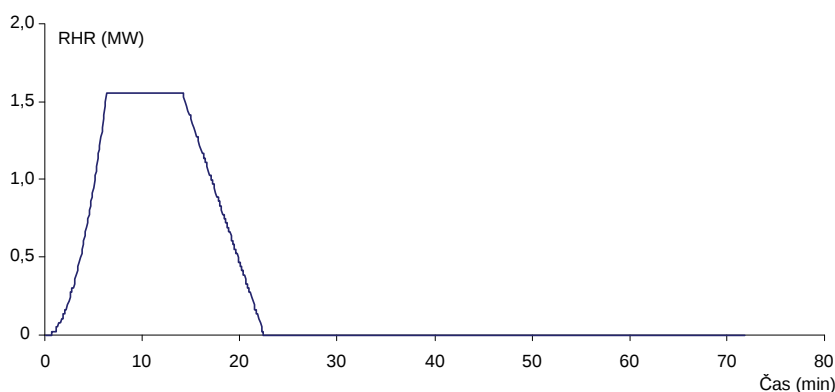
$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 2^2}{4} = 3,14 \text{ m}^2$$

a maximální rychlost uvolňování tepla je

$$Q_{max} = A RHR_f = 3,14 \cdot 500 = 1,570 \text{ kW}$$

- poloha sloupu $y = 1350$ mm.

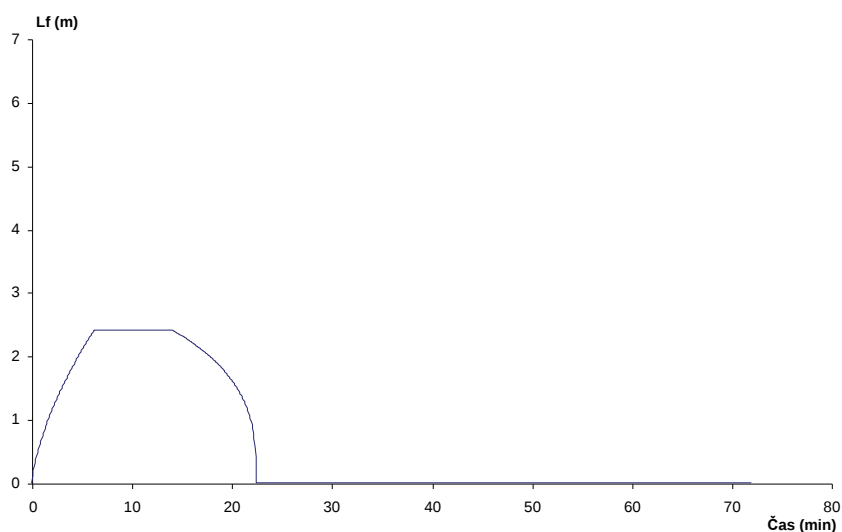
S použitím těchto údajů se určí časová závislost rychlosti uvolňování tepla



Obr. 7.8 Rychlost uvolňování tepla, požár obráběcího stroje

Doba rozhořívání trvá 6 min 16 s, oblast ustáleného hoření trvá 7 min 46 s, celková doba trvání požáru je 22 min 28 s.

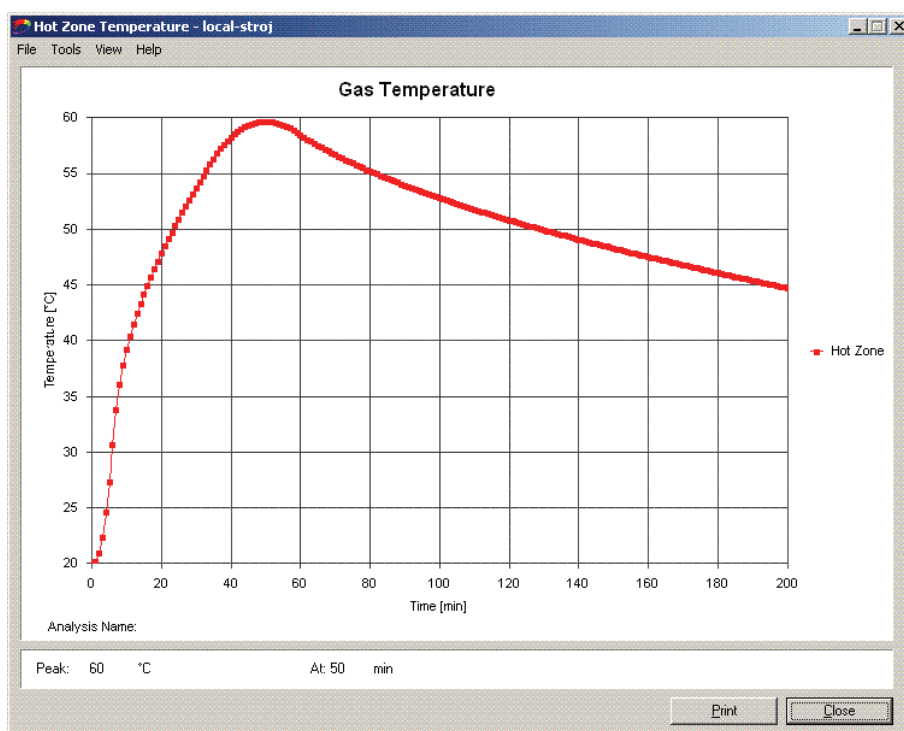
Maximální rychlost uvolňování tepla RHR_f a rychlost rozvoje požáru t_α byly zvoleny tak, aby doba hoření odpovídala požadované době požární odolnosti 15 minut. Délka plamene v závislosti na čase je na obr 7.9.



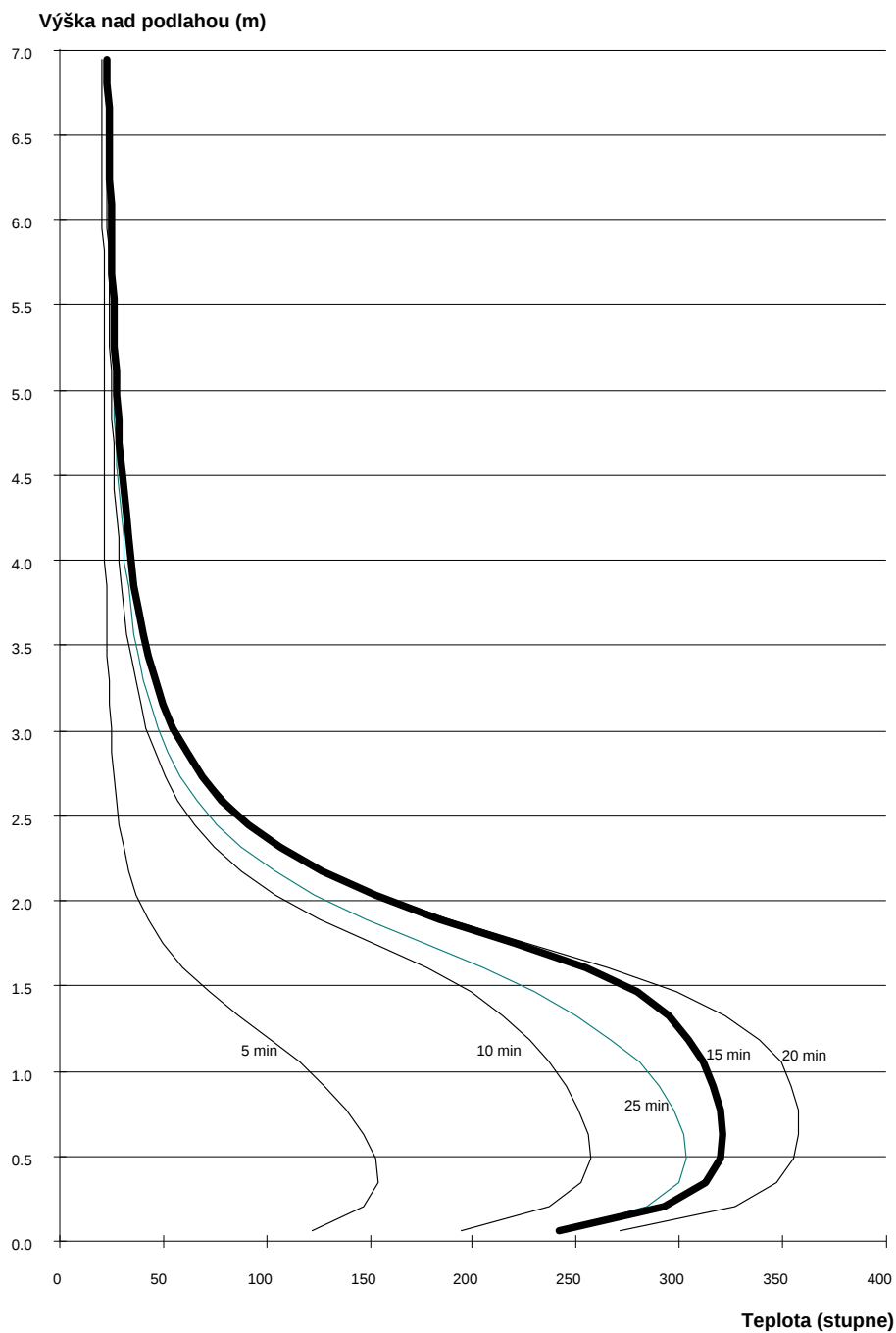
Obr. 7.9 Délka plamene, požár obráběcího stroje

Maximální délka plamene je 2,41 m, plamen nedosahuje ke stropu haly.

Zónovým modelem (program Ozone) byla určena teplota horké vrstvy, viz obr 7.10. Vzhledem k tomu, že maximální teplota dosahuje pouze 60°C, je zřejmé, že vliv horké vrstvy na teplotu sloupu je zanedbatelný.



Obr. 7.10 Teplota v horké vrstvě, požár obráběcího stroje

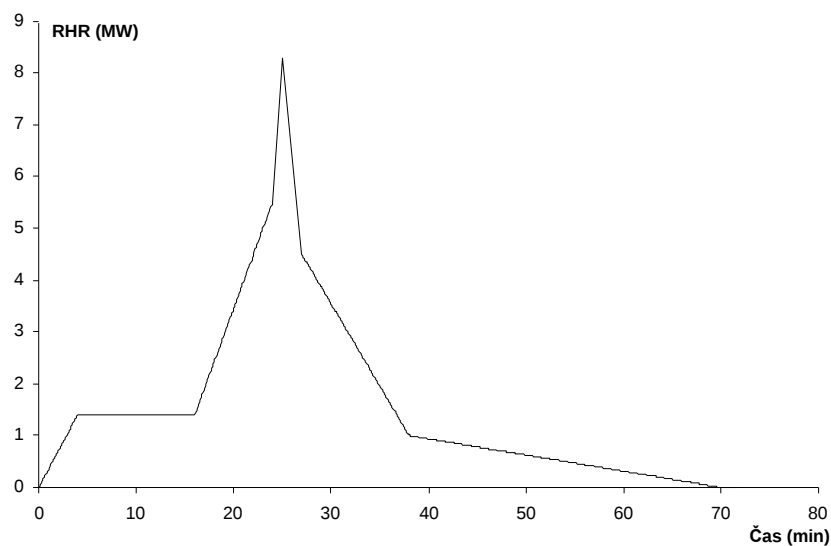


Obr. 7.11 Průběh teploty sloupů HEA 260 po výšce, požár obráběcího stroje

Maximální dosažená teplota sloupu pro požární odolnost 15 minut je 320°C ve výšce 0,65 m nad podlahou.

