

**České vysoké učení technické v Praze**

**Fakulta stavební**

**Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí**



**Semestrální práce**

**Přestup tepla do nosníku štíhlé stropní konstrukce**

**19. prosince 2012**

**Jiří Babiš**

## **Čestné prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem tuto semestrální práci vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení vedoucího semestrální práce prof. Ing. Františka Walda, CSc., kterému tímto velice děkuji.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne 19. prosince 2012

.....

Jiří Babiš

# OBSAH

---

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>ÚVOD</b> .....  | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>METODY POŽÁRNÍHO NÁVRHU</b> .....                             | <b>5</b>  |
| 2.1      | METODY PRO POŽÁRNÍ ODOLNOST .....                                | 5         |
| 2.2      | METODY PRO CELKOVOU POŽÁRNÍ BEZPEČNOST .....                     | 5         |
| <b>3</b> | <b>VÝVOJ OCELOBETONOVÝCH ŠTÍHLÝCH STROPNÍCH KONSTRUKCÍ</b> ..... | <b>5</b>  |
| <b>4</b> | <b>PŘESTUP TEPLA</b> .....                                       | <b>6</b>  |
| 4.1      | STANOVENÍ PRŮBĚHU TEPLŮ POMOCÍ POČÍTAČE .....                    | 7         |
| 4.2      | POŽÁRNÍ ODOLNOST SAMOSTATNÉHO NOSÍKU .....                       | 8         |
| 4.3      | ZJEDNODUŠENÁ METODA PRO STANOVENÍ PRŮBĚHU TEPLŮ .....            | 10        |
| 4.3.1    | <i>Numerický model</i> .....                                     | 10        |
| 4.4      | USKUTEČNĚNÉ STUDIE .....   | 13        |
| 4.4.1    | <i>Analýza rámové konstrukce</i> .....                           | 14        |
| 4.4.2    | <i>3D analýza ocelobetonové slim floor desky</i> .....           | 16        |
| 4.4.3    | <i>Globální analýza deformací rámu</i> .....                     | 18        |
| <b>5</b> | <b>SHRNUTÍ</b> .....   | <b>22</b> |
| <b>6</b> | <b>VÝPOČET PŘETUPU TEPLA DO NOSÍKU</b> .....                     | <b>23</b> |
| 6.1      | WQ BEAM .....  | 23        |
| 6.2      | IMPLEMENTACE DO PROGRAMU SAFIR .....                             | 23        |
| 6.3      | VÝSTUPY .....  | 25        |
| <b>7</b> | <b>LITERATURA</b> .....  | <b>27</b> |
| <b>8</b> | <b>SEZNAMY OBRÁZKŮ</b> .....                                     | <b>27</b> |

# 1 ÚVOD

---

Požární bezpečnost staveb je právem jednou z neopomenutelných věcí, se kterou se při návrhu stavby musí počítat. Prioritou každého PBŘ je prokázat požární odolnost vhodným a správným způsobem. Cílem této práce je analyzovat možné způsoby prokazování požární spolehlivosti speciálních stavebních konstrukcí, tj. stropních ocelobetonových systémů štíhlé stropní konstrukce „slim floors“, které se v posledních letech staly fenoménem mezi konstrukčním řešením nejen ve Švédsku, kde vznikly. Díky přítomnosti betonu (obetonovaný nosník) teploty v ocelovém nosníku nejsou konstantní po průřezu a teplotní průběh by měl být do požárního návrhu a posouzení uvažován. Dalším cílem této práce je také ukázat chování štíhlých stropů za požáru. To znamená chování jak jednotlivých konstrukčních prvků, tak i chování konstrukce jako celku.

## **2 METODY POŽÁRNÍHO NÁVRHU**

---

V současné době mohou být požární návrhy rozděleny na dvě třídy:

- Metody pouze pro požární odolnost
- Metody pro celkovou požární bezpečnost

První třída zohledňuje ověřovací metody pouze požární odolnosti. Stavební eurokódy jsou v současné době pro tuto kategorii výrazně omezené. Druhá metoda řeší celkový požární návrh, počítající jak požární odolnost stavebních konstrukcí, tak i dobu a způsoby evakuace a využití požárně bezpečnostních zařízení.

### **2.1 Metody pro požární odolnost**

Tyto metody využívají dva modely: model požáru a konstrukční model. Model požáru vystihuje chování za požární situace, tzn. vývoj teploty plynů v požárním úseku, vedení a přestup tepla a celkové šíření požáru v požárním úseku. Pomocí konstrukčních modelů se predikují teploty v konstrukci, chování konstrukce za požární situace i požární odolnost konstrukce, nebo částí konstrukce.

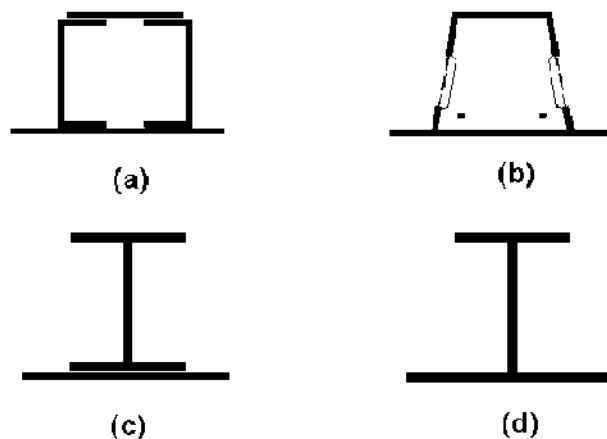
### **2.2 Metody pro celkovou požární bezpečnost**

Tyto metody jsou používány k určení pravděpodobnosti výskytu požáru a určení jeho intenzity. Výskyt požárně bezpečnostních zařízení, tj. požární hlásiče, požární alarm, sprinklery, automatické zavírání dveří při zohlednění požárního rizika, schopnost pohybu lidí, ovlivňuje náročnost požárního návrhu.

## **3 VÝVOJ OCELOBETONOVÝCH ŠTÍHLÝCH STROPNÍCH KONSTRUKCÍ**

---

V posledních letech vznikl veliký zájem o konstruování a navrhování štíhlých stropních konstrukcí v Evropě. Největší rozmach byl zaznamenán v severských zemích a ve velké Británii, kde jsou obecně ocelové stavby v oblibě.



Obrázek 1 – Nosníky štíhlých stropních konstrukcí [1]

Štíhlé stropní konstrukce se skládají z asymetrického ocelového nosníku se širokou spodní pásnicí, na které leží prefabrikovaný panel nebo spřažená ocelobetonová deska. Toto konstrukční řešení snižuje výšku stropní konstrukce na minimum a navíc ploché stropy umožňují vedení rozvodů technického zařízení budov ve všech směrech. Tato stropní konstrukce může být navržena za použití různých druhů nosníků. Na trhu se vyskytují jak svařované, tak i válcované profily různých tvarů, které jsou nazývány „slim floor nosníky“, viz Obrázek 1.

Tyto nosníky poskytují dobrou požární odolnost, jelikož jejich největší část obetonována a přímo vystavena požáru je pouze spodní pásnice. Několik požárních zkoušek proběhlo k ověření požární odolnosti a bylo zjištěno, že ocelobetonový slim floor nosník může dosáhnout až 60 minutové požární odolnosti bez jakékoliv požární ochrany, když stupeň využití nosníku je menší než 0,5. Na dosažení 90 minutové požární odolnosti je třeba chránit spodní pásnici jen tenkou požární ochranou. [3]

## 4 PŘESTUP TEPLA

---

Přestup tepla je definován pomocí rovnic daných jako:

$$-\nabla^T(\lambda\nabla T) + e = 0$$

Kde  $T$  je teplota,  $\lambda$  je matice teplotní vodivosti a  $e$  je měrná entalpie. Operátor gradientu  $\nabla$  je definován jako:

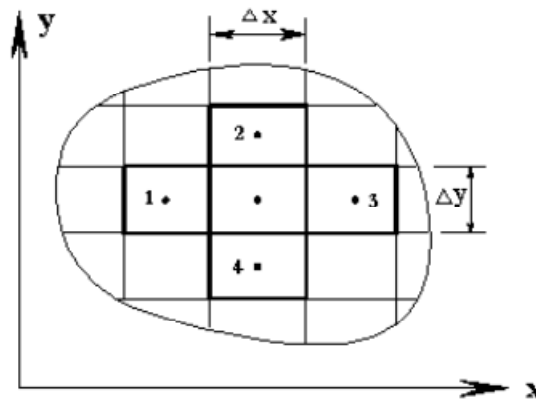
$$\nabla = \left[ \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial}{\partial z} \right]^T$$

Kde  $x, y, z$  jsou kartézské souřadnice a  $T$  je „transfer operator of the vector“.

