

Monografie vznikla při práci na projektu MACS⁺
Membránové působení při požárním návrhu ocelobetonové stropní desky
s plnostěnnými a prolamovanými nosníky, č. RFS2-CT-2011-00025

MEMBRÁNOVÉ PŮSOBENÍ
OCELOBETONOVÉ KONSTRUKCE
VYSTAVENÉ POŽÁRU
METODIKA NÁVRHU

Bednář J., Dvořáková E., Wald F., Vassart O., Zhao B.
V Praze červen 2012



Membránové působení ocelobetonové konstrukce vystavené požáru
Metodika návrhu
Bednář J., Dvořáková E., Wald F., Vassart O., Zhao B.

Monografie vznikla s podporou projektu MACS⁺,
Membránové působení při požárním návrhu ocelobetonové stropní desky
s plnostěnnými a prolamovanými nosníky, č. RFS2-CT-2011-00025

Tisk Česká technika - nakladatelství ČVUT v Praze
Červen 2012
ISBN 978-80-01-05063-7
200 výtisků, 84 stran, 29 tabulek, 43 obrázků

Obsah

PŘEDMLUVA	i
SHRNUTÍ	ii
1 ÚVOD	6
2 PODKLADY NÁVRHU	
2.1 Požární bezpečnost	8
2.2 Konstrukce	8
2.2.1 Styčníky	15
2.2.2 Stropní deska a nosníky	16
2.3 Rozdělení stropní konstrukce	13
2.4 Kombinace a zatížení	13
2.5 Vystavení požáru	15
2.5.1 Požární odolnost	15
2.5.2 Parametrická teplotní křivka	16
3 POŽADAVKY NA KONSTRUKČNÍ PRVKY	
3.1 Dělení stropu na části	19
3.2 Stropní deska a nosníky	20
3.2.1 Výpočet teploty desky	21
3.2.2 Výpočet teploty nosníků	22
3.2.3 Požární návrh desky	23
3.2.4 Požární návrh obvodového nosníku	25
3.3 Detaily vyztužení	25
3.3.1 Výztužná síť	25
3.3.2 Okraje	26
3.4 Návrh nespřažených obvodových nosníků	28
3.5 Sloupy	28
3.6 Přípoje	29
3.6.1 Klasifikace	29
3.6.2 Přípoj čelní deskou	30
3.6.3 Přípoj deskou na stojně	31
3.6.4 Přípoj úhelníky na stojně	31
3.6.5 Požární ochrana	32
3.7 Prostorová tuhost	32
4 POŽÁRNÍ ÚSEKY	
4.1 Nosníky nad požárně dělícími stěnami	33
4.2 Návrh nosníku	34
4.3 Dělení na požární úseky	34
5 ŘEŠENÝ PŘÍKLAD	
5.1 Požární návrh konstrukce stropu	40
5.1.1 Oblast B	41
5.1.2 Oblast A	56
5.1.3 Oblast E	61
5.1.4 Oblast D	74
5.2 Výztuž	82
5.3 Požární ochrana sloupů	82
LITERATURA	83

Předmluva

Monografie je součástí projektu, který byl podpořen grantem EU Research Fund for Coal and Steel. Příspěvek vyjadřuje pouze názor autorů a Komise není zodpovědná za použití zde uvedených informací. Publikace je založena na příspěvcích zejména těchto projektů:

- RFCS projekt FICEB+
- RFCS projekt COSSFIRE
- projekt Leonardo Da Vinci 'Fire Resistance Assessment of Partially Protected Composite Floors' (FRACOF).
- projekt s podporou ArcelorMittal a CTICM s příspěvkem CTICM a SCI.

Jednoduchý návrhový model byl připraven na podkladě výsledků zkoušek na konstrukci ocelobetonového skeletu budovy v Cardington, Building Research Establishment's ve Velké Británii. Základy poznatků byla připravena v konci padesátých let minulého století a navazujících studií při namáhání za běžné teploty. První verze modelu byla publikována v SCI Design Guide P288 'Fire Safe Design: A new approach to Multi-story Steel Framed Buildings', 2. vyd.

Využití modelu pro požární návrh je důkladně ověřeno experimenty, ale relativně nové.

Do programového nástroje byl jednoduchý návrhový model připraven na SCI v 2000 a inovován v 2006 za přispění:

- Mary Brettle, The Steel Construction Institute
- Ian Sims, The Steel Construction Institute
- Louis Guy Cajot, ArcelorMittal
- Renata Obiala, ArcelorMittal
- Gisèle Bihina, CTICM
- Mohsen Roosefid, CTICM

Monografie byla připravena pod vedením kolegů Dr. Bin Zhao ze CTICM Paříži a Dr. Oliviere Vassart z ArcelorMittal v Esch a lokalizována na podmínky České republiky Ing. Evou Dvořákovou, Ing. Janem Bednářem a prof. Ing. Františkem Waldem, CSc. z Českého vysokého učení technického v Praze. Recenze monografie se laskavě ujali plk. Ing. Rudolf Kaiser, Ing. Jan Beneš, Ph.D. a Ing. Petra Studecká, Ph.D.

František Wald
V Paříži, červen 2012

Shrnutí

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

Publikace provádí výpočtem požární odolnosti ocelobetonového konstrukce stropu nad plnostěnnými i prolamovanými nosníky pomocí nástroje, který byl vyvinut na CTICM. Využívá se jednoduchého návrhového modelu, který byl připraven na SCI na základě pozorování a vyhodnocení programu požárních zkoušek velkého rozsahu v Cardingtonu BRE 1995 až 2003. Model a konstrukční řešení byly upraveny a experimentálně ověřeny tak, aby platily pro evropské návrhové normy EN 1991-1-2, EN1993-1-2 a EN1994-1-2. Předpoklady výpočtů jsou konzervativní a řešení je omezeno na konstrukce, které jsou podobné zkoušeným, tj. ocelová prutová konstrukce s ocelobetonovými stropy. Při modelování chování celých stropů se určí, které prvky mohou při zachování požadovaného stupně požární odolnosti zůstat nechráněné a které je třeba chránit.

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

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

1 ÚVOD

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

Pro vícepodlažní budovy se v národních předpisech pro stavby požaduje požární odolnost nosné konstrukce R15 až R90. Požární odolnost lze stanovit pomocí požárních zkoušek prvků podle zkušebních norem nebo výpočtem podle platných návrhových norem, v tomto případě zejména ČSN EN1991-1-2 [4], ČSN EN1993-1-2 [5] a ČSN EN1994-1-2 [6]. Při požární zkoušce samostatného a nechráněného ocelového nosníku průřezu I nebo H se dosahuje požární odolnosti 15 až 20 min. Tradičně se ocelové desky a nosníky konstrukce chrání spřažením s betonovou částí konstrukce, požárně odolnými deskami, nástřiky nebo zpěňujícími nátěry.

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

Návrhové postupy v publikaci jsou připraveny i pro pokročilé modely požáru, lze je ale použít i pro modely požáru pomocí nominální normové křivky, jak bylo doloženo při zkoušce stropu ve skutečném měřítku v rámci projektu MACS. 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 MACS umožňuje modelovat požár pomocí nominální normové teplotní křivky i parametrické teplotní křivky podle přílohy A normy ČSN EN1991-1-2, kdy se uvažuje s velikostí požárního úseku, velikostí otvorů a požárním zatížením. Další teplotní křivku lze načíst z textového souboru, který je výstupem jiného modelu rozvoje teploty plynu v požárním úseku.

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

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



Obrázek 1-1 Zkušební budova v Cardingtonu před betonáží desek



Obrázek 1-2 Pohled na požárně nechráněnou ocelovou konstrukci zkušební budovy v Cardingtonu

2 PODKLADY NÁVRHU

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

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

2.1 Požární bezpečnost

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

byla dosažena požadovaná spolehlivost bezpečnosti osob, hasičů a šíření požáru vně požárního úseku,

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

2.2 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 [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.

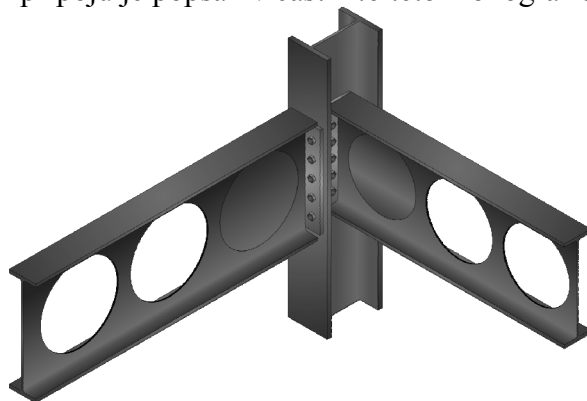
2.2.1 Styčníky

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

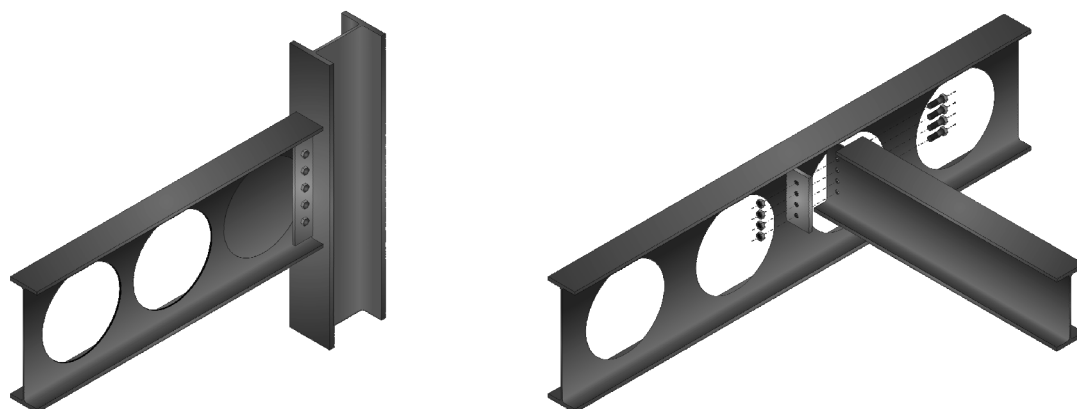
Přípoje nosníku na sloup, které lze považovat za kloubové jsou zejména:

- krátkou čelní deskou, viz obr. 2-1,
- deskou na stojině, viz obr. 2-2,
- úhelníky na stojině, viz obr. 2-3

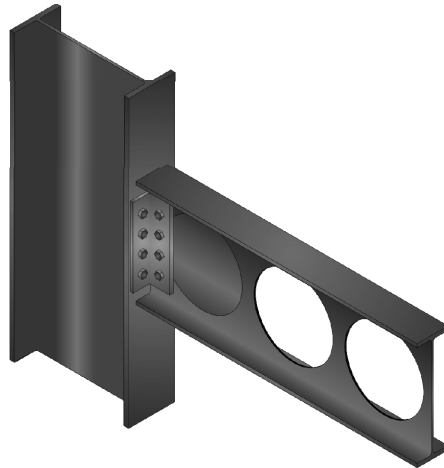
Návrhu částí kloubových přípojí je popsán v části 4.6 této monografie.



Obrázek 2-1 Příklad přípoje krátkou čelní deskou



Obrázek 2-2 Příklad přípoje deskou na stojině



Obrázek 2-3 Příklad přípoje úhelníky na stojně

2.2.2 Stropní deska a nosníky

Výpočet lze použít pro trapézový ocelový plech do výšky 80 mm s tloušťkou betonové desky nad ocelovým plechem od 60 do 90 mm. Požární odolnost ocelového plechu, který při požáru dosahuje teploty plynu a separuje se od betonu desky, se při návrhu zanedbává. Ocelový plech účinně brání otryskávání betonu na dolní straně desky. Předpokládaná stropní konstrukce je znázorněna na obr. 2-4.

Výpočet lze použít pro izotropní 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 MACS lze použít pouze pro jednu svařovanou výztužnou síť, tj. nelze jej využít pro více než jednu vrstvu výztuže. Výztuž v žebrech ocelobetonové desky, která zajišťuje ohybovou tuhost desky při požáru, není při tomto návrhu požadována.

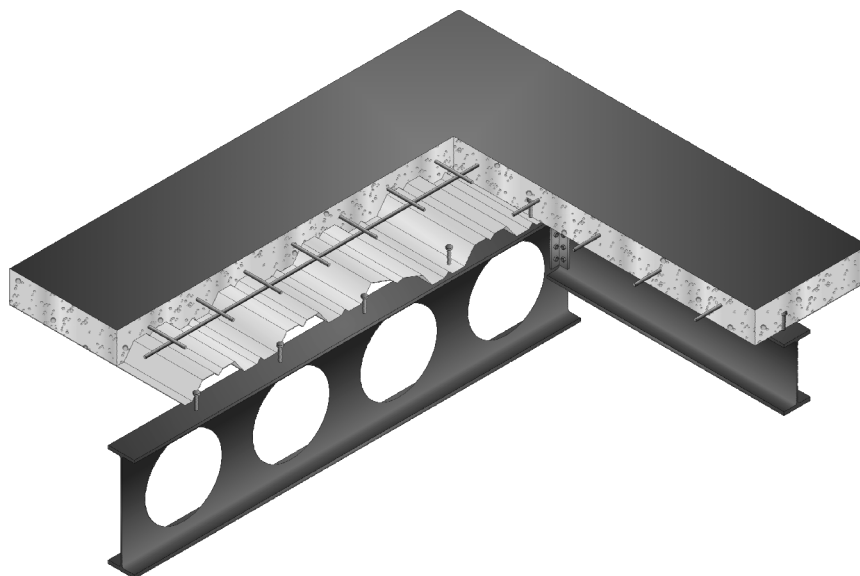
Software zahrnuje kategorii A i B běžně vyráběných sítí podle národní norem VB [11], a [12], viz Tab. 2-1, a sítě podle francouzských národních norem [13] a [14], viz tab. 2-2. Dále lze v softwaru MACS počítat i s uživatelsky definovanou velikostí svařované sítě podle jednotlivých národních požadavků.

Tabulka 2-1 Sítě na britském trhu podle BS 4483 [11],

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

Tabulka 2-2 Sítě na francouzském trhu

Druh sítě	Oka (mm)	Hmotnost (kg/m ²)	Podélné pruty		Příčné pruty	
			Průměr (mm)	Plocha (mm ² /m)	Průměr (mm)	Plocha (mm ² /m)
ST 20	150×300	2.487	6	189	7	128
ST 25	150×300	3.020	7	257	7	128
ST 30	100×300	3.226	6	283	7	128
ST 35	100×300	6.16	7	385	7	128
ST 50	100×300	3.05	8	503	8	168
ST 60	100×300	3.73	9	636	9	254
ST 15 C	200×200	2.22	6	142	6	142
ST 25 C	150×150	4.03	7	257	7	257
ST 40 C	100×100	6.04	7	385	7	385
ST 50 C	100×100	7.90	8	503	8	503
ST 60 C	100×100	9.98	9	636	9	636



Obrázek 2-4 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 MACS umožňuje uživateli výběr ze seznamu otevřených průřezů, které jsou dostupné na britském, evropském a americkém trhu.

2.3 Rozdělení stropní konstrukce na oblasti

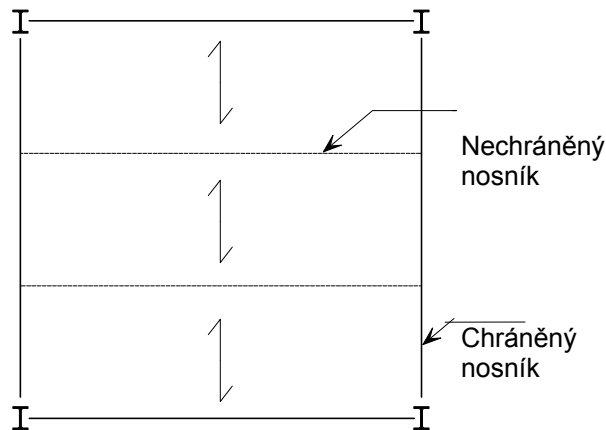
Pro výpočet se stropní deska dělí do několika oblastí, jak je vidět na obr. 2-5. Nosníky na okraji oblasti jsou navrženy požárně chráněny, aby dosáhly takové požární odolnosti, která se požaduje pro stropní desku.

Oblast ohraničená požárně chráněnými nosníky by měla splňovat následující podmínky:

- být obdélníková,
- být uložena na všech stranách na nosníky,
- uvnitř oblasti stropnice navrženy jen v jednom směru,
- sloupy by se neměly nacházet 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 MACS. Vhodná velikost a rozmístění nechráněných stropních nosníků přispěje k únosnosti stropní konstrukce v požární situaci.

Příklad jednoduché stropní konstrukce je ukázán na obr. 2-5.



Obr. 2-5 Příklad navrhované oblasti stropní konstrukce

2.4 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 EN1990, viz [15]. Pro nepříznivé účinky stálého zatížení, bez předepjetí, se uvažuje kombinace zatížení:

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

kde

$G_{k,j,sup}$	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. 2-3. Pro rovnoměrně rozdělené zatížení pro přemístitelné příčky je uvedeno v čl. 6.3.1.2(8) normy ČSN EN1991-1-1 [16]:

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

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

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

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

Doporučené hodnoty pro dané proměnné zatížení na strop je uvedeno v tab. 6.2 normy ČSN EN 1991-1-1. Hodnoty jsou upřesněny v národních přílohách. Tab. 2-4 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.

Tabulka 2-3 Hodnoty součinitele ψ doporučené v národních přílohách

Druh provozu	Pro Českou republiku		Pro Velkou Británii		Pro Francii	
	ψ_1	ψ_2	ψ_1	ψ_2	ψ_1	ψ_2
Domácnosti, kanceláře a dopravní plochy kde: 30 kN < hmotnost vozidla \leq 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.

Tabulka 2-4 Hodnoty zatížení v kancelářích doporučené v národních přílohách

Kategorie oblasti	Pro Českou republiku		Pro Velkou Británii		Pro Francii	
	q_k (kN/m ²)	Q_k (kN)	q_k (kN/m ²)	Q_k (kN)	q_k (kN/m ²)	Q_k (kN)
B – kancelářské plochy	3.0	4.5	2.5* nebo 3.0**	2.7	3.5 – 5.0	15.0

* Nadzemní podlaží

**Přízemní nebo podzemní podlaží

2.5 Vystavení požáru

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

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

2.5.1 Požární odolnost

Požární zkoušky v Cardingtonu simulovaly skutečný požár hořením hranic dřeva. Pro model požáru pomocí nominální normové teplotní křivky bylo řešení ověřeno numericky. Požadované doby požární odolnosti prvků konstrukce jsou stanoveny v požárně technickém řešení objektu. Hodnoty v některých národních předpisech jsou uvedeny v tab. 2-5 a 2-6.

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

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

Tabulka 2-5 Požadavky na požární odolnost dokumentu B pro Anglii a Wales

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

Tabulka 2-6 Shrnutí požadavků požární odolnosti ve francouzských národních předpisech

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

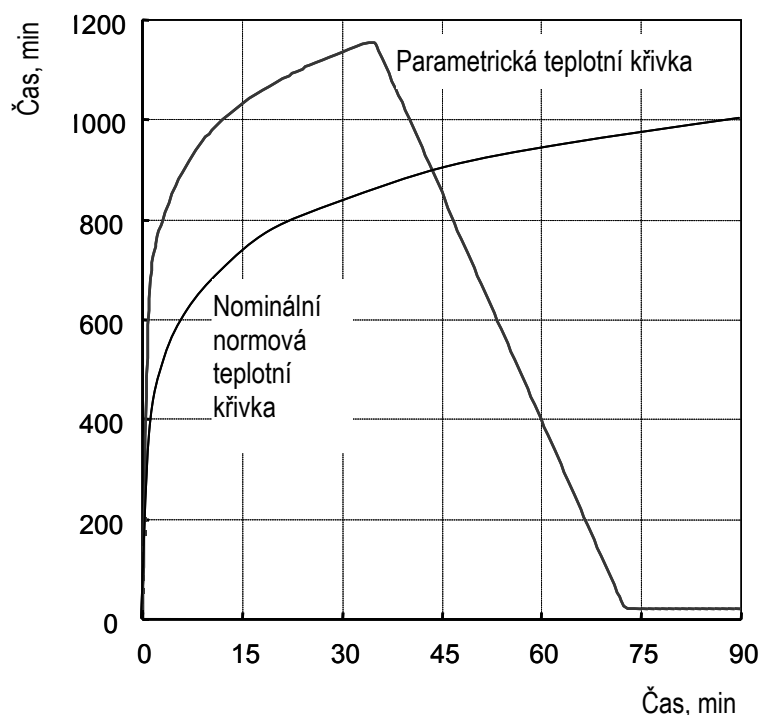
2.5.2 Parametrická teplotní křivka

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

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

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

Nominální normová a parametrická teplotní křivka jsou znázorněny na obr. 2-6.



Obr. 2-6 Porovnání příkladu parametrické a nominální normové teplotní křivky

3 Požadavky na konstrukční prvky

3.1 Dělení stropu na části

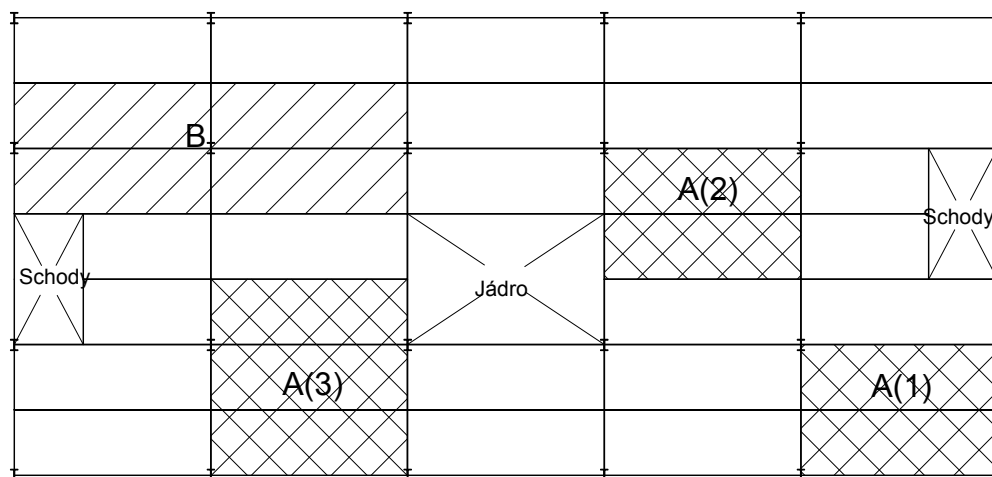
Pro výpočet požární odolnosti lze konstrukci stropu rozdělit na části, viz Kapitola 2.3.

Rozdělení podlaží na části je ukázáno na obr. 3-1. Požární odolnost části konstrukce stropu, kterou jsou označeny 'A', lze stanovit programem MACS. Pro části označené 'B' program nelze použít, protože obsahuje sloup a nosníky v oblasti nejsou na celé rozpětí ve stejném směru.

Jednoduchá oblast konstrukce stropu na obr. 3-2 ukazuje rozpětí nosníků, které jsou navrženy programem MACS. 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 MACS 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 konstrukce stropu požadovanou národními předpisy. Kritická teplota a stupeň využití pro jednotlivý obvodový nosník se udá pro strany A až D požární oblasti, viz obr. 3-2.

V Kapitole 2.2.2 je uvedeno, že programu MACS 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. 3-3, 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

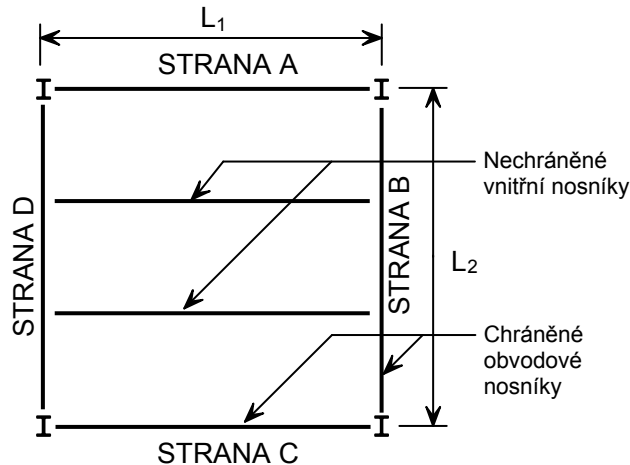
A: Oblasti, které lze navrhnout programem MACS

B: program MACS nelze využít

A(1) bez požadavku na dobu požární odolnosti

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

Obrázek 3-1 Oblasti konstrukce stropu vhodné k ověření jednoduchou metodou



Obrázek 3-2 Určení rozponu 1 (L_1) a 2 (L_2) umístění nosníku při požadované požární odolnosti 60 min

3.2 Stropní deska a nosníky

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

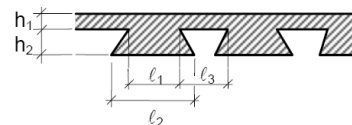
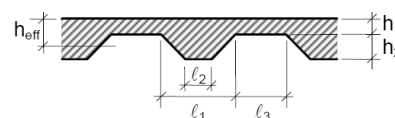
3.2.1 Výpočet teploty stropní desky

Rozdělení teploty v ocelobetonové desce lze pro přesný tvar trapézového plechu stanovit výpočtem pomocí teplotních diferencí nebo konečných prvků při respektování principů a pravidel v čl. 4.4.2 v EN1994-1-2 [6].