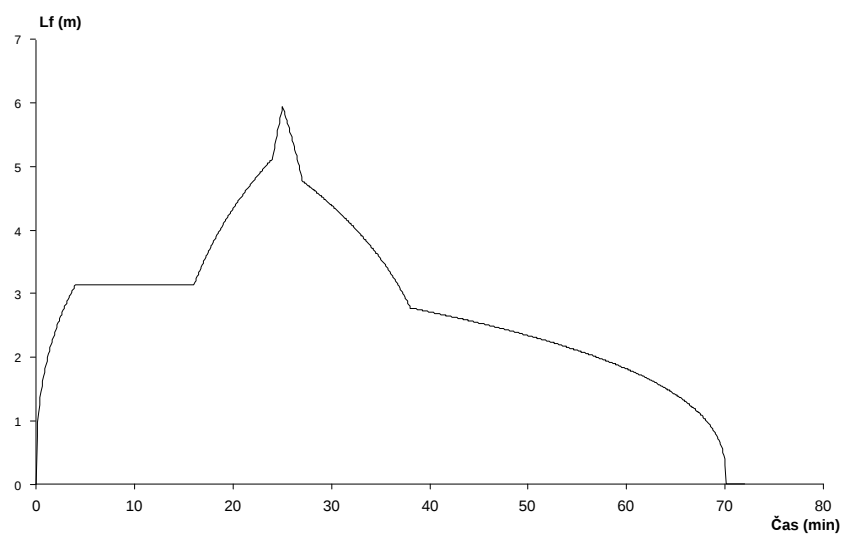
Požár vysokozdvizného vozíku

Pro výpočet průběhu lokálního požáru byly převzaty parametry požáru osobního automobilu podle materiálů projektu DIFISEK. Průměr požáru je zvolen stejný jako délka vysokozdvizného vozíku, tj. $D = 2,70$ m. Rychlost uvolňování tepla je na následujícím obrázku.



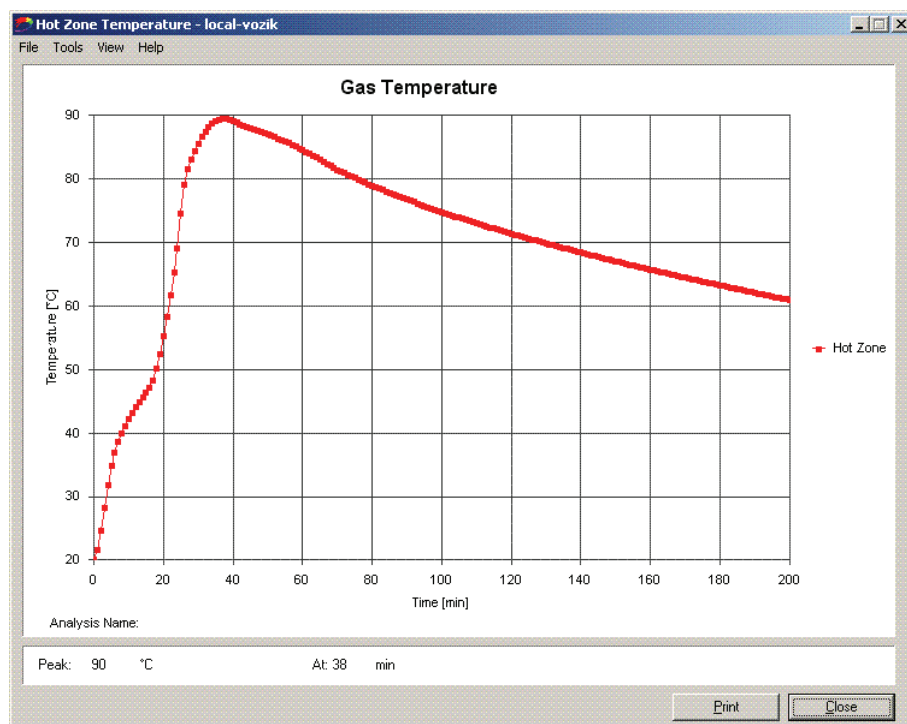
Obr. 7.12 Rychlost uvolňování tepla, požár vysokozdvížného vozíku

Maximální rychlost uvolňování tepla je 8300 kW, požár trvá 70 minut.



Obr. 7.13 Délka plamene, požár vysokozdvížného vozíku

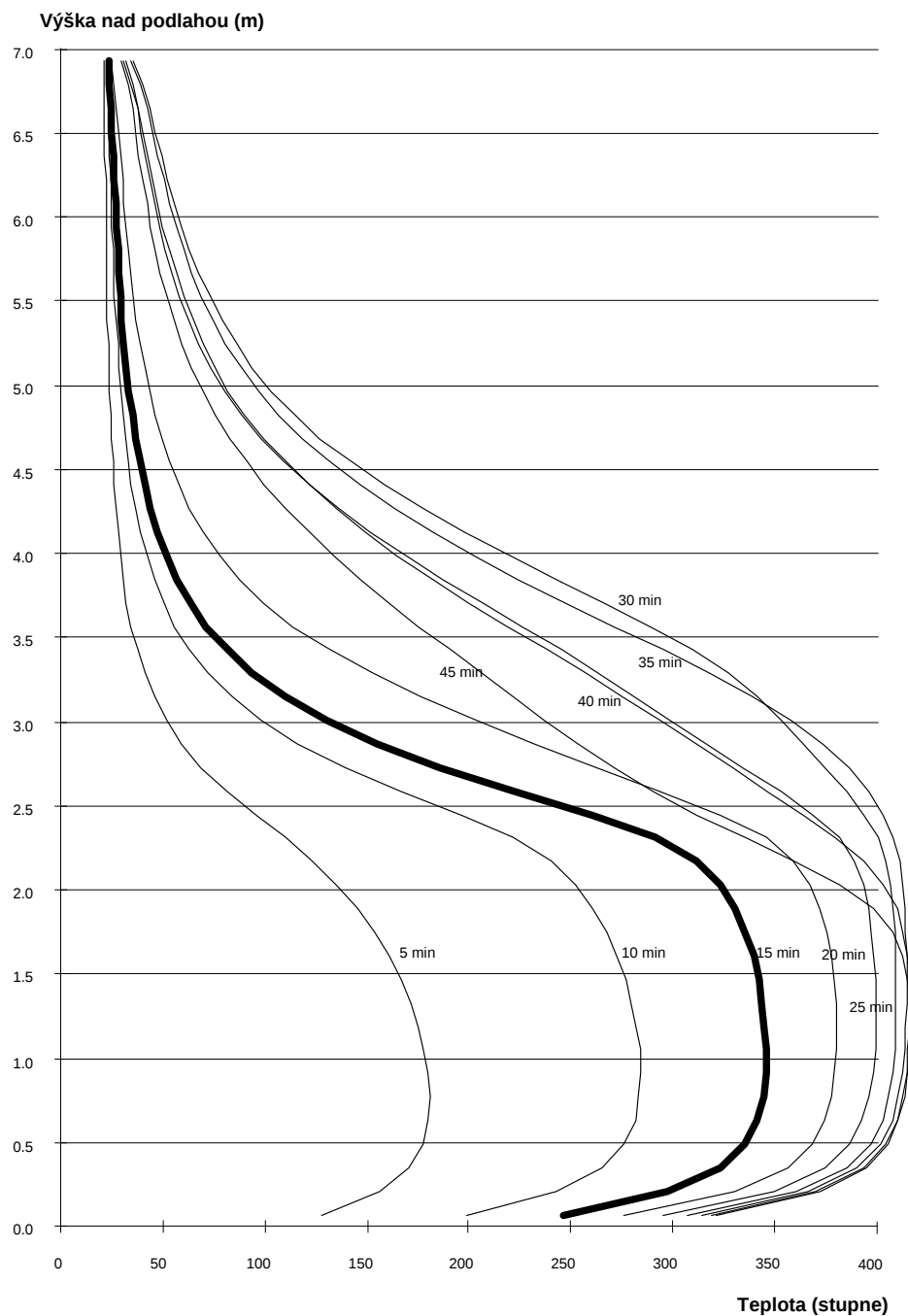
Maximální délka plamene je 5,91, plamen nedosahuje ke stropu haly.



Obr. 7.14 Teplota v horké vrstvě, požár vysokozdvížného vozíku

Teplota v horké vrstvě spočtená programem Ozone je pouze 90°C, nemá tedy vliv na teplotu sloupu, a rozhodující je účinek sálání na spodní část sloupu.

Maximální dosažená teplota sloupu pro požární odolnost 15 minut je 345°C ve výšce 1,10 m nad podlahou.



Obr. 7.15. Průběh teploty sloupů HEA 260 po výšce,
požár vysokozdvížného vozíku

7.7 Shrnutí

Uvedená metoda umožňuje určení teploty ocelových sloupů při lokálním požáru, které není řešeno v normách ČSN EN 1991-1-2 a ČSN EN 1993-1-2. Uvedené řešení je s těmito normami plně kompatibilní. Nevýhodou je potřeba numerického výpočtu polohového součinitele a komplikovanější výpočet přírůstkovou metodou. K podstatnému usnadnění výpočtu je vhodné použít program, příklad aplikace tohoto výpočtu je možno najít na <http://mat.fsv.cvut.cz/cideas>.

8 Program pro požární návrh prvků dřevěných konstrukcí

Program „Dřevo – požár“ byl vyvinut softwarovou společností FINE ve spolupráci s katedrou ocelových a dřevěných konstrukcí fakulty stavební ČVUT. Provádí posouzení požární odolnosti dřevěných tyčových prvků podle normy ČSN EN 1995-1-2 s odkazy na normu ČSN EN 1995-1-1.

8.1 Zbytkový průřez, rychlost zuhelnatění

Požární odolnost dřevěných prvků se posuzuje jako únosnost tzv. zbytkového průřezu. Zbytkový průřez se stanovuje tak, že na každé straně průřezu vystavené účinkům požáru se průřez zmenší o hloubku zuhelnatění d_{char} . Stanovení hloubky zuhelnatění je klíčovým krokem v úvodu celého posudku.

Hloubka zuhelnatění je tloušťka vrstvy materiálu při povrchu dřevěného prvku, která vlivem degradace mechanických vlastností ztrácí schopnost přenášet namáhání daného prvku. Materiál v této vrstvě je zuhelnatělý, má prakticky nulovou pevnost nebo přímo odpadne. Hloubka zuhelnatění závisí na rychlosti zuhelnatění β a je přímo úměrná době vystavení účinkům požáru. Tato závislost je popsána vztahem

$$d_{\text{char}} = \beta t \quad ,$$

kde t je doba vystavení účinkům požáru, udávaná v minutách.

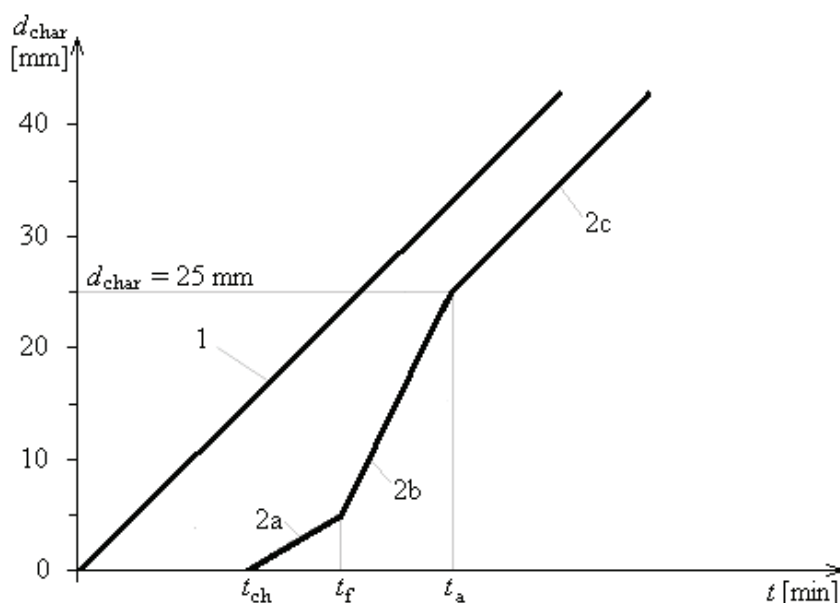
Rychlost zuhelnatění β je veličina, kterou do výpočtu vstupují vlastnosti požáru. Norma ČSN EN 1995-1-2 udává hodnoty rychlosti zuhelnatění β odpovídající účinkům normového požáru, tedy požáru popsaného normovou teplotní křivkou.