Předešlé rovnice mohou být derivovány použitím diferenciální konečné metody jako:

$$(\rho c + \rho_w c_w \varphi) \cdot \frac{dT}{dt} = \frac{T_1 - T_0}{R_1 \Delta x} + \frac{T_2 - T_0}{R_2 \Delta y} + \frac{T_3 - T_0}{R_3 \Delta x} + \frac{T_4 - T_0}{R_4 \Delta y}$$

Kde  $\rho$  je měrná hmotnost materiálu,  $c$  měrná tepelná kapacita,  $\rho_w c_w$  dtto pro vodu,  $\varphi$  měrná vlhkost.  $T_i$  je teplota  $i$ -tého elementu v lokálním systému, viz Obrázek 2.  $R_i$  je tepelný odpor. [1]



Obrázek 2 – Lokální systém elementů [1]

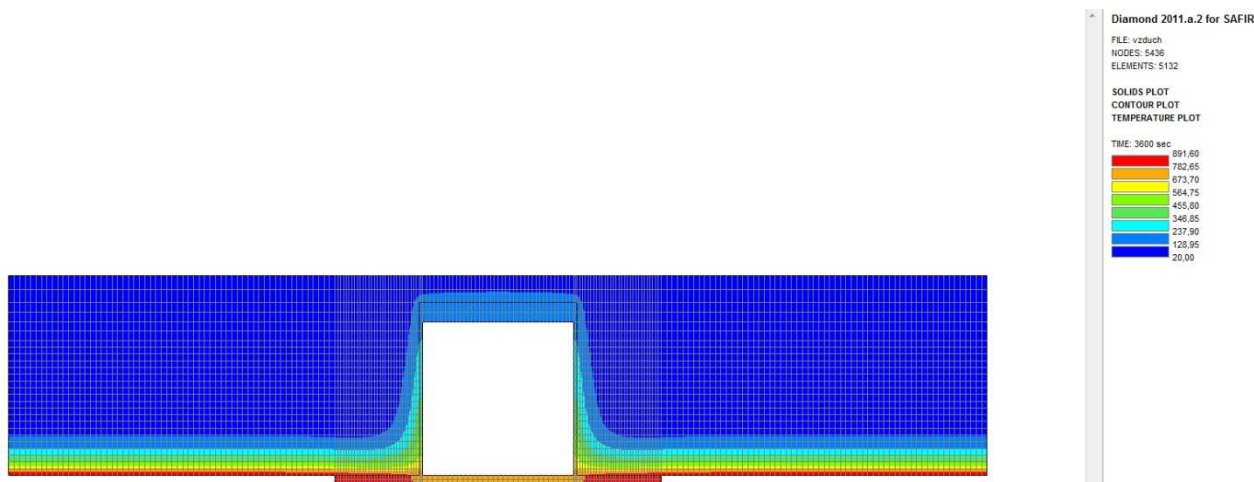
#### 4.1 Stanovení průběhu teplot pomocí počítače

Předešlé rovnice byly implementovány do počítače a za jejich pomoci byly vytvořeny programy jako je SAFIR, nebo další programy počítající přestup tepla do konstrukce (TASEF). [1]

Pro získání průběhu teplot je třeba zadat několik uvedených náležitostí:

1. Vložení geometrie průřezu
2. Zadání iniciální teploty jednotlivým částem nosíku
3. Přiřazení materiálů jednotlivým částem nosníku
4. Zadání materiálových vlastností v závislosti na teplotě, tj. hustota oceli a betonu, měrné teplo, tepelná vodivost (jsou přednastaveny, ale mohou být upraveny nebo zcela změněny)
5. Zadání okrajových podmínek

6. Vhodné rozdělení průřezu na jednotlivé elementy (vytvoření sítě, kde každý jednotlivý bod reprezentuje teplotu, podle které se redukuje materiálové vlastnosti)
7. Spuštění výpočtu



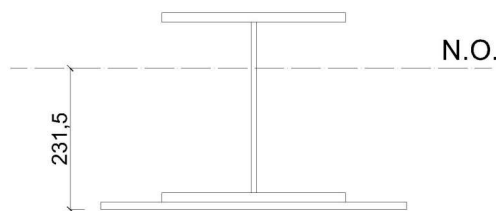
Obrázek 3 – Ilustrační teplotní průběh WQ nosníku po 60 minutách ISO požáru

Na Obrázek 3 je zobrazen ilustrační výsledný teplotní průběh slim floor nosníku po 60 minutovém ISO požáru nosníku WQ beam od firmy RUUKI, který byl vyhotoven programem SAFIR pomocí metody konečných prvků.

## 4.2 Požární odolnost samostatného nosíku

Za použití výsledného průběhu teplot lze stanovit návrhový moment únosnosti za požáru. Hlavní roli při stanovení únosnosti za požáru hraje mez kluzu oceli, ale také mez pevnosti betonu, které jsou s rostoucí teplotou redukovány podle Eurokódu 3 a Eurokódu 4.





Obrázek 4 – Ilustrační obrázek polohy neutrálné osy

Návrhová momentová únosnost průřezu za požáru  $M_{fi,t,Rd}$  se určí jako:

$$M_{fi,t,Rd} = \sum_{i=1}^n A_i \times z_i \times k_{y,\theta,i} \times \frac{f_{y,i}}{\gamma_{M,fi}}$$

kde:

- $A_i$  plocha části příčného řezu [ $\text{mm}^2$ ]
- $z_i$  vzdálenost těžiště určité části od neutrálné osy [m]
- $k_{y,\theta}$  redukční součinitel meze kluzu oceli (pro  $450^\circ\text{C}$  nabývá hodnotu 0,89)
- $f_y$  mez kluzu oceli [MPa]
- $\gamma_{M,fi}$  součinitel spolehlivosti za požáru ( $\gamma_{M,fi} = 1$ )

Studie prokázaly, že ocelobetonový průřez vykazuje 60 minutovou požární odolnost při stupni využití menším než 0,47 [3]. To v praxi znamená, že štíhlé stropy standardních kancelářských budov se stupněm využití 0,5-0,55 musí být nějakým způsobem optimalizovány. Používá se požární ochrana na spodní pásnici, nebo lze průřez vyztužit přidanými ocelovými pruty. Přidanou výztuží dosáhneme toho, že nosníky vyhoví i při stupni využití 0,57. Požární ochrana ve formě požárních obkladových desek, nebo intumescentní nátěr zvyšují požární odolnost až na 90 minut a to při stupni využití 0,67.

Další testy při expozici různých přirozených požárů byly provedeny pro jednotlivé stupně využití. Z analýz vyplynulo, že ocelobetonové „slim floor“ nosníky splní 60 minutovou požární odolnost bez jakýchkoli opatření, pokud hustota požárního zatížení nepřesáhne  $1100 \text{ MJ/m}^2$ , což je zřídka dosaženo u administrativních a obytných budov.

V dalších testech byl ocelobetonový průřez rozdělen na pět částí a to na spodní pásnici, spodní část stojiny, horní část stojiny, horní pásnici a na tlačenu betonovou část. Ukázalo se, že po 60 minutovém ISO požáru spodní pásnice přispívá k momentové únosnosti z původních 44% pouze 31%. Spodní část stojiny přispívá 53% celkové momentové únosnosti po 60 minutovém ISO požáru, zatímco při normální teplotě přispívá pouze 6%. Z tohoto vyplynulo, že stojina má největší příspěvek k momentové únosnosti za požární situace, zatímco spodní pásnice hlavně přispívá za normální teploty.

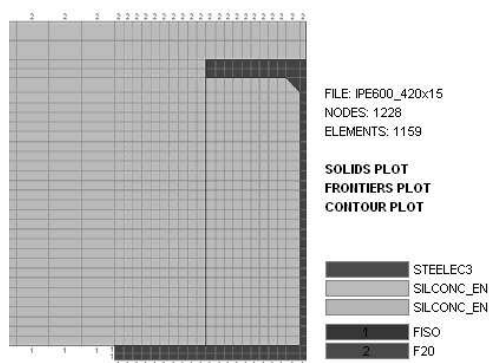
### **4.3 Zjednodušená metoda pro stanovení průběhu teplot**

Distribuce tepla je možná určit numerickou analýzou za použití vhodného programu. Toto musí být určeno pro každou situaci zvlášť s uvážením velikosti ocelového profilu uvnitř betonu, dále velikost spodní pásnice přímo vystavené požáru a tloušťky betonové části.