Rozdělení teploty v požárně nechráněné ocelobetonové desce lze při vystavení nominální normové teplotní křivce alternativně určit pomocí hodnot v **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**, která byla vypracována podle v EN 1992-1-2 [17] a národních přílohách pro účinnou tloušťku desky h_{eff} , která se stanoví podle D. 4 v příloze k EN1994-1-2 [6].

Tabulka 0-1 Rozdělení teplot v desce pro h_{eff} , max = 150 mm při vystavení teplotě podle nominální normové teplotní křivky 30 až 180 min

Vzdálenost x [mm]	Teplota betonové desky θ_c [°C]				
	30 min	60 min	90 min	120 min	180 min
2.5	675	831	912	967	1 042
10	513	684	777	842	932
20	363	531	629	698	797
30	260	418	514	583	685
40	187	331	423	491	591
50	135	263	349	415	514
60	101	209	290	352	448
70	76	166	241	300	392
80	59	133	200	256	344
90	46	108	166	218	303
100	37	89	138	186	267
110	31	73	117	159	236
120	27	61	100	137	209
130	24	51	86	119	186
140	23	44	74	105	166
150	22	38	65	94	149



$$\Phi = \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \frac{2h_2}{l_1 + l_3 - l_2}$$

Z rozdělení teploty v tab. 3-1 lze stanovit tyto tři parametry:

- θ_2 : teplotu dolní líce desky vystavené požáru;
- θ_1 : teplotu horní líce desky, která není požáru vystavena;
- θ_s : teplotu desky v místě výztuže.

Pro nominální normovou teplotní křivku se pro stanovení teplot θ_1 , θ_2 , a θ_s použije pro hodnotu x v tab. 3-1:

- pro θ_2 bude $x = 2,5$ mm;
- pro θ_1 bude $x = h_{\text{eff}}$;
- a pro θ_s bude $x = h_1 - d + 10 \Phi$

kde d je vzdálenost osy výztuže a horního líce desky, viz obr. 3-3, a Φ je v tab. 3-1.

3.2.2 Výpočet teploty nechráněných nosníků

Teplota požárně nechráněných ocelových nosníků teplotě plynů podle nominální teplotní křivky se stanoví podle čl. 4.3.4.2.2 normy EN 1994-1-2. V tab. 3-2 jsou teploty vypočtené pro příslušné doby vystavení teplotě pro jednotlivé součinitele průřezu požárně nechráněných nosníků, které jsou již opraveny o příslušné součinitele zastínění.

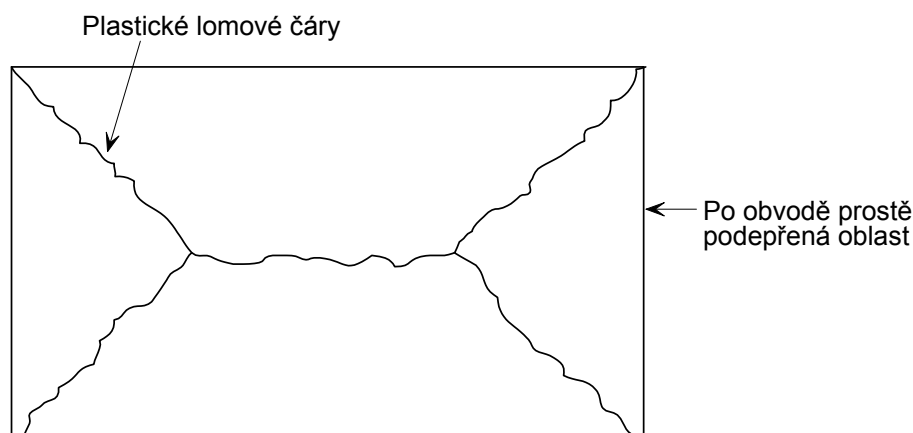
Tabulka 0-2 Teplota požárně nechráněného ocelového nosníku při vystavení teplotě podle nominální normové teplotní křivky 30 až 180 min

Výsledný součinitel průřezu $k_{sh} \left(\frac{A_r}{V_i} \right)$ [m ⁻¹]	Teplota ocelového průřezu θ_a [°C]				
	30 min	60 min	90 min	120 min	180 min
20	432	736	942	1 030	1 101
30	555	835	987	1 039	1 104
40	637	901	995	1 042	1 106
50	691	923	997	1 043	1 106
60	722	931	999	1 044	1 107
70	734	934	1 000	1 045	1 107
80	742	936	1 001	1 046	1 108
90	754	937	1 001	1 046	1 108
100	768	938	1 002	1 046	1 108
110	782	939	1 002	1 047	1 108
120	793	939	1 003	1 047	1 108
130	802	940	1 003	1 047	1 109
140	810	940	1 003	1 047	1 109
150	815	941	1 003	1 047	1 109
200	829	942	1 004	1 048	1 109
500	838	944	1 005	1 048	1 109

3.2.3 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 konstrukce stropu nespojitá. Zatížení je přenášeno ohybovým působením ocelobetonové desky uvnitř oblasti konstrukce stropu. Stanoví se pro daný tvar mechanismu plastických lomových čar, viz Obr 3-3.



Obr. 3-3 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. 3-4. Velikost průhybu se ve výpočtu uvažuje včetně přírůstku od teplotního zakřivení a napětí ve výztuži

$$w = \frac{\alpha(T_2 - T_1)l^2}{19.2h_{eff}} + \sqrt{\left(\frac{0.5f_y}{E_a}\right) \frac{3L^2}{8}}$$

Průhyb se omezuje deformací výztuže výrazem

$$w \leq \frac{\alpha(T_2 - T_1)l^2}{19.2h_{eff}} + \frac{l}{30}$$

kde

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

L delší rozměr stropní návrhové zóny

l kratší rozměr stropní návrhové zóny

f_y mez luzu ve výztužné síti

E modul pružnosti ocele

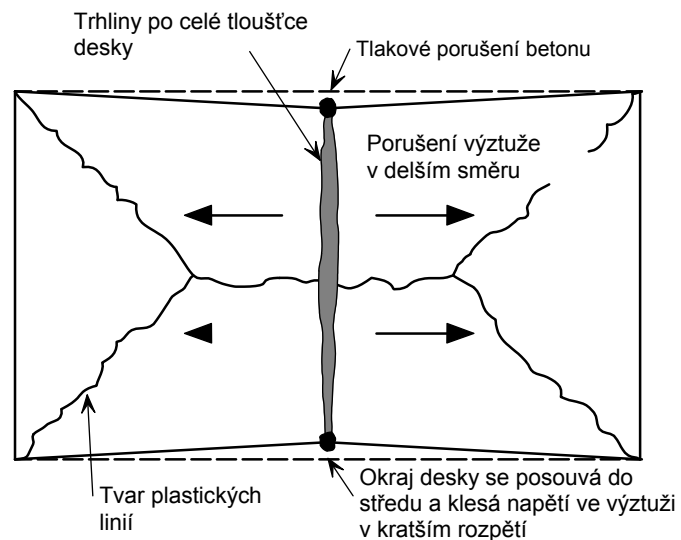
h tloušťka ocelobetonové desky

α koeficient tepelné roztažnosti betonu.

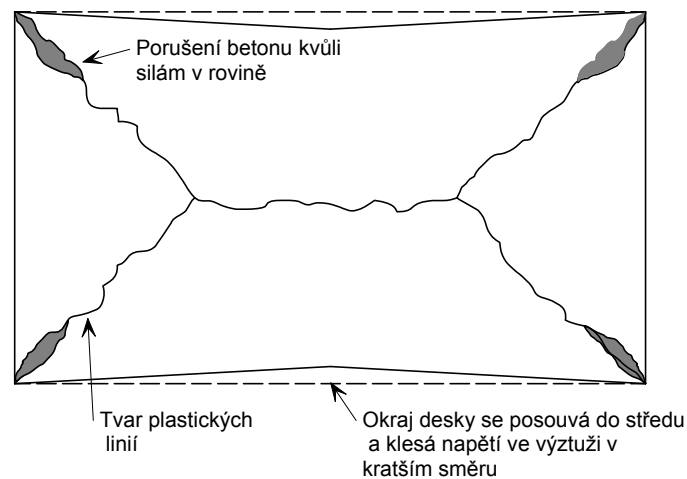
Zkoušky prokázaly, že tato stanovená velikost průhybu bude menší než průhyb při ztrátě únosnosti desky. Předpovězena odolnost je konzervativní.

Celkový průhyb desky se omezuje dále výrazem:

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



(a) Porušení výztuže



(b) Rozdrcení betonu

Obrázek 3-4 Druhy porušení oblasti stropní konstrukce

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

Celistvost a izolační schopnost ocelobetonové desky

Program MACS⁺ 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 ČSN 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 3.3 monografie.

3.2.4 Požární návrh obvodových nosníků

Obvodové nosníky oblasti, na obr. 3-2 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 MACS⁺ počítá návrhový účinek zatížení na obvodové nosníky, momentovou únosnost nosníku za běžné teploty a stupeň využití, podle čl. 4.2.4 v normě ČSN EN 1993-1-2:

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

kde

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

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

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

Pro obvodový nosník se oblastmi s membránovým působením po obou stranách, se bere nižší hodnota kritické teploty v návrzích přilehlých oblastí. Postup pro obvodový nosník, sdílený dvěma oblastmi s membránovým působením je ukázána na příkladu v Kapitole 5.

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

3.3 Vyztuž

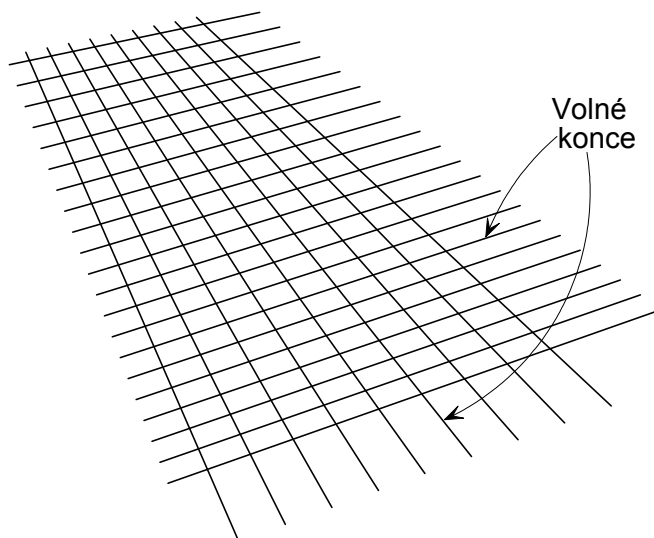
Mez kluzu a tažnost výztuže se určí v souladu s požadavky ČSN EN 10080. Charakteristická mez kluzu výztuže podle ČSN EN 10080 je 400 MPa a 600 MPa. Výztuž musí mít dostatečnou tažnost, aby umožnila vývoj membránového působení. Za dostatečné se uvažuje výztuž třídy B nebo lépe třída C.

V ocelobetonových deskách se výztužné sítě za běžné teploty navrhují na omezení trhlin betonu. Výztužná síť bývá umístěna u povrchu betonu s minimální tloušťkou krycí vrstvy betonu pro požadovanou trvanlivost v souladu s ČSN EN 1992-1-1 [19]. Při požární situaci ovlivní umístění výztuže teplotu výztuže a rameno sil při výpočtu únosnosti v ohybu. Největší odolnosti se dosahuje pro výztuž, která je umístěna 15 mm až 45 mm pod horním povrchem betonové desky. Kapitola 3.3.1 informuje o podrobnostech vyztužení. Další informace, lze získat v ČSN EN 1994-1-1 [9] a ČSN EN 1994-1-2 [6] nebo v literatuře [20].

3.3.1 Výztužné sítě

Výztužné sítě se dodávají o velikosti 4,8 × 2,4 m. Při napojování sítí je třeba zabezpečit dostatečný přesah výztuže. Doporučené délky přesahu jsou uvedeny v kapitole 8.7.5 v ČSN EN 1992-1-1, viz [19], a v tab. 3-3. Minimální délka přesahu výztužné sítě by měla být

250 mm. Optimální návrh je s volnými pruty na koncích, viz obr. 3-5, bez nastavování prutů pro přesah.



Obrázek 3-5 Výztuž s volnými pruty na koncích

Tabulka 3-3 Doporučené přesahy v tahu a kotevní délky pro svařované sítě

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

Poznámky:

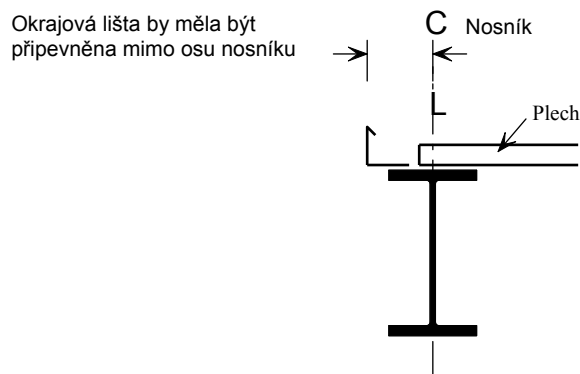
Tato doporučení lze konzervativně využít k návrhu v souladu s ČSN EN 1992-1-1.

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.

3.3.2 Okraje ocelobetonové desky

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

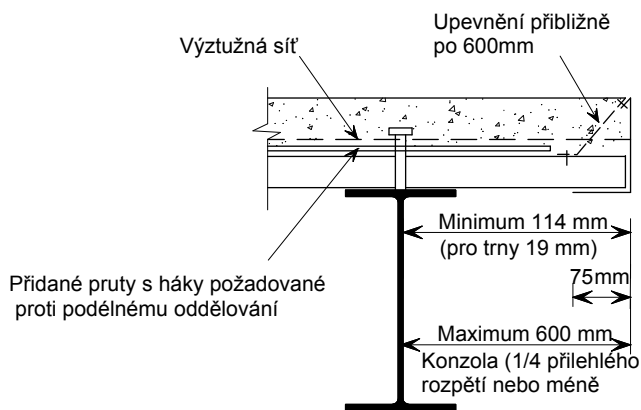


Obrázek 3-6 Okraj ocelobetonové desky

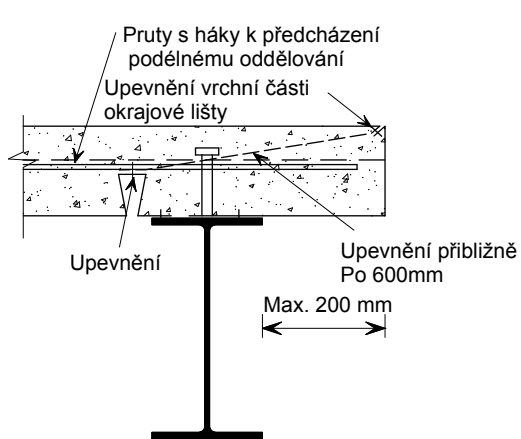
Obvykle je okraj desky tvořen pásy pozinkovaného plechu, který je připevněn k nosníku, viz obr. 3-6. Háky na konci výztužných prutů brání oddělení okraje ocelobetonové desky.

Detaily okraje desky pro oba směry plechu jsou uvedeny na obr. 3-7 Pro žebra desky kolmo k obvodovému nosníku a konzole vyložené na menší vzdálenost lze upevnit pás pozinkovaného plechu podle obr. 3-7(a), konzola větší než 600 mm, v závislosti na tloušťce desky a typu použitého plechu.

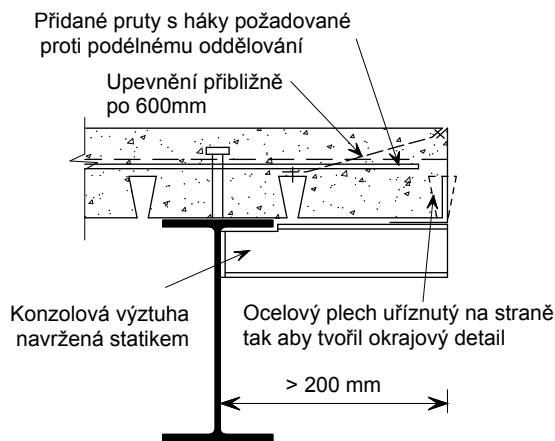
Pro žebra plechu paralelně s okrajovým nosníkem u prefabrikované desky se navrhují malé vzdálenosti a podélné okraje nejsou podporovány obr. 3-7(b). Pro desku delší než 200 mm se přidává mezi nosník a okrajový lem krátký nosník, viz obr. 3-7(c). Tyto krátké nosníky jsou běžně méně jak 3 m od sebe a jsou součástí dodávky hlavní nosné ocelové konstrukce.



a) Běžné zakončení konzoly
(žebra plechu jsou příčně na nosník)



b) Běžný okrajový detail
(žebra plechu jsou rovnoběžně s nosníkem)



c) Vykonzolovaná strana vyztužená odřezkem
(žebra plechu jsou rovnoběžně s nosníkem)

Obrázek 3-7 Ukončení ocelobetonové desky na nosníku

3.4 Návrh nespřažených obvodových nosníků

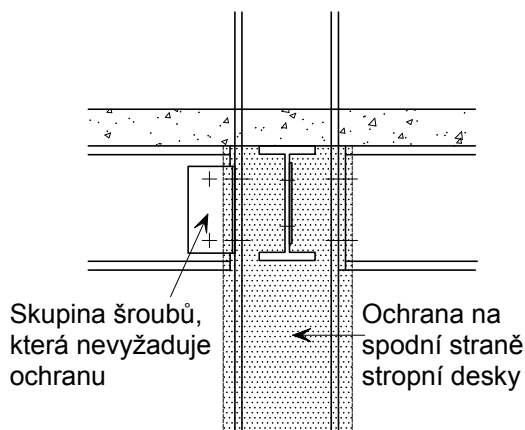
Nosníky na okrajích stropní desky lze navrhnout jako nespřažené. Cena příčné smykové výztuže bývá větší než cena vyššího nosníku, který není spřažený. Stropní deska musí být vhodně ukotvena k okrajovému nosníku na okraji oblasti s membránovým působením. Pro návrh za zvýšené teplotě se doporučuje, aby spřahovací prvky byly po 300 mm a výztužné tyče s háky umístěny okolo spřahovacích prvků, viz Kap. 3.3.2.

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

3.5 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. 3-8.

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



Obrázek 3-8 Požární ochrana u sloupu

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

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

3.6 Přípoje

Ve skeletech se předpokládá využití kloubových přípojí podle Kap. 2.2.1 jako jsou přípoj čelní deskou, deskou na stojině a úhelníky, viz [25].

Ocelobetonové prutové konstrukce budovy v Cardingtonu byly navrženy se spoji na sloup krátkou čelní deskou a se spoji stropnic na průvlaky deskou na stojině. Částečné porušení některých spojů bylo pozorováno v průběhu chladnoucí fáze zkoušek bez ztráty nosné funkce konstrukce. Ocelobetonové působení přípojí zvýšilo i jejich smykovou únosnost zachováním celistvosti spoje.

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

3.6.1 Klasifikace styčnicků

Styčnický mají splňovat předpoklady návrhového modelu. V ČSN EN1993-1-8 se podle tuhosti styčnický dělí na:

- Kloubové styčnický
 - Styčnický přenesse vnitřní smykové síly bez přenesení významných momentů.
- Polotuhé styčnický

- Styčnick nesplňuje kritéria kloubového ani tuhého spojení
- Tuhé styčníky
 - Styčnick poskytuje plnou spojitost.

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

V tomto výpočtu se předpokládá použití kloubových styčnicků, viz Kapitola 2.2.1. 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 AccessSteel, viz [24].

3.6.2 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.

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

- skupina šroubů v čelní desce*
- skupina šroubů ve sloupu/průvlaku
- čelní deska ve smyku v plném průřezu
- čelní deska ve smyku v oslabeném průřezu
- čelní deska ve vytržení skupiny šroubů
- u širokých čelních desek čelní desky v ohybu
- stojina nosníku ve smyku*.

Pro úplnost se ověřují všechny výše uvedené únosnosti. Posudky označené * většinou rozhodují. Pokyny pro splnění požadavků ČSN EN1993-1-8 jsou rozpracovány a shrnuty v textu Access-Steel, viz [26].

Informace o stanovení odolnosti připevnění čelních desek lze nalézt v textu doporučení SN015, viz [26].

3.6.3 Přípoj deskou na stojině

V přípoji deskou na stojině lze navrhnout jednu nebo dvě svislé řady šroubů, viz texty SN014 [26], 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 EN1993-1-8 jsou rozpracovány a shrnuty v textu SN018, viz [27], v materiálu AccessSteel, viz [27].

3.6.4 Přípoj úhelníky na stojině

Přípoje úhelníky na stojině nosníků nebyly při požárních experimentech na objektu v Cardingtonu ověřeny. Řada experimentů s ocelovými a ocelobetonovými přípoji prokázala jejich dobrou požární odolnost, viz SCI [28]. 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 nespřažené 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 EN1993-1-8 udává maximální a minimální velikost okraje a roztečí mezi šrouby.

3.6.5 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.

3.7 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 dělicích konstrukcích musí mít odpovídající požární odolnost.

4 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.

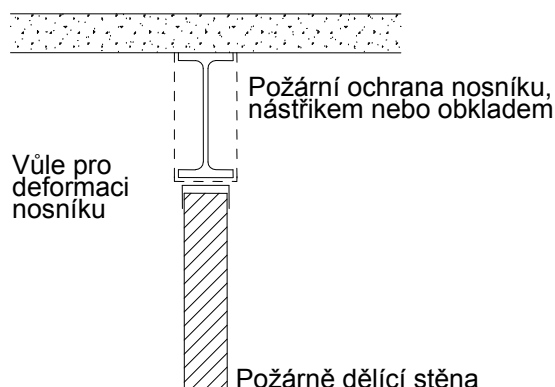
Izolační funkce popisuje schopnost konstrukce zamezit přestupu tepla ze strany vystavené požáru na stranu požáru nevystavenou.

4.1 Nosníky nad požárně dělícími 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. 4-1, které jsou ohřívány z jedné strany, se neprohýbají do takové míry, aby porušily celistvost požárně dělících konstrukcí. Pro volnou tepelnou deformaci nosníku postačují běžné vůle. Je třeba splnit i požadavky izolační a je nutná požární ochrana po dobu 30 nebo 60 min. Všechny prostupy a dutiny musí být požárně uzavřeny. Nosníky opatřené zpěňujícím nátěrem se opatřují dodatečnou izolací, jinak teplota na straně odvrácené od požáru přesáhne požadované meze, viz [29] a [30].

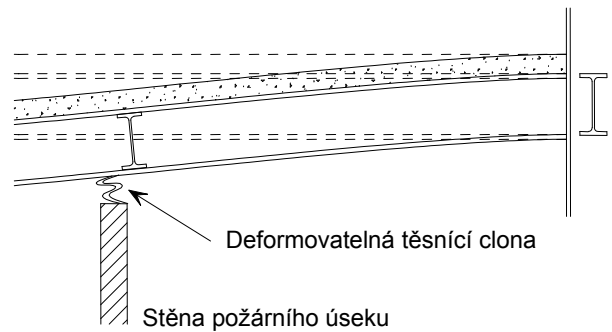


Obrázek 4-1 Nosník nad požárně dělící stěnou

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 požární odolnost konstrukce 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. 4-2. Požárně dělicí konstrukce mají dosahovat až ke stropu požárního úseku.



Obrázek 4-2 Deformovatelná těsnící clona požárně dělicí stěny

4.2 Návrh nosníku

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

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

Volnost tepelné deformace nosníku lze zajistit pohyblivým přípojem. Pro větší deformace za požáru se navrhují deformovatelné těsnící clony, viz obr. 4-2.