Při posudku požární odolnosti jsou používány dvě základní hodnoty hloubky zuhelnatění. Pro jednorozměrné zuhelnatění je to návrhová hloubka zuhelnatění $d_{\text{char},0}$ závisící na jednorozměrné rychlosti zuhelnatění β_0 a nominální návrhová hloubka zuhelnatění $d_{\text{char},n}$, která závisí na nominální rychlosti zuhelnatění β_n . Pokud je průřez vystaven požáru z více stran, je nutno při výpočtu uvážit, že v rozích průřezu dochází ke zvýšenému zuhelnatění a to má za následek zaoblení rohů průřezu. Protože výpočet zaoblení rohů je velmi pracný, je zavedena nominální rychlost zuhelnatění β_n , jejíž hodnoty jsou zvýšeny oproti hodnotám jednorozměrné rychlosti zuhelnatění β_0 a tím postihují zvýšenou míru zuhelnatění v okolí rohů průřezu. Zaoblení rohů lze tedy při použití nominální rychlosti zuhelnatění zanedbat.

8.2 Průřezy s požární ochranou

Na velikost hloubky zuhelnatění má dále vliv i to, je-li průřez vystaven požáru přímo nebo je-li chráněn nějakými požárně ochrannými prvky. Požární ochranu zpravidla tvoří obklad, a to dřevěný, z překližky nebo ze sádkokartonu, případně může být tvořen vrstvou minerální vaty. Vliv požární ochrany je do výpočtu zahrnut tím, že počátek zuhelnatění se posouvá do času t_{ch} . Další významný údaj je čas t_f , určující okamžik, kdy dojde k porušení nebo odpadnutí požární ochrany. Přitom hodnoty t_{ch} a t_f mohou být totožné, což je v případě, že zuhelnatění začíná právě v okamžiku odpadnutí požární ochrany. V čase mezi počátkem zuhelnatění t_{ch} a odpadnutím požární ochrany t_f probíhá zuhelnatění nižší rychlostí, než je tomu u nechráněného prvku. Po odpadnutí požární ochrany se rychlost zuhelnatění zvýší na hodnotu vyšší, než u nechráněného prvku. A ještě jeden významný časový údaj je důležitý k popisu vývoje hloubky zuhelnatění, a tím je čas t_a , který je určen jako menší ze dvou hodnot. Jednou z těchto hodnot je čas, kdy je dosaženo stejné hloubky zuhelnatění jako u této prvky bez požární ochrany a druhou je čas, kdy je dosaženo hloubky zuhelnatění 25 mm. Po uplynutí času t_a probíhá zuhelnatění rychlostí β stejnou jako u nechráněného prvku.

Na obr. 8.1 je znázorněna jedna z možných variant průběhu závislosti hloubky zuhelnatění na čase pro dřevěný prvek s požární ochranou.



Legenda:

- 1 Průběh nárůstu hloubky zuhelnatění pro nechráněný prvek
- 2 Průběh nárůstu hloubky zuhelnatění pro chráněný prvek
 - 2a zuhelnatění probíhá před porušením ochrany sníženou rychlostí
 - 2b po odpadnutí požární ochrany probíhá zuhelnatění zvýšenou rychlostí
 - 2c po dosažení hloubky zuhelnatění 25 mm se rychlost zuhelnatění sníží na stejnou hodnotu jako u nechráněného prvku

Obr. 8.1 Změna hloubky zuhelnatění v čase, kdy $t_f > t_{ch}$ a hloubky zuhelnatění 25 mm bylo dosaženo dříve než hloubky zuhelnatění nechráněného prvku

Pro stanovení hloubky zuhelnatění je potřeba nejprve zjistit konkrétní tvar závislosti hloubky zuhelnatění na čase pro daný případ a poté z něj stanovit hloubku zuhelnatění v čase požadované požární odolnosti.

8.3 Pevnost materiálu, návrhové hodnoty

Posudek požární odolnosti prvku počítá s nižší spolehlivostí materiálu, než posudek prvku při běžné teplotě. Souvisí to s tím, že požární situace je mimořádný stav, který během životnosti konstrukce nastane zpravidla nejvýše jednou a jediným požadavkem na konstrukci při této situaci je to, aby zajistila čas potřebný pro bezpečné uniknutí osob z objektu. Proto při stanovení návrhové hodnoty pevnosti materiálu při požáru norma nevychází z charakteristické hodnoty pevnosti, což je 5 % kvantil, ale za výchozí bere 20 % kvantil pevnosti. Návrhová hodnota pevnosti $f_{d,fi}$ je tedy dána vztahem

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

kde f_{20} je 20 % kvantil pevnosti, $k_{mod,fi}$ je modifikační součinitel pro požár a $\gamma_{M,fi}$ je dílčí součinitel spolehlivosti dřeva při požáru. Hodnota $k_{mod,fi}$ závisí na použité metodě výpočtu. Součinitel $\gamma_{M,fi}$ má hodnotu 1,0. Hodnota 20 % kvantilu f_{20} se vypočítá podle vzorce

$$f_{20} = k_{fi} f_k ,$$

kde f_k je charakteristická hodnota pevnosti a k_{fi} je součinitel, jehož hodnotu pro různé druhy materiálu norma ČSN EN 1995-1-2 udává. Hodnota tohoto součinitele se pro běžně používané materiály na bázi dřeva a pro běžně používané detaily a typy spojů pohybuje mezi 1,05 a 1,25.

8.4 Metody výpočtu posouzení požární odolnosti průřezu prvku

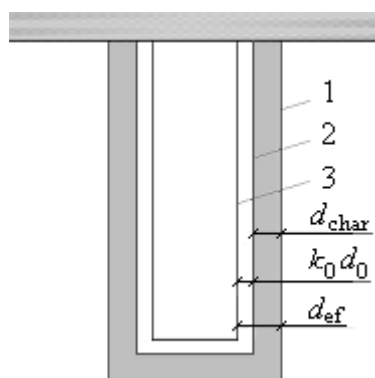
Pro vlastní posouzení požární odolnosti dřevěných prvků uvádí norma ČSN EN 1995-1-2 dvě výpočetní metody. Metodu redukovaného průřezu a metodu redukovaných vlastností. Obě tyto metody pracují se zbytkovým průřezem, liší se však ve způsobu stanovení výpočtových parametrů prvku. Norma ČSN EN 1993-1-2 doporučuje použití metody redukovaného průřezu, program Dřevo – požár nabízí výpočet za použití obou uvedených metod a je na uživateli programu, kterou z metod si zvolí. Většinou platí, že metoda redukovaného průřezu dává mírně konzervativnější výsledky.

8.5 Metoda redukovaného průřezu

Metoda redukovaného průřezu vychází ze zbytkového průřezu, jehož rozměry ještě dále redukuje. Tím stanovuje tzv. účinnou hloubku zuhelnatění d_{ef} . Účinná hloubka zuhelnatění je dána vztahem

$$d_{ef} = d_{char} + k_0 d_0 ,$$

kde d_{char} je hloubka zuhelnatění, jež dává vzniknout zbytkovému průřezu, d_0 je konstanta rovná 7 mm a k_0 je součinitel, který vyjadřuje nárůst účinné hloubky zuhelnatění oproti d_{char} v čase. Význam jednotlivých složek účinné hloubky zuhelnatění je zřejmý z obr. 8.2.



Legenda:

- 1 Počáteční povrch průřezu
- 2 Okraj zbytkového průřezu
- 3 Okraj účinného průřezu

Obr. 8.2 Definice účinného průřezu

8.6 Metoda redukovaných vlastností

Metoda redukovaných vlastností posuzuje zbytkový průřez tak, jak byl stanoven s hloubkou zuhelnatění d_{char} . Do výpočtu ovšem zohledňuje fakt, že hodnoty mechanických vlastností dřeva (pevnosti a moduly pružnosti) se se zvyšující se teplotou snižují. Snižování pevnosti materiálu a modulu pružnosti je realizováno prostřednictvím součinitele $k_{mod,fi}$, který je použit při stanovení návrhových hodnot vlastností materiálu. Pro čas $t \geq 20$ min jsou zavedeny následující hodnoty součinitele $k_{mod,fi}$:

- pro pevnost v ohybu:

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{200} \frac{p}{A_r}$$

- pro pevnost v tlaku:

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{125} \frac{p}{A_r}$$

- pro pevnost v tahu a modul pružnosti:

$$k_{\text{mod},fi} = 1 - \frac{1}{330} \frac{p}{A_r}$$

kde p je obvod zbytkového průřezu vystaveného požáru v metrech a A_r je plocha zbytkového průřezu v m^2 . Pro čas $t = 0$ se počítá s hodnotou $k_{\text{mod},fi} = 1$, pro nechráněné prvky je hodnota $k_{\text{mod},fi}$ v čase mezi 0 a 20 min stanovena lineární interpolací.

8.7 Řešený příklad - posouzení požární odolnosti tlačенého prvku s požární ochranou

Posuzovaným prvkem je sloup kruhového průřezu o průměru 200 mm. V prvku působí při mimořádné kombinaci zatížení tlaková osová síla velikosti 200 kN. Vzpěrná délka sloupu je 2,6 m, sloup je ze dřeva pevnostní třídy C24. Požární ochranu tvoří vrstva minerální vlny o tloušťce 3 cm. Měrná hmotnost minerální vlny je 150 kg/m^3 a ochranná vrstva minerální vlny je ke sloupu přichycena pomocí hřebíků délky 6 cm. Požadovaná doba požární odolnosti je 30 minut.

8.7.1 Stanovení diagramu průběhu hloubky zuhelnatění $d_{\text{char},n}$ v čase t :

Čas počátku zuhelnatění t_{ch} :

$$t_{\text{ch}} = 0,07(h_{\text{ins}} - 20)\sqrt{\rho_{\text{ins}}} = 0,07(30 - 20)\sqrt{150} = 8,57 \text{ min}$$

Součinitel snížení rychlosti zuhelnatění k_2 :

$$k_2 = 1 - \frac{1 - 0,6}{45 - 20}(h_{\text{ins}} - 20) = 1 - \frac{0,4}{25}(30 - 20) = 0,84$$

Hloubka zuhelnatění v čase porušení protipožární ochrany t_f stanovena z délky použitých hřebíků podle vztahu (3.16) v ČSN EN 1995-1-2:

$$l_f = h_p + d_{\text{char},n,f} + l_a \quad \Rightarrow \quad d_{\text{char},n,f} = l_f - h_p - l_a = 60 \text{ mm} - 30 \text{ mm} - 10 \text{ mm} = 20 \text{ mm}$$

Čas porušení protipožární ochrany t_f :

$$t_f = t_{\text{ch}} + \frac{d_{\text{char},n,f}}{k_2 \beta_n} = 8,57 \text{ min} + \frac{20 \text{ mm}}{0,84 \times 0,8 \text{ mm/min}} = 38,34 \text{ min}$$

Čas t_a , kdy končí zvýšená míra zuhelnatění a začíná zuhelnatění jako u nechráněného prvku se stanoví jako menší z hodnot $t_{a,n}$ a $t_{a,25}$.