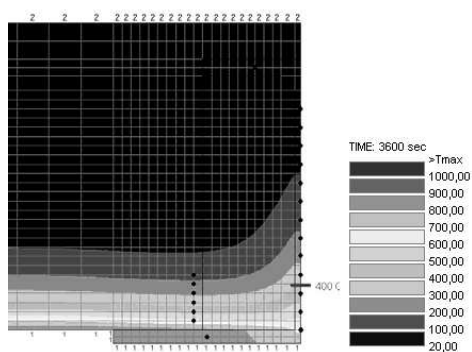
Metoda numerickou analýzou je uživatelsky i časově náročná, proto byl vytvářen tlak ze strany statiků pro stanovení zjednodušené a uživatelsky přijatelné metody pro stanovení teplotního průběhu „slim floor“ systému. Byla provedena parametrická studie založená na numerické simulaci pomocí programu SAFIR (Franssen, 2005). Cílem bylo vyhotovit zjednodušenou metodu pro určení teplot v jednotlivých částech nosníku.

#### **4.3.1 Numerický model**

Všechny ocelové profily z nabídky „slim floor“ systémů byly analyzovány ve studii [6]. Byl vyhotoven teplotní průběh pro všechny průřezy za pomoci programu SAFIR. Na základě těchto průběhů byly vytvořeny funkce s danými parametry ke stanovení jednotlivých teplot. Na Obrázek 6 je znázorněn příklad teplotního průběhu po 60 minutovém ISO požáru.



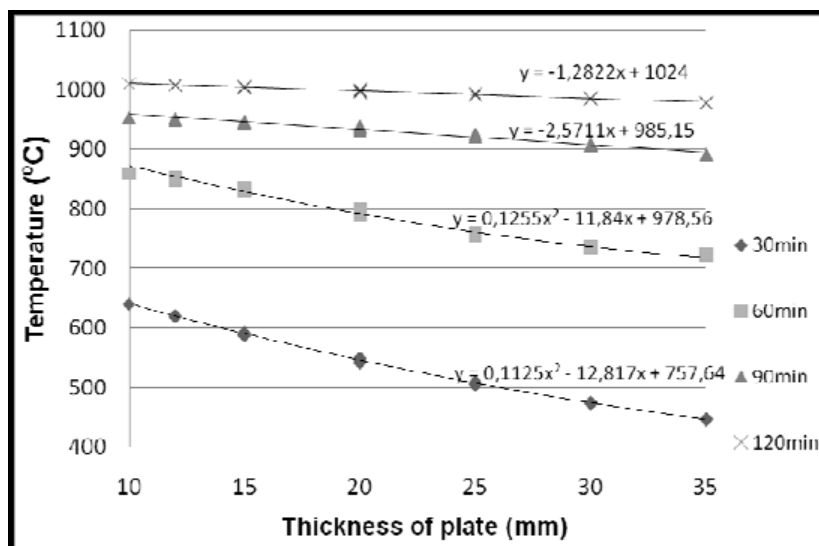
Obrázek 5 – Rozdělení průřezu na elementy, přiřazení materiálů a okrajových podmínek



Obrázek 6 – Ilustrativní teplotní průběh SFB nosníku

#### 4.3.1.1 Teploty ve spodní pásnici

Teploty spodní pásnice byly sledovány v časech 30, 60, 90 a 120 min ve znázorněném bodě, viz Obrázek 6. Zajímavým zjištěním bylo, že teplota z největší části závisí na tloušťce spodní pásnice. Teploty byly stanoveny dle Obrázek 7, tj. funkce v závislosti na tloušťce spodní pásnice pro různé požární odolnosti.

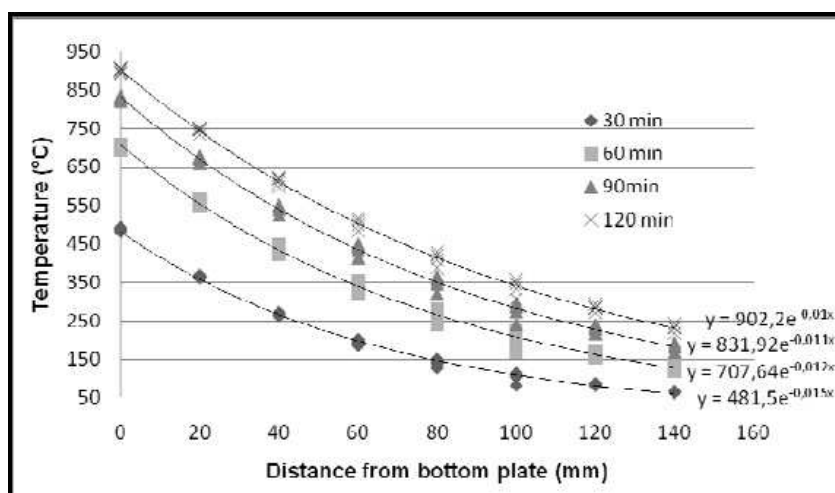


Obrázek 7 – Stanovení teploty spodní pásnice - funkce v závislosti tloušťky spodní pásnice na čase [6]

#### 4.3.1.2 Teplota stojiny

Ukázalo se, že teplota stojiny není tak závislá na její tloušťce, ale na vzdálenosti od spodní pásnice a také na tloušťce spodní pásnice.

Teploty byly sledovány v časech 30, 60, 90 a 120 min ve znázorněných bodech, viz Obrázek 6. Na Obrázek 8 je znázorněna funkce stanovující teploty stojiny v závislosti na vzdálenosti od spodní pásnice a pro danou tloušťku spodní pásnice.

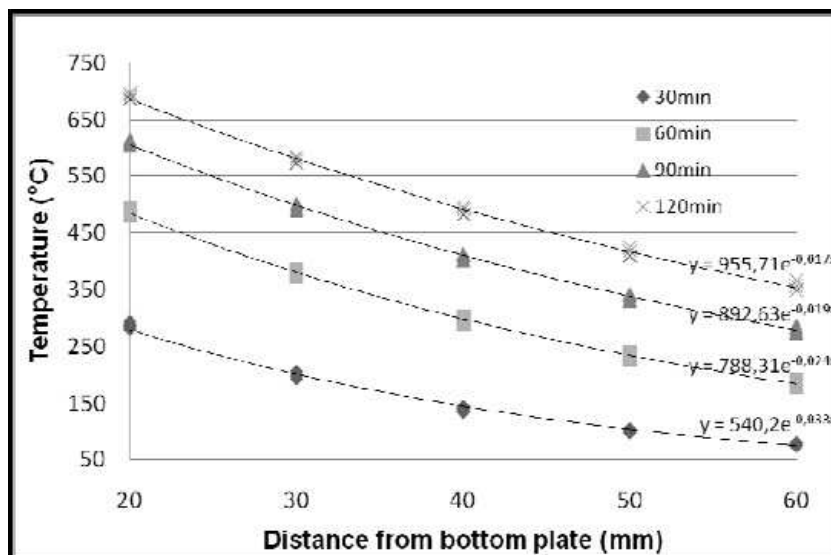


Obrázek 8 – Teplota stojiny - funkce v závislosti vzdálenosti od spodní pásnice na čase [6]

#### 4.3.1.3 Teplota ve výztuži

Teplota výztuže v místech nad spodní pásnicí se považuje za shodnou jako teplota betonu v těchto místech. Stejně jako teplota ve stojině, teplota ve výztuži nejvíce ovlivňuje vzdálenost od spodní pásnice a méně na tloušťce spodní pásnice.

Teploty byly sledovány v požadavcích na požární odolnost v časech 30, 60, 90 a 120 min ve znázorněných bodech, viz Obrázek 6. Výstupem je funkce v závislosti na vzdálenosti od spodní pásnice pro různé požární odolnosti s danou tloušťkou spodní pásnice, viz Obrázek 9.