4.3 Dělení na požární úseky

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

Nechráněný ocelový nosník, který je v ose požárně dělicí stěny, většinou nesplňuje izolační požadavky. Proto je doporučeno, aby všechny nosníky nacházející se na hranici požárního úseku byly opatřeny dodatečnou požární ochranou, viz obr. 4-1.

5 ŘEŠENÝ PŘÍKLAD

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

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 řešené konstrukce jsou na obr. 5-3 až 5-6.

Obr. 5-3 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:

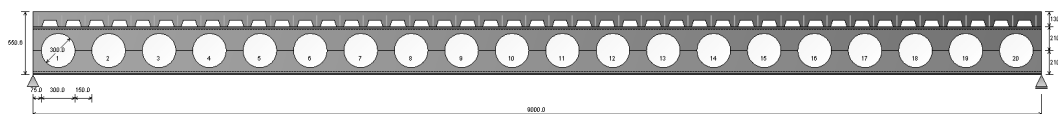
- užitné provozní zatížení: 4 kN/m^2
- užitné zatížení lehkými příčkami: 1 kN/m^2
- stálé zatížení: $0,7 \text{ kN/m}^2$
- vlastní tíha nosníku: $0,5 \text{ kN/m}^2$.

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

Výsledek návrhu konstrukce při běžné teplotě je zobrazen na obr. 5-3. Vnitřní nosníky jsou spřažené. Spřažení nosníků je uvedeno v tab. 5-1.

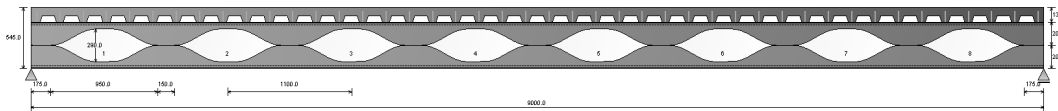
Na obr. 5-4 je zobrazen řez spřaženým stropem. Betonová deska je z běžného betonu C25/30, výška desky je 130 mm. Deska je vyztužena sítí ST 15C, mez kluzu výztuže je 500 MPa. Návrh při běžné teplotě vyhovuje. Pokud takto navržená konstrukce nebude vyhovovat při požáru, lze zvětšit průřez výztužné sítě, plochu výztuže.

Oblast E byla navržena s použitím spřažených prolamovaných nosníků s kruhovými otvory, které byly vyrobeny ze za tepla válcovaných nosníků IPE 300 oceli S350 (viz obr. 5-1).

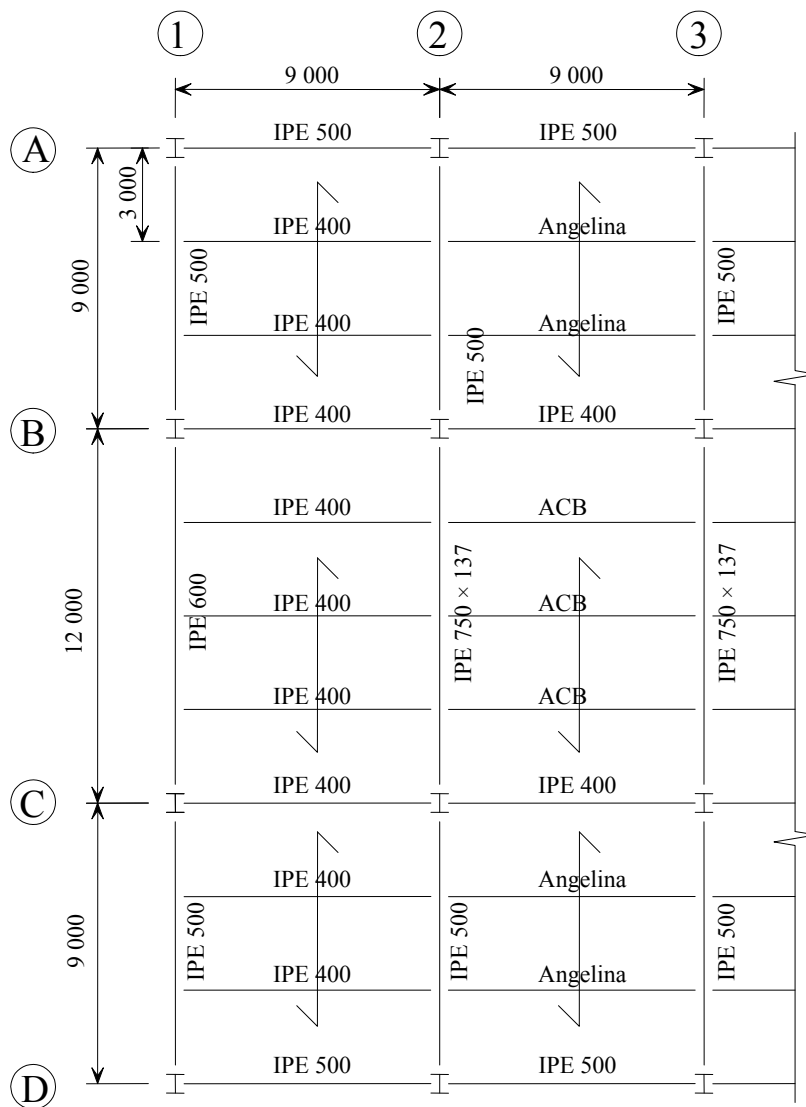


Obrázek 5-1 Konstrukce spřaženého prolamovaného nosníku

Oblast D a F byla navržena s použitím sprážených nosníků Angelina™ se sinusovými otvory které byly vyrobeny ze za tepla válcovaných nosníků IPE 270 oceli S355 (viz obr. 5-2).



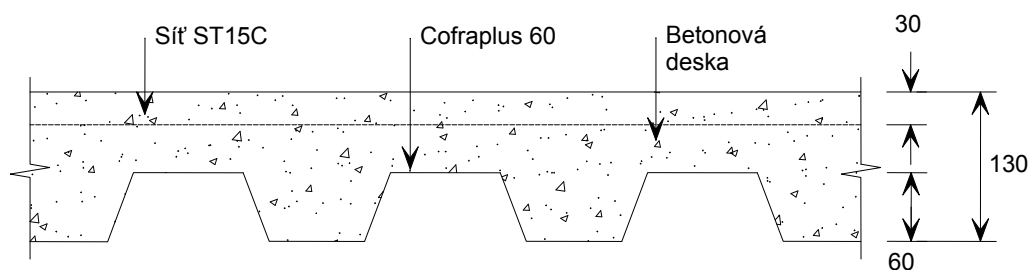
Obrázek 5-2 Konstrukce spráženého nosníku Angelina™



Obrázek 5-3 Schéma ocelové konstrukce stropu v řešeném příkladu

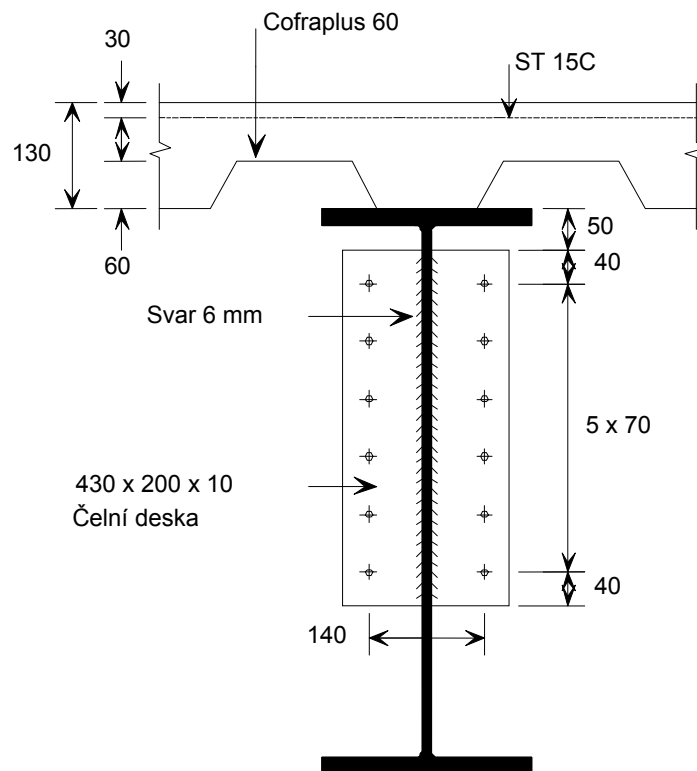
Tabulka 5-1 Nosníky navržené za běžné teploty

Průřez ocel S355	Poloha	Spřažení	Míra spřažení (%)	Počet spřahovacích trnů ve skupině a vzdálenost skupin
IPE 400	Vnitřní stropnice	Ano	51	1 @ 207mm
IPE 500	Krajní stropnice	Ne	-	
IPE 500	Vnitřní průvlak	Ano	72	2 @ 207mm
IPE 750 × 137	Vnitřní průvlak	Ano	71	2 @ 207 mm
IPE 600	Krajní průvlak	Ne	-	
ACB IPE 300+IPE 300	Vnitřní stropnice	Ano	52	2 @ 207 mm
Angelina IPE270 + IPE 270	Vnitřní stropnice	Ano	52	2 @ 207 mm

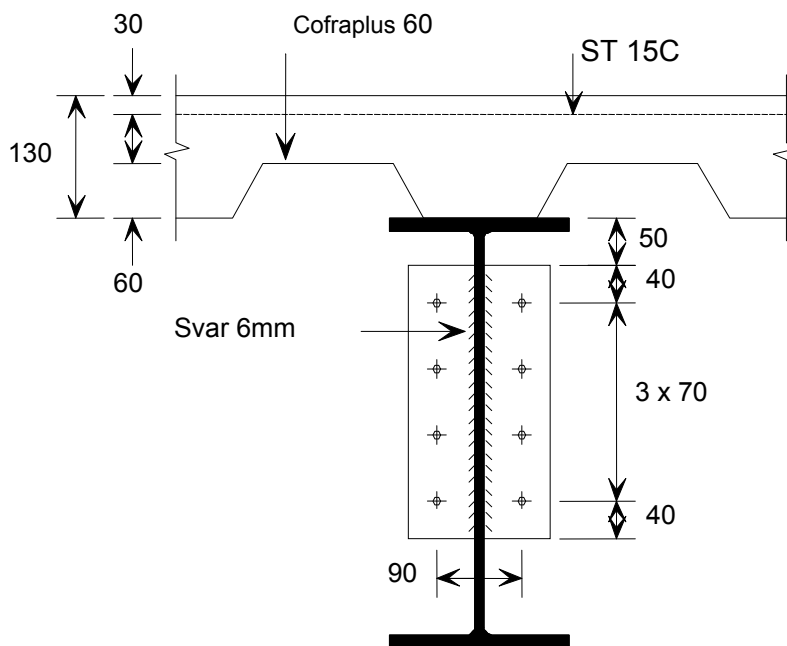


Obrázek 5-4 Konstrukce stropní desky

Přípoje ocelové konstrukce jsou kloubové pomocí krátké čelní desky. Na obr. 5-5(a) je schéma přípoje průvlaku na sloup. Schéma přípoje stropnice na sloup je zobrazeno na obr. 5-5(b). Detail přípoje stropnice na průvlak je na obr. 5-6.

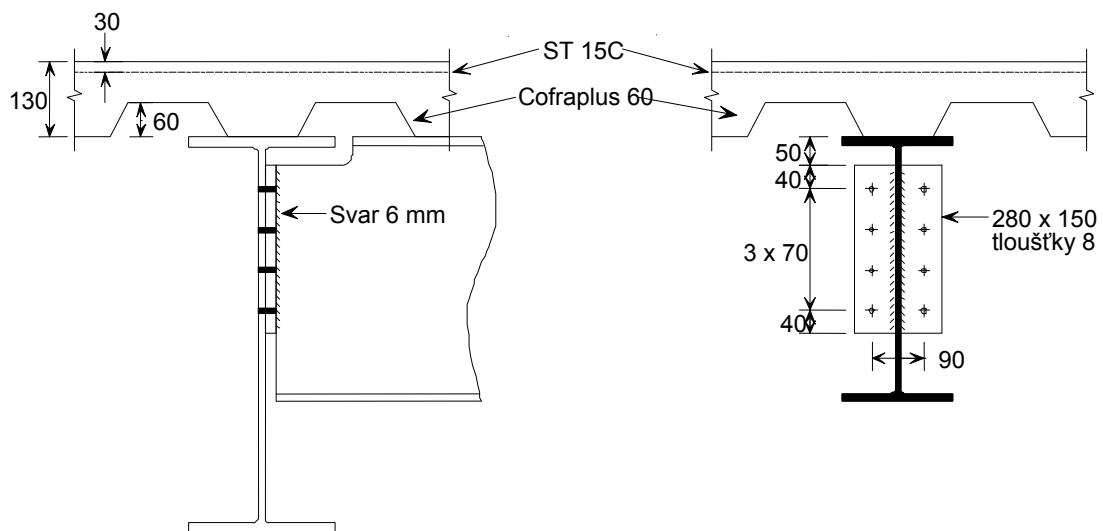


(a) Připoj průvlaku na sloup



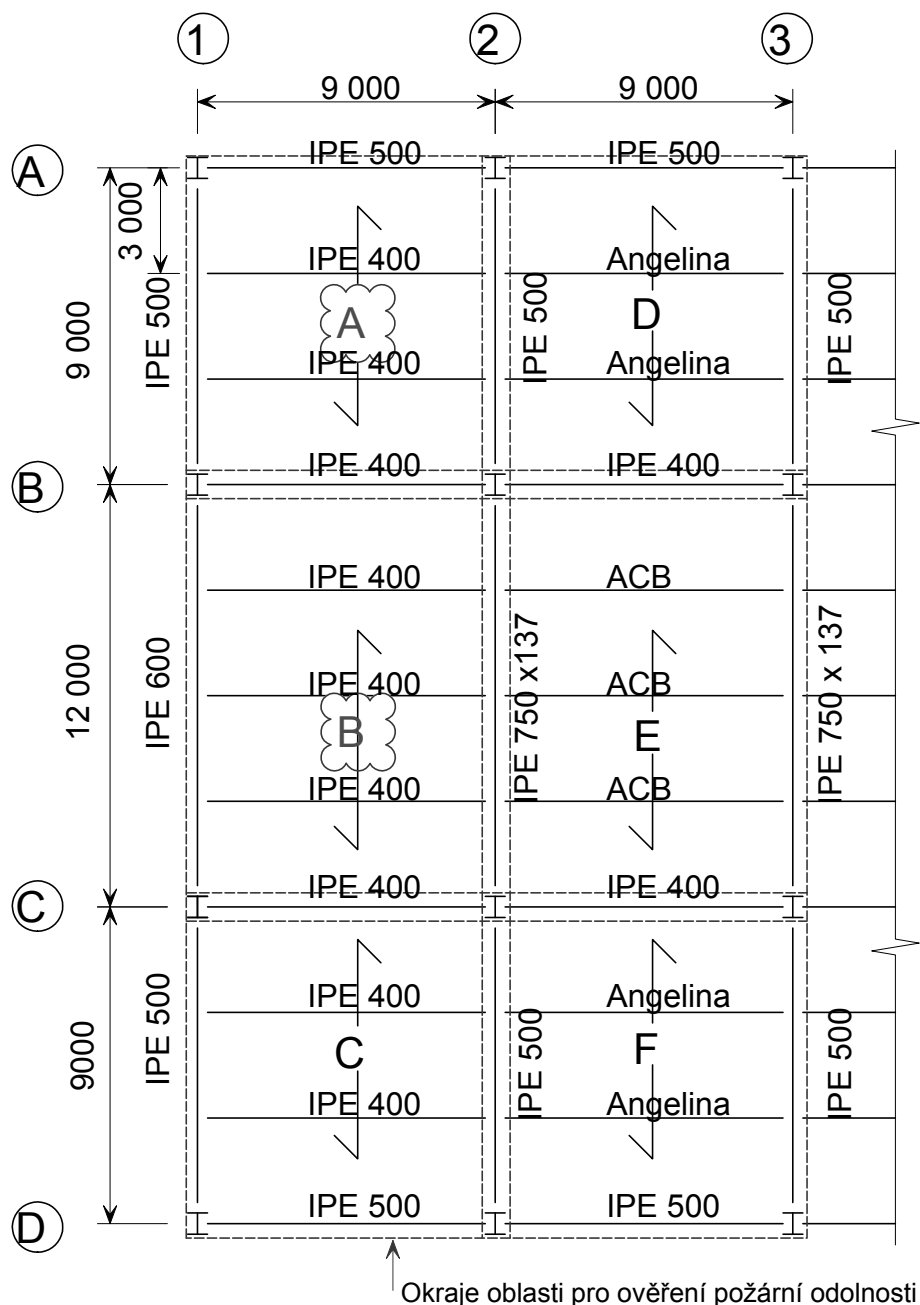
(b) Připoj stropnice na sloup

Obr. 5-5 Připoje nosníků na sloup



Obrázek 5-6 Přípoj stropnice na průvlak

Na obr. 5-7. je stropní konstrukce rozdělena do oblastí pro návrh. Oblasti A a B budou mít nejnepříznivější podmínky a jejich požární odolnost bude prověřena.



Obrázek 5-7 Rozdělení na oblasti pro ověření požární odolnosti, A – F

5.1 Požární návrh konstrukce stropu

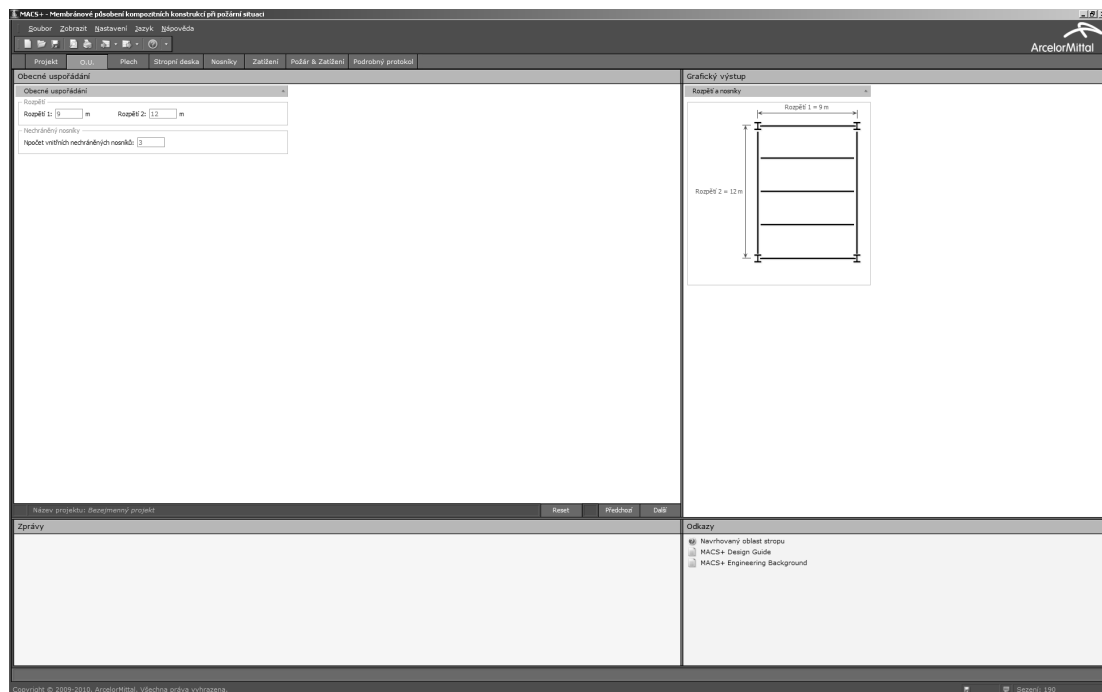
Na účinky požáru se ověří spřažená ocelobetonová stropní konstrukce, která vyhovuje na únosnost a použitelnost za běžné teploty V případě, že konstrukce nebude na účinky požáru vyhovovat, zesílí se výztužná síť, případně se zvětší tloušťka stropní desky. Nejprve se prověří oblast B, která je navržena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

5.1.1 Oblast B

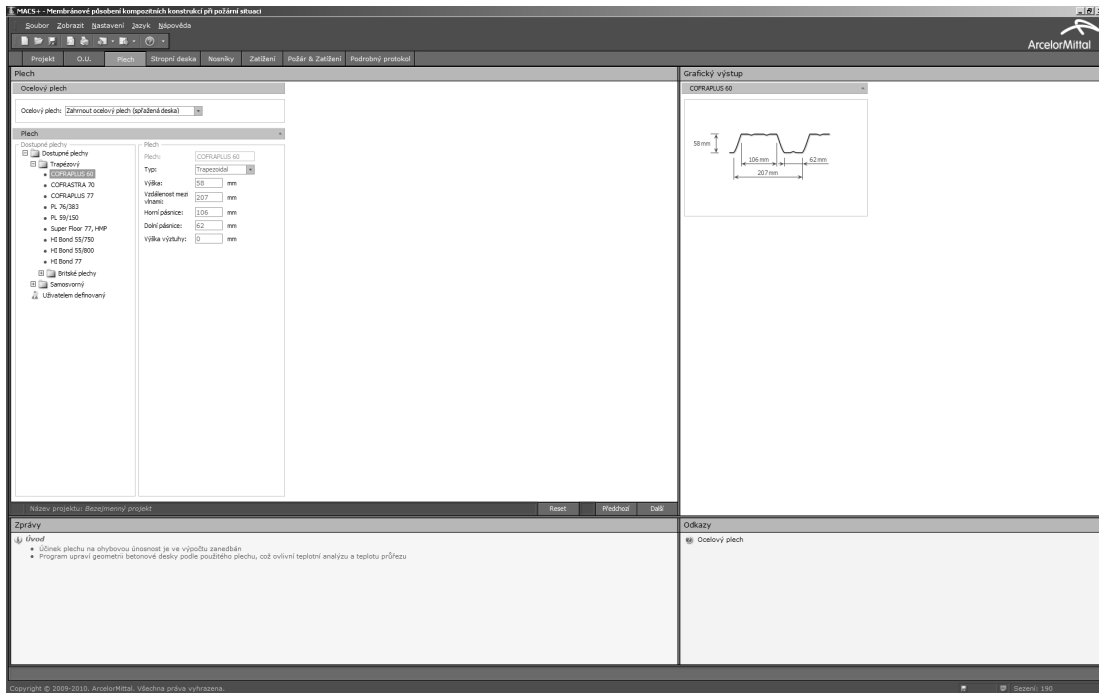
Obr. 5-8 až 5-11 popisují zadání a výstupy data programu MACS⁺ pro oblast stropní konstrukce B, s rozměry 9 × 12 m a výztužnou sítí ST 15C. V oblasti jsou navrženy tři požárně nechráněné spřažené stropnice. Obrázek 0-1 až Obrázek 0-4 ukazují vložení informací do programu MACS⁺.