Čas, kdy se hloubka zuhelnatění rovná hloubce zuhelnatění stejného prvku bez požární ochrany $t_{a,n}$:

$$d_{\text{char},n,f} + (t_{a,n} - t_f) k_3 \beta_n = t_{a,n} \beta_n \quad \Rightarrow \quad t_{a,n} (k_3 \beta_n - \beta_n) = t_f k_3 \beta_n - d_{\text{char},n,f} \quad \Rightarrow$$

$$t_{a,n} = \frac{t_f k_3 \beta_n - d_{\text{char},n,f}}{(k_3 - 1) \beta_n} = \frac{38,34 \text{ min} \times 2 \times 0,8 \text{ mm/min} - 20 \text{ mm}}{(2 - 1) 0,8 \text{ mm/min}} = 51,67 \text{ min}$$

Čas, kdy hloubka zuhelnatění dosáhne hodnoty 25 mm $t_{a,25}$:

$$d_{\text{char},n,f} + (t_{a,25} - t_f) k_3 \beta_n = 25 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad t_{a,25} k_3 \beta_n = 25 \text{ mm} + t_f k_3 \beta_n - d_{\text{char},n,f} \quad \Rightarrow$$

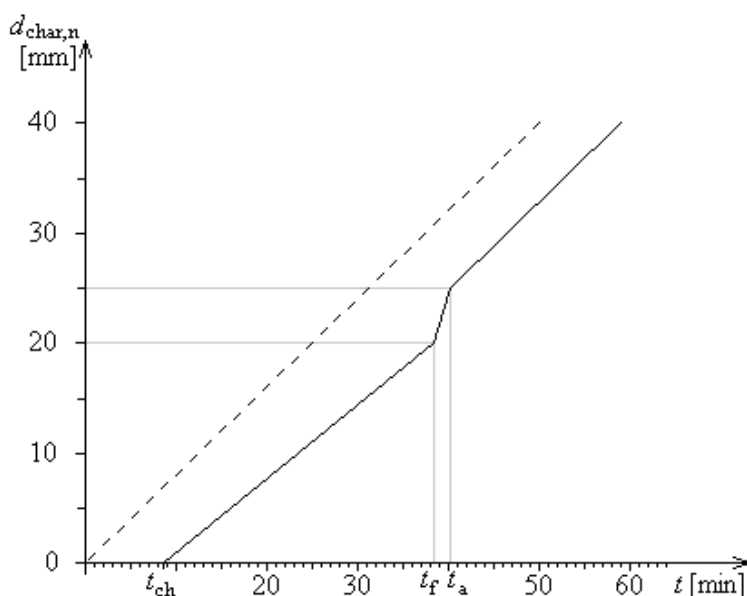
$$t_{a,25} = \frac{25 \text{ mm} + t_f k_3 \beta_n - d_{\text{char},n,f}}{k_3 \beta_n} = \frac{25 \text{ mm} + 38,34 \text{ min} \times 2 \times 0,8 \text{ mm/min} - 20 \text{ mm}}{2 \times 0,8 \text{ mm/min}} = 41,46 \text{ min}$$

$$t_a = \min.(t_{a,n} ; t_{a,25}) = \min.(51,67 \text{ min} ; 41,46 \text{ min}) = 41,46 \text{ min}$$

Hloubka zuhelnatění v čase t_a je $d_{\text{char},n,a}$:

$$d_{\text{char},n,a} = 25 \text{ mm}$$

Zjištěný diagram průběhu hloubky zuhelnatění $d_{\text{char},n}$ v čase t je znázorněn na obr. 8.3.



Obr. 8.3 Vypočítaný průběh $d_{\text{char},n}$ v čase t

8.7.2 Stanovení 20 % kvantilu pevnosti dřeva v tlaku rovnoběžně s vlákny $f_{c,0,20}$:

$$f_{c,0,20} = k_{fi} f_{c,0,k} = 1,25 \times 21 \text{ MPa} = 26,25 \text{ MPa}$$

8.7.3 Posouzení prvku v čase $t_2 = 30$ min metodou redukováného průřezu:

$$d_{\text{char},n} = (t_2 - t_{\text{ch}}) k_2 \beta_n = (30 \text{ min} - 8,57 \text{ min}) \times 0,84 \times 0,8 \text{ mm/min} = 14,40 \text{ mm}$$

Účinná hloubka zuhelnatění d_{ef} :

$$k_0 = 1,0$$

$$d_{\text{ef}} = d_{\text{char},n} + k_0 d_0 = 14,40 \text{ mm} + 1,0 \times 7 \text{ mm} = 21,40 \text{ mm}$$

Plocha účinného průřezu A_{ef} :

$$A_{\text{ef}} = \pi (r - d_{\text{ef}})^2 = \pi (100 \text{ mm} - 21,40 \text{ mm})^2 = 19409,2 \text{ mm}^2$$

Výpočet součinitele vzpěrnosti k_c :

Poloměr setrvačnosti účinného průřezu i :

$$i = \frac{r - d_{\text{ef}}}{2} = \frac{100 \text{ mm} - 21,40 \text{ mm}}{2} = 39,3 \text{ mm}$$

Štíhlost dílce λ :

$$\lambda = \frac{L_{\text{cr}}}{i} = \frac{2600 \text{ mm}}{39,3 \text{ mm}} = 66,157$$

Poměrná štíhlost λ_{rel} :

$$\lambda_{\text{rel}} = \frac{\lambda}{\pi \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}} = \frac{66,157}{\pi \sqrt{\frac{21 \cdot 10^6 \text{ Pa}}{7,4 \cdot 10^9 \text{ Pa}}}} = 1,122$$

$$k = 0,5 \left[1 + \beta_c (\lambda_{\text{rel}} - 0,3) + \lambda_{\text{rel}}^2 \right] = 0,5 \left[1 + 0,2 (1,122 - 0,3) + 1,122^2 \right] = 1,211$$

Součinitel vzpěrnosti k_c :

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{\text{rel}}^2}} = \frac{1}{1,211 + \sqrt{1,211^2 - 1,122^2}} = 0,599$$

Posouzení napjatosti prvku:

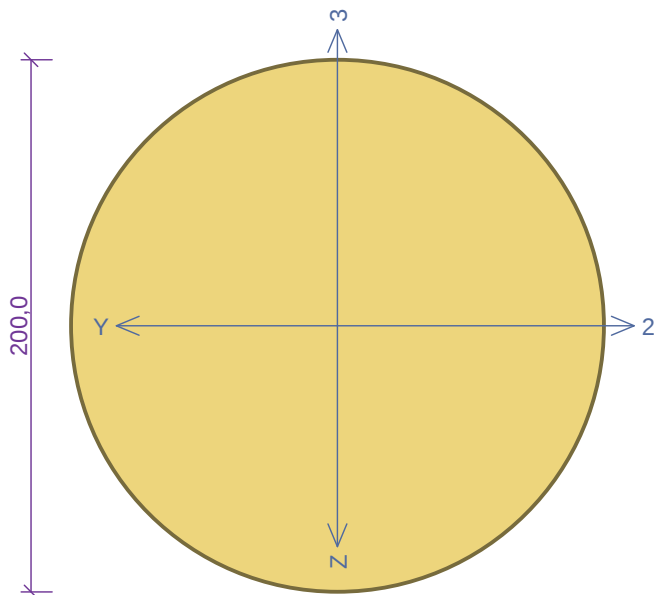
$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{k_c f_{c,0,d,fi}} = \frac{\frac{N}{A_{ef}}}{k_c k_{mod,fi} \frac{f_{c,0,20}}{\gamma_{M,fi}}} = \frac{\frac{200\text{kN}}{19409,2\text{mm}^2}}{0,599 \times 1,0 \frac{26,25\text{MPa}}{1,0}} = 0,655 < 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

8.8 Výpočet požární odolnosti prvku

Programem „Dřevo – požár“ se standardně posuzuje únosnost zbytkového průřezu v čase požadované požární odolnosti. Je ale možno též počítat celkovou požární odolnost prvku. To se provádí tak, že měníme zadanou hodnotu požadované doby požární odolnosti, a to tak dlouho, až hodnota využití průřezu je právě rovna 100 %. V tu chvíli je zadaná požadovaná doba požární odolnosti právě rovna celkové požární odolnosti prvku. Výstup z programu je uveden na následující straně.

Výstup z programu:

Sloup 01



Norma výpočtu EN 1995-1-2

Výpočet je proveden podle České národní přílohy.

Součinitel spolehlivosti $\gamma_{M,fi}$: 1,000

Průřez: kruh

Rozměry:

Průměr $D = 200,0$ mm

Materiál: C24 - jehličnaté

Materiálové charakteristiky:

Modul pružnosti	$E_{0,mean}$	11000 MPa
Modul pružnosti ve smyku	G_{mean}	690 MPa
Pevnost v ohybu	$f_{m,k}$	24,0 MPa
Pevnost v tahu ve směru vláken	$f_{t,0,k}$	14,0 MPa
Pevnost v tlaku ve směru vláken	$f_{c,0,k}$	21,0 MPa
Pevnost ve smyku	$f_{v,k}$	4,0 MPa
Pevnost v tlaku kolmo na vlákna	$f_{c,90,k}$	2,5 MPa
Pevnost v tahu kolmo na vlákna	$f_{t,90,k}$	0,4 MPa
5% kvantil modulu pružnosti	$E_{0,05}$	7400 MPa
Charakteristická hodnota hustoty	ρ_k	350,0 kg/m ³

Vnitřní síly v souřadném systému průřezu:

Zatěžovací případ s největším využitím

Zat. případ 1

$N = -200,000$ kN

$M_y = 0,000$ kNm $M_z = 0,000$ kNm

Požární detail:

Chráněný průřez, vystavený žáru ze všech stran

Požární ochrana:

Vlna z minerálních vláken

Celková tloušťka $h_{ins} = 30,0$ mm

Ohnivá hmotnost $\rho_{ins} = 150$ kg/m³

Vzpěr:

Počítá se se vzpěrem

Délka úseku pro vzpěr $L_z = 2,600$ m

Součinitel vzpěrné délky $k_z = 1,000$ Vzpěrná délka $L_{cr,z} = 2,600$ m

Délka úseku pro vzpěr $L_y = 2,600$ m

Součinitel vzpěrné délky $k_y = 1,000$ Vzpěrná délka $L_{cr,y} = 2,600$ m

Výsledky posouzení

Posouzení v čase požadované požární odolnosti $t = 30,0$ min:

Metoda redukovaného průřezu

Hloubka zuhelnatění $d_{char,n} = 14,4$ mm

Rozhodující zatěžovací případ: Zat. případ 1

Vnitřní síly: $N = -200,000$ kN; $M_y = 0,000$ kNm; $M_z = 0,000$ kNm; $V_z = 0,000$ kN; $V_y = 0,000$ kN

Posudek vzpěrného tlaku:

Únosnost: $N_{R,t,fi} = 305,336$ kN

$|-0,655| < 1$ **Vyhovuje**

Průřez vyhovuje

VYHOVUJE

9 Numerický model stěny dřevěného ,skeletu za požáru

V současné době je možné požární odolnost dřevěných konstrukcí určit výpočtem podle Eurokódu 5 a zkouškami podle EN v akreditované zkušebně. Nejčastěji se pro simulaci požáru používá nominální normová teplotní křivka ve tvaru:

$$\Theta_g = \Theta_0 + 345 \log_{10}(8t + 1)$$

kde Θ_g je teplota plynů v příslušném požárním úseku [°C], Θ_0 počáteční teplota [°C], t doba požáru [min].

Protože posuzování konstrukcí podle Eurokódu 5 dává obecně konzervativní výsledky, je vhodné v případě potřeby zjištění vyšší požární odolnosti provést zkoušky ve zkušebně. Zkoušky se provádějí na zkušebních tělesech konstrukčních rozměrů pod zatížením pro mimořádnou návrhovou situaci, které je většinou rovno 60 % zatížení při běžné teplotě.

9.1 Numerický model stěny

Jiným typem zkoušek je experimentální ověření chování celých objektů nebo jejich částí při skutečném požáru. V květnu 2009 se uskutečnila požární zkouška na skutečném objektu o dvou místnostech. V areálu sportovního centra Želva v Dubňanech vystavěla firma HLC Hodonín jednopodlažní objekt na bázi lehkého dřevěného skeletu, který odzkoušela ve spolupráci s Fakultou stavební ČVUT v Praze a požární zkušebnou PAVUS.