Obrázek 9 – Teplota ve výztuži - funkce v závislosti vzdálenosti od spodní pásnice na čase [6]

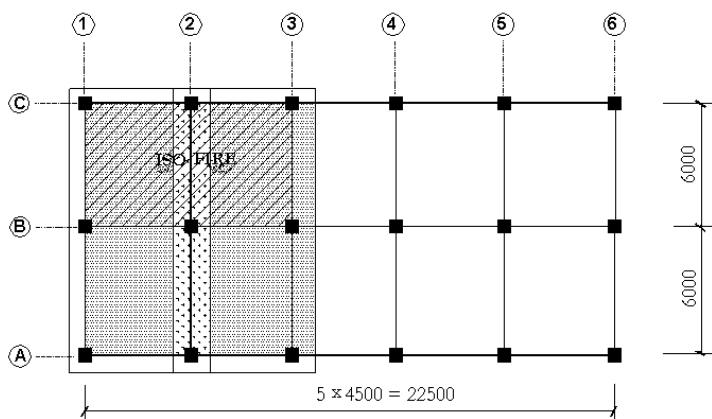
Studie využívající numerickou analýzu vytvořila zjednodušenou metodu ke stanovení teplotního průběhu v „slim floor“ systémech za pomoci jednoduchých funkcí a grafů. Při znalosti teplotního průběhu lze přímo určit návrhový moment únosnosti průřezu a určit požární odolnost.

#### 4.4 Uskutečněné studie

V devadesátých letech byly provedeny požární analýzy (Broadgate (1991, UK), William Street (1992, Australia), a rozsáhlý požární test osmipodlažní ocelobetonové rámové budovy v Cardingtonu (1995, 1996, UK). Bylo zjištěno, že konstrukční prvky v rámové konstrukci vykazují výrazně lepší chování za požáru než u standardizovaných požárních zkoušek [4]. Standardní požární zkoušky byly příliš konzervativní a nezohledňovaly spolupůsobení mezi jednotlivými prvky. Požární analýzy také zdůrazňují, že současné normy, ať už konzervativní, nekorespondují se skutečným chováním stavební konstrukce za požáru, jelikož se budova nechová jako série individuálních částí.

#### 4.4.1 Analýza rámové konstrukce

Byla analyzována typická rámová konstrukce za použití štíhlých stropních konstrukcí jako je vidět na Obrázek 10. Pro testy byly vybrány tři části rámu z tohoto objektu. Jako první byl analyzován 2D dvoupodlažní rám pro sledování vlivu polotuhých spojů (rotační kapacita) a jejich kvantifikování. Za dále stanovení účinků „axial restraint“, což znamená zabránění vodorovného posunu desky resp. nosníku vlivem sloupů.

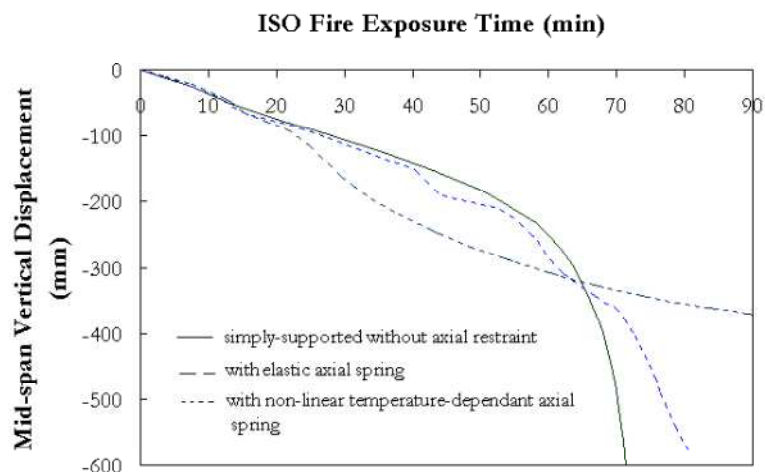


Obrázek 10 – Půdorys analyzovaného rámu za použití slim floors [3]

Pro další analýzu byl vybrán pětipodlažní 2D rám pro stanovení mechanického chování ocelobetonového rámu za požární situace jako celku. Sledovány byly jak deformace, tak interakce jednotlivých částí [3].

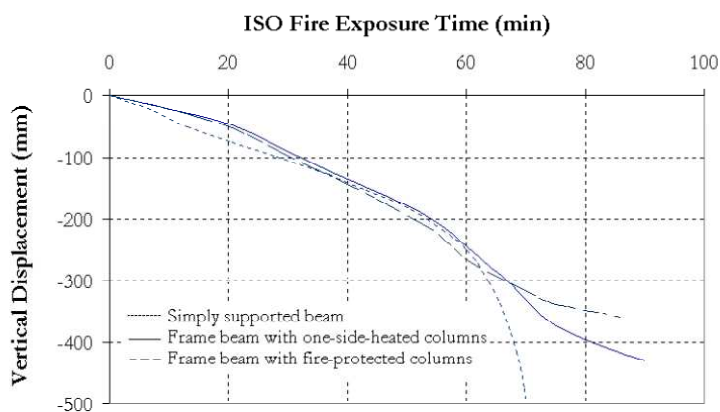
Jako další cíl bylo vyšetřit chování ocelobetonové slim floor desky za požární situace ve 3D. Porovnat deformace s 2D rámem i se samostatným slim floor nosníkem.

Z analýz bylo zjištěno, že „axial restraint“ má veliký vliv na průhyb prostě uloženého nosníku. Z Obrázek 11 lze vidět, že nosník s „axial restraint“ vykazuje stabilní deformaci, kdežto u nosníku bez „axial restraint“ se deformace ve finální fázi nepřímo úměrně zvětšuje.

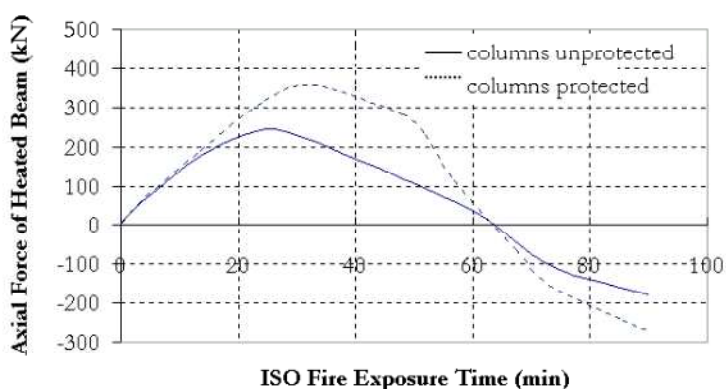


Obrázek 11 – Průhyb slim floor nosníku v průběhu ISO požáru [3]

V další studii byly sledovány průběhy normálových sil nosníku v rámové konstrukci za požární situace. V počáteční fázi ISO požáru se nosník z důvodu ohřevu roztahuje a tlakové síly se rychle zvětšují, což je způsobeno rámovým ztužením sloupů. Se zvětšující se deformací se nosník prohýbá do tvaru zavěšeného řetězu. Postupem času tlakové síly z důvodu velikých průhybů klesají až k nule. Poté se nosník dostává do tahu. Další faktor, který značně ovlivňuje normálové síly v nosníku, je snížení tuhosti sloupů, které zajišťují rámové spolupůsobení. Toto je zřejmé na Obrázek 13, kde jsou uvedeny průběhy normálových sil v nosníku u nechráněného a požárně chráněného sloupu. Zajímavostí je, že nosník v rámu i po 62 minutě ISO požáru neztrácí stabilitu, zatímco prostě uložený nosník rychle mívá ke kolapsu, jak je vidět viz Obrázek 12. Studie ukázala, že požárně chráněné sloupy prokazují příznivější průhyby za požární situaci, ale zároveň vznikají větší normálové síly (tlakové i tahové), viz Obrázek 13.



Obrázek 12 – Průhyb ohřivaného kloubově připojeného nosníku



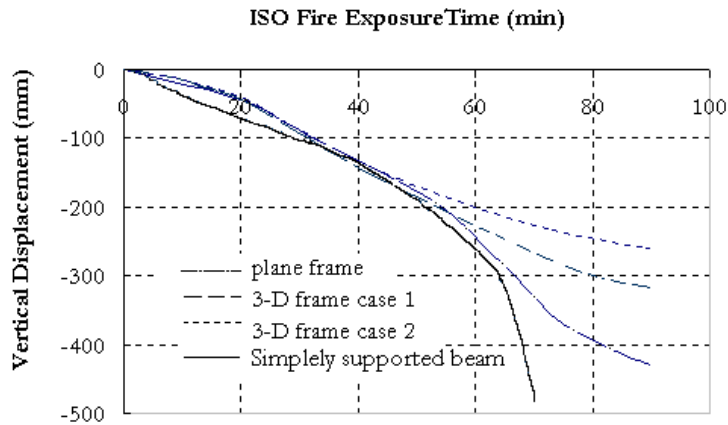
Obrázek 13 – Normálové síly vznikající v nosníku v průběhu ISO požáru [3]

#### 4.4.2 3D analýza ocelobetonové slim floor desky

Cílem bylo analyzovat chování spřažené ocelobetonové „slim floor“ desky v rámu jako celku. Proto bylo modelováno několik ráků ve 3D. Nosníky byly upevněny na sloupy polotuhými spoji, aby bylo umožněno natočení a zároveň vznikalo osové ztužení („axial restraint“). Byly sledovány deformace a mechanická odezva desky v rámu a porovnávána s výsledky z 2D analýz.