Tabulka 0-1 Zadání pro oblast stropu B

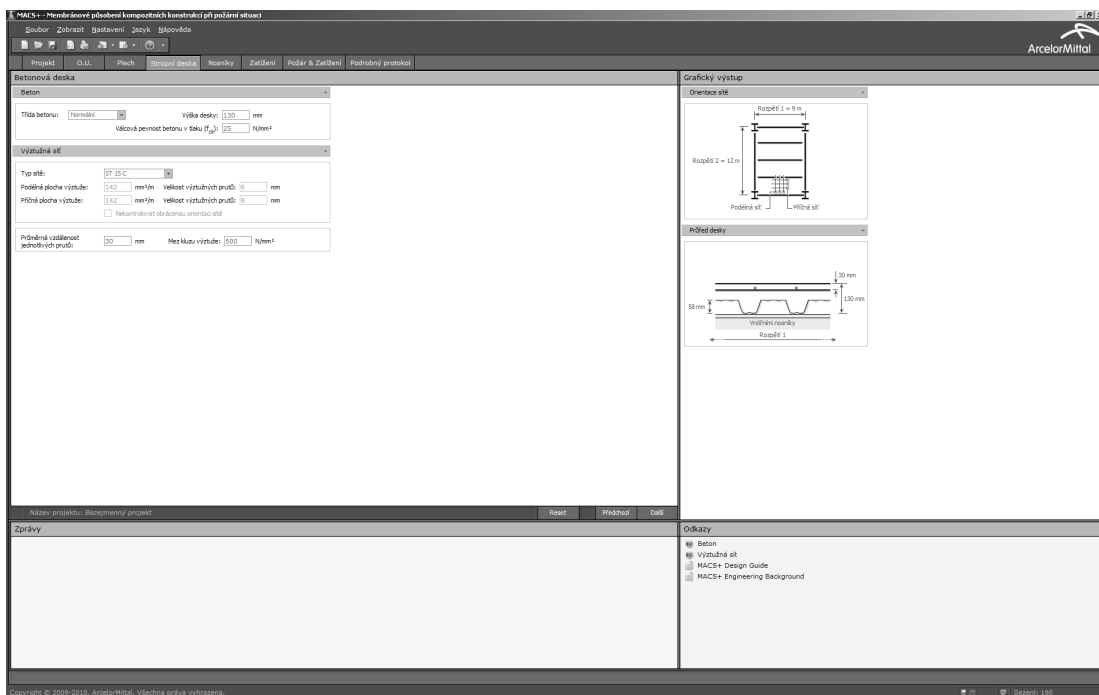
L (mm)	ℓ (mm)	f _c (MPa)	A _s (mm ² /m)	f _{sy} (MPa)	Nechráněný nosník	Plech	Celková tloušťka desky (mm)	d: vzdálenost jednotlivých prutů sítě (mm)
12 000	9 000	25	142	500	IPE400	Cofraplus60	130	30



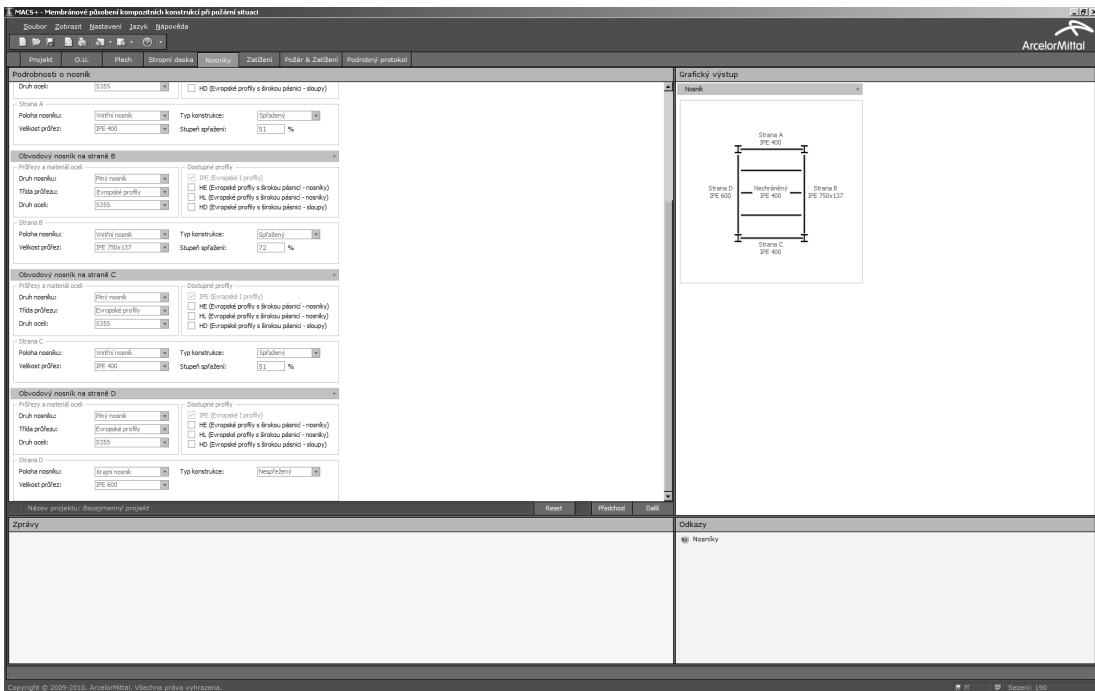
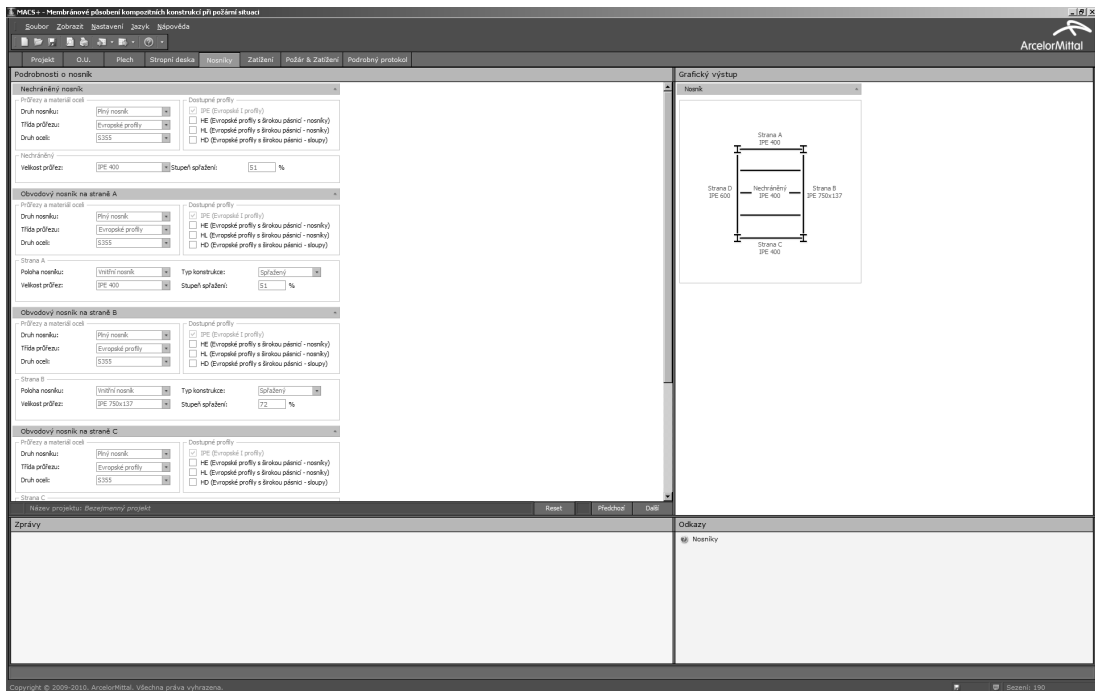
Obrázek 0-1 Zadání celkového uspořádání do programu MACS⁺



Obrázek 0-2 Zadání trapézového plechu do programu MACS⁺



Obrázek 0-3 Zadání ocelobetonové desky do programu MACS⁺



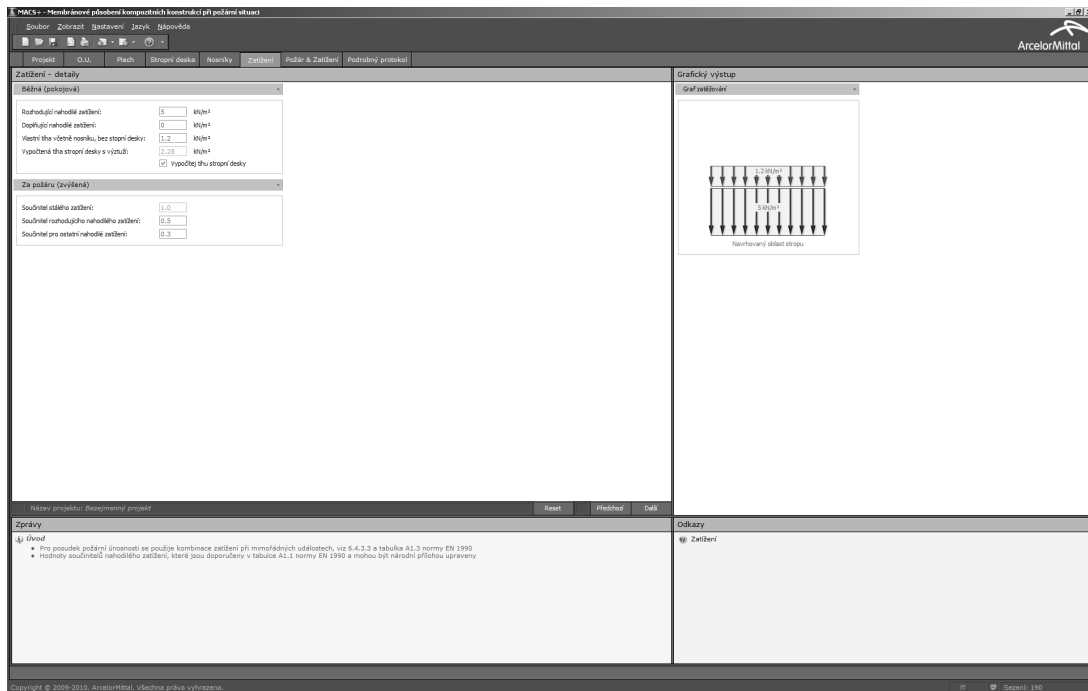
Obrázek 0-4 Zadání stropnic v oblasti B do programu MACS⁺

Výpočet jednoduchým modelem lze rozdělit do kroků:

Krok 1: Výpočet zatížení za požáru

Zatížení působící na desku za požáru, spolu s vlastní tíhou desky o velikosti 2.28 kN/m², může být určeno:

$$q_{fi, Sd} = G + 0.5Q = (2.28 + 0.7 + 0.5) + 0.5 \times (4.0 + 1.0) = 5.98 \text{ kN/m}^2$$



Obrázek 0-5 Zadání zatížení do programu MACS⁺

Krok 2: Výpočet přestupu tepla do ocelobetonové desky

Ze vztahu D.15a Přílohy D normy EN 1994-1-2⁽¹⁶⁾ lze efektivní tloušťku desky vyjádřit jako:

$$h_{eff} = h_1 + 0.5 h_2 \left(\frac{\ell_1 + \ell_2}{\ell_1 + \ell_3} \right) = 72 + 0.5 \times 58 \times \left(\frac{101 + 62}{101 + 106} \right) \approx 95 \text{ mm}$$

Efektivní tloušťka desky umožňuje ověřit, že deska splňuje kritérium EI60, které požaduje efektivní tloušťku sprážených desky o minimální hodnotě 80 mm.

Efektivní tloušťka vede k teplotám θ_1 , θ_2 a θ_s , viz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..** Pro dobu požární odolnosti 60 min:

$$\theta_1 = 99 \text{ °C}; \theta_2 = 831 \text{ °C} \text{ a } \theta_s = 288 \text{ °C}.$$

Tabulka 3-4, která je z normy EN 1994-1-2, ukazuje, že u svařovaných ocelových sítí nedochází k redukcí pevnosti oceli:

$$f_{sy, \theta_s} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M, fi, s} = 1.0$$

Navíc

$$\gamma_{M, fi, c} = 1.0$$

Krok 3: Momentová únosnost průřezu desky $M_{fi,0}$

Pro oblast:

$$L_1 = 9\,000 \text{ mm (rozpětí stropnic)}$$

$$L_2 = 12\,000 \text{ mm (rozpětí průvlaků)}$$

Tedy, $L = \max \{L_1; L_2\} = 12\,000 \text{ mm}$ a $\ell = \min \{L_1; L_2\} = 9\,000 \text{ mm}$.

Z rovnice 3.6 a 3.7 lze stanovit:

$$(g_0)_1 = 1 - \frac{2KA_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M_s,fi,s}}{0.85 f_c / \gamma_{M_s,fi,c} d} = 1 - \frac{2 \times 1.0 \times \frac{142}{1000} \times 500 / 1.0}{0.85 \times 25 / 1.0 \times 30} = 0.777$$

$$(g_0)_2 = 1 - \frac{2A_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M_s,fi,s}}{0.85 f_c / \gamma_{M_s,fi,c} d} = 1 - \frac{2 \times 1.0 \times \frac{142}{1000} \times 500 / 1.0}{0.85 \times 25 / 1.0 \times 30} = 0.777$$

Součinitel K se rovná 1.0, protože výztužná síť má stejný příčný řez v obou směrech.

Kladný moment únosnosti průřezu desky je, viz rovnice 3.3:

$$M_{fi,0} = A_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M_s,fi,s} d \frac{3 + (g_0)_2}{4} = \frac{142}{1000} \times 500 / 1.0 \times 30 \times \frac{3 + 0.777}{4} = 2\,011.4 \text{ Nmm/mm}$$

Lze stanovit pomocné součinitele, viz rovnice 3.4 a 3.5:

$$\mu = K \frac{3 + (g_0)_1}{3 + (g_0)_2} = 1.0 \times \frac{3 + 0.777}{3 + 0.777} = 1.0$$

$$a = \frac{L}{\ell} = \frac{12\,000}{9\,000} = 1.333$$

$$n = \frac{1}{2\mu a^2} (\sqrt{3\mu a^2 + 1} - 1) = \frac{1}{2 \times 1.0 \times 1.333^2} \times (\sqrt{3 \times 1.0 \times 1.333^2 + 1} - 1) = 0.427$$

Krok 4: Únosnost desky

Únosnost desky lze stanovit z rovnice 3.2:

$$p_{fi} = 6 \frac{M_{fi,0}}{n^2 a^2 \ell^2} = 6 \times \frac{2\,011.4}{0.427^2 \times 1.333^2 \times 9\,000^2} = 0.461 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2 = 0.461 \text{ kN/m}^2$$

Krok 5: Průhyb pro výpočet membránového působení

Průhyb desky za požáru, který bere do výpočtu membránové působení, můžeme získat z rovnice 3.18:

$$\begin{aligned}
w &= \min \left\{ \frac{\alpha(\theta_2 - \theta_1)\ell^2}{19.2h_{eff}} + \min \left[\sqrt{\left(\frac{0.5f_{sy}}{E_a\gamma_{M,f1,s}} \right) \frac{3L^2}{8}}; \frac{\ell}{30} \right]; \frac{L+\ell}{30} \right\} \\
&= \min \left\{ \frac{1.2 \times 10^{-5} (831 - 99) \times 9000^2}{19.2 \times 95} + \min \left[\sqrt{\left(\frac{0.5 \times 500}{210000 \times 1.0} \right) \frac{3 \times 12000^2}{8}}; \frac{9000}{30} \right]; \frac{12000 + 9000}{30} \right\} \\
&= \min \{ 391.0 + \min [253.5; 300]; 700 \} = 644.6 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Krok 6: Pomocné součinitele membránového působení

Součinitele membránové působení se určí z pomocných součinitelů α_1 , α_2 , β_1 , β_2 , A , B , C , D , k a b , které lze získat z rovnic 3.12 až 3.15. Hodnoty pomocných součinitelů jsou shrnuty v tabulce Tabulka 0-2.

Tabulka 0-2 Pomocné součinitele membránového působení v oblasti B

Rovnice	Hodnota
$\alpha_1 = \frac{2(g_0)_1}{3+(g_0)_1}$	0.412
$\beta_1 = \frac{1-(g_0)_1}{3+(g_0)_1}$	0.059
$\alpha_2 = \frac{2(g_0)_2}{3+(g_0)_2}$	0.412
$\beta_2 = \frac{1-(g_0)_2}{3+(g_0)_2}$	0.059
$k = \frac{4na^2(1-2n)}{4n^2a^2 + 1} + 1$	1.194
$A = \frac{1}{2(1+k)} \left[\frac{\ell^2}{8n} - \left(\frac{1-2n}{2n} + \frac{1}{3(1+k)} \right) \left((nL)^2 + (\ell/2)^2 \right) \right]$	1 978 359 mm ²
$B = \frac{k^2}{2(1+k)} \left[\frac{nL^2}{2} - \frac{k}{3(1+k)} \left((nL)^2 + (\ell/2)^2 \right) \right]$	7 242 376 mm ²
$C = \frac{\ell^2}{16n} (k-1)$	2 305 602 mm ²
$D = \frac{L^2}{8} (1-2n)^2$	388 465 mm ²
$b = \min \left[\frac{\ell^2}{8K(A+B+C-D)}, \frac{\gamma_{M,fi,s}}{kKA_s f_{sy,\theta s}} \left(0.85 \frac{f_c}{\gamma_{M,fi,c}} \times 0.45d - A_s \frac{f_{sy,\theta s}}{\gamma_{M,fi,s}} \frac{K+1}{2} \right) \right]$	0.909

Krok 7: Zvětšující součinitele membránové působení

Součinitele e_{1b} , e_{2b} , e_{1m} a e_{2m} lze stanovit z rovnic 3.10, 3.11, 3.16 a 3.17:

Tabulka 0-3 Součinitele membránového působení v oblasti B

Rovnice	Hodnota
$e_{1b} = 2n \left(1 + \alpha_1 b \frac{k-1}{2} - \frac{\beta_1 b^2}{3} (k^2 - k + 1) \right) + (1 - 2n)(1 - \alpha_1 b - \beta_1 b^2)$	0.952
$e_{1m} = \frac{4b}{3 + (g_0)_1} \frac{w}{d} \left((1 - 2n) + n \frac{2 + 3k - k^3}{3(1+k)^2} \right)$	5.407
$e_1 = e_{1b} + e_{1m}$	6.360
$e_{2b} = 1 + \frac{\alpha_2 b K}{2} (k-1) - \frac{\beta_2 b^2 K}{3} (k^2 - k + 1)$	1.016
$e_{2m} = \frac{4bK}{3 + (g_0)_2} \frac{w}{d} \frac{2 + 3k - k^3}{6(1+k)^2}$	2.777
$e_2 = e_{2b} + e_{2m}$	3.794

Zvětšující součinitel e se vypočítá z rovnice 3.8 jako

$$e = e_1 - \frac{e_1 - e_2}{1 + 2\mu\alpha^2} = 6.360 - \frac{6.360 - 3.7948}{1 + 2 \times 1.0 \times 1.333^2} = 5.796$$

Krok 8: Únosnost desky za požáru

Únosnost desky s vlivem membránového působení lze stanovit z rovnice 3.1 jako

$$q_{fi,Rd,slab} = e \times p_{fi} = 5.796 \times 0.461 = 2.670 \text{ kN/m}^2$$

Krok 9: Únosnost desky a nechráněných nosníků

Z kapitoly 4.3.4.2.2 normy EN1994-1-2 lze určit teplotu nechráněných spřažených ocelobetonových nosníků. V prvním kroku je třeba vypočítat součinitel průřezu IPE 400. Vypočtené hodnoty jsou shrnuty v Tabulka 0-4.

Z **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** lze určit teploty částí ocelového průřezu:

- teplota pásnice: 938.6°C;
- teplota stojiny: 941.5°C v **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** ale protože výška ocelového průřezu není větší než 500 mm rovná se 938.6°C;
- teplota trnů (viz kapitola 4.3.4.2.5 normy EN 1994-1-2): $938.6 \times 0.8 = 750.9^\circ\text{C}$

Tabulka 0-4 Součinitel průřezu nechráněného nosníku

Ocelový průřez	$k_{sh} = 0.9 \left(\frac{H + 0.5B}{H + 1.5B - t_w} \right)$	$\left(\frac{A_i}{V_i} \right) (\text{m}^{-1})$	$k_{sh} \left(\frac{A_i}{V_i} \right) (\text{m}^{-1})$
Spodní pásnice	0.668	$\frac{2(B + t_f)}{Bt_f} = 159$	106
Stojina		$\frac{2}{t_w} = 233$	155
Horní pásnice		$\frac{2(B + t_f)}{Bt_f} = 159$	106
kde: H je výška ocelového průřezu; B šířka ocelového průřezu; t_f tloušťka pásnice a t_w tloušťka stojiny.			

Znalost teplot ocelového průřezu a spřahujících trnů umožňuje stanovit moment únosnosti vnitřních nechráněných spřažených nosníků. Vypočtené hodnoty jsou dány v Tabulka 0-5.

Tabulka 0-5 Momentová únosnost požárně nechráněného nosníku v oblasti B

Parametry	Vypočtené hodnoty
Účinná šířka desky	$b_{eff} = \min\{9\,000/4; 3\,000\} = 2\,250 \text{ mm}$
Plocha ocelového průřezu A_i	$A_i = 8\,446 \text{ mm}^2$
Redukční součinitel pevnosti oceli	$k_{y,\theta} = 0.0523$
Redukční součinitel pevnosti trnů	$k_{u,\theta} = 0.17$
Tloušťka desky v tlaku za požáru $h_u = \frac{\sum A_i f_y k_{y,\theta} / \gamma_{M,\text{fi},a}}{b_{eff} f_c / \gamma_{M,\text{fi},c}}$	$h_u = \frac{8\,446 \times 355 \times 0.0523 / 1.0}{2\,250 \times 25 / 1.0} = 2.787 \text{ mm}$
Stupeň spřažení nosníku při teplotě 20°C	$n_{c,20^\circ\text{C}} = 0.51$
Stupeň spřažení nosníku za požární situace $n_{c,\theta} = \frac{n_{c,20^\circ\text{C}} k_{u,\theta} \gamma_{M,\text{fi},v}}{k_{y,\theta} \gamma_{M,\text{fi},v}}$	$n_{c,\theta} = \frac{0.51 \times 0.17 \times 1.25}{0.0523 \times 1.0} = 2.09 > 1.0$ pro tuhé smykové spojení
Kladný moment únosnosti $M_{\text{fi},\text{Rd}} = \frac{A_i f_y k_{y,\theta}}{\gamma_{M,\text{fi},a}} \left(\frac{H}{2} + h_c - \frac{h_u}{2} \right)$	$M_{\text{fi},\text{Rd}} = \frac{8\,446 \times 355 \times 0.0523}{1.0} \left(\frac{400}{2} + 130 - \frac{2.787}{2} \right)$ $= 51.51 \times 10^6 \text{ Nmm} = 51.51 \text{ kNm}$
kde	h_c je celková tloušťka desky; $\gamma_{M,\text{fi},a}$, $\gamma_{M,\text{fi},v}$ a $\gamma_{M,\text{fi},v}$ dílčí součinitel pro ocel při požární situaci, pro spřahovací trny za běžné teploty a při požáru

Únosnost konstrukce stropu s příspěvkem nechráněných spřažených nosníků lze získat z rovnice 3.21

$$q_{\text{fi},\text{Rd},\text{ub}} = \frac{8M_{\text{fi},\text{Rd}}}{L_1^2} \frac{1+n_{\text{ub}}}{L_2} = \frac{8 \times 51.5}{9^2} \times \frac{(1+3)}{12} = 1.70 \text{ kN/m}^2$$

Krok 10: Únosnost konstrukce stropu za požáru

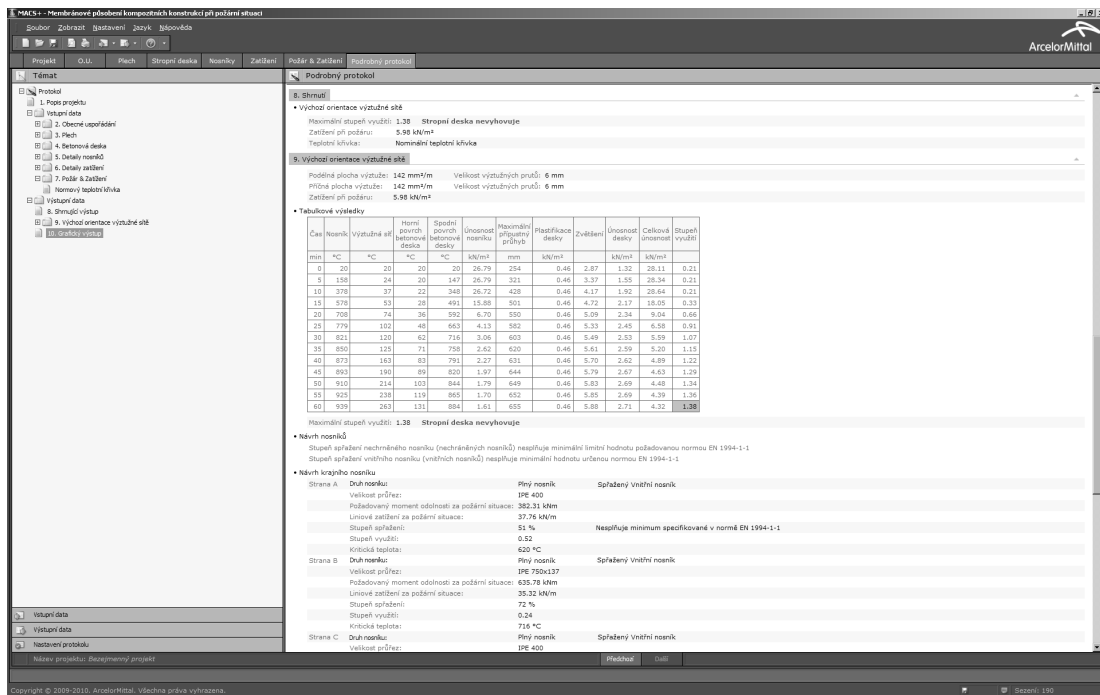
Únosnost konstrukce stropu za požární situace je

$$q_{\text{fi},\text{Rd}} = q_{\text{fi},\text{Rd},\text{slab}} + q_{\text{fi},\text{Rd},\text{ub}} = 2.67 + 1.70 = 4.37 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení konstrukce stropu za požární situace je

$$q_{\text{fi},\text{Sd}} = 5.98 \text{ kN/m}^2 > q_{\text{fi},\text{Rd}} = 4.37 \text{ kN/m}^2$$

Navržená stropní konstrukce v oblasti B na požární odolnost R60 nevyhoví.