Půdorysné rozměry objektu byly 6 × 3 m a jeho výška v průčelí s dveřmi 3 m. Sklon pultové střechy byl 8 °. Samotný požár byl založen v místnosti se dvěma otvory ve stěnách. Jeden otvor byl osazen jednokřídlovým oknem, druhý jednokřídlovými dveřmi. Dveřmi byla též přístupná druhá, sousední místnost. Výplně otvorů měly dřevěné rámy. Zasklení bylo provedeno izolačním sklem. Skleněná tabule ze strany interiéru byla z bezpečnostního skla. Simulování skutečného požáru na konstrukci s dřevěným nosným skeletem bylo připraveno pro nosnou konstrukci zatíženou užitným zatížením pro stropy a nárůstem teploty v jedné místnosti podle parametrického požáru.

Požární situace byla při experimentu modelována požárním zatížením rovnajícím se zahoření v místnosti bytového domu. Hustota požárního zatížení byla pro výpočet parametrické teplotní křivky zvolena 780 MJ/m².

Jako požární zatížení sloužily vyschlé nehoblované dřevěné latě 50 × 50 mm o délce jeden metr. Průměrná vlhkost latí byla 12 %.

V místnosti s oknem byly vyrovnány čtyři hranice dřeva. Požadovaný objem dřeva byl dosažen na každé hranici jednou latí nad poslední vrstvou. Pro snadný způsob iniciování

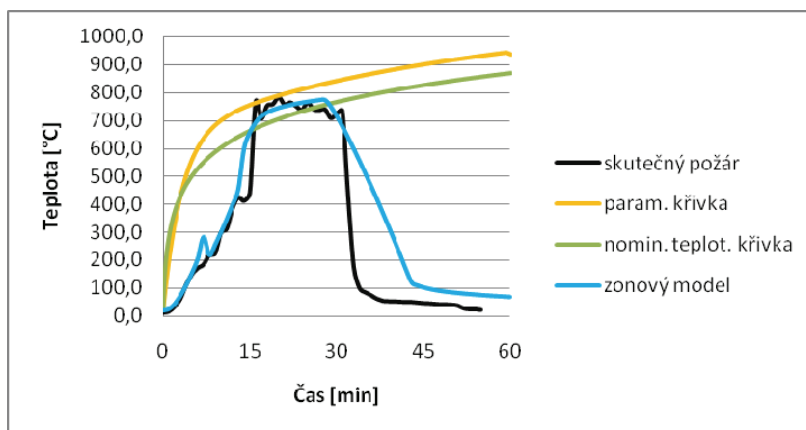
požáru byly hranice dřeva podloženy profily z ocelových tenkostěnných C profilů vyplněných minerální izolací. Izolace sloužila jako knot pro zapálení hranic.



Obr. 9.1 Pohled na zkušební objekt

Během požáru byla na vnější části objektu poškozena vrstva kontaktní izolace z polystyrénu. Izolace vysublimovala až do míst, kam zasahovaly plameny požáru. V místech výplní otvorů došlo k poškození opláštění nosné sloupkové konstrukce i z exteriérové strany. Požár pronikl dutinou po odpařeném polystyrénu k OSB deskám a ty začaly hořet.

Srovnání teplot v místnosti podle jednotlivých teplotních křivek s teplotami naměřenými při zkoušce je na obr. 9.2. Z grafů je zřejmé, že průběh teplot v objektu lze velmi dobře simulovat modelem. Model zohledňuje hustotu požárního zatížení, skladbu jednotlivých stěn, stropu a podlahy, plochy otvorů, ale i zvýšenou ventilaci při otevření okna a dveří.



Obr. 9.2 Porovnání teplotních křivek

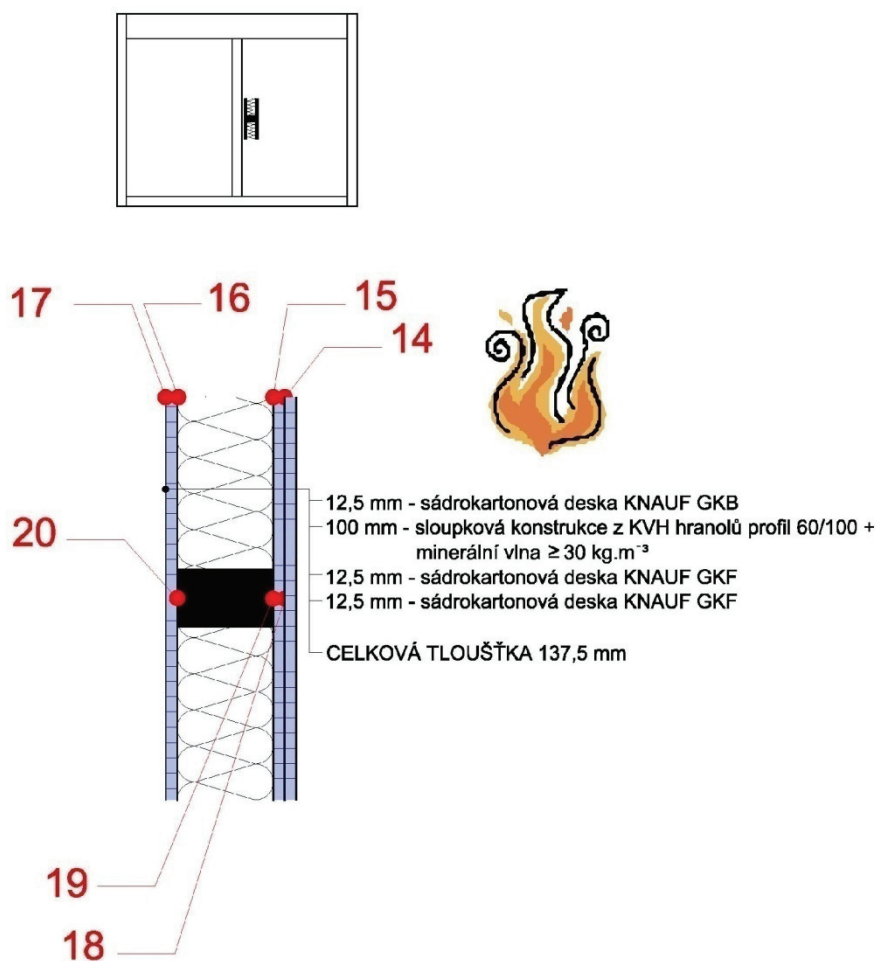
Nominální a parametrická křivka nezohledňují zásah hasičů ve 30. minutě od založení požáru. Ukončení rozvoje požáru ve 30. minutě bylo zvoleno z důvodu, aby se zjistil stupeň poškození objektu v tomto čase trvání požáru, protože dřevostavby se běžně navrhují na požární odolnost R30.

Pro numerické modelování stěn s různými skladbami opláštění byl vybrán program ANSYS. Program umožňuje modelovat metodou konečných prvků chování vrstvené konstrukce při zatížení teplotou.

Metodou konečných prvků je programem řešena Fourierova parciální diferenciální rovnice neustáleného vedení tepla.

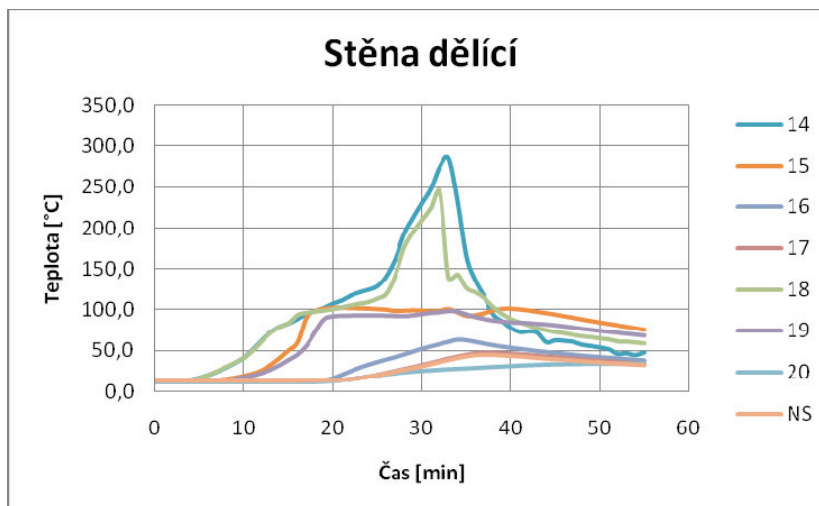
$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

Pro numerický model byla využita symetrie konstrukce. Z celé stěny byla modelována část středního sloupku a polovina polí s opláštěním a vloženou izolací (viz obr. 9.3). Modelace byla provedena v rovině.



Obr. 9.3 Dělicí stěna s rozmístěnými termočlánky

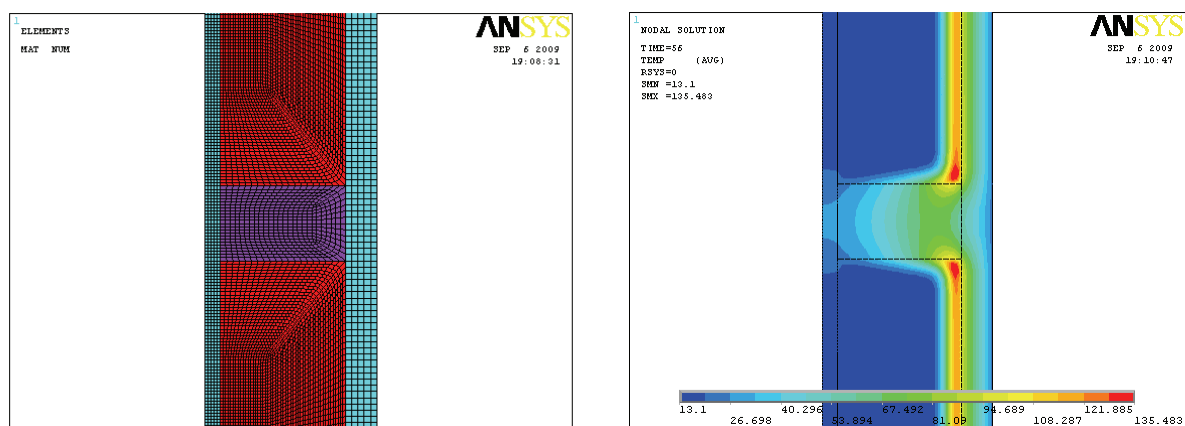
Jednotlivé stěny byly zatěžovány průměrnou teplotou naměřenou čtyřmi teplotními čidly v místnosti s palivem. Teplota byla sledována po dobu 55 minut, kdy se již teploty ustálily a fáze chladnutí byla vyhodnocena za konečnou.



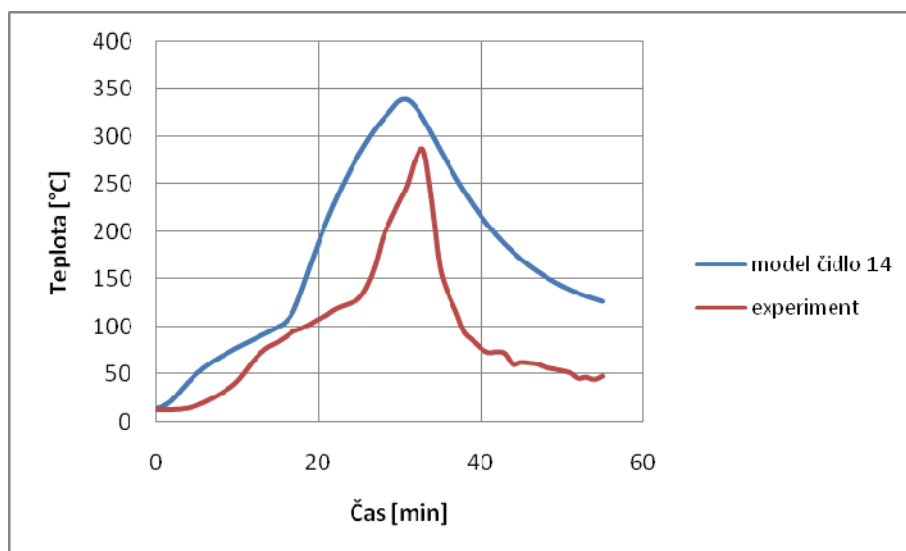
Obr. 9.4 Teploty v dělicí stěně naměřené při zkoušce

V případě, že v plášti stěny byla použita OSB deska, použily se v modelu fyzikální vlastnosti pro rostlé dřevo, změněna byla pouze objemová hmotnost.