Na Obrázek 14 lze vyčíst deformace jednotlivých situací. Rám ve 3D situaci má daleko příznivější deformační chování po 60 minutě ISO požáru, avšak do té doby (60. minuta) jsou si deformační křivky velice blízké.



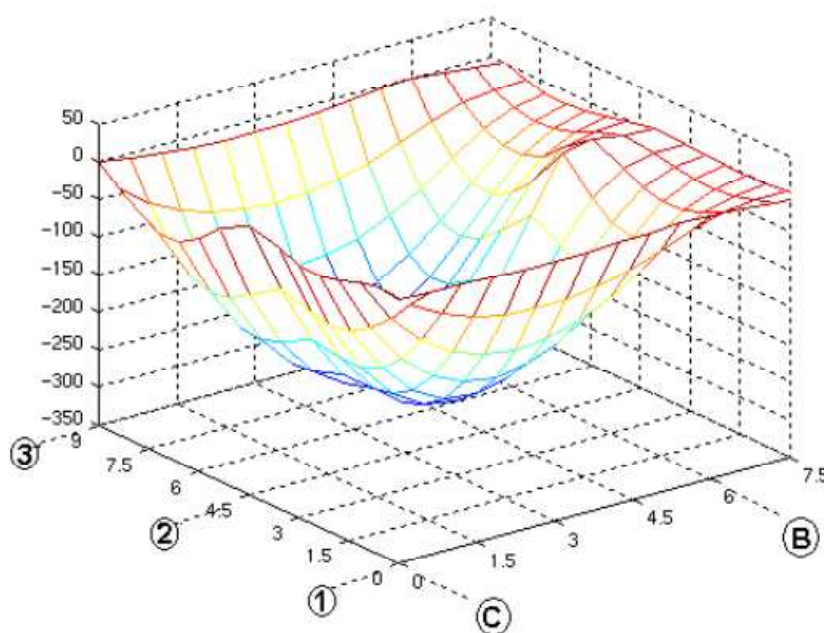


Obrázek 14 – Deformace nosníku ve 3D a 2D rámu [3]

Obrázek 15 ukazuje deformační profil slim floor desky po 90 minutovém ISO požáru. Je vidět, že deska podporuje nosník a ne naopak. Tento efekt je obdobný jako na provedených požárních zkouškách v Cardingtonu na klasické osmipodlažní ocelobetonové budově, kde se sledovalo chování konstrukce při požární situaci a jako jedno z hlavních zaměření bylo sledování veliké únosnosti ocelobetonové desky za požáru. Již v 70. letech minulého století bylo dokázáno, že pravoúhlá, po obvodě podepřená, slabě vyztužená betonová deska dokáže přenést mnohem větší zatížení, než které vychází z výpočtu bez zohlednění vzájemného spolupůsobení jednotlivých částí konstrukce. K tomuto jevu dochází díky membránovému působení desky, kdy dokáže roznést zatížení z tepelně ovlivněných ocelových nosníků do nepoškozených částí ocelové konstrukce. Pro aktivování membránových sil v desce jsou potřebné veliké svislé průhyby, které jsou v případě návrhu konstrukce za běžné teploty nepřijatelné. Za požární situace je ovšem možné tyto deformace využít k aktivaci membránového působení desky a tím pádem k hospodárnějšímu návrhu požární ochrany konstrukce.

Na počátku požáru se deska začne prohýbat a dojde k potrhání betonu v tažených částech v místech největších momentů. Tím, že dojde k posunu neutrálné osy směrem k tlačené části průřezu, vznikají na tažené straně desky mnohem větší poměrná přetvoření. Protože je zabráněno vodorovnému posunutí desky, vzniká tlačená klenba a narůstá únosnost. Tento nárůst lze sledovat při průhybu rovnému přibližně 0,5 násobku tloušťky desky. Výsledkem je vznik tahových membránových napětí ve středu desky a tlačeního prstence po jejím obvodě.

Tento membránový efekt se objevuje i v tomto případě „slim floor“ desky vznikající při velkém průhybu, jak lze vidět, viz Obrázek 15.



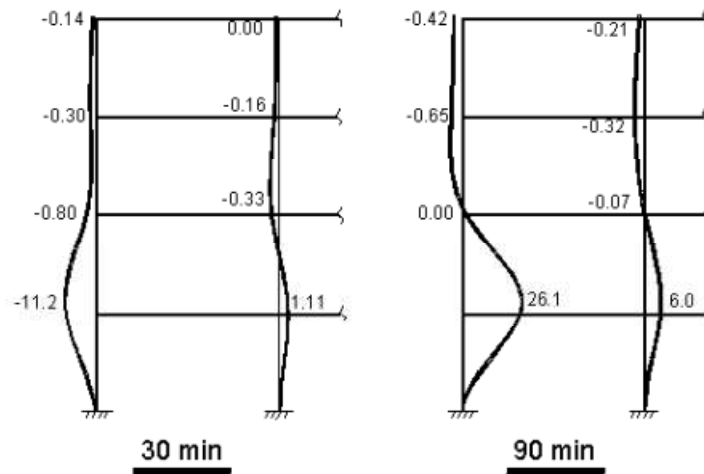
Obrázek 15 – Deformace vzniklé v desce v 90. minutě ISO požáru [3]

#### 4.4.3 Globální analýza deformací rámu

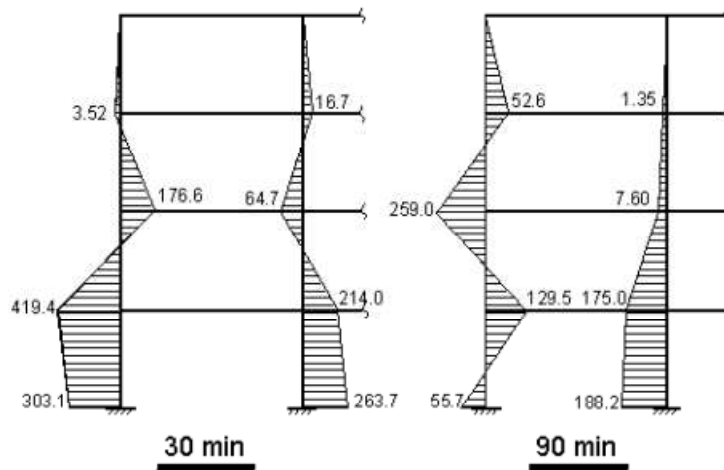
Studie interpretovaly tři největší vlivy, které ovlivňují celkové chování rámu za požáru, kterými jsou zabránění vodorovného posunutí desky, tuhost jednotlivých přípojí (schopnost natočení) a tuhost samotné desky.

Vnitřní síly a deformace sloupu za požáru mohou být rozděleny do dvou fází. Počáteční fáze ISO požáru se normálové síly rapidně zvětšují a působí tlakově, což je způsobeno zabráněním vodorovného posunu sloupy. Zatímco v další fázi po 60 minutě se nosník díky zvětšujícím se průhybům dostane do tahu.

Průběh těchto normálových sil za požáru způsobuje výrazné změny momentu v okolních rámových částech (hlavně ve sloupech). Obrázek 17 znázorňuje vznikající momenty v průběhu požární situace. Z běžných podmínek jsou vznikající momenty ve sloupech velice malé. Lze vidět, že momenty za požáru jsou překvapivě větší.