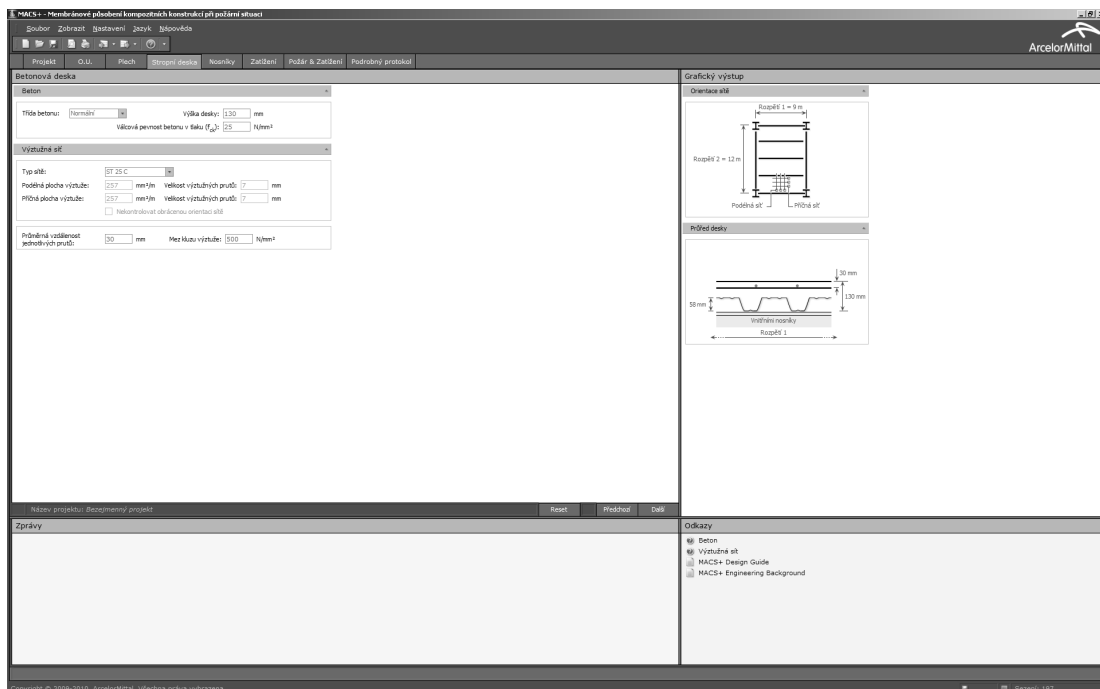
Obrázek 0-6 Výstupy programu MACS+ - podrobný výpis

Závěr 1

Požární odolnost R60 v oblasti B není výpočtem ověřena. Je třeba změnit konstrukční řešení.

Lze volit větší přesah výtěžné sítě. Průřez výtěžné sítě byl zvětšen ze ST 15C (142 mm²/m) na ST 25C (257 mm²/m).

Nový výpočet zahrnuje nová vstupní data. Je třeba přepočítat pouze příspěvek desky, protože nechráněné spřažené nosníky zůstávají beze změny.



Obrázek 0-7 Zadání do programu MACS+ - deska

Krok 2a: Výpočet přestupu tepla do spřažené desky Cofraplus 60

Výsledky jsou identické s krokem 2, protože všechny rozměry desky zůstaly nezměněny.

Krok 3a: Výpočet momentu únosnosti průřezu desky $M_{fi,0}$

Z rovnice 3.6 a 3.7 lze získat

$$(g_0)_1 = 1 - \frac{2KA_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M_{fi,s}}}{0.85 f_c / \gamma_{M_{fi,c}} d} = 1 - \frac{2 \times 1.0 \times \frac{257}{1000} \times 500 / 1.0}{0.85 \times 25 / 1.0 \times 30} = 0.597$$

$$(g_0)_2 = 1 - \frac{2A_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M_{fi,s}}}{0.85 f_c / \gamma_{M_{fi,c}} d} = 1 - \frac{2 \times 1.0 \times \frac{257}{1000} \times 500 / 1.0}{0.85 \times 25 / 1.0 \times 30} = 0.597$$

Součinitel K se rovná 1.0, protože výztužná síť má stejný příčný řez v obou směrech.

Kladný moment únosnosti průřezu desky je pak (viz rovnice 3.3)

$$M_{fi,0} = A_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M_{fi,s}} d \frac{3 + (g_0)_2}{4} = \frac{257}{1000} \times 500 / 1.0 \times 30 \times \frac{3 + 0.597}{4} = 3466.5 \text{ Nmm/mm}$$

Současně lze stanovit další pomocné součinitele (viz rovnice 3.4 a 3.5):

$$\mu = K \frac{3 + (g_0)_1}{3 + (g_0)_2} = 1.0 \times \frac{3 + 0.597}{3 + 0.597} = 1.0$$

$$a = \frac{L}{\ell} = \frac{12000}{9000} = 1.333$$

$$n = \frac{1}{2\mu a^2} (\sqrt{3\mu a^2 + 1} - 1) = \frac{1}{2 \times 1.0 \times 1.333^2} \times (\sqrt{3 \times 1.0 \times 1.333^2 + 1} - 1) = 0.427$$

Krok 4a: Únosnost desky

Únosnost desky lze stanovit z rovnice 3.2:

$$p_{fi} = 6 \frac{M_{fi,0}}{n^2 a^2 \ell^2} = 6 \times \frac{3466.5}{0.427^2 \times 1.333^2 \times 9000^2} = 0.794 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2 = 0.794 \text{ kN/m}^2$$

Step 5a: Průhyb pro výpočet membránového působení

Průhyb desky za požáru, který se uvažuje do výpočtu membránové působení, lze získat z rovnice 3.18:

$$\begin{aligned}
w &= \min \left\{ \frac{\alpha(\theta_2 - \theta_1)\ell^2}{19.2h_{eff}} + \min \left[\sqrt{\left(\frac{0.5f_{sy}}{E_a\gamma_{M,f,s}} \right) \frac{3L^2}{8}}; \frac{\ell}{30} \right]; \frac{L+\ell}{30} \right\} \\
&= \min \left\{ \frac{1.2 \times 10^{-5} (831 - 992) \times 9000^2}{19.2 \times 95} + \min \left[\sqrt{\left(\frac{0.5 \times 500}{210000 \times 1.0} \right) \frac{3 \times 12000^2}{8}}; \frac{9000}{30} \right]; \frac{12000 + 9000}{30} \right\} \\
&= \min \{ 391.0 + \min [253.5; 300]; 700 \} = 644.5 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Krok 6a: Pomocné součinitele membránového působení

Součinitele membránové působení se určí z pomocných součinitelů α_1 , α_2 , β_1 , β_2 , A , B , C , D , k a b , které lze získat z rovnic 3.12 až 3.15. Hodnoty pomocných součinitelů jsou shrnuty v tabulce Tabulka 0-27.

Tabulka 0-6 Pomocné součinitele pro posouzení membránového působení v oblasti B

Rovnice	Hodnota
$\alpha_1 = \frac{2(g_0)_1}{3+(g_0)_1}$	0.332
$\beta_1 = \frac{1-(g_0)_1}{3+(g_0)_1}$	0.112
$\alpha_2 = \frac{2(g_0)_2}{3+(g_0)_2}$	0.332
$\beta_2 = \frac{1-(g_0)_2}{3+(g_0)_2}$	0.112
$k = \frac{4na^2(1-2n)}{4n^2a^2+1} + 1$	1.194
$A = \frac{1}{2(1+k)} \left[\frac{\ell^2}{8n} - \left(\frac{1-2n}{2n} + \frac{1}{3(1+k)} \right) \left((nL)^2 + (\ell/2)^2 \right) \right]$	1 978 359 mm ²
$B = \frac{k^2}{2(1+k)} \left[\frac{nL^2}{2} - \frac{k}{3(1+k)} \left((nL)^2 + (\ell/2)^2 \right) \right]$	7 242 376 mm ²
$C = \frac{\ell^2}{16n} (k-1)$	2 305 602 mm ²
$D = \frac{L^2}{8} (1-2n)^2$	388 465 mm ²
$b = \min \left[\frac{\ell^2}{8K(A+B+C-D)}, \frac{\gamma_{M,\beta,s}}{kK A_s f_{sy,\beta s}} \left(0.85 \frac{f_c}{\gamma_{M,\beta,c}} \times 0.45d - A_s \frac{f_{sy,\beta s}}{\gamma_{M,\beta,s}} \frac{K+1}{2} \right) \right]$	0.909

Krok 7a: Zvětšující součinitele membránové působení

Součinitele e_{1b} , e_{2b} , e_{1m} a e_{2m} lze stanovit rovnicemi 3.10, 3.11, 3.16 a 3.17:

Tabulka 0-7 Součinitele membránového působení v oblasti B

Rovnice	Hodnota
$e_{1b} = 2n \left(1 + \alpha_1 b \frac{k-1}{2} - \frac{\beta_1 b^2}{3} (k^2 - k + 1) \right) + (1-2n)(1 - \alpha_1 b - \beta_1 b^2)$	0.935
$e_{1m} = \frac{4b}{3 + (g_0)_1} \frac{w}{d} \left((1-2n) + n \frac{2+3k-k^3}{3(1+k)^2} \right)$	5.679
$e_1 = e_{1b} + e_{1m}$	6.614
$e_{2b} = 1 + \frac{\alpha_2 b K}{2} (k-1) - \frac{\beta_2 b^2 K}{3} (k^2 - k + 1)$	0.991
$e_{2m} = \frac{4bK}{3 + (g_0)_2} \frac{w}{d} \frac{2+3k-k^3}{6(1+k)^2}$	2.917
$e_2 = e_{2b} + e_{2m}$	3.908

Zvětšující součinitel e se vypočítá z rovnice 3.8 jako

$$e = e_1 - \frac{e_1 - e_2}{1 + 2\mu\alpha^2} = 6.614 - \frac{6.614 - 3.908}{1 + 2 \times 1.0 \times 1.333^2} = 6.020$$

Krok 8a: Únosnost desky za požáru

Únosnost desky s vlivem membránového působení lze stanovit z rovnice 3.1 jako

$$q_{fi,Rd,slab} = e \times p_{fi} = 6.020 \times 0.794 = 4.78 \text{ kN/m}^2$$

Krok 9a: Únosnost konstrukce stropu s přispěním nechráněných nosníků

Výpočet je stejný jako v kroku 9.

Krok 10a: Únosnost konstrukce stropu za požáru

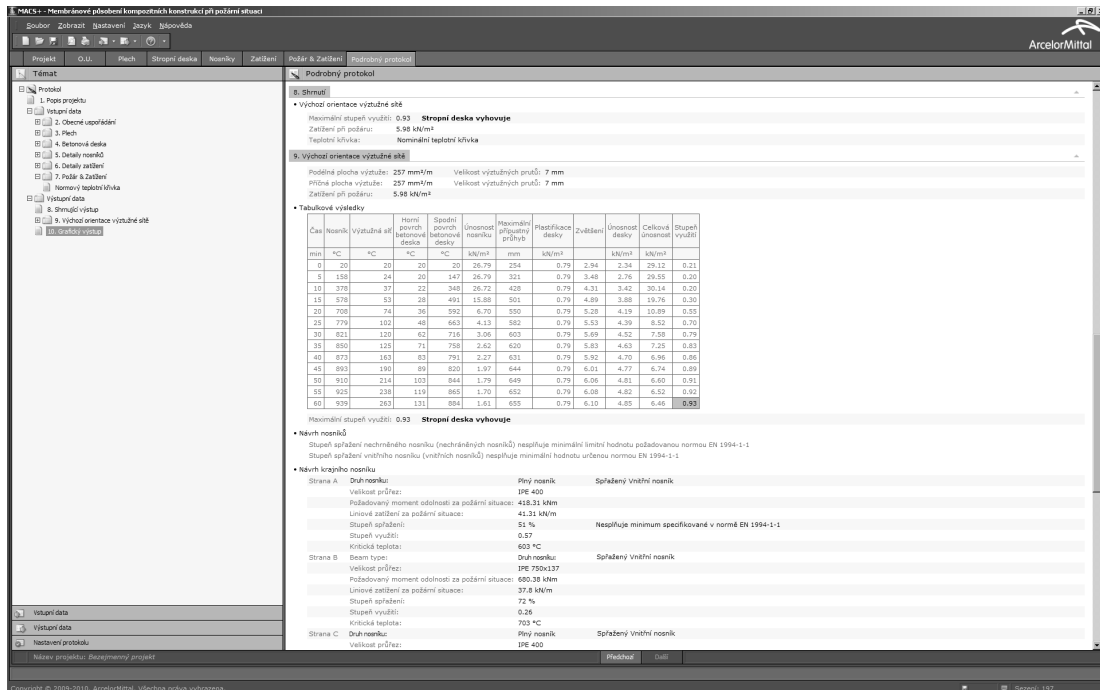
Únosnost konstrukce stropu za požární situace je

$$q_{fi,Rd} = q_{fi,Rd,slab} + q_{fi,Rd,ub} = 4.78 + 1.70 = 6.48 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení na strop za požární situace je

$$q_{fi, Sd} = 5.98 \text{ kN/m}^2 < q_{fi, Rd} = 6.48 \text{ kN/m}^2$$

Navržená stropní konstrukce v oblasti B na požární odolnost R60 vyhoví.



Obrázek 0-8 Zadání do programu MACS+ - podrobný výpis

Závěr 2

Požární odolnost konstrukce stropu v oblasti B byla výpočtem ověřena pro požární odolnost R60.

Krok 11: Zatížení obvodových nosníků za požární situace

Zatížení stropnice a průvlaku na obvodu oblasti B za požární situace je vypočteno ze vztahů 3.24 až 3.37:

- Pro stropnice na obvodu oblasti platí:

$$M_{fi, Sd, b, 1} = \frac{q_{fi, Rd} L_1^2 L_2 - 8 \left(M_{fi, 0} \left(L_2 - n_{ub} b_{eff, ub} - \sum_{i=1}^2 b_{eff, 1, i} \right) + n_{ub} M_{fi, Rd} \right)}{c_M}$$

$$= \frac{6.48 \times 9^2 \times 12 - 8 \times \left\{ 466.5 \times 10^{-3} \times \left[12 - 3 \times 2.25 - (0 + 2.25/2) \right] + 3 \times 51.5 \right\}}{12}$$

$$= 412.3 \text{ kNm}$$

$$V_{fi, Sd, b, 1} = \frac{4M_{fi, Sd, b, 1}}{L_1} = \frac{4 \times 412.3}{9} = 183.3 \text{ kN}$$

- Pro průvlaky na obvodu oblasti platí:

$$M_{f_i, Sd, b, 2} = \frac{q_{f_i, Rd} L_1 L_2^2 - 8 \mu M_{f_i, 0} \left(L_1 - \sum_{i=1}^2 b_{eff, 2, i} \right)}{c_M} = \frac{6.48 \times 9 \times 12^2 - 8 \times 1.0 \times 3466.5 \times 10^{-3} \times (9 - (12/8 + 12/8))}{12}$$

$$= 686.0 \text{ kNm}$$

$$V_{f_i, Sd, b, 2} = \frac{4M_{f_i, Sd, b, 2}}{L_2} = \frac{4 \times 686.0}{12} = 228.7 \text{ kN}$$

Obvodový nosník ve fasádě přenáší zatížení od fasádních dílců o velikosti 2.0 kN/m, což vede na vnitřní síly

$$M_{f_i, Sd, b, 2} = 686.0 + \frac{2.0 \times 12^2}{8} = 722.0 \text{ kNm}$$

$$V_{f_i, Sd, b, 2} = 228.7 + \frac{2.0 \times 12}{2} = 234.8 \text{ kN}$$

Aby vypočtená únosnost za požární situace nebyla menší než působící zatížení pro požadovanou dobu požární odolnosti, stanoví se vhodná požární ochrana tohoto nosníku.

5.1.2 Oblast A

Postup výpočtu je stejný jako pro oblast B. Rozměry jsou 9 x 9 m. Pro zjednodušení konstrukce se použije stejná výztužná síť ST 25C. Oblast A se také posoudí s touto výztužnou sítí. Oblast A zahrnuje dva nechráněné sprážené nosníky. Podrobnosti o výpočtu jsou uvedeny dále.

Krok 1: Výpočet zatížení konstrukce stropu za požáru

Výpočet je stejný jako výpočet pro oblast B.

Krok 2: Výpočet přestupu tepla do sprážené desky Cofraplus

Výpočet je stejný jako výpočet pro oblast B.

Step 3: Výpočet momentu únosnosti desky $M_{fi,0}$

Pro tuto oblast výpočtu:

$$L_1 = 9\,000 \text{ mm}$$

$$L_2 = 9\,000 \text{ mm}$$

a $L = \max \{L_1; L_2\} = 9\,000 \text{ mm}$ a $\ell = \min \{L_1; L_2\} = 9\,000 \text{ mm}$.

Z rovnic 3.6 a 3.7 lze získat

$$(g_0)_1 = 1 - \frac{2KA_s f_{sy, \rho_s} / \gamma_{M_s, fi, s}}{0.85 f_c / \gamma_{M_s, fi, c} d} = 1 - \frac{2 \times 1.0 \times \frac{257}{1000} \times 500 / 1.0}{0.85 \times 25 / 1.0 \times 30} = 0.597$$

$$(g_0)_2 = 1 - \frac{2A_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M_s,fi,s}}{0.85 f_c / \gamma_{M_s,fi,c} d} = 1 - \frac{2 \times 1.0 \times \frac{257}{1000} \times 500 / 1.0}{0.85 \times 25 / 1.0 \times 30} = 0.597$$

Součinitel K se rovná 1.0, protože výztužná síť má stejný příčný řez v obou směrech.

Kladný moment únosnosti průřezu desky je (viz rovnice 3.3):

$$M_{fi,0} = A_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M_s,fi,s} d \frac{3 + (g_0)_2}{4} = \frac{257}{1000} \times 500 / 1.0 \times 30 \times \frac{3 + 0.597}{4} = 3466.5 \text{ Nmm/mm}$$

Lze stanovit další pomocné součinitele (viz rovnice 3.4 a 3.5):

$$\mu = K \frac{3 + (g_0)_1}{3 + (g_0)_2} = 1.0 \times \frac{3 + 0.597}{3 + 0.597} = 1.0$$

$$a = \frac{L}{\ell} = \frac{9000}{9000} = 1.0$$

$$n = \frac{1}{2\mu a^2} (\sqrt{3\mu a^2 + 1} - 1) = \frac{1}{2 \times 1.0 \times 1.0^2} (\sqrt{3 \times 1.0 \times 1.0^2 + 1} - 1) = 0.50$$

Krok 4: Únosnost desky

Únosnost desky lze stanovit z rovnice 3.2:

$$p_{fi} = 6 \frac{M_{fi,0}}{n^2 a^2 \ell^2} = 6 \times \frac{3466.5}{0.5^2 \times 1.0^2 \times 9000^2} = 1.027 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2 = 1.027 \text{ kN/m}^2$$

Krok 5: Průhyb pro výpočet membránového působení

Průhyb desky za požáru, který zavádí do výpočtu membránové působení, lze získat z rovnice 3.18:

$$\begin{aligned} w &= \min \left\{ \frac{\alpha(\theta_2 - \theta_1)\ell^2}{19.2h_{eff}} + \min \left[\sqrt{\left(\frac{0.5f_{sy}}{E_a\gamma_{M_s,fi,s}} \right) \frac{3L^2}{8}}; \frac{\ell}{30} \right]; \frac{L+\ell}{30} \right\} \\ &= \min \left\{ \frac{1.2 \times 10^{-5} (831 - 99) \times 9000^2}{19.2 \times 95} + \min \left[\sqrt{\left(\frac{0.5 \times 500}{210000 \times 1.0} \right) \frac{3 \times 9000^2}{8}}; \frac{9000}{30} \right]; \frac{9000 + 9000}{30} \right\} \\ &= \min \{ 391.0 + \min [190.2; 300]; 600 \} = 581.2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Krok 6: Pomocné součinitele membránového působení

Součinitele membránové působení se určí z pomocných součinitelů α_1 , α_2 , β_1 , β_2 , A , B , C , D , k a b , které lze získat z rovnic 3.12 až 3.15. Hodnoty pomocných součinitelů jsou shrnuty v tabulce Tabulka 0-29.

Tabulka 0-8 Pomocné součinitele membránového působení v oblasti desky A

Rovnice	Hodnota
$\alpha_1 = \frac{2(g_0)_1}{3+(g_0)_1}$	0.332
$\beta_1 = \frac{1-(g_0)_1}{3+(g_0)_1}$	0.112
$\alpha_2 = \frac{2(g_0)_2}{3+(g_0)_2}$	0.332
$\beta_2 = \frac{1-(g_0)_2}{3+(g_0)_2}$	0.112
$k = \frac{4na^2(1-2n)}{4n^2a^2+1} + 1$	1.0
$A = \frac{1}{2(1+k)} \left[\frac{\ell^2}{8n} - \left(\frac{1-2n}{2n} + \frac{1}{3(1+k)} \right) \left((nL)^2 + (\ell/2)^2 \right) \right]$	3 375 000 mm ²
$B = \frac{k^2}{2(1+k)} \left[\frac{nL^2}{2} - \frac{k}{3(1+k)} \left((nL)^2 + (\ell/2)^2 \right) \right]$	3 375 000 mm ²
$C = \frac{\ell^2}{16n} (k-1)$	0 mm ²
$D = \frac{L^2}{8} (1-2n)^2$	0 mm ²
$b = \min \left[\frac{\ell^2}{8K(A+B+C-D)}, \frac{\gamma_{M,fi,s}}{kK A_s f_{sy,fb}} \left(0.85 \frac{f_c}{\gamma_{M,fi,c}} \times 0.45d - A_s \frac{f_{sy,fb}}{\gamma_{M,fi,s}} \frac{K+1}{2} \right) \right]$	1.232

Krok 7: Zvětšující součinitele membránové působení

Zvětšující součinitele e_{1b} , e_{2b} , e_{1m} a e_{2m} lze stanovit rovnicemi 3.10, 3.11, 3.16 a 3.17.

Tabulka 0-9 Zvětšující součinitele membránového působení v oblasti A

Rovnice	Hodnota
$e_{1b} = 2n \left(1 + \alpha_1 b \frac{k-1}{2} - \frac{\beta_1 b^2}{3} (k^2 - k + 1) \right) + (1-2n)(1 - \alpha_1 b - \beta_1 b^2)$	0.943
$e_{1m} = \frac{4b}{3 + (g_0)_1} \frac{w}{d} \left((1-2n) + n \frac{(2+3k-k^3)}{3(1+k)^2} \right)$	4.425
$e_1 = e_{1b} + e_{1m}$	5.368
$e_{2b} = 1 + \frac{\alpha_2 b K}{2} (k-1) - \frac{\beta_2 b^2 K}{3} (k^2 - k + 1)$	0.943
$e_{2m} = \frac{4bK}{3 + (g_0)_2} \frac{w}{d} \frac{(2+3k-k^3)}{6(1+k)^2}$	4.425
$e_2 = e_{2b} + e_{2m}$	5.368

Zvětšující součinitel e se stanoví z rovnice 3.8 jako

$$e = e_1 - \frac{e_1 - e_2}{1 + 2\mu\alpha^2} = 5.368 - \frac{5.368 - 5.368}{1 + 2 \times 1.0 \times 1.0^2} = 5.368$$

Krok 8: Únosnost desky za požáru

Únosnost desky za požáru, která uvažuje i membránové působení, lze stanovit z rovnice 3.1:

$$q_{fi,Rd,slab} = e \times p_{fi} = 5.368 \times 1.027 = 5.51 \text{ kN/m}^2$$

Krok 9: Příspěvek nechráněných nosníků

Momentová únosnost nosníků má stejnou hodnotu jako v oblasti A, ale výpočet únosnosti se kvůli rozdílným počtům vnitřních nechráněných nosníků a rozdílným rozpětím nosníků změní

$$q_{fi,Rd,ub} = \frac{8M_{fi,Rd}}{L_1^2} \frac{1+n_{ub}}{L_2} = \frac{8 \times 51.5}{9^2} \times \frac{(1+2)}{9} = 1.70 \text{ kN/m}^2$$

Krok 10: Únosnost konstrukce stropu za požáru

Celková únosnost konstrukce stropu je

$$q_{fi,Rd} = q_{fi,Rd,slab} + q_{fi,Rd,ub} = 5.51 + 1.70 = 7.21 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení konstrukce stropu za požární situace je

$$q_{fi,Sd} = 5.98 \text{ kN/m}^2 < q_{fi,Rd} = 7.21 \text{ kN/m}^2$$

Navržená stropní konstrukce na požární odolnost R60 vyhoví.