Pokud byly v plášti stěny použity dvě desky na bázi sádky ve dvou vrstvách, bylo toto souvrství modelováno jako jedna vrstva s tloušťkou rovnající se součtu tlouštěk obou desek. Dělicí stěna (viz obr. 9.3), která je v příspěvku podrobněji prezentována, je stěna mezi místnostmi zkušebního objektu. Plášť vystavený požáru byl ze dvou vrstev desek na bázi sádky, obě desky měly tloušťku 12,5 mm. Model stěny je na obr. 9.5.



Obr. 9.5 Výsek modelované stěny



Obr. 9.6 Srovnání teplot modelu s experimentem (zkouškou)

Numerický model stěn prokázal dobrou shodu s experimentem. Numerickým modelem lze předpovídat možné porušení opláštění i nosných prvků. Lze též velmi dobře určit tepelně izolační vlastnosti celých konstrukčních sestav. Pokud jsou k dispozici dostatečně ověřené vstupní údaje, může být numerický model velmi přesným nástrojem pro určování požárních odolností stěn lehkých dřevěných skeletů.

Z porovnání numerického modelu s experimentem vyplývá, že numerický model má vypovídající schopnost pro stěnový dílec do okamžiku před náhodným uvolněním skupiny spojovacích prostředků nebo izolace z rámu.

10 Simulace při vyšetřování požárů

10.1 Úvod

Zjišťování příčin vzniku požárů je specializovaná disciplína požární ochrany. Základem je určit ohnisko požáru, které je místem jeho vzniku. Zkoumání vzorků odebraných na požářišti je nezbytné pro vytvoření a hodnocení hypotéz o výskytu možných procesů hoření. Existují okolnosti, za kterých jsou tato zkoumání dostačující, např. pro prokázání žhářství potvrzením akceleračních hoření použitého pro zapálení. Tyto zkoušky, spolu s identifikací látkové podstaty hořlavých materiálů, dovolují určit jejich teploty vzplanutí, vznícení, meze výbušnosti, samozahřívání atd. Tyto tzv. požárně technické charakteristiky, umožňují posoudit možnosti vzniku požáru za podmínek, které zde byly. Často jsou vzorky materiálů odebírány z různých míst požářiště a spolu s popožárními znaky, které požár zanechal, jsou spojovány do určitého logického příčinně propojeného obrazu podmínek vzniku a rozvoje požáru. Tato část expertízy v průběhu zkoumání vzniku a šíření požáru se označuje jako „metody expertízy stop požáru“. V mnoha případech je však zkoumání odebraných vzorků nedostačující, vznik jednotlivých stop není schopno časově propojit.

Potíže s určením doby vzniku požáru, potíže s určením časově-prostorových charakteristik požáru a také nemožnost zcela věrohodně opakovat požární zkoušky, si vynutily nezbytnost hledání nových metod zkoumání příčin vzniku a šíření požáru. Jednou z takových metod je matematické modelování.

10.2 Matematické modelování požárů pro ZPP/PTE

Matematického modelování poskytuje vyšetřovateli nástroj pro ověřování hypotéz o místě vzniku a příčině požáru (případně výbuchu) a o příčině následných škod na majetku nebo zdraví osob. I v případech, kdy vznik a příčina požáru není hlavním cílem, je často možné a důležité stanovit příčinu následných škod na majetku nebo zdraví osob. Matematické modely jsou určeny pro simulaci nebo předpověď reálných jevů s použitím vědeckých principů a empirických dat. Obecně lze rozdělit podle způsobu výpočtů na ruční výpočty, zónové modely a počítačové CFD modely. Matematické modely lze použít v mnoha oblastech a při řešení speciálních problémů.

Jednou z takových to oblastí je **modelování toku tepla** při požáru. Modely toku tepla umožňují kvantitativní analýzu kondukce, konvekce a radiace v požárním scénáři. Tyto modely se pak používají pro ověřování hypotéz vzniku požáru, jeho šíření a výsledného poškození majetku a zranění osob. Modely toku tepla jsou často zahrnuty do jiných modelů, včetně analýzy konstrukcí a dynamiky požáru. Modely a analýzy přenosu tepla mohou být

použity pro hodnocení různých hypotéz, včetně dostatečnosti zdroje hoření, poškození nebo vznícení sousedních objektů, vznícení sekundárního paliva, přenos tepla stavebními prvky.

Matematické modely je možno použít pro **výpočet koncentrace požárních plynů** v závislosti na čase a v prostoru a mohou pomáhat při **zjišťování zdrojů vznícení a hodnocení zamoření stavebního objektu, přítomných osob, odpadních vod a ovzduší požárem**. Modelování koncentrace hořlavých plynů spolu s **hodnocením škod výbuchem nebo požárem** a rozmístěním možných zdrojů hoření je možno použít pro stanovení, zda mohl být předpokládáný nebo zjištěný únik **příčinou výbuchu nebo požáru**, a také který zdroj plynů nebo hořlavých výparů odpovídá požárnímu scénáři, škodám a možnému zdroji vznícení.

Existují též matematické **modely evakuace osob**. Skutečnost, že se některým osobám nepodařilo před požárem včas uniknout, může být jedním z hlavních problémů, kterými se vyšetřovatel musí zabývat. Pro analýzu pohybu osob při požáru je možno použít modelů evakuace. Pro hodnocení vlivu prostředí požáru na osoby je často nutno spojit modely evakuace s modely dynamiky požáru.

Největší využití matematického modelování požárů je však **pro analýzu dynamiky směru šíření požáru**, kterým můžeme předpovědět v konkrétních místech a čase následující rysy požáru a charakteristiky prostředí jako:

- doba do celkového vzplanutí (FLASHOVER),
- teploty plynů,
- koncentrace plynů (kyslík, oxid uhelnatý, oxid uhličitý a další),
- koncentrace kouře,
- intenzita toku kouře, plynů a neshořeného paliva,
- teplota stěn, stropu a podlahy,
- čas aktivace kouřových a tepelných hlásičů a sprinterů
- vliv otevření nebo zavření dveří, rozbití oken, nebo dalších fyzikálních jevů.

Analýzu dynamiky požáru je možno použít pro hodnocení hypotéz o vzniku a rozvoji požáru. Analýza využívá údaje o budově a data a principy dynamiky požáru pro odhad prostředí vytvořeného požárem podle navrhované hypotézy. Výsledky je možno porovnat s fyzickými důkazy a s výpověďmi svědků, s cílem potvrzení nebo odmítnutí hypotézy.

Přesto matematické modelování má svá některá omezení a předpoklady, které je nutno brát v úvahu. Modely obecně spoléhají na empirická data a hodnotí se pomocí srovnání s jinými empirickými daty. Je nutno zajistit, aby byl model použit s plným ohledem na omezení, předpoklady a hodnocení.

10.3 Řešení výzkumného projektu v Technickém ústavu PO

MV- GŘ HZS ČR, Technický ústav požární ochrany řešil v období 2006-2007 výzkumný projekt č. VD20062007A01 „Vývoj a validace požárních modelů pro stanovení vývinu/šíření tepla, kouře, toxických plynů, tlakových vln výbuchu pro simulaci/interpretaci scénářů požárů/výbuchů a jejich ničivých účinků“ a to postupně ve dvou projektech. Po jeho ukončení, bylo rozhodnuto v řešení pokračovat v rámci dílčího výzkumného úkolu nového výzkumného projektu č. VD20062010A07 Výzkum moderních metod pro zjišťování příčin vzniku požárů a hodnocení nebezpečných účinků požárů na osoby, majetek a životní prostředí.

Cílem těchto projektů bylo na základě nejnovějších vědeckých a technických poznatků validovat a verifikovat výpočetní požární modely pro předpověď vývinu tepla, kouře, toxických plynů, tlakové vlny výbuchu k interpretaci různých scénářů požáru/výbuchu a jejich ničivých účinků pro potřebu požárně technických expertíz a modelování požárních zkoušek.

Pro potřebu řešení jsme testovaly následující dostupné komerční programy: Fluent, SmartFire a FDS s grafickou nástavbou Pyrosim pro modelování požárů a FLACS pro modelování výbuchů. Validaci jsme prováděli porovnáním vypočtených a naměřených hodnot vybraných veličin v čase (teplotní pole, hustota toku tepla, rychlosti proudění koncentrace CO, CO₂, SO₂, NO_x, O₂) při velkorozměrových zkouškách s těmito scénáři:

- Požár dřeva, unikajícího plynu, rozlité kapaliny, viz obr. 10.1.
- Požár osobního automobilu 5 MW v tunelu Mrázovka, Valík a 15 MW v tunelu stavby 513 (modelování).
- Požár rodinného domu v Kamenné, viz obr. 10.2 a v Bohumíně, viz obr. 10.3 podle skutečných událostí.
- Požár ložnice, viz obr. 10.4 a obr. 10.7a.
- Výbuch metanu v rodinném domě v Kamenné, viz obr. 10.5.
- Výbuch par automobilového benzínu ve 200 l sudu, viz obr. 10.6 a metanu v nádobě o objemu 1,4 m³.
- Požár kuchyně, viz obr. 10.7b.

Výsledky porovnání naměřených a vypočtených hodnot sledovaných veličin jsou pro potřebu PTE dostatečně přesné, viz grafy na obr. 10.8 a 10.9 níže. Mezi nehmotné výsledky řešení patří též Metodiky TÚPO pro modelování požárů pomocí SWs FDS, Smartfire a FLACS. Závěrečná zpráva s výsledky bude oponována v březnu 2011. Oponentura uvolní výsledky pro potřebu HZS ČR.