Obrázek 16 – Deformace rámu po 30 a 90 minutách ISO požáru [3]



Obrázek 17 – Průběh momentů na rámu v 30. a 90. minutě ISO požáru [3]

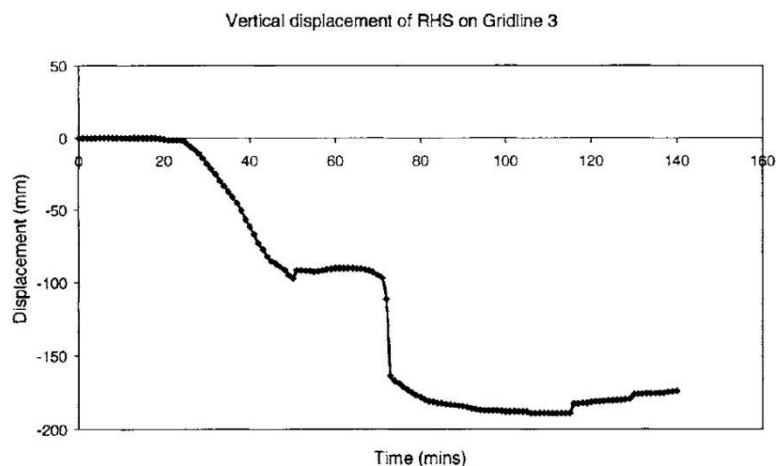
## 4.5 Spoje

Spoje tvoří velice podstatnou nosnou část konstrukce. Stejně jako se musí posuzovat za normálních podmínek, musí se obdobně zohlednit jejich chování a únosnost za požáru.

### 4.5.1 Rozsáhlý test „slimdeck“ systému za přirozeného požáru

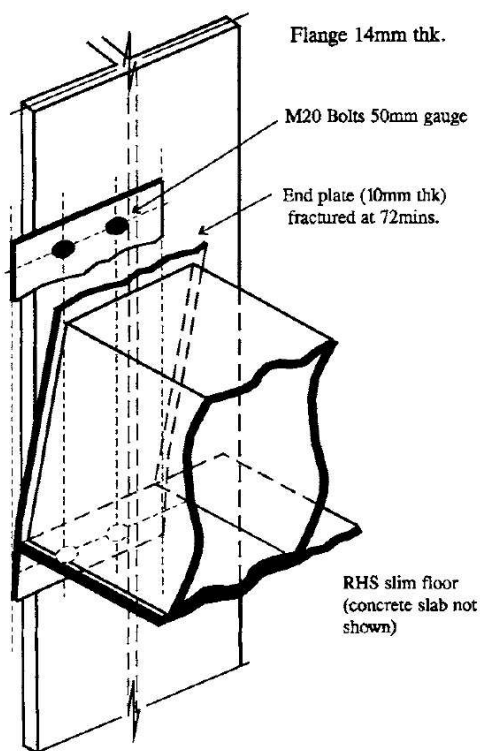
Ve studii [5] byla provedena rozsáhlá požární zkouška na klasické slim floor konstrukci jak je vidět na Obrázek 18. Použité ocelové sloupy a nosníky jsou také vyznačeny na Obrázek 18. ŽB deska byla trny spřažena s nosníky. Byl vypočten stupeň využití na hodnotu 0,35. Předěšlé studie ukázaly, že při stupni využití 0,47 nosníky vyhoví PO 60 minut. Proto bylo předpokládáno, že systém jako celek tuto hodnotu překoná.





Obrázek 20 – Průhyb krajního nosníku 3 [5]

Dále byly analyzovány průhyby ŽB desek, viz Obrázek 19. Tento obrázek také indikuje, že deska mezi B/C a 2/3 rychle ztratila stabilitu okolo 72 minuty požáru. Selhaní této desky bylo způsobeno selhaní krajního nosníku 3. Průhyb tohoto nosníku je znázorněn, viz Obrázek 20. Především požární zkouška ukázala, že má nosník PO větší než 72 minut. Podrobnější pátrání objevilo selhání spoje nosníku se sloupem, které zapříčinila prasklina přivařené čelní desky, viz Obrázek 21. Tato porucha zapříčinila celkový kolaps celého systému.



Obrázek 21 – Prasklina čelní desky [5]

Při hrubějším zamýšlení lze vidět, že rozteče šroubů jsou pouhých 50mm, což vytváří tuhý spoj s velmi malou duktilitou a z těchto důvodů vznikla prasklina na čelní desce. Proto se doporučuje při návrhu spojů dosažení co možná největší duktility. Jedním z možných zvýšení duktility je volba větších roztečí šroubů.

## 5 SHRNU TÍ

---

Požární bezpečnost hraje velkou roli v požárním návrhu ocelové a ocelobetonové konstrukce. Nejčastěji se navrhují a posuzují jednotlivé konstrukční prvky za požární situace samostatně a nesprávně se nezohledňuje jejich spolupůsobení. Tento přístup vede k nereálným výsledkům a stavba je tímto předimenzována.

Byly provedeny modely pro analýzu rozvoje tepla v požárním úseku a přestupu tepla do ocelobetonové konstrukce v průběhu požární situace. Byl naprogramován výpočtový program (SAFIR) využívající metodu konečných prvků, ke stanovení průběhu tepla v nosníku. Tato práce ukazuje chování asymetrického ocelobetonového slim floor nosníku za požární situace. A to jako samostatně stojícího nosníku, tak i nosníku, který je součástí rámové konstrukce. Cílem bylo porovnat chování těchto situací a zjistit celkové spolupůsobení rámu a jeho vliv na požární odolnost konstrukce. Jako další cíl bylo stanovit požární odolnost desky a vyhodnotit její chování za požáru ve spolupůsobení s rámem.

Z analýz vyplynulo, že majoritní vliv na globální chování a deformace rámu za požáru vykazuje znemožnění vodorovného posunu desky s nosníkem („axial restraint“). Posunu je zabráněno okolní rámovou konstrukcí a to především sloupy. Štíhlé stropy tak v rámové konstrukci dosahují daleko vyšší požární odolnosti, než u standardizovaných požárních zkoušek. Dále by se neměl opomíjet návrh spojů. Rozsáhlými požárními testy byly prokázány výhody způsobeny rotační kapacitou spojů na chování nosníku za požáru. Spoje avšak musí vykazovat dostatečnou duktilitu, jinak hrozí selhání spoje, které může vyústit ke ztrátě stability celé konstrukce.

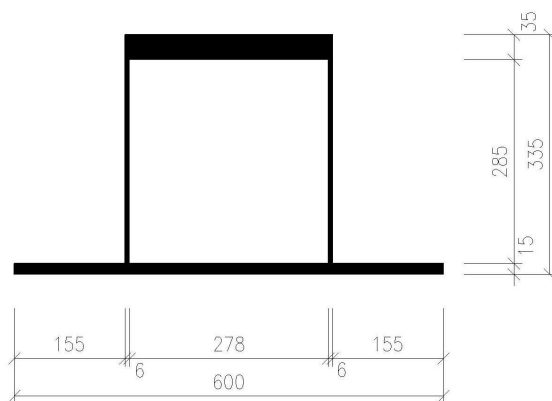
## 6 VÝPOČET PŘETUPU TEPLA DO NOSNÍKU

---

Tato semestrální práce by měla zohlednit celou problematiku přestupu tepla do štíhlých stropních konstrukcí a to ne jen samotný přestup, ale i jeho důsledky na okolní části a celkové spolupůsobení jednotlivých konstrukčních prvků za požární situace.

### 6.1 WQ beam

Druhou část této semestrální práce tvoří vlastní analýza teplotního průběhu nosníku za požáru. Pro tuto analýzu byl vybrán ocelobetonový průřez s nosníkem WQ BEAM od firmy RUUKI, viz Obrázek 22. Na spodních pásnicích byl kloubově uložen prefabrikovaný ŽB panel SPIROLL se závěrečnou dobetonávkou.



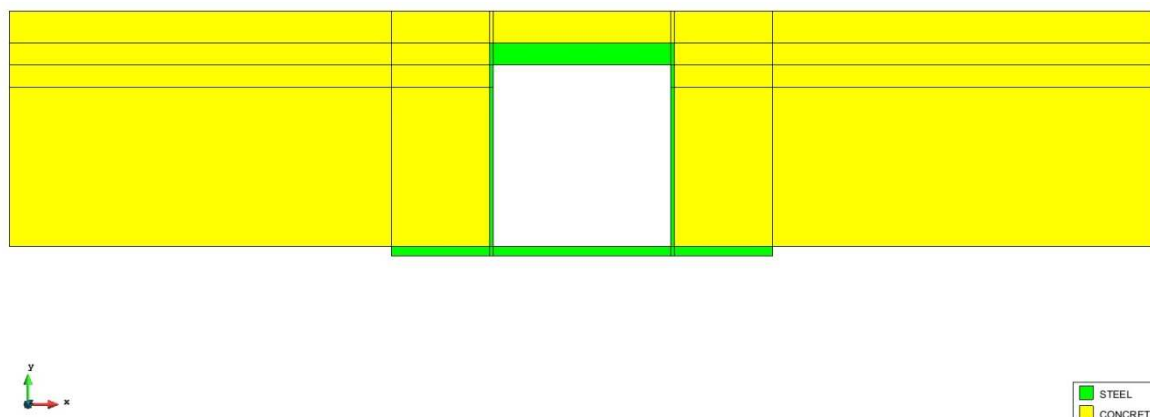
Obrázek 22 – Analyzovaný nosník Ruuki WQ

### 6.2 Implementace do programu SAFIR

Pro výpočet teplotního průběhu byl využit program SAFIR, což je software pro simulaci odezvy konstrukce za požární situace. Požár je zde modelován pomocí dat (rovnice popisující křivku, charakterizující jak rozvoj teploty plynů v požárním úseku, tak i dopadající tepelný tok na povrch konstrukce). Konstrukce lze modelovat jak ve 2D i 3D situaci. Výpočet pak probíhá metodou konečných prvků.