MACS+ - Membránové přebízení kompozitních konstrukcí při požární situaci

Podrobný protokol

8. Výhled orientace výtahové šlá

Stropní deska vyhovuje

Maximální stupeň vyždění: 0.83

Zatížení oh. požáru: 5.98 kN/m²

Teplotní křivka: Normální teplotní křivka

9. Výhled orientace výtahové šlá

Podkladní plocha výtahové: 227 mm²/m Velikost výtahových prutů: 7 mm

Příložná plocha výtahové: 227 mm²/m Velikost výtahových prutů: 7 mm

Zatížení oh. požáru: 5.98 kN/m²

Tabulkové výsledky

Číslo nosníku	Výtlukové šlá	Horní povrch betonové desky	Spodní povrch betonové desky	Únosnost nosníku	Maximální průhyb	Plastifikace desky	Zvážení	Únosnost desky	Celková únosnost	Stupeň vyždění	
mm	mm	mm	mm	kN/m ²	mm	kN/m ²		kN/m ²	kN/m ²		
0	20	20	20	25.92	190	1.03	2.39	2.46	29.37	0.20	
5	158	24	20	147	26.92	258	1.03	2.91	2.99	29.90	0.20
10	278	37	22	349	26.83	264	1.03	3.72	3.82	30.65	0.20
15	378	51	26	491	15.88	437	1.03	4.27	4.39	30.27	0.30
20	708	74	36	592	6.70	487	1.03	4.65	4.77	11.47	0.32
25	779	102	48	663	4.13	518	1.03	4.89	5.02	9.15	0.65
30	821	120	62	716	3.56	540	1.03	5.05	5.19	6.25	0.72
35	850	128	71	759	2.62	577	1.03	5.18	5.32	7.84	0.75
40	873	163	83	791	2.27	568	1.03	5.27	5.41	7.68	0.78
45	893	196	89	820	1.97	580	1.03	5.36	5.51	7.47	0.80
50	910	214	103	844	1.79	586	1.03	5.40	5.55	7.34	0.81
55	925	238	119	865	1.70	588	1.03	5.42	5.57	7.27	0.82
60	939	263	131	884	1.61	592	1.03	5.45	5.60	7.21	0.83

Maximální stupeň vyždění: 0.83

Návrh nosníků

Stupeň sřazení vnitřního nosníku (včetně nosníků) nespříjuje minimální hodnotu určenou normou EN 1994-1-1

Návrh krajního nosníku

Strana A	Druh nosníku	Plný nosník	Nespřížený krajní nosník
	Velikost průřezu:	IPE 400	
	Přídavkový moment odolnosti za požární situace:	365 kNm	
	Linové zatížení za požární situace:	36.05 kN/m	
	Stupeň vyždění:	0.83	
	Kritická teplota:	478 °C	

Strana B	Druh nosníku	Plný nosník	Sřazený vnitřní nosník
	Velikost průřezu:	IPE 750x137	
	Přídavkový moment odolnosti za požární situace:	419.96 kNm	
	Linové zatížení za požární situace:	41.48 kN/m	
	Stupeň sřazení:	72 %	
	Stupeň vyždění:	0.17	
	Kritická teplota:	777 °C	

Strana C	Druh nosníku	Plný nosník	Sřazený vnitřní nosník
	Velikost průřezu:	IPE 400	
	Přídavkový moment odolnosti za požární situace:	365 kNm	
	Linové zatížení za požární situace:	36.05 kN/m	

Přechod Další

Obrázek 0-9Výstupy programu MACS+ - podrobný výpis

Požární odolnost konstrukce stropu R60 v oblasti A je výpočtem ověřena.

Krok 11: Zatížení obvodových nosníků za požární situace

Zatížení stropnice a průvlaku na obvodu oblasti B za požární situace je vypočteno z 3.24 až 3.37:

- Pro obvodové stropnice platí:

$$M_{fi,Sd,b,1} = \frac{q_{fi,Rd} L_1^2 L_2 - 8 \left(M_{fi,0} \left(L_2 - n_{ub} b_{eff,ub} - \sum_{i=1}^2 b_{eff,1,i} \right) + n_{ub} M_{fi,Rd} \right)}{C_M}$$

$$= \frac{7.21 \times 9^2 \times 9 - 8 \times \left\{ 3466.5 \times 10^{-3} \times \left[9 - 2 \times 2.25 - (0 + 2.25/2) \right] + 2 \times 51.5 \right\}}{12}$$

$$= 361.5 \text{ kNm}$$

$$V_{fi,Sd,b,1} = \frac{4M_{fi,Sd,b,1}}{L_1} = \frac{4 \times 361.5}{9} = 160.7 \text{ kN}$$

- Pro obvodové průvlaky platí:

$$M_{fi,Sd,b,2} = \frac{q_{fi,Rd}L_1L_2^2 - 8\mu M_{fi,0} \left(L_1 - \sum_{i=1}^2 b_{eff,2,i} \right)}{c_M} = \frac{7.21 \times 9 \times 9^2 - 8 \times 1.0 \times 3466.5 \times 10^{-3} \times (9 - (0 + 9/8))}{12}$$

$$= 419.8 \text{ kNm}$$

$$V_{fi,Sd,b,2} = \frac{4M_{fi,Sd,b,2}}{L_2} = \frac{4 \times 419.8}{9} = 186.6 \text{ kN}$$

Obvodové nosníky v rohu pláště budovy přenáší zatížení od fasádních dílců o velikosti 2.0 kN/m.

- pro obvodovou stropnici

$$M_{fi,Sd,b,1} = 361.5 + \frac{2.0 \times 9^2}{8} = 381.7 \text{ kNm} \quad \text{a} \quad V_{fi,Sd,b,1} = 160.7 + \frac{2.0 \times 9}{2} = 169.7 \text{ kN}$$

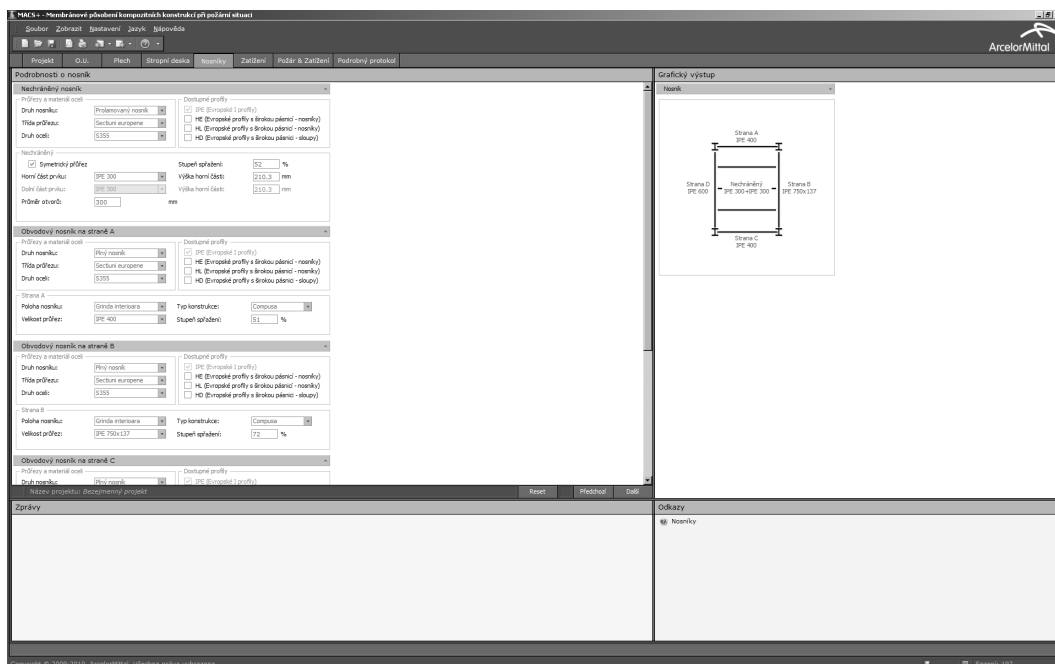
- pro obvodový průvlak:

$$M_{fi,Sd,b,2} = 419.8 + \frac{2.0 \times 9^2}{8} = 440.0 \text{ kNm} \quad \text{a} \quad V_{fi,Sd,b,2} = 186.6 + \frac{2.0 \times 9}{2} = 195.6 \text{ kN}$$

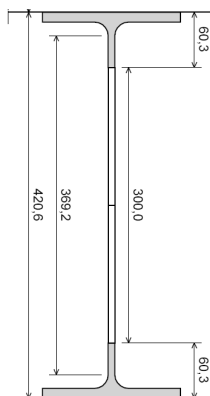
Pro nosníky se navrhne požární ochrana tak, aby vypočtená únosnost za požární situace nebyla menší než působící zatížení pro požadovanou dobu požární odolnosti.

5.1.3 Oblast E

V oblasti E jsou rozměry sprážených desky a rozpětí nosníků stejná jako v oblasti B. Válcované nosníky jsou nahrazeny nosníky prolamovanými IPE 300+IPE 300 ACB (viz Obrázek 0-11).



Obrázek 0-10 Zadání do programu MACS+ – nosníky v oblasti E



Obrázek 0-11 Řez ACB nosníkem v oblasti E

Je třeba přepočítat pouze únosnost nechráněných nosníků.

Kroky 1 až 8: stejné jako v oblasti B

Krok 9: Únosnost konstrukce stropu s přispěním nechráněných nosníků

Hodnoty součinitele průřezu nechráněného průřezu jsou shrnuty v Tabulka 0-10.

Z Chyba! Nenalezen zdroj odkazů. lze vyčíst teploty částí stropnice:

- teplota pásnic je 940.0°C;
- teplota dolní části stojiny je 942.1°C v **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**, ale protože výška ocelového průřezu není větší než 500 mm rovná se 940.0°C;
- teplota horní části: 942.1°C;

- teplota trnů (viz kapitola 4.3.4.2.5 normy EN 1994-1-2) je $940.0 \times 0.8 = 752.0^\circ\text{C}$

Tabulka 0-10 Součinitel průřezu nechráněného nosníku

Ocelový průřez	$k_{sh} = 0.9 \left(\frac{0.5B_1 + t_{f1} + t_{f2} + \sqrt{h_w^2 + (B_1 - B_2)^2} / 4}{H + B_1 + B_2 / 2 - (t_{w1} + t_{w2}) / 2} \right)$	$\left(\frac{A_i}{V_i} \right) \text{ (m}^{-1}\text{)}$	$k_{sh} \left(\frac{A_i}{V_i} \right) \text{ (m}^{-1}\text{)}$
Spodní pásnice	0.699	$\frac{2(B_1 + t_{f1})}{B_1 t_{f1}} = 200$	140
Spodní část stojiny		$\frac{2h_{w1} + t_{w1}}{h_{w1} t_{w1}} = 302$	211
Horní část stojiny		$\frac{2h_{w2} + t_{w2}}{h_{w2} t_{w2}} = 302$	211
Horní pásnice		$\frac{2(B_2 + t_{f2})}{B_2 t_{f2}} = 200$	140
kde H je výška ocelového průřezu; h_w celková výška stojiny; B_1 šířka dolní pásnice; t_{f1} tloušťka dolní pásnice; t_{w1} tloušťka dolní části stojiny; h_{w1} výška dolní části stojiny (čistý řez); B_2 šířka horní pásnice; t_{f2} : tloušťka horní pásnice; t_{w2} : tloušťka horní části stojiny; h_{w2} výška horní části stojiny (čistý řez).			

Znalost teploty ocelového průřezu a spřahujících trnů umožňuje stanovit moment únosnosti vnitřních nechráněných spřažených nosníků. Při teplotě přes 600°C je pro prolamované nosníky příspěvek dolní části zanedbán. Vypočtené hodnoty jsou shrnuty v Tabulka 0-11.

Tabulka 0-11 Momentová únosnost nechráněného nosníku v oblasti E

Parametry	Vypočtené hodnoty
Efektivní šířka desky	$b_{eff} = \min\{9\,000 / 4 ; 3\,000\} = 2\,250 \text{ mm}$
Plocha horní pásnice A_{f2}	$A_{f2} = 1\,605 \text{ mm}^2$
Plocha horní stojiny A_{w2}	$A_{w2} = 352 \text{ mm}^2$
Redukční součinitel meze pevnosti oceli	$k_{y,\theta} = 0.052$
Redukční součinitel meze pevnosti trnů	$k_{u,\theta} = 0.17$
Tahová síla $T^+ = \sum A_i f_y k_{y,\theta} / \gamma_{M,fi,a}$	$T^+ = (1\,605 + 352) \times 355 \times 0.052 / 1.0 = 36.08 \text{ kN}$
Tloušťka desky v tlaku za požáru $h_u = \frac{T^+}{b_{eff} f_c / \gamma_{M,fi,c}}$	$h_u = \frac{36.08}{2\,250 \times 25 / 1.0} = 0.641 \text{ mm}$
Stupeň spřažení nosníku při teplotě 20°C	$n_{c,20^\circ\text{C}} = 0.52$
Stupeň spřažení nosníku za požární situace $n_{c,\theta} = \frac{n_{c,20^\circ\text{C}} k_{u,\theta} \gamma_{M,\nu}}{k_{y,\theta} \gamma_{M,fi,\nu}}$	$n_{c,\theta} = \frac{0.52 \times 0.17 \times 1.25}{0.052 \times 1.0} = 2.05 > 1.0$ jedná se plně spřažení
Tahová síla v bodě $y_T = \frac{\sum A_i y_i f_y k_{y,\theta}}{T^+ \gamma_{M,fi,a}}$	$y_T = \frac{(352 \times 6.45 + 1\,605 \times 29.63) \times 355 \times 0.052}{36.08 \times 1.0} = 409.86 \text{ mm}$
Tlaková síla v bodě $y_F = H + h_c - h_u / 2$	$y_F = 420.6 + 130 - 0.641 / 2 = 550.28 \text{ mm}$
Kladný moment únosnosti $M_{fi,Rd} = T^+ (y_F - y_T)$	$M_{fi,Rd} = 36.08 \times (550.28 - 409.86) = 5.07 \times 10^6 \text{ Nmm} = 5.07 \text{ kNm}$
kde h_c je celková tloušťka desky; $\gamma_{M,fi,a}$, $\gamma_{M,\nu}$ a $\gamma_{M,fi,\nu}$ dílčí součinitel při požární situaci, pro spřahovací trny za běžné teploty a při požární situaci	

Únosnost konstrukce stropu, desky a nechráněného spřaženého nosníku, se stanoví z rovnice 3.21 jako

$$q_{f_i,Rd,ub} = \frac{8M_{f_i,Rd}}{L_1^2} \frac{1+n_{ub}}{L_2} = \frac{8 \times 5.07}{9^2} \times \frac{(1+3)}{12} = 0.17 \text{ kN/m}^2$$

Krok 10: Únosnost konstrukce stropu za požáru

Únosnost konstrukce stropu za požární situace je

$$q_{f_i,Rd} = q_{f_i,Rd,slab} + q_{f_i,Rd,ub} = 4.78 + 0.17 = 4.95 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení na strop za požární situace je

$$q_{f_i,Sd} = 5.98 \text{ kN/m}^2 > q_{f_i,Rd} = 4.95 \text{ kN/m}^2$$

Navržená stropní konstrukce v oblasti E na požární odolnost R60 nevyhoví.

MACS+ - Nominálně přídělené kompozitní lamelny při požární situaci

Podrobný protokol

5. Výchozí orientace výztužné sítě

Maximální stupeň vyždění: 1.2 Stropní deska nevyhovuje
 Zatížení při požáru: 5.98 kN/m²
 Teplotní křivka: Normální teplotní křivka

6. Výpočet orientace výztužné sítě

Podkladní plocha výztuže: 257 mm²/m Velikost výztužných prutů: 7 mm
 Příčná plocha výztuže: 257 mm²/m Velikost výztužných prutů: 7 mm
 Zatížení při požáru: 5.98 kN/m²

7. Tabulkové výsledky

Čas	Nosník	Výztužná síť	Horní povrch betonové desky	Spodní povrch betonové desky	Únosnost nosníku	Maximální přírůstek	Klasifikace desky	Zvětšení	Únosnost desky	Celková únosnost	Stupeň vyždění
min	h	h	°C	°C	kN/m²	mm	kN/m²		kN/m²	kN/m²	
0	20	20	20	20	14.00	254	0.79	2.94	2.34	16.33	0.37
5	164	24	20	147	14.00	321	0.79	3.48	3.76	16.76	0.36
10	291	37	22	348	13.16	428	0.79	4.31	3.42	16.58	0.36
15	391	50	26	491	4.51	501	0.79	4.89	2.85	16.59	0.36
20	716	74	36	592	0.86	550	0.79	5.28	4.19	5.05	1.18
25	783	102	46	663	0.59	552	0.79	5.53	4.39	4.98	1.20
30	823	120	62	716	0.50	609	0.79	5.69	4.52	5.02	1.19
35	851	135	71	759	0.43	620	0.79	5.83	4.63	5.06	1.18
40	874	163	83	791	0.38	631	0.79	5.92	4.70	5.07	1.18
45	893	195	89	820	0.33	644	0.79	6.01	4.77	5.10	1.17
50	910	214	103	844	0.31	649	0.79	6.06	4.81	5.11	1.17
55	926	238	119	865	0.29	652	0.79	6.08	4.82	5.11	1.17
60	939	263	131	884	0.28	655	0.79	6.10	4.85	5.12	1.17

Maximální stupeň vyždění: 1.2 Stropní deska nevyhovuje

8. Návrh nosníků

Stupeň spřažení vnitřního nosníku (vnitřních nosníků) nesplňuje minimální hodnotu určenou normou EN 1994-1-1

9. Návrh křehkého nosníku

Strana A Druh nosníku: Pevný nosník Spřažený vnitřní nosník
 Velikost průřezu: IPE 400
 Podélový moment odolnosti za požární situace: 441.43 kNm
 Liniové zatížení za požární situace: 43.6 kN/m
 Stupeň spřažení: 51 %
 Stupeň vyždění: 0.4
 Kritická teplota: 594 °C

Strana B Druh nosníku: Pevný nosník Spřažený vnitřní nosník
 Velikost průřezu: IPE 750x123
 Podélový moment odolnosti za požární situace: 628.51 kNm
 Liniové zatížení za požární situace: 34.92 kN/m
 Stupeň spřažení: 72 %
 Stupeň vyždění: 0.24
 Kritická teplota: 719 °C

Strana C Druh nosníku: Pevný nosník Spřažený vnitřní nosník
 Velikost průřezu: IPE 400
 Podélový moment odolnosti za požární situace: 441.43 kNm

Obrázek 0-12 Výstup programu MACS+ - podrobný výpis

Závěr 1

Požární odolnost R60 v oblasti E není výpočtem ověřena. Je třeba změnit konstrukční řešení.

Požární odolnost lze zvýšit zvětšením osové vzdálenosti sítě od horního povrchu nebo zvětšením průřezů výztužné sítě.

Nejbližší plocha sítě v možném výběru se rovná 385 mm² /m. Je větší, než navržená síť ST 25C. První možností je zvýšení osové vzdálenosti sítě tak, aby její teplota nepřekročila 400 ° C. Krycí vrstva byla zvětšena z 30 mm na 40 mm.

Osová vzdálenost sítě od horního povrchu vede na únosnosti:

Oblast A: $q_{fi,Rd} = q_{fi,Rd,slab} + q_{fi,Rd,ub} = 6.85 + 1.70 = 8.55 \text{ kN/m}^2 > 7.21 \text{ kN/m}^2$;

Oblast B: $q_{fi,Rd} = q_{fi,Rd,slab} + q_{fi,Rd,ub} = 5.07 + 1.70 = 6.77 \text{ kN/m}^2 > 6.48 \text{ kN/m}^2$.

Zvětšení osové vzdálenosti sítě se zvýšila celková únosnost oblasti A i oblasti B.

Krok 2a Výpočet přestupu tepla do spřažené desky Cofraplus 60

Rozložení teploty v desce se nezmění, ale teplota sítě se zvyšuje z 288°C na 363°C . Podle tabulky 3-4 normy EN 1994-1-2 ještě nedochází ke snížení efektivní meze kluzu výztužné sítě.

Krok 3a: Výpočet momentu únosnosti průřezu desky $M_{fi,0}$

Pro tuto oblast výpočtu:

$$L_1 = 9\,000 \text{ mm (rozpětí stropnic)}$$

$$L_2 = 12\,000 \text{ mm (rozpětí průvlaků)}$$

a $L = \max \{L_1; L_2\} = 12\,000 \text{ mm}$ a $\ell = \min \{L_1; L_2\} = 9\,000 \text{ mm}$.

Z rovnic 3.6 a 3.7 lze získat:

$$(g_0)_1 = 1 - \frac{2KA_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M_s,fi,s}}{0.85 f_c / \gamma_{M_s,fi,c} d} = 1 - \frac{2 \times 1.0 \times \frac{257}{1000} \times 500 / 1.0}{0.85 \times 25 / 1.0 \times 40} = 0.698$$

$$(g_0)_2 = 1 - \frac{2A_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M_s,fi,s}}{0.85 f_c / \gamma_{M_s,fi,c} d} = 1 - \frac{2 \times 1.0 \times \frac{257}{1000} \times 500 / 1.0}{0.85 \times 25 / 1.0 \times 40} = 0.698$$

Kladný moment únosnosti průřezu desky je pak (viz rovnice 3.3):

$$M_{fi,0} = A_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M_s,fi,s} d \frac{3 + (g_0)_2}{4} = \frac{257}{1000} \times 500 / 1.0 \times 40 \times \frac{3 + 0.698}{4} = 4\,751.5 \text{ Nmm/mm}$$

Současně lze stanovit další pomocné součinitele (viz rovnice 3.4 a 3.5):

$$\mu = K \frac{3 + (g_0)_1}{3 + (g_0)_2} = 1.0 \times \frac{3 + 0.698}{3 + 0.698} = 1.0$$

$$a = \frac{L}{\ell} = \frac{12\,000}{9\,000} = 1.333$$

$$n = \frac{1}{2\mu a^2} (\sqrt{3\mu a^2 + 1} - 1) = \frac{1}{2 \times 1.0 \times 1.333^2} \times (\sqrt{3 \times 1.0 \times 1.333^2 + 1} - 1) = 0.427$$

Krok 4a: Únosnost desky

Únosnost desky lze stanovit z rovnice 3.2:

$$p_{fi} = 6 \frac{M_{fi,0}}{n^2 a^2 \ell^2} = 6 \times \frac{4751.5}{0.427^2 \times 1.333^2 \times 9000^2} = 1.088 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2 = 1.088 \text{ kN/m}^2$$

Krok 5a: stejný jako Krok5

Krok 6a: Pomocné součinitele membránového působení

Součinitele membránové působení se určí z pomocných součinitelů α_1 , α_2 , β_1 , β_2 , A , B , C , D , k a b , které lze získat z rovnic 3.12 až 3.15. Hodnoty pomocných součinitelů jsou shrnuty v tabulce Tabulka 0-213.