Obr. 10.1



Obr. 10.2



Obr. 10.3



Obr. 10.4



Obr. 10.5



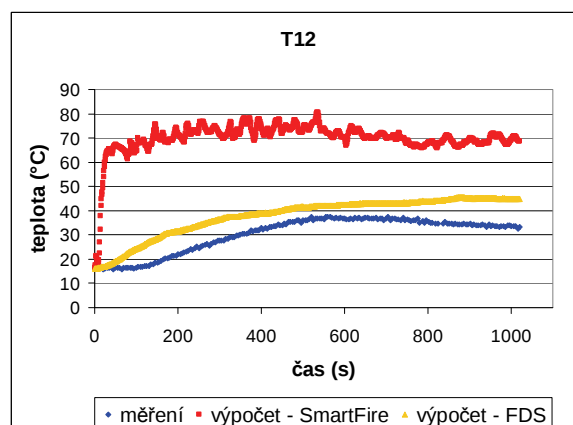
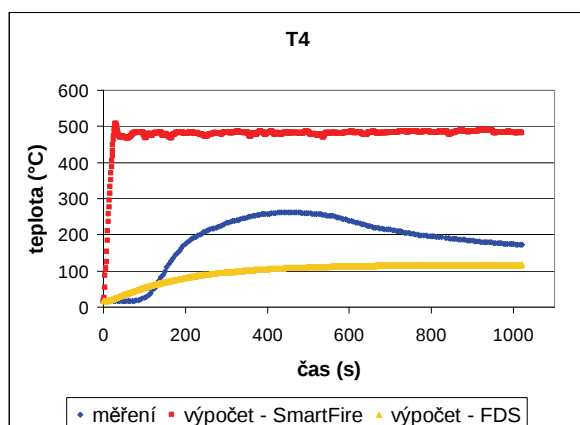
Obr. 10.6



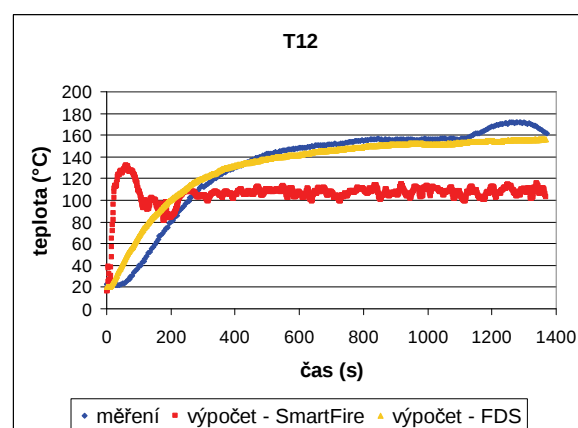
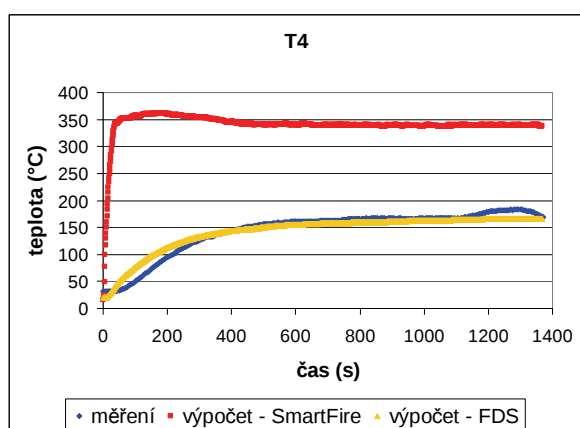
Ložnice před zkouškou
Obr. 10.7a



Ložnice po zkoušce
Obr. 10.7b



Obr. 10.8 Srovnání naměřených a vypočtených teplot požáru propan-butan



Obr. 10.9 Srovnání naměřených a vypočtených teplot požáru heptan

10.4 Závěr

CFD modelování požárů představuje nový moderní nástroj pro vyšetřovatele požárů při zjišťování jejich příčin. Vhodně tak doplňuje dosavadní přístupy vyšetřovatelů požárů a kriminalistů v expertízách stop požárů spojených s odběry vzorků na požářišti a jejich následném laboratorním zkoumání.

Aby výsledky byly uznatelné při trestně právním a přestupkovém řízení, musí být CFD modely pro dané scénáře požárů validovány.

Technický ústav PO bude podporovat praktické využívání vypracovaných metodik pro modelování požárů a výbuchů při požárně technických expertízách pomocí SWs FDS, Smartfire a FLACS ve svém Oddělení ZPP/PTE a v rámci HZS ČR.

LITERATURA

Ke kapitole 1

- [1.1] Olenick,S.M. and Carpenter,D.J., May 2003, "An Updated International Survey of Programovací Models for Fire and Smoke", Journal of Fire Protection Engineering, Vol. 13.
- [1.2] Friedman,R., 1992, "An International Survey of Programovací Models for Fire and Smoke", Journal of Fire Engineering Vol. 4.
- [1.3] Janssens,M.L., 2002, "Evaluating Programovací Fire Models", Journal of Fire Protection Engineering, Vol. 13.
- [1.4] ASTM E 1355; ASTM E 1472; ASTM E 1591; ASTM E 1895.
- [1.5] EC3 – Eurocode 3 Part 1.2 (ENV 1993-1-2).
- [1.6] EC4 – Eurocode 4 Part 1.1 (ENV 1994-1-1) and Part 1.2 (ENV 1994-1-2).
- [1.7] Twilt,L., Hass,R., Klingsch,W., Edwards,M. and Dutta,D., 1996, "Design Guide for Structural Hollow Section Columns Exposed to Fire", CIDECT Design Guide 4.
- [1.8] Peacock,R.D., Reneke,P.A., Jones,W.W., Bukowski,R.W. and Forney,G.P., 2000, "User's Guide for Fast: Engineering Tools for Stimating Fire Growth and Smoke Transport", NIST-SP-921.
- [1.9] Portier,R.W., Reneke,P.A., Jones,W.W and Peacock,R.D, 1992, "User's Guide for Cfast Verze 1.6", NISTIR-4985.
- [1.10] Peacock,R.D., Reneke,P.A., Jones,W.W. and Forney,G.P, 2000, "Tecnical Odkazys for Cfast: An Engineering Tool for Stimating Fire Growth and Smoke Transport", NIST-TON-1431.
- [1.11] Peacock,R.D., Jones,W.W. and Bukowski,R.W., 1993, "Verification of a model of fire and smoke transport", Fire Safety Jaournal Vol. 21".
- [1.12] Deal,S., 1990, "A review of four compartment fires with four compartment fire models", Fire Safety Developments and Safety, Proceedings of the annual meeting of Fire Retardant Chemicals Association.
- [1.13] Duong,D.Q., 1990, "The accuracy of Programovací Fire models: some comparison with experimental data from Australia", Fire safety Journal Vol. 16.
- [1.14] Davis,W.D., Nejsoutarianni,K.A., and McGrattan,K.B., 1996, "Comparison of fire model predictions with experiments conducted in a hangar with a 15 m ceiling", NISTIR-5927.
- [1.15] Cadorin,J.F., Franssen,J.M., and Pintea,D., 2001, "The design Fire Tool Ozone V2.0 – Theoretical Popis and Validation On experimental Fire tests", Rapport interne SPEC/2001_01 University of Liege.

- [1.16] Sleich,J.B., Cajot,L.G., Pierre,M., Joyeux,D., Aurtenetxe,G., Unanua,J., Pustorino,S., Heise,F.J., Salomon,R., Twilt,L. and Van Oerle,J., 2002, "Competitive steel buildings through natural fire safety concepts" Final Report EUR 20360 EN.
- [1.17] Cadorin,J.F., 2002, "On the application field of Ozone V2", Rapport interne N° M&S/2002-003 University of Liege.
- [1.18] Cadorin,J.F., 2003, "Compartment fire models for structural engineering", Doctoral Thesis of J. F. Cadorin, University of Liege.
- [1.19] Sleich,J.B., Cajot,L.G., Pierre,M., Joyeux,D., Moore,D., Lennon,T., Kruppa,J., Hüller,V., Hosser,D., Dobbernack,R., Kirchner,U., Eger,U., Twilt,L., Van Oerle,J., Kokkala,M. and Hostikka,S., 2002, "Natural Fire Safety Concepts – Full Scale Tests, Implementation in the Eurocodes and Development of an user friendly design tool" Final Report EUR 20580 EN.
- [1.20] McGrattan,K.B., Forney,G.P., Floyd,J.E., Hostikka,S. and Prasad,K., 2002, "Fire Dynamics Simulator (Verze 3) – User´s Guide", NISTIR-6784.
- [1.21] Forney,G.P. and McGrattan,K. B., 2003, "User´s Guide for Smokeview Verze 3.1 – A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data", NISTIR-6980.
- [1.22] McGrattan,K.B., Baum,H.R., Hamins,A., Forney,G.P., Floyd,J.E., Hostikka,S. and Prasad K., 2002, "Fire Dynamics Simulator (Verze 3) – Technical Odkazy Guide", NISTIR-6783.
- [1.23] Hurley,M.J. and Madrzykowski,D., 2002, "Evaluation of the computer fire model DETECT-QS", Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods, 4th International Conference. Proceedings.
- [1.24] Davis,W.D., 1999, "The zónové Fire model JET: A Model for the prediction of detector activation and gas temperature in presence of a smoke layer", NISTIR-6324.
- [1.25] Wald a kol., Návrh ocelových a ocelobetonových konstrukcí vystavených požáru DIFISEK, ČVUT v Praze 2008, s. 102, ISBN 978-80-01-04099-7.

Ke kapitole 2

- [2.1] ČSN EN 1991-1-2 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí- Část 1,2: Obecná zatížení- Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru, ČNI, 2004.
- [2.2] Hietaniemi,J., Mikkola,E.: Design Fires for Fire Safety Engineering, VTT Technical Research Centre of Finland, 2010, ISBN 978-951-38-7479-7.
- [2.3] Vassart,O., Cajot,L.G., Brasseur,M., Strejček,M.: Materiály projektu RFSC č. RFS-P2-06065, Část 1: Tepelná a mechanická zatížení, ČVUT v Praze, 2008.
- [2.4] Wald,F., Sokol,Z.: Zatížení konstrukcí podle ČSN EN 1991-1-2: 2004, ČVUT Praha, 2007, ISBN 978-80-01-03580-1.

- [2.5] Madrzykowski,D., Walton,W.D.: Cook County Administration Building Fire, 69 West Washington, Chicago, Illinois, October 17, 2003: Heat Release Rate Experiments and FDS Simulations, NIST Special Publication SP- 1021, 2004.
- [2.6] Cadorin,J.-F., Franssen,J.-M.: Zone model Ozone v2.2, University of Liège.
- [2.7] Babrauskas,V.: Free burning fires, Fire Safety Journal, Vol. 11, s. 33-51.
- [2.8] Babrauskas,V., Walton,W.D.: A Simplified Characterization of Upholstered Furniture Heat Release Rates. Fire Safety Journal, Vol. 11, s. 181- 192.
- [2.9] Heinisuo,M., Laasonen,M., Outinen,J.: Fire design in Europe, in Urban Habitat Constructions under Catastrophic Events, CRC Press/Balkema, ISBN 978-0-415-60686-8.

Ke kapitole 3

- [3.1] Bažant,Z.P.–Thonguthai,W. Pore Pressure and Drying of Concrete at High Temperature. J. Eng. Mech. Div. 104 (1978), 1059–1079.
- [3.2] Beneš,M.–Štefan,R. Povrchové odštěpování betonových konstrukcí při požáru. Stavební obzor (zasláno k publikování). 2010.
- [3.3] Beneš,M.–Štefan,R.–Zeman,J. Analysis of coupled transport phenomena in concrete at elevated temperatures. Submitted to Appl. Math. Comp. 2010.
- [3.4] ČSN EN 1991-1-2. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru. Praha: ČNI, 2004.
- [3.5] ČSN EN 1992-1-2. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru. Praha: ČNI, 2006.
- [3.6] Hertz,K. Simple Temperature Calculation of Fire Exposed Concrete Constructions (Report No 159). Kgs. Lyngby: DTU, Institute of Building Structures, 1981.
- [3.7] Hertz, K. Users Guide for the Program ConTemp.exe [online]. Kgs. Lyngby: DTU, Institute of Building Structures, 2006. URL <<http://www.byg.dtu.dk/English/Research/Software.aspx>>.
- [3.8] MATLAB [software]. Ver. 7.6.0.324 (R2008a). USA: The MathWorks, 2008.
- [3.9] Procházka,J. a kol. Navrhování betonových a zděných konstrukcí na účinky požáru. 1. vyd. Praha: ČVUT v Praze. 2010. ISBN 978-80-01-04613-5.
- [3.10] Procházka,J.–Štefan,R. Rozložení teplot v betonových prvcích vystavených požáru. Stavební obzor, 2008, roč. 17, č. 2, s. 33-39. ISSN 1210-4027.
- [3.11] Procházka,J.–Štefan,R. Temperature Distribution through a Cross-Section Exposed to Fire. In Concrete and Concrete Structures. P. Koteš, P. Kotula (Ed.). Žilina: University of Žilina, October 2009, pp. 277-284. ISBN 978-80-554-0100-3.