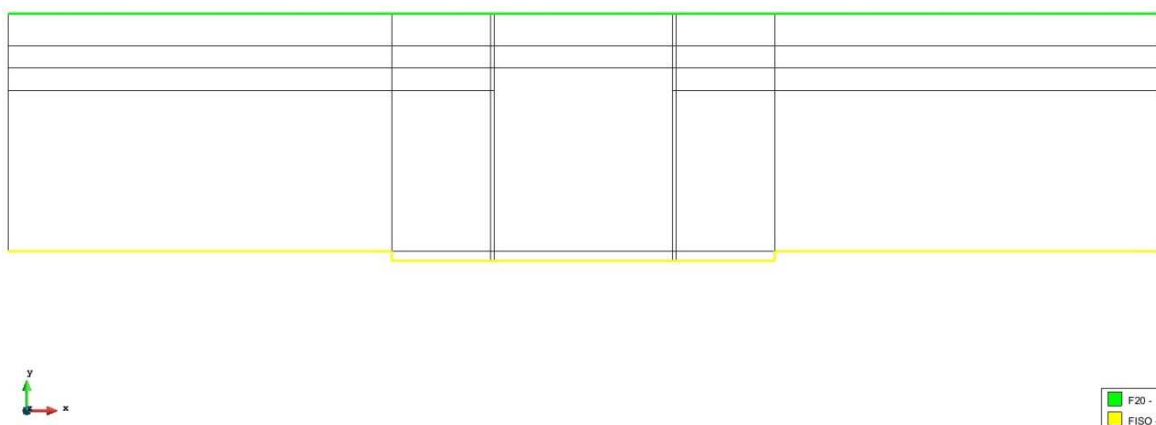
Nejprve se vymodelovala 2D geometrie průřezu a jednotlivým plochám se přiřadil materiál, viz Obrázek 23. Každému materiálu se musí zadat materiálové vlastnosti

v závislosti na teplotě (hustota oceli a betonu, měrné teplo, tepelná vodivost (jsou přednastaveny, ale mohou být upraveny nebo zcela změněny)).



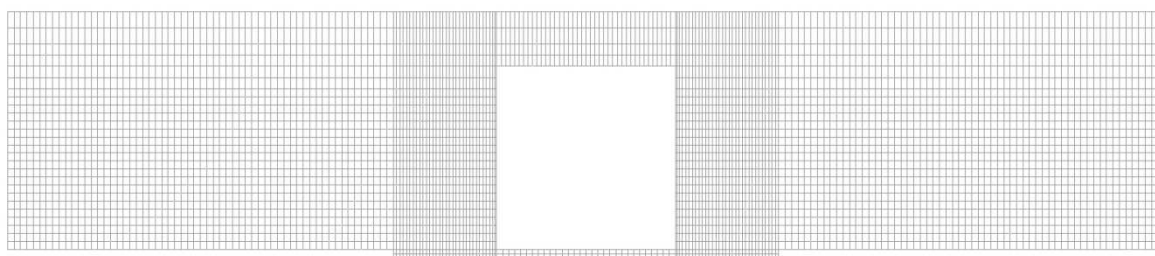
Obrázek 23 – Modelace geometrie a přiřazení materiálů

Dalším krokem je zadání okrajových podmínek, jako jsou počáteční teplota, okolní teplota na jednotlivých stranách, teplotní křivka ISO požáru na vystavovanou stranu, viz Obrázek 24.



Obrázek 24 – Okrajové podmínky

Dalším důležitým krokem je vhodné rozdělení (mesh) průřezu na jednotlivé výpočetní elementy, viz Obrázek 25. Čím hustější je síť, tím jsou výsledky přesnější.



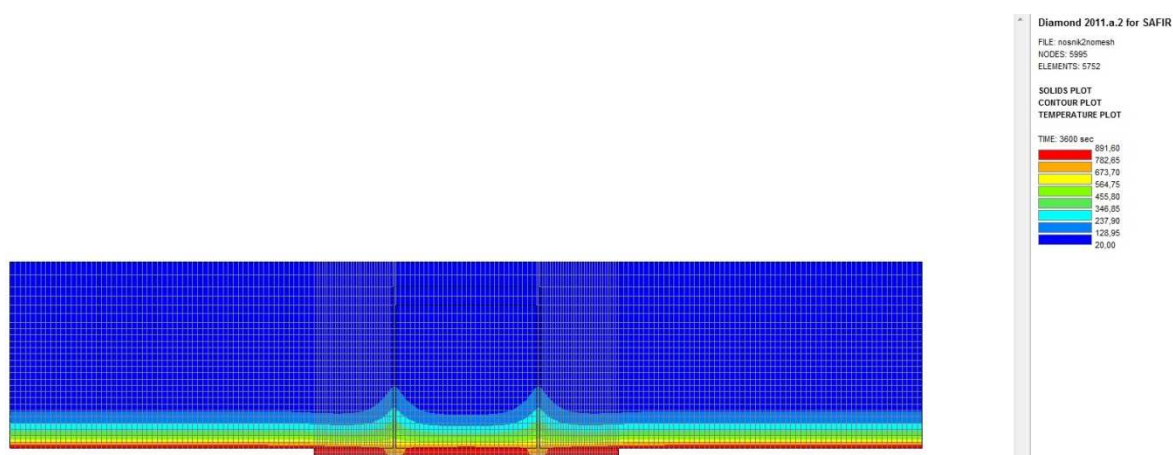
Obrázek 25 – Rozdělení modelu na konečné elementy



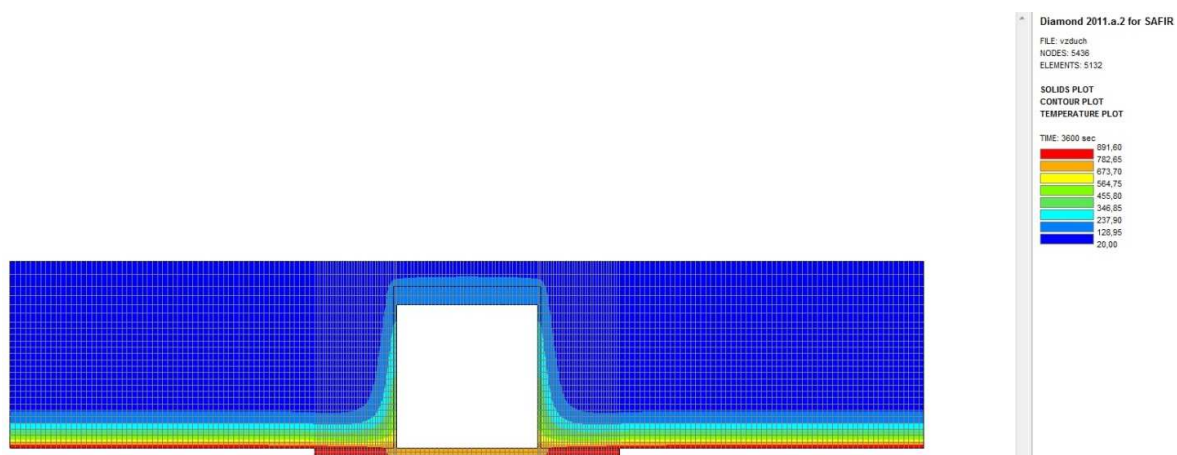
Posledním krokem je spuštění výpočtu.

### 6.3 Výstupy

Toto jsou výstupy z programu SAFIR. Na obrázcích lze vidět teplotní profil WQ nosníku po vystavení 60 minutovému ISO požáru v situaci s vybetonovanou dutinou a se vzduchovou dutinou v nosníku, viz Obrázek 26, Obrázek 27. Podrobnější analýza se soustřeďuje pouze na situaci se vzduchovou dutinou. Maximální teploty spodní pásnice dosahují až 900°C. Lze pozorovat nerovnoměrné rozložení teplot po průřezu, což je způsobeno jak lepší tepelnou vodivostí oceli, tak i vzduchovou mezerou uvnitř nosníku.