Tabulka 0-12 Pomocné součinitele membránového působení v oblasti E

Rovnice	Hodnota
$\alpha_1 = \frac{2(g_0)_1}{3+(g_0)_1}$	0.377
$\beta_1 = \frac{1-(g_0)_1}{3+(g_0)_1}$	0.082
$\alpha_2 = \frac{2(g_0)_2}{3+(g_0)_2}$	0.377
$\beta_2 = \frac{1-(g_0)_2}{3+(g_0)_2}$	0.082
$k = \frac{4na^2(1-2n)}{4n^2a^2+1} + 1$	1.194
$A = \frac{1}{2(1+k)} \left[\frac{\ell^2}{8n} - \left(\frac{1-2n}{2n} + \frac{1}{3(1+k)} \right) \left((nL)^2 + (\ell/2)^2 \right) \right]$	1 978 359 mm ²
$B = \frac{k^2}{2(1+k)} \left[\frac{nL^2}{2} - \frac{k}{3(1+k)} \left((nL)^2 + (\ell/2)^2 \right) \right]$	7 242 376 mm ²
$C = \frac{\ell^2}{16n} (k-1)$	2 305 602 mm ²
$D = \frac{L^2}{8} (1-2n)^2$	388 465 mm ²
$b = \min \left[\frac{\ell^2}{8K(A+B+C-D)}, \frac{\gamma_{M,\beta,s}}{kKA_s f_{sy,\beta}} \left(0.85 \frac{f_c}{\gamma_{M,\beta,c}} \times 0.45d - A_s \frac{f_{sy,\beta}}{\gamma_{M,\beta,s}} \frac{K+1}{2} \right) \right]$	0.909

Krok 7a: Zvětšující součinitele membránového působení

Zvětšující součinitele e_{1b} , e_{2b} , e_{1m} a e_{2m} lze stanovit rovnicemi 3.10, 3.11, 3.16 a 3.17.

Tabulka 0-13 Zvětšující součinitele membránového působení v oblasti E

Rovnice	Hodnota
$e_{1b} = 2n \left(1 + \alpha_1 b \frac{k-1}{2} - \frac{\beta_1 b^2}{3} (k^2 - k + 1) \right) + (1-2n)(1 - \alpha_1 b - \beta_1 b^2)$	0.944
$e_{1m} = \frac{4b}{3 + (g_0)_1} \frac{w}{d} \left((1-2n) + n \frac{2+3k-k^3}{3(1+k)^2} \right)$	4.143
$e_1 = e_{1b} + e_{1m}$	5.088
$e_{2b} = 1 + \frac{\alpha_2 b K}{2} (k-1) - \frac{\beta_2 b^2 K}{3} (k^2 - k + 1)$	1.006
$e_{2m} = \frac{4bK}{3 + (g_0)_2} \frac{w}{d} \frac{2+3k-k^3}{6(1+k)^2}$	2.128
$e_2 = e_{2b} + e_{2m}$	3.134

Zvětšující součinitel e se stanoví z rovnice 3.8:

$$e = e_1 - \frac{e_1 - e_2}{1 + 2\mu\alpha^2} = 5.088 - \frac{5.088 - 3.134}{1 + 2 \times 1.0 \times 1.333^2} = 4.659$$

Krok 8a: Únosnost desky za požáru

Únosnost desky za požáru, která uvažuje s membránovým působením, lze stanovit z rovnice 3.1 jako

$$q_{fi, Rd, slab} = e \times p_{fi} = 4.659 \times 1.088 = 5.07 \text{ kN/m}^2$$

Krok 9a: Únosnost konstrukce stropu s příspěvkem nechráněných nosníků

Výpočet je stejný jako v kroku 9.

Step 10a: Únosnost konstrukce stropu za požáru

Celková únosnost desky je:

$$q_{fi,Rd} = q_{fi,Rd,slab} + q_{fi,Rd,ub} = 5.07 + 0.17 = 5.24 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení působící na desku za požární situace

$$q_{fi,Sd} = 5.98 \text{ kN/m}^2 > q_{fi,Rd} = 5.24 \text{ kN/m}^2$$

Strop nevyhoví.

MACS+ - Membranové působení kompozitních konstrukcí při požární situaci

Podrobný výpis

8. Východ orientace vyztužené sítě
 Maximální stupeň vyvážení: 1.13 Stropní deska nevyhovuje
 Zatížení při požáru: 5.98 kN/m²
 Teplotní křivka: Normový topiční křivka

9. Východ orientace vyztužené sítě
 Podkladní plocha vyztužení: 257 mm²/m Velikost vyztužných prutů: 7 mm
 Půdní plocha vyztužení: 257 mm²/m Velikost vyztužných prutů: 7 mm
 Zatížení při požáru: 5.98 kN/m²

Tabulkové výsledky

Čas	Nosník	Výztužná síť	Horní povrch nosné desky	Spodní povrch nosné desky	Únosnost nosníku	Maximální průřezový průřeh	Klasifikace desky	Zužčení	Únosnost desky	Číselná únosnost	Stupeň vyvážení
min	°C	°C	°C	°C	kN/m²	mm	kN/m²	mm	kN/m²	kN/m²	mm²
0	20	20	20	20	14.00	294	1.09	2.41	2.43	16.42	0.36
5	164	31	20	147	14.00	321	1.09	2.80	3.05	17.05	0.35
10	391	53	22	348	13.16	428	1.09	3.41	3.71	16.88	0.35
15	591	75	20	491	6.51	501	1.09	3.80	4.17	10.68	0.56
20	715	109	35	592	0.86	550	1.09	4.12	4.48	5.34	1.12
25	783	149	48	663	0.59	582	1.09	4.30	4.68	5.27	1.13
30	823	180	62	716	0.50	600	1.09	4.42	4.81	5.31	1.13
35	851	200	71	758	0.43	620	1.09	4.52	4.92	5.35	1.12
40	874	236	83	791	0.38	631	1.09	4.58	4.99	5.37	1.11
45	893	266	89	820	0.33	644	1.09	4.65	5.06	5.39	1.11
50	910	293	103	844	0.31	649	1.09	4.68	5.10	5.40	1.11
55	925	319	119	865	0.29	652	1.08	4.70	5.05	5.34	1.12
60	939	345	131	884	0.28	655	1.06	4.71	5.00	5.28	1.13

Maximální stupeň vyvážení: 1.13 Stropní deska nevyhovuje

Návrh nosníků
 Stupeň splnění vnitřního nosníku (vnitřních nosníků) nesplňuje minimální hodnotu určenou EN 1994-1-1

Návrh krajního nosníku

Strana A	Druh nosníku	Průřez	Splnění
	Druh nosníku	Průřez	Splnění
	Velikost průřezu:	IPE 400	Splněný krajní nosník
	Podávaný moment odolnosti za požární situace:	438.86 kNm	
	Linové zatížení za požární situace:	43.34 kN/m	
	Stupeň splnění:	51 %	
	Stupeň vyvážení:	0.68	
	Kritická teplota:	584 °C	

Strana B

Druh nosníku	Průřez	Splnění
Druh nosníku	Průřez	Splnění vnitřní nosník
Velikost průřezu:	IPE 700x137	
Podávaný moment odolnosti za požární situace:	622.08 kNm	
Linové zatížení za požární situace:	34.56 kN/m	
Stupeň splnění:	72 %	
Stupeň vyvážení:	0.24	
Kritická teplota:	720 °C	

Strana C

Druh nosníku	Průřez	Splnění
Druh nosníku	Průřez	Splnění vnitřní nosník
Velikost průřezu:	IPE 400	
Podávaný moment odolnosti za požární situace:	438.86 kNm	
Linové zatížení za požární situace:	43.34 kN/m	

Obrázek 0-13 Výstupy programu MACS+ – podrobný výpis

Závěr 2

Požární odolnost konstrukce stropu v oblasti E nelze výpočtem ověřit pro požární odolnost R60. Je třeba změnit konstrukční řešení, např. větší průřez vyztužené sítě.

Průřez vyztužené sítě se zvětší z ST 25C (257 mm²/m) na ST 40C (385 mm²/m).

Krok 2b: stejný jako Krok 2a

Krok 3b: Výpočet momentu únosnosti průřezu desky $M_{fi,0}$

Pro tuto oblast výpočtu:

$$L_1 = 9\,000 \text{ mm (rozpětí stropnic)}$$

$$L_2 = 12\,000 \text{ mm (rozpětí průvlaků)}$$

$$a \ L = \max \{L_1; L_2\} = 12\,000 \text{ mm} \text{ and } \ell = \min \{L_1; L_2\} = 9\,000 \text{ mm.}$$

Z rovnice 3.6 a 3.7 lze stanovit:

$$(g_0)_1 = 1 - \frac{2KA_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M_{f_i,s}}}{0.85 f_c / \gamma_{M_{f_i,c}} d} = 1 - \frac{2 \times 1.0 \times \frac{385}{1000} \times 500 / 1.0}{0.85 \times 25 / 1.0 \times 40} = 0.547$$

$$(g_0)_2 = 1 - \frac{2A_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M_{f_i,s}}}{0.85 f_c / \gamma_{M_{f_i,c}} d} = 1 - \frac{2 \times 1.0 \times \frac{385}{1000} \times 500 / 1.0}{0.85 \times 25 / 1.0 \times 40} = 0.547$$

Kladný moment únosnosti průřezu desky je (viz rovnice 3.3)

$$M_{f_i,0} = A_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M_{f_i,s}} d \frac{3 + (g_0)_2}{4} = \frac{385}{1000} \times 500 / 1.0 \times 40 \times \frac{3 + 0.547}{4} = 6\,828.09 \text{ Nmm/mm}$$

Pomocné součinitele viz rovnice 3.4 a 3.5 jsou:

$$\mu = K \frac{3 + (g_0)_1}{3 + (g_0)_2} = 1.0 \times \frac{3 + 0.547}{3 + 0.547} = 1.0$$

$$a = \frac{L}{\ell} = \frac{12\,000}{9\,000} = 1.333$$

$$n = \frac{1}{2\mu a^2} (\sqrt{3\mu a^2 + 1} - 1) = \frac{1}{2 \times 1.0 \times 1.333^2} \times (\sqrt{3 \times 1.0 \times 1.333^2 + 1} - 1) = 0.427$$

Krok 4b: Únosnosti desky

Únosnost desky lze stanovit z rovnice 3.2:

$$p_{f_i} = 6 \frac{M_{f_i,0}}{n^2 a^2 \ell^2} = 6 \times \frac{6\,828.09}{0.427^2 \times 1.333^2 \times 9\,000^2} = 1.564 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2 = 1.564 \text{ kN/m}^2$$

Krok 5b je stejný jako krok 5

Krok 6b: Pomocné součinitele membránového působení

Součinitele membránové působení se určí z pomocných součinitelů α_1 , α_2 , β_1 , β_2 , A , B , C , D , k a b , které lze získat z rovnic 3.12 až 3.15. Hodnoty pomocných součinitelů jsou shrnuty v tabulce Tabulka 0-215.

Tabulka 0-14 Pomocné součinitele membránového působení v oblasti E

Rovnice	Hodnota
$\alpha_1 = \frac{2(g_0)_1}{3 + (g_0)_1}$	0.308
$\beta_1 = \frac{1 - (g_0)_1}{3 + (g_0)_1}$	0.122
$\alpha_2 = \frac{2(g_0)_2}{3 + (g_0)_2}$	0.308
$\beta_2 = \frac{1 - (g_0)_2}{3 + (g_0)_2}$	0.128
$k = \frac{4na^2(1-2n)}{4n^2a^2 + 1} + 1$	1.194
$A = \frac{1}{2(1+k)} \left[\frac{\ell^2}{8n} - \left(\frac{1-2n}{2n} + \frac{1}{3(1+k)} \right) \left((nL)^2 + (\ell/2)^2 \right) \right]$	1 978 359 mm ²
$B = \frac{k^2}{2(1+k)} \left[\frac{nL^2}{2} - \frac{k}{3(1+k)} \left((nL)^2 + (\ell/2)^2 \right) \right]$	7 242 376 mm ²
$C = \frac{\ell^2}{16n} (k-1)$	2 305 602 mm ²
$D = \frac{L^2}{8} (1-2n)^2$	388 465 mm ²
$b = \min \left[\frac{\ell^2}{8K(A+B+C-D)}, \frac{\gamma_{M,\beta,s}}{kK A_s f_{sy,\beta s}} \left(0.85 \frac{f_c}{\gamma_{M,\beta,c}} \times 0.45d - A_s \frac{f_{sy,\beta s}}{\gamma_{M,\beta,s}} \frac{K+1}{2} \right) \right]$	0.826

Krok 7b: Zvětšující součinitele membránové působení

Zvětšující součinitele e_{1b} , e_{2b} , e_{1m} a e_{2m} lze stanovit rovnicemi 3.10, 3.11, 3.16 a 3.17:

Tabulka 0-15 Součinitele membránového působení v oblasti E

Rovnice	Hodnota
$e_{1b} = 2n \left(1 + \alpha_1 b \frac{k-1}{2} - \frac{\beta_1 b^2}{3} (k^2 - k + 1) \right) + (1-2n)(1 - \alpha_1 b - \beta_1 b^2)$	0.940
$e_{1m} = \frac{4b}{3 + (g_0)_1} \frac{w}{d} \left((1-2n) + n \frac{2+3k-k^3}{3(1+k)^2} \right)$	3.927
$e_1 = e_{1b} + e_{1m}$	4.867
$e_{2b} = 1 + \frac{\alpha_2 b K}{2} (k-1) - \frac{\beta_2 b^2 K}{3} (k^2 - k + 1)$	0.989
$e_{2m} = \frac{4bK}{3 + (g_0)_2} \frac{w}{d} \frac{2+3k-k^3}{6(1+k)^2}$	2.017
$e_2 = e_{2b} + e_{2m}$	3.006

Zvětšující součinitel e se vypočítá z rovnice 3.8 jako

$$e = e_1 - \frac{e_1 - e_2}{1 + 2\mu\alpha^2} = 4.867 - \frac{4.867 - 3.006}{1 + 2 \times 1.0 \times 1.333^2} = 4.458$$

Krok 8b: Únosnost desky za požáru

Únosnost desky s vlivem membránového působení lze stanovit z rovnice 3.1 jako

$$q_{fi,Rd,slab} = e \times p_{fi} = 4.458 \times 1.564 = 6.97 \text{ kN/m}^2$$

Krok 9b: Únosnost desky s přispěním nechráněných nosníků

Postup je stejný jako v kroku 9.

Krok 10b: Únosnost konstrukce stropu za požáru

Únosnost konstrukce stropu za požární situace je

$$q_{fi,Rd} = q_{fi,Rd,slab} + q_{fi,Rd,ub} = 6.97 + 0.17 = 7.14 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení konstrukce stropu za požární situace je

$$q_{fi,Sd} = 5.98 \text{ kN/m}^2 < q_{fi,Rd} = 7.14 \text{ kN/m}^2$$

Závěr 3

Požární odolnost R60 je pro oblast E ověřena.

8. Shrnutí

9. Výchozí orientace vyznažené síti

Podkladní plocha vyznažení: 385 mm/m
 Průhlná plocha vyznažení: 385 mm/m
 Zatížení při požáru: 5.98 kN/m²

Velikost vyznažných pruhů: 7 mm
 Velikost vyznažných pruhů: 7 mm

Tabulkové výsledky

Čas	Nosník	Vyznažená síť	Horní povrch betonové desky	Spodní povrch betonové desky	Únosnost nosníku	Maximální průřehy	Klasifikační desky	Z-věžení	Únosnost desky	Číselná únosnost	Stupeň využití
min	°C	°C	°C	°C	kN/m ²	mm	kN/m ²		kN/m ²	kN/m ²	
0	20	20	20	20	14.00	254	1.96	2.33	3.64	17.84	0.34
5	164	31	30	147	14.00	311	1.96	2.70	4.32	18.32	0.33
10	391	53	22	348	13.16	428	1.96	3.28	5.12	18.29	0.33
15	591	75	28	491	6.51	501	1.96	3.67	5.75	12.26	0.49
20	716	109	36	592	0.86	550	1.96	3.94	6.17	7.03	0.85
25	783	149	48	663	0.59	582	1.96	4.12	6.44	7.03	0.85
30	823	180	62	716	0.50	603	1.96	4.23	6.52	7.12	0.84
35	851	200	71	758	0.43	620	1.96	4.33	6.76	7.20	0.83
40	874	216	81	791	0.38	631	1.96	4.39	6.86	7.24	0.83
45	893	266	89	820	0.33	644	1.96	4.45	6.96	7.29	0.82
50	910	293	103	844	0.31	649	1.96	4.48	7.01	7.32	0.82
55	926	319	119	865	0.29	652	1.96	4.57	7.08	7.37	0.81
60	939	343	131	884	0.28	655	1.93	4.70	7.17	7.45	0.80

Maximální stupeň využití: 0.85 **Stropní deska vyhovuje**

Něvhř noanůš

Stupeň spřažení vnřního nosníku (vnřních nosníků) nespřahuje minimální hodnotu určenou normou EN 1994-1-1

Něvhř křehkého nosníku

Strana A: Dřh nosník	První nosník	Spřažení	Krajní nosník
Velikost průřezu:	IPE 400		
Podřadovaný moment odolnosti za požární situace:	503.35 kNm		
Limítní zatřžení se požární situace:	49.71 kN/m		
Stupeň spřažení:	51 %		
Stupeň využití:	0.77		
Kritická teplota:	553 °C		
Strana B: Dřh nosník	První nosník	Spřažení	Vnřní nosník
Velikost průřezu:	IPE 750x137		
Podřadovaný moment odolnosti za požární situace:	725.04 kNm		
Limítní zatřžení se požární situace:	40.28 kN/m		
Stupeň spřažení:	72 %		
Stupeň využití:	0.38		
Kritická teplota:	695 °C		
Strana C: Dřh nosník	První nosník	Spřažení	Vnřní nosník
Velikost průřezu:	IPE 400		
Podřadovaný moment odolnosti za požární situace:	503.35 kNm		
Limítní zatřžení se požární situace:	49.71 kN/m		

Obrazek 0-14 Výstupy z programu MACS+ software – podrobná zpráva

Krok 11: Zatřžení obvodových nosníků za požární situace

Zatřžení za požární situace na stropnice a obvodové nosníky v oblasti B jsou vypočtena ze vztahu 3.24 až 3.37:

- Pro obvodové stropnice platí:

$$M_{fi,Sd,b,1} = \frac{q_{fi,Rd} L_1^2 L_2 - 8 \left(M_{fi,0} \left(L_2 - n_{ub} b_{eff,ub} - \sum_{i=1}^2 b_{eff,1,i} \right) + n_{ub} M_{fi,Rd} \right)}{c_M}$$

$$= \frac{7.14 \times 9^2 \times 12 - 8 \times \left\{ 6828.09 \times 10^{-3} \times [12 - 3 \times 2.25 - (2.25/2 + 2.25/2)] + 3 \times 5.1 \right\}}{12}$$

$$= 554.5 \text{ kNm}$$

$$V_{fi,Sd,b,1} = \frac{4M_{fi,Sd,b,1}}{L_1} = \frac{4 \times 554.50}{9} = 246.4 \text{ kN}$$

- Pro obvodové průřvlky platí:

$$M_{f_i, Sd, b, 2} = \frac{q_{f_i, Rd} L_1 L_2^2 - 8 \mu M_{f_i, 0} \left(L_1 - \sum_{i=1}^2 b_{eff, 2, i} \right)}{c_M} = \frac{7.14 \times 9 \times 12^2 - 8 \times 1.0 \times 6828.09 \times 10^{-3} \times (9 - (12/8 + 12/8))}{12}$$

$$= 743.8 \text{ kNm}$$

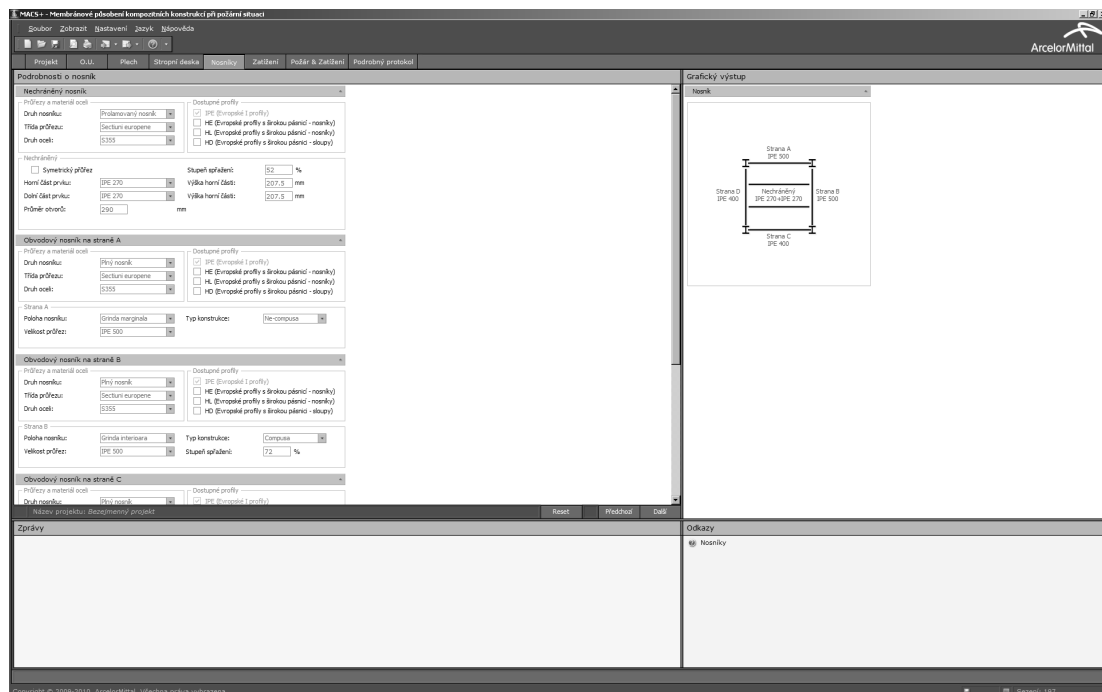
$$V_{f_i, Sd, b, 2} = \frac{4M_{f_i, Sd, b, 2}}{L_2} = \frac{4 \times 743.8}{12} = 247.9 \text{ kN}$$

Pro nosníky se navrhne požární ochrana tak, aby vypočtená únosnost za požární situace nebyla menší než působící zatížení pro požadovanou dobu požární odolnosti.

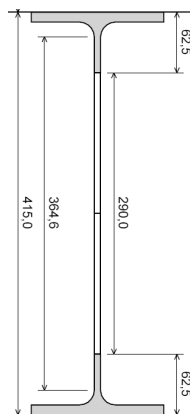
5.1.4 Oblast D

V oblasti D jsou rozměry sprážené desky a rozpětí nosníků stejná jako v oblasti A. Válcované nosníky jsou však nahrazeny nosníky IPE 270+IPE 270 Angelina™ (viz Obrázek 0-1123).

Je třeba stanovit pouze únosnost nechráněných nosníků.



Obrázek 0-15 Zadání do programu MACS+ – nosníky v oblasti D



Obrázek 0-16 Řez nosníkem Angelina v oblasti D

Krok 2 je stejný jako v oblasti E

Kroky 3 až 8 jsou stejné jako v oblasti A

Krok 9: Únosnost desky s přispěním nechráněných nosníků

Hodnoty součinitelů průřezu částí nechráněného průřezu jsou shrnuty v Tabulka 0-107.

Z Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.3 lze vyčíst teploty ocelových částí:

- teplota pásnic: 941.0°C;
- teplota dolní části stojiny: 942.2°C v 3 ale rovnající se přesně 941.0°C protože výška ocelového průřezu není větší než 500 mm;
- teplota horní části stojiny: 942.2°C;
- teplota trnů (viz kapitola 4.3.4.2.5 normy ČSN EN1994-1-2): $941.0 \times 0.8 = 752.8^\circ\text{C}$

Tabulka 0-167 Součinitel průřezu nechráněného nosníku v oblasti

Průřez	$k_{sh} = 0.9 \left(\frac{0.5B_1 + t_{f1} + t_{f2} + \sqrt{h_w^2 + (B_1 - B_2)^2} / 4}{H + B_1 + B_2 / 2 - (t_{w1} + t_{w2}) / 2} \right)$	$\left(\frac{A_i}{V_i} \right) \text{ (m}^{-1}\text{)}$	$k_{sh} \left(\frac{A_i}{V_i} \right) \text{ (m}^{-1}\text{)}$
Spodní pásnice	0.711	$\frac{2(B_1 + t_{f1})}{B_1 t_{f1}} = 211$	150
Spodní část stojiny		$\frac{2h_{w1} + t_{w1}}{h_{w1} t_{w1}} = 322$	229
Horní část stojiny		$\frac{2h_{w2} + t_{w2}}{h_{w2} t_{w2}} = 322$	229
Horní pásnice		$\frac{2(B_2 + t_{f2})}{B_2 t_{f2}} = 211$	150
kde	H je výška ocelového průřezu; h celková výška stojiny; B_1 šířka dolní pásnice; t_{f1} tloušťka dolní pásnice; t_{w1} tloušťka dolní části stojiny; h_{w1} výška dolní části stojiny (čistý řez); B_2 šířka horní pásnice; t_{f2} tloušťka horní pásnice; t_{w2} tloušťka horní části stojiny; h_{w2} výška horní části stojiny (čistý řez).		