- [3.12] Štefan,R.–Beneš,M. HygroThermAnalysis [software + manuál online]. Praha: ČVUT v Praze, 2010. URL <<http://concrete.fsv.cvut.cz/~stefan/vyzkum.htm>>.
- [3.13] Štefan,R. Požární odolnost betonových konstrukcí: Písemná práce k SDZ. Praha: ČVUT v Praze, 2010.
- [3.14] Štefan,R.–Procházka,J. Program pro stanovení teplot v betonových obdélníkových průřezích vystavených požáru. Stavební obzor, 2010, roč. 19, č. 9, s. 274-278. ISSN 1210-4027.
- [3.15] Štefan,R.–Procházka,J. TempAnalysis – Výpočetní program pro teplotní analýzu průřezů vystavených účinkům požáru [software + manuál online]. Praha: ČVUT v Praze, 2009–2011. URL <<http://concrete.fsv.cvut.cz/~stefan/vyzkum.htm>>.
- [3.16] Wickström,U. A Very Simple Method for Estimating Temperatures in Fire Exposed Structures. In New Technology to Reduce Fire Losses and Costs. London: Elsevier Applied Science, 1986. pp. 186-194.

Ke kapitole 4

- [4.1] ČSN EN 1991-1-2. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru. Praha: ČNI, 2004.
- [4.2] ČSN EN 1992-1-2. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru. Praha: ČNI, 2006.
- [4.3] ČSN EN 1996-1-2. Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru. Praha: ČNI, 2006.
- [4.4] MATLAB [software]. Ver. 7.6.0.324 (R2008a). USA: The MathWorks, 2008.
- [4.5] Procházka,J. a kol. Navrhování betonových a zděných konstrukcí na účinky požáru. 1. vyd. Praha: ČVUT v Praze. 2010. ISBN 978-80-01-04613-5.
- [4.6] Štefan,R. FiDeS – Soubor výpočetních programů pro navrhování betonových a zděných konstrukcí na účinky požáru podle Eurokódů [software + manuál online]. Praha: ČVUT v Praze, 2010. URL <<http://concrete.fsv.cvut.cz/~stefan/vyzkum.htm>>.
- [4.7] Štefan,R. Požární odolnost betonových konstrukcí: Písemná práce k SDZ. Praha: ČVUT v Praze, 2010.
- [4.8] Štefan,R.–Procházka,J. Program pro stanovení požární odolnosti betonových nosníků a desek s využitím tabulek uvedených v ČSN EN 1992-1-2. In Betonárske dni 2010: Zborník prednášok. K. Gajdošová (Ed.). Bratislava: STU v Bratislave, říjen 2010, s. 253-256. ISBN 978-80-8076-089-2.
- [4.9] Štefan,R.–Procházka,J. Program pro stanovení požární odolnosti betonových sloupů a stěn s využitím tabulek uvedených v ČSN EN 1992-1-2. In 17. Betonářské dny 2010. V. Šrůma et al. (Ed.). Hradec Králové: ČBS Servis, s.r.o., listopad 2010, s. 461-463. ISBN 978-80-87158-28-9.

- [4.10] Štefan,R.–Procházka,J. TempAnalysis – Výpočetní program pro teplotní analýzu průřezů vystavených účinkům požáru [software + manuál online]. Praha: ČVUT v Praze, 2009–2011. URL <<http://concrete.fsv.cvut.cz/~stefan/vyzkum.htm>>.

Ke kapitole 5

- [5.1] Bailey,C.G. and Moore,D.B. The structural behaviour of steel frames with composite floor slabs subject to fire, Part 1: Theory The Structural Engineer, June 2000.
- [5.2] Bailey,C.G. and Moore,D.B. The structural behaviour of steel frames with composite floor slabs subject to fire, Part 2: Design The Structural Engineer, June 2000.
- [5.3] Bailey,C.G. Membrane action of slab/beam composite floor systems in fire Engineering Structures 26.
- [5.4] ČSN EN 1991-1-2: Zatížení konstrukcí, Obecná zatížení, část 1-2: Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru, ČSNi, Praha 2004.
- [5.5] ČSN EN 1993-1-2: Navrhování ocelových konstrukcí, část 1-2: Navrhování konstrukcí na účinky požáru, ČNI, Praha 2006.
- [5.6] ČSN EN 1994-1-2: Navrhování ocelobetonových konstrukcí, část 1-2: Navrhování konstrukcí na účinky požáru, ČNI, Praha 2006.
- [5.7] Fire Resistance Assessment of Partially Protected Composite Floors (FRACOF) Engineering Background, SCI P389, The Steel Construction Institute, 2009.
- [5.8] 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.
- [5.9] ČSN EN 1994-1-2: Navrhování ocelobetonových konstrukcí, část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, ČNI, Praha 2006.
- [5.10] EN 10080: Ocel pro výztuž do betonu - Svařitelná betonářská ocel - Všeobecně ČSNi, Praha 2005.
- [5.11] BS 4483:2005 Steel fabric for the reinforcement of concrete. Specification. BSI.
- [5.12] BS 4449:1:2005 Steel for the reinforcement of concrete. Weldable reinforcing steel. Bar, coil and decoiled product. Specification, BSI.
- [5.13] NF A 35-016-2: Aciers pour béton armé – Aciers soudables à verrous – Partie 2: Treillis soudés, novembre 2007,AFNOR.
- [5.14] NF A 35-019-2: Aciers pour béton armé – Aciers soudables à empreintes – Partie 2: Treillis soudés, novembre 2007, AFNOR.
- [5.15] ČSN EN 1990: Eurokód, Zásady navrhování konstrukcí, ČSNi, Praha 2004.
- [5.16] ČSN EN 1991-1-1: Zatížení konstrukcí, Obecná zatížení, Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb, ČSNi, Praha 2004.

- [5.17] ČSN P ENV 13381-4: Zkušební metody pro stanovení příspěvku k požární odolnosti konstrukčních prvků, Nezpěňující ochrana ocelových prvků, ČSNI, Praha 2010.
- [5.18] ČSN P ENV 13381-4: Zkušební metody pro stanovení příspěvku k požární odolnosti konstrukčních prvků, Zpěňující ochrana ocelových prvků, ČSNI, Praha 2010.
- [5.19] ČSN EN 1992-1-1, Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, ČNI 2006.
- [5.20] 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.
- [5.21] BS 8110-1 Structural use of concrete. Code of practice for design and construction, BSI, London, 1997.
- [5.22] 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.
- [5.23] ČSN EN 1993-1-8, Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků, ČNI, Praha, 2006.
- [5.24] Volba rozměrů přípoje čelní deskou, Access-steel document SN013a Volba rozměrů přípoje deskou na stojině, Access-steel document SN016a, www.access-steel.com.
- [5.25] 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.
- [5.26] 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.
- [5.27] Lawson,R.M., Enhancement of fire resistance of beams by beam to column connections, The Steel Construction Institute, 1990.
- [5.28] ČSN EN 1363-1: Zkoušení požární odolnosti, Základní požadavky, ČSNI, Praha 2000.
- [5.29] 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 1365-4:1999 Sloupy, ČSNI, Praha 2000.

Ke kapitole 6

- [6.1] URL: www.arcelormittal.com/sections.
- [6.2] ČSN EN 1991-1-2, Zatížení konstrukcí – Část 1.2: Zatížení konstrukcí vystavených účinku požáru, ČNI, Praha 2004.

- [6.3] ČSN EN 1993-1-2, Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1.2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru, ČNI, Praha 2006.
- [6.4] ČSN ENV 1994-1-2, Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí – Část 1.2: Navrhování konstrukcí na účinky požáru, ČNI, Praha 1996.
- [6.5] ČSN EN 1994-1-2, Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí – Část 1.2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru, ČNI, Praha 2006.
- [6.6] ČSN EN 1990, Zásady navrhování konstrukcí, ČNI, Praha 2004.
- [6.7] ČSN EN 1993-1-1, Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1.1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, ČNI, Praha 2006.
- [6.8] ČSN EN 1992-1-1, Navrhování betonových konstrukcí - Část 1.1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, ČNI, Praha 2006.
- [6.9] Wald, F. a kol., Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí, Vydavatelství ČVUT, Praha, 2005, 336 s., ISBN 80-01-03157-8.

Ke kapitole 7

- [7.1] ČSN EN 1991-1-2 Zatížení staveb, Část 1.2 Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru, ČNI Praha, 2004.
- [7.2] ČSN EN 1993-1-2 Navrhování ocelových konstrukcí, Část 1.2 Navrhování konstrukcí na účinky požáru, ČNI Praha, 2006.
- [7.3] Buchanan A.H., Structural design for fire safety, Wiley, New Zealand, 2002.
- [7.4] DIFISEK, Dissemination of Structural Fire Safety Engineering Knowledge, zpracoval Arcelor, TNO, CTICM, Labein, Ruukki, University of Hannover.
- [7.5] Franssen J.M., Zaharia R., Design of Steel Structures Subjected to Fire, Background and Design Guide to Eurocode 3, University Liège, 2005.
- [7.6] Sokol Z., Wald F., Ocelové konstrukce v ČSN EN 1993-1-2. In Navrhování konstrukcí na účinky požáru podle evropských norem. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2007, s. 49-68. ISBN 978-80-01-03580-1.
- [7.7] Wald a kol., Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí, ČVUT Praha, 2005.
- [7.8] Sokol, Z.: Předpověď teploty sloupu při lokálnímu požáru. In Technické listy 2008 - díl 3. Praha: CIDEAS-Centrum integrovaného navrhování progresivních stavebních konstrukcí, 2009, díl 3, s. 59-60. ISBN 978-80-01-04458-2.
- [7.9] Sokol, Z. - Wald, F. - Kallerová, P. - Bonnet, N.: Column Behaviour during Localised Fire Test. In Proceedings of the Fifth International Conference Structures in Fire. Singapore: Nanyang Technological University, 2008, p. 256-263. ISBN 978-981-08-0767-2.

Ke kapitole 8

- [8.1] ČSN EN 1995-1-1 (Eurokód 5): Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, ČNI, Praha 2006.
- [8.2] ČSN EN 1995-1-2 (Eurokód 5): Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru, ČNI, Praha 2006.

Ke kapitole 9

- [9.1] ČSN EN 1995-1-2 (Eurokód 5): Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru, ČNI, Praha 2006.

Monografie seznamuje s možnostmi modelování konstrukcí s jednoduchými nástroji, které jsou volně přístupné na internetu, i s programy, které podporují jednoduché i pokročilé postupy návrhu.

Rozvoj experimentálního poznání, výpočtových programů a analytických a diskrétních modelů v devadesátých letech minulého století přináší v reálném čase při projektování dostatečně přesné ověření požární odolnosti stavebních nosných konstrukcí výpočtem. Statické výpočty vychází z exaktních kontrolovatelných vstupů a řešení je opakovatelné. Samostatně se modeluje/dokládá teplota v požárním úseku, přestup a rozvoj tepla v konstrukci a chování nosné konstrukce vystavené vysokým teplotám. V současnosti se ve výpočtech přechází od ověřování odolnosti prvků, které vychází ze znalostí z chování při experimentech a z namáhání za běžné teploty, na ověřování celé konstrukce, které umožňuje zahrnout chování celé konstrukce vystavené požáru. Toto pokročilé řešení vyžaduje analýzu konstrukce za zvýšené teploty a nabízí řádově přesnější ověření a ekonomičtější návrh.

Software ke stanovení požární odolnosti nosných konstrukcí

Wald F., Angelis J., Bednář J., Dvořák O., Hejduk P., Horová K., Kuklík P., Jána T., Procházka J., Sokol Z., Starý J., Štefan R.

Tisk Česká technika - nakladatelství ČVUT v Praze

Leden 2011

ISBN 978-80-01-04746-0

250 výtisků, 134 stran, 11 tabulek, 107 obrázků