Obrázek 26 – Teplotní profil WQ nosníku s vybetonovanou vzduchovou dutinou po 60 minutách ISO požáru



Obrázek 27 – Teplotní profil WQ nosníku se vzduchovou dutinou po 60 minutách ISO požáru

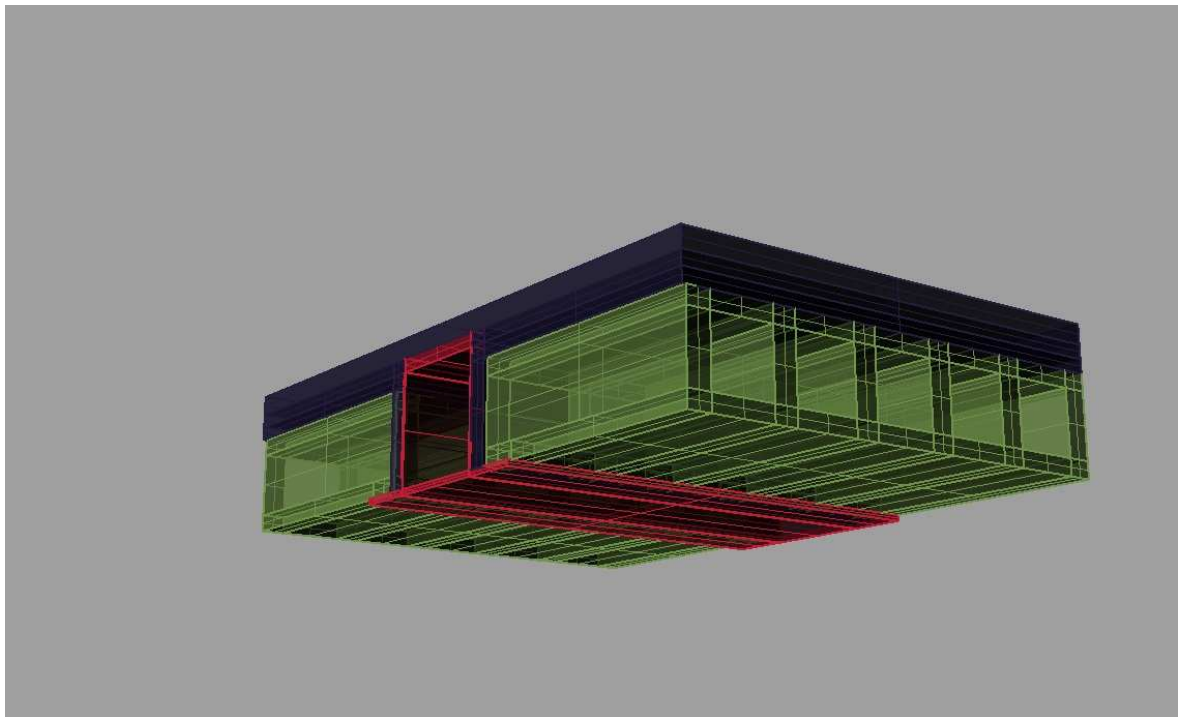
Pro studii byly k dispozici výstupy obdobné situace (pouze se vzduchovou dutinou v nosníku) z požární zkoušky z Finska. Cílem bylo tyto výstupy porovnat a výpočet tímto verifikovat. Avšak při porovnání výsledných teplot po 60 minutovém ISO požáru se

teploty horní pásnice řádově liší a to až o 200°C. Toto je možno si vysvětlovat různými způsoby:

- Nesprávné zadání okrajových podmínek
- Jiné materiálové vlastnosti (jiná ocel, beton, spirolly)
- Nezohlednění vzduchových otvorů v panelech spiroll
- Počítá program správně s prouděním tepla ve vzduchové dutině nosníku?

Skutečný důvod, proč se teplotní výstupy liší, v této analýze nebyl nalezen. Pro porovnání výstupů byl k dispozici až konečný teplotní průběh. Není tedy jasné, jaké byly skutečné okrajové podmínky a použité materiály. Proto postupným měněním okrajových podmínek, materiálových vlastností by se mohlo dojít k podobným výsledkům a tímto tento výpočet verifikovat.

Jako další možnost přiblížení se reálné situaci je modelace situace ve 3D, které by pomohlo reálněji zohlednit proudění ve vzduchové mezeře nosníku, ale i v dutinách prefabrikovaných panelů spiroll.



Obrázek 28 - 3D model situace WQ nosníku se ŽB panely spiroll a dobetonávkou

Tento model byl vytvořen, viz Obrázek 28, avšak nepodařilo se ho správně „nameshovat“ pro správné spuštění výpočtu. Touto problematikou by se měla zabírat má budoucí diplomová práce.

## 7 LITERATURA

---

- [1] Makelainen P, Ma Z. Fire resistace of composite slim floor beams. Finland, 1999.
- [2] Newman GM. Fire resistance of slim floor beams. Journal of constructional steel research 1995;33(1-2):87-100.
- [3] Ma Z. Fire safety design of composite slim floor structures. Finland, 2000.
- [4] Ma Z, Makelainen P. Structural behaviour of composite slim floor frames in fire conditions. Finland, 2006
- [5] Bailey CG, Lennon T, Moore DB. Full scale test on the new UK slim floor systém. UK.
- [6] R. Zaharia, D. Duma, O.Vassart, Th. Gernay, J.M. Franssen. SIMPLIFIED METHOD FOR TEMPERATURE DISTRIBUTION IN SLIM FLOOR BEAMS, 2011

## 8 SEZNAMY OBRÁZKŮ

---

|  |    |
|--|----|
| Obrázek 1 – Nosníky štíhlých stropních konstrukcí .....  | 6  |
| Obrázek 2 – Lokální systém elementů .....  | 7  |
| Obrázek 3 – Ilustrační teplotní průběh WQ nosníku po 60 minutách ISO požáru .....                        | 8  |
| Obrázek 4 – Ilustrační obrázek polohy neutrálné osy .....  | 9  |
| Obrázek 5 – Rozdělení průřezu na elementy, přiřazení materiálů a okrajových podmínek.....                | 11 |
| Obrázek 6 – Ilustrativní teplotní průběh SFB nosníku.....  | 11 |
| Obrázek 7 – Stanovení teploty spodní pásnice - funkce v závislosti tloušťky spodní pásnice na čase ..... | 12 |
| Obrázek 8 – Teplota stojiny - funkce v závislosti vzdálenosti od spodní pásnice na čase.....             | 12 |
| Obrázek 9 – Teplota ve výztuži - funkce v závislosti vzdálenosti od spodní pásnice na čase .....         | 13 |

|   |    |
|---|----|
| Obrázek 10 – Půdorys analyzovaného rámu za použití slim floors.....                                       | 14 |
| Obrázek 11 – Průhyb slim floor nosníku v průběhu ISO požáru.....  | 15 |
| Obrázek 12 – Průhyb ohřívaného kloubově připojeného nosníku.....  | 16 |
| Obrázek 13 – Normálové síly vznikající v nosníku v průběhu ISO požáru .....                               | 16 |
| Obrázek 14 – Deformace nosníku ve 3D a 2D rámu .....  | 17 |
| Obrázek 15 – Deformace vzniklé v desce v 90. minutě ISO požáru .....                                      | 18 |
| Obrázek 16 – Deformace rámu po 30 a 90 minutách ISO požáru .....  | 19 |
| Obrázek 17 – Průběh momentů na rámu v 30. a 90. minutě ISO požáru.....                                    | 19 |
| Obrázek 18 – Analyzovaný nosník Ruuki WQ.....   | 23 |
| Obrázek 19 – Modelace geometrie a přiřazení materiálů .....   | 24 |
| Obrázek 20 – Okrajové podmínky .....  | 24 |
| Obrázek 21 – Rozdělení modelu na konečné elementy .....   | 24 |
| Obrázek 22 – Teplotní profil WQ nosníku s vybetonovanou vzduchovou dutinou po 60 minutách ISO požáru..... | 25 |
| Obrázek 23 – Teplotní profil WQ nosníku se vzduchovou dutinou po 60 minutách ISO požáru .....             | 25 |
| Obrázek 24 - 3D model situace WQ nosníku se ŽB panely spiroll a dobetonávkou.                             | 26 |