Znalost teploty ocelového průřezu a ocelových trnů umožňuje určení momentu únosnosti vnitřních nechráněných spřažených nosníků. Pro prolamované nosníky je příspěvek dolní části zanedbán, jakmile jeho teplota přesáhne 600°C. Vypočtené hodnoty jsou shrnuty v Tabulka 0-118.

Tabulka 0-17 Momentová únosnost pro nechráněný nosník v oblasti D

Proměnné	Hodnota
Efektivní šířka desky	$b_{eff} = \min\{9\,000 / 4 ; 3\,000\} = 2\,250 \text{ mm}$
Plocha horní pásnice A_{f2}	$A_{f2} = 1377 \text{ mm}^2$
Plocha horní stojiny A_{w2}	$A_{w2} = 229.0 \text{ mm}^2$
Redukční součinitel pevnosti oceli	$k_{y,\theta} = 0.052$
Redukční součinitel pevnosti trnů	$k_{u,\theta} = 0.17$
Tahová síla $T^+ = \sum A_i f_y k_{y,\theta} / \gamma_{M,f_i,a}$	$T^+ = (1377 + 229) \times 355 \times 0.052 / 1.0 = 31.64 \text{ kN}$
Tloušťka desky v tlaku za požáru $h_u = \frac{T^+}{b_{eff} f_c / \gamma_{M,f_i,c}}$	$h_u = \frac{31.64}{2250 \times 25 / 1.0} = 0.562 \text{ mm}$
Stupeň spřažení nosníku při teplotě 20°C	$n_{c,20^\circ C} = 0.52$
Stupeň spřažení nosníku za požární situace $n_{c,\theta} = \frac{n_{c,20^\circ C} k_{u,\theta} \gamma_{M,v}}{k_{y,\theta} \gamma_{M,f_i,v}}$	$n_{c,\theta} = \frac{0.52 \times 0.17 \times 1.25}{0.052 \times 1.0} = 2.04 > 1.0$ plné spřažení
Tahová síla v bodě $y_T = \frac{\sum A_i y_i f_y k_{y,\theta}}{T^+ \gamma_{M,f_i,a}}$	$y_T = \frac{(229 \times 6.32 + 1377 \times 25.32) \times 355 \times 0.052}{31.64 \times 1.0} = 403.66 \text{ mm}$
Tlaková síla v bodě $y_F = H + h_c - h_u / 2$	$y_F = 415 + 130 - 0.562 / 2 = 544.72 \text{ mm}$
Kladný moment únosnosti $M_{f_i,Rd} = T^+ (y_F - y_T)$	$M_{f_i,Rd} = 31.64 \times (544.72 - 403.66) = 4.46 \times 10^6 \text{ Nmm} = 4.46 \text{ kNm}$
kde h_c je celková tloušťka desky; $\gamma_{M,f_i,a}$, $\gamma_{M,v}$ a $\gamma_{M,f_i,v}$ dílčí součinitel pro ocel při požární situaci, pro spřahovací trny za běžné teploty a při požáru	

Únosnost desky díky příspěvku nechráněného ocelobetonového nosníku lze stanovit z rovnice 3.21:

$$q_{f_i,Rd,ub} = \frac{8M_{f_i,Rd}}{L_1^2} \frac{1+n_{ub}}{L_2} = \frac{8 \times 4.46}{9^2} \times \frac{(1+2)}{9} = 0.15 \text{ kN/m}^2$$

Krok 10: Únosnost konstrukce stropu za požáru

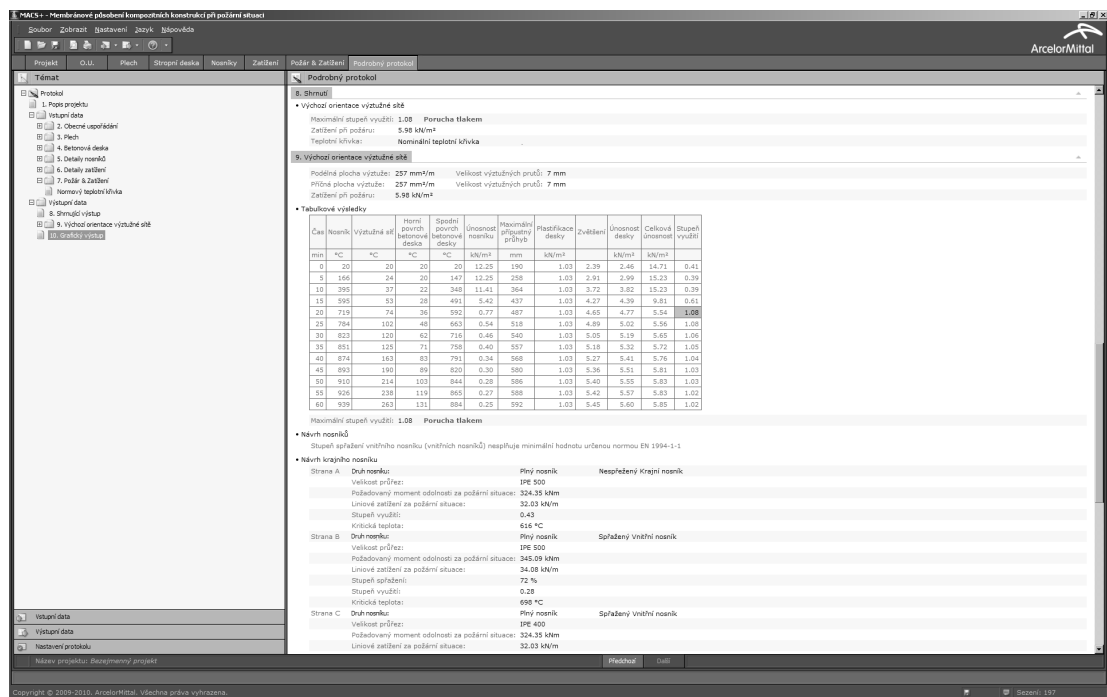
Únosnost konstrukce stropu za požární situace je

$$q_{f_i,Rd} = q_{f_i,Rd,slab} + q_{f_i,Rd,ub} = 5.51 + 0.15 = 5.66 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení konstrukce stropu za požární situace je

$$q_{f_i,Sd} = 5.98 \text{ kN/m}^2 > q_{f_i,Rd} = 5.66 \text{ kN/m}^2$$

Navržená stropní konstrukce v oblasti D na požární odolnost R60 nevyhoví.



Obrázek 0-17 Výstup programu MACS+ – podrobný výpis

Závěr 1

Požární odolnost R60 v oblasti D není výpočtem ověřena. Je třeba změnit konstrukční řešení.

Požární odolnost lze zvýšit zvětšením osové vzdálenosti sítě od horního povrchu nebo zvětšením průřezů výtvarné sítě.

Osová vzdálenost proto byla zvětšena z 30 mm na 40 mm.

Krok 2a je stejný jako krok 2

Krok 3a: Výpočet momentu únosnosti průřezu desky $M_{fi,0}$

Pro tuto oblast výpočtu:

$$L_1 = 9\,000 \text{ mm (rozpětí stropnic)}$$

$$L_2 = 9\,000 \text{ mm (rozpětí průvlaků)}$$

$$a \ L = \max \{L_1; L_2\} = 9\,000 \text{ mm} \text{ a } \ell = \min \{L_1; L_2\} = 9\,000 \text{ mm.}$$

Z rovnic 3.6 a 3.7 lze stanovit:

$$(g_0)_1 = 1 - \frac{2KA_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M_s,fi,s}}{0.85 f_c / \gamma_{M_s,fi,c} d} = 1 - \frac{2 \times 1.0 \times \frac{257}{1000} \times 500 / 1.0}{0.85 \times 25 / 1.0 \times 40} = 0.698$$

$$(g_0)_2 = 1 - \frac{2A_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M_s,fi,s}}{0.85 f_c / \gamma_{M_s,fi,c} d} = 1 - \frac{2 \times 1.0 \times \frac{257}{1000} \times 500 / 1.0}{0.85 \times 25 / 1.0 \times 40} = 0.698$$

Kladný moment únosnosti průřezu desky je (viz rovnice 3.3)

$$M_{f_i,0} = A_s f_{sy,\theta_s} / \gamma_{M_{f_i,s}} d \frac{3+(g_0)_2}{4} = \frac{257}{1000} \times 500 / 1.0 \times 40 \times \frac{3+0.698}{4} = 4\,751.5 \text{ Nmm/mm}$$

Současně lze stanovit další součinitele (viz rovnice 3.4 a 3.5):

$$\mu = K \frac{3+(g_0)_1}{3+(g_0)_2} = 1.0 \times \frac{3+0.698}{3+0.698} = 1.0$$

$$a = \frac{L}{\ell} = \frac{9\,000}{9\,000} = 1.0$$

$$n = \frac{1}{2\mu a^2} (\sqrt{3\mu a^2 + 1} - 1) = \frac{1}{2 \times 1.0 \times 1.0^2} \times (\sqrt{3 \times 1.0 \times 1.0^2 + 1} - 1) = 0.5$$

Krok 4a: Únosnosti desky

Únosnost desky lze stanovit z rovnice 3.2:

$$p_{fi} = 6 \frac{M_{f_i,0}}{n^2 a^2 \ell^2} = 6 \times \frac{4\,751.5}{0.427^2 \times 1.0^2 \times 9\,000^2} = 1.408 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2 = 1.408 \text{ kN/m}^2$$

Krok 5a je stejný jako krok 5

Krok 6a: Pomocné součinitele membránového působení

Součinitele membránové působení se určí z pomocných součinitelů α_1 , α_2 , β_1 , β_2 , A , B , C , D , k a b , které lze získat z rovnic 3.12 až 3.15. Hodnoty pomocných součinitelů jsou shrnuty v tabulce Tabulka 0-219.

Tabulka 0-18 Pomocné součinitele membránového působení v oblasti D

Rovnice	Hodnota
$\alpha_1 = \frac{2(g_0)_1}{3+(g_0)_1}$	0.377
$\beta_1 = \frac{1-(g_0)_1}{3+(g_0)_1}$	0.082
$\alpha_2 = \frac{2(g_0)_2}{3+(g_0)_2}$	0.377
$\beta_2 = \frac{1-(g_0)_2}{3+(g_0)_2}$	0.082
$k = \frac{4na^2(1-2n)}{4n^2a^2+1} + 1$	1.0
$A = \frac{1}{2(1+k)} \left[\frac{\ell^2}{8n} - \left(\frac{1-2n}{2n} + \frac{1}{3(1+k)} \right) \left((nL)^2 + (\ell/2)^2 \right) \right]$	3 375 000 mm ²
$B = \frac{k^2}{2(1+k)} \left[\frac{nL^2}{2} - \frac{k}{3(1+k)} \left((nL)^2 + (\ell/2)^2 \right) \right]$	3 375 000 mm ²
$C = \frac{\ell^2}{16n} (k-1)$	0 mm ²
$D = \frac{L^2}{8} (1-2n)^2$	0 mm ²
$b = \min \left[\frac{\ell^2}{8K(A+B+C-D)}, \frac{\gamma_{M,\beta,s}}{kK A_s f_{sy,\beta s}} \left(0.85 \frac{f_c}{\gamma_{M,\beta,c}} \times 0.45d - A_s \frac{f_{sy,\beta s}}{\gamma_{M,\beta,s}} \frac{K+1}{2} \right) \right]$	1.5

Krok 7a: Zvětšující součinitele membránové působení

Zvětšující součinitele e_{1b} , e_{2b} , e_{1m} a e_{2m} lze stanovit rovnicemi 3.10, 3.11, 3.16 a 3.17.

Tabulka 0-19 Součinitele membránového působení v oblasti D

Rovnice	Hodnota
$e_{1b} = 2n \left(1 + \alpha_1 b \frac{k-1}{2} - \frac{\beta_1 b^2}{3} (k^2 - k + 1) \right) + (1-2n)(1 - \alpha_1 b - \beta_1 b^2)$	0.939
$e_{1m} = \frac{4b}{3 + (g_0)_1} \frac{w}{d} \left((1-2n) + n \frac{2+3k-k^3}{3(1+k)^2} \right)$	3.929
$e_1 = e_{1b} + e_{1m}$	4.868
$e_{2b} = 1 + \frac{\alpha_2 b K}{2} (k-1) - \frac{\beta_2 b^2 K}{3} (k^2 - k + 1)$	0.939
$e_{2m} = \frac{4bK}{3 + (g_0)_2} \frac{w}{d} \frac{2+3k-k^3}{6(1+k)^2}$	3.929
$e_2 = e_{2b} + e_{2m}$	4.868

Zvětšující součinitel e se vypočítá z rovnice 3.8 jako

$$e = e_1 - \frac{e_1 - e_2}{1 + 2\mu\alpha^2} = 4.868 - \frac{4.868 - 4.868}{1 + 2 \times 1.0 \times 1.0^2} = 4.868$$

Krok 8a: Únosnost desky za požáru

Únosnost desky s vlivem membránového působení lze stanovit z rovnice 3.1 jako

$$q_{fi,Rd,slab} = e \times p_{fi} = 4.868 \times 1.408 = 6.85 \text{ kN/m}^2$$

Krok 9a: Únosnost desky s přispěním nechráněných nosníků

Výpočet je stejný jako v kroku

Krok 10a: Únosnost konstrukce stropu za požáru

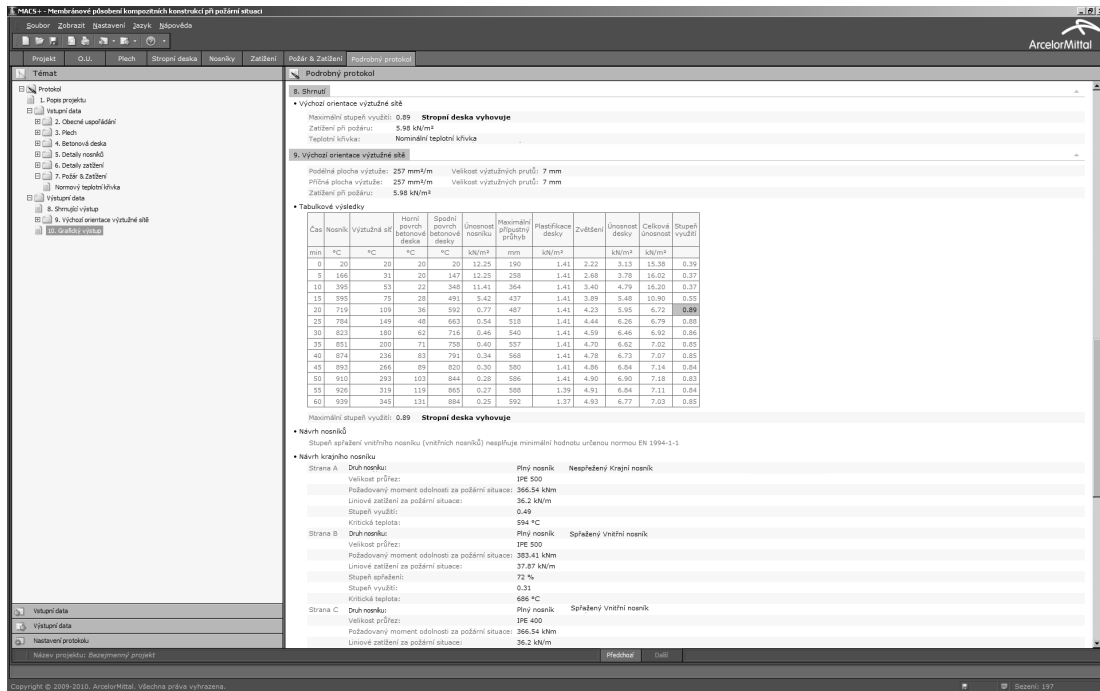
Únosnost konstrukce stropu za požární situace je

$$q_{fi,Rd} = q_{fi,Rd,slab} + q_{fi,Rd,ub} = 6.85 + 0.15 = 7.00 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení na strop za požární situace je

$$q_{fi,Sd} = 5.98 \text{ kN/m}^2 < q_{fi,Rd} = 7.00 \text{ kN/m}^2$$

Navržená stropní konstrukce v oblasti D na požární odolnost R60 vyhoví.



Obrázek 0-18 Výstup z programu MACS+ – podrobný výpis

Závěr 2

Požární odolnost konstrukce stropu R60 v oblasti D je výpočtem ověřena.

Krok 11: Zatížení obvodových nosníků za požární situace

Zatížení stropnice a průvlaku na obvodu oblasti B za požární situace je vypočteno z 3.24 až 3.37:

- Pro obvodové stropnice platí:

$$M_{fi,Sd,b,1} = \frac{q_{fi,Rd} L_1^2 L_2 - 8 \left(M_{fi,0} \left(L_2 - n_{ub} b_{eff,ub} - \sum_{i=1}^2 b_{eff,1,i} \right) + n_{ub} M_{fi,Rd} \right)}{c_M}$$

$$= \frac{7.00 \times 9^2 \times 9 - 8 \times \left\{ 4751.5 \times 10^{-3} \times \left[9 - 2 \times 2.25 - (0 + 2.25/2) \right] + 3 \times 4.5 \right\}}{12}$$

$$= 405.6 \text{ kNm}$$

$$V_{fi,Sd,b,1} = \frac{4M_{fi,Sd,b,1}}{L_1} = \frac{4 \times 405.6}{9} = 180.2 \text{ kN}$$

- Pro obvodové průvlaky platí

$$M_{f_i, Sd, b, 2} = \frac{q_{f_i, Rd} L_1 L_2^2 - 8 \mu M_{f_i, 0} \left(L_1 - \sum_{i=1}^2 b_{eff, 2, i} \right)}{c_M} = \frac{7.00 \times 9 \times 9^2 - 8 \times 1.0 \times 4751.5 \times 10^{-3} \times (9 - (9/8 + 9/8))}{12}$$

$$= 403.9 \text{ kNm}$$

$$V_{f_i, Sd, b, 2} = \frac{4M_{f_i, Sd, b, 2}}{L_2} = \frac{4 \times 403.9}{9} = 179.5 \text{ kN}$$

Obvodový nosník ve fasádě přenáší zatížení od fasádních dílců o velikosti 2.0 kN/m, což vede na vnitřní síly

$$M_{f_i, Sd, b, 1} = 405.6 + \frac{2.0 \times 9^2}{8} = 425.9 \text{ kNm}$$

$$V_{f_i, Sd, b, 1} = 180.2 + \frac{2.0 \times 9}{2} = 189.2 \text{ kN}$$

Pro nosníky se navrhne požární ochrana tak, aby vypočtená únosnost za požární situace nebyla menší než působící zatížení pro požadovanou dobu požární odolnosti.

5.2 Výztuž

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

Výztužná síť je tvořena pruty o průměru 7 mm ve vzdálenosti 150 mm v obou směrech a plocha výztuže je 257 mm²/m.

Mez kluzu výztuže je 500 N/mm². Pro požární návrh je s tažností třídy A podle normy ČSN EN10080.

V místě spojů se výztužné sítě musí překrývat, 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 tabulka 3-3. Sítě musí být v místě překrytí upraveny podle obrázku 3-5.

U obvodových nosníků dodatečná výztuž ve tvaru U zajistí dostatečné kotvení mezi nosníkem a spráženou deskou.

5.3 Požární ochrana sloupů

Pro sloupce se požaduje požární ochrana na požadovanou požární odolnost 60 min.

Průřez	HD320×158
Součinitele průřezu	63 m ⁻¹ pro povrch obdélníka opsaného průřezu sloupu ohřívajícího ze 4 stran
	89 m ⁻¹ součinitel průřezu ohřívajícího ze 4 stran
Kritická teplota menší z hodnot	500°C nebo o 80°C menší, než je hodnota kritické teploty vypočtené podle ČSN EN1993-1-2

Požární ochrana se navrhne po celé výšce sloupu až ke sprážené ocelobetonové desce.

LITERATURA

- [1] BAILEY C. G., MOORE D. B., The structural behaviour of steel frames with composite floor slabs subject to fire, Part 1: Theory, The Structural Engineer, June 2000.
- [2] BAILEY C. G., MOORE D. B., The structural behaviour of steel frames with composite floor slabs subject to fire, Part 2: Design, The Structural Engineer, June 2000.
- [3] BAILEY C. G., Membrane action of slab/beam composite floor systems in fire, Engineering Structures 26.
- [4] ČSN EN1991-1-2, Zatížení konstrukcí, Obecná zatížení, část 1-2: Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru, ČSN, Praha 2004.
- [5] ČSN EN1993-1-2, Navrhování ocelových konstrukcí, část 1-2: Navrhování konstrukcí na účinky požáru, ČNI, Praha 2006.
- [6] ČSN EN1994-1-2, Navrhování ocelobetonových konstrukcí, část 1-2: Navrhování konstrukcí na účinky požáru, ČNI, Praha 2006.
- [7] VASSART O., ZHAO B., Membrane action of Composite Slab in Case of Fire, Background document, Edition 2012-1.
- [8] The Building Regulations 2000, Approved Document B (Fire safety) 2006 Edition: Volume 2: Buildings other than dwelling houses, Department of Communities and Local Government, UK, 2006.
- [9] ČSN EN1994-1-2, Navrhování ocelobetonových konstrukcí, část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, ČNI, Praha 2006.
- [10] EN 10080, Ocel pro výztuž do betonu - Svařitelná betonářská ocel - Všeobecně ČSN, Praha 2005.
- [11] BS 4483:2005 Steel fabric for the reinforcement of concrete, Specification, BSI.
- [12] BS 4449:1:2005 Steel for the reinforcement of concrete. Weldable reinforcing steel. Bar, coil and decoiled product. Specification, BSI.
- [13] NF A 35-016-2 : Aciers pour béton armé – Aciers soudables à verrous – Partie 2 : Treillis soudés, 2007, AFNOR.
- [14] NF A 35-019-2 : Aciers pour béton armé – Aciers soudables à empreintes – Partie 2 : Treillis soudés, 2007, AFNOR.
- [15] ČSN EN1990: Eurokód, Zásady navrhování konstrukcí, ČSN, Praha 2004.
- [16] ČSN EN1991-1-1, Zatížení konstrukcí, Obecná zatížení, Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb, ČSN, Praha 2004.
- [17] ČSN EN13381-4, Zkušební metody pro stanovení příspěvku k požární odolnosti konstrukčních prvků, Nezpečňující ochrana ocelových prvků, ČSN, Praha 2010.
- [18] ČSN EN13381-4, Zkušební metody pro stanovení příspěvku k požární odolnosti konstrukčních prvků, Zpečňující ochrana ocelových prvků, ČSN, Praha 2010.
- [19] ČSN EN1992-1-1, Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, ČNI 2006.

- [20] COUCHMAN. G. H , HICKS, S. J. and RACKHAM, J. W., Composite Slabs and Beams Using Steel Decking: Best Practice for Design & Construction (2nd edition), SCI P300, The Steel Construction Institute, 2008.
- [21] BS 8110-1 Structural use of concrete. Code of practice for design and construction, BSI, London, 1997.
- [22] BAILEY C. G., The influence of thermal expansion of beams on the structural behaviour of columns in steel framed buildings during a fire, Engineering Structures Vol. 22, July 2000, s. 755 768.
- [23] ČSN EN 1993-1-8, Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčnicků, ČNI, Praha, 2006
- [24] BROWN D.G. Steel building design: Simple connections. SCI P358, The Steel Construction Institute, 2009.
- [25] Volba rozměrů přípoje čelní deskou, Access-steel document SN013a Volba rozměrů přípoje deskou na stojině, Access-steel document SN016a, www.access-steel.com.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] LAWSON R. M., Enhancement of fire resistance of beams by beam to column connections, The Steel Construction Institute, 1990.
- [29] ČSN EN 1363-1, Zkoušení požární odolnosti, Základní požadavky, ČSNI, Praha 2000. ČSN EN 1365, Zkoušení požární odolnosti nosných prvků; ČSN EN 1365-1 Stěny; ČSN EN 1365-2: Stropy a střechy; ČSN EN 1365-3: Nosníky; ČSN EN 1365-4: Sloupy, ČSNI, Praha 2000.
- [30] WALD F. a kol, Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí, ČVUT v Praze, 2005, 336 s., ISBN 80-01-03157-8.