

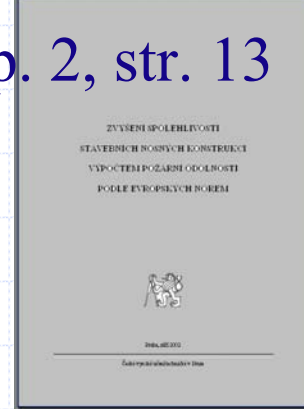
# VÝPOČET SKUTEČNÉ POŽÁRNÍ ODOLNOSTI KONSTRUKCÍ

František Wald  
ČVUT v Praze



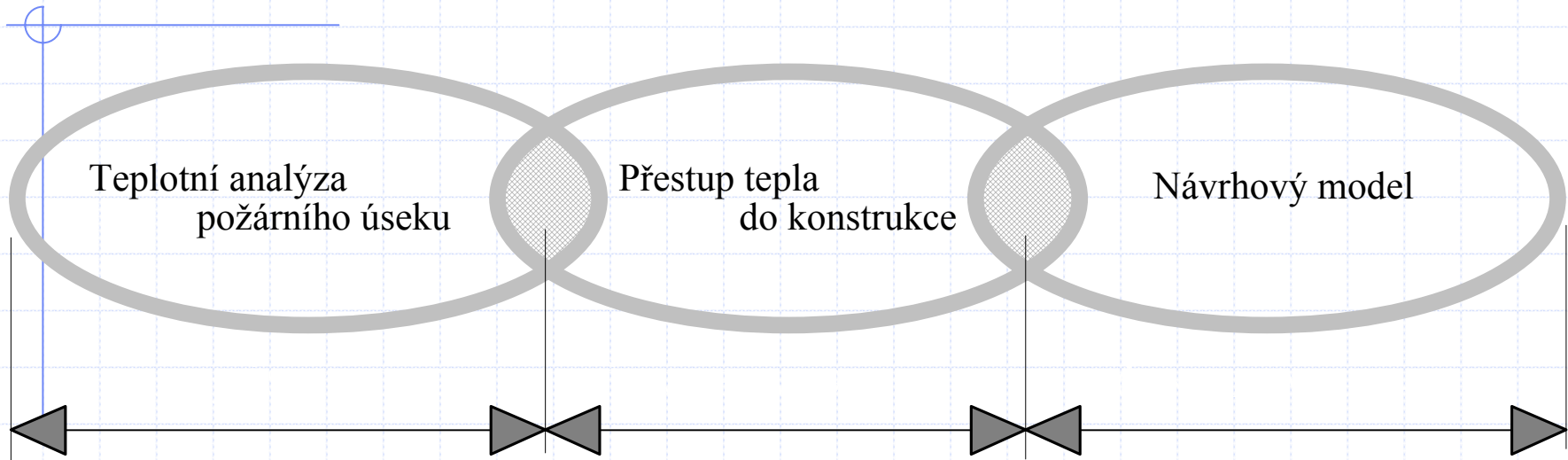
# Obsah

- ◆ Metodika návrhu
  - Ověření spolehlivosti
  - Normové podklady
  - Mechanická zatížení
  
- ◆ Úrovně návrhových modelů
  
- ◆ Příklad návrhu skladu MKP
  
- ◆ Shrnutí





# Metodika návrhu



teplotní analýza

přestup tepla

mechanický model

koncepce mezních stavů

činky zatížení

návrhová únosnost



# Ověření spolehlivosti

$$E_{fi,d} \leq R_{fi,d,t}$$

$E_{fi,d}$  návrhový účinek zatížení

pro požární situaci,

včetně vlivu tepelných prodloužení a deformace

$R_{fi,d,t}$  odpovídající návrhová únosnost

při zvýšených teplotách



# Ověření spolehlivosti

◆ **Časem**  $t_{fi,d} \geq t_{fi,req}$

- kde  $t_{fi,d}$  je normová požární odolnost [*min.*],
- $t_{fi,req}$  je požadovaná normová požární odolnost [*min.*]
- značí se např. R15 (resistance 15 min.) a
- určuje podle stupně požární bezpečnosti požárního úseku.

◆ **Teplotou**  $\theta_{fi,Rd} \geq \theta_{fi,req}$

- kritická teplota  $\geq$  teplota prvku nebo průřezu

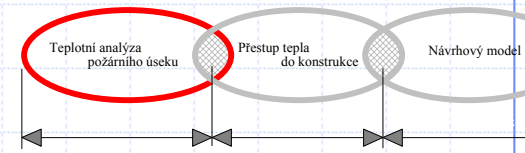
◆ **Pevností**  $R_{fi,Rd} \geq R_{fi,Sd}$

- únosnost  $\geq$  účinky zatížení



# Normové podklady

◆ Základy teplotní analýzy v normativních předpisech pro zatížení (ČSN P ENV 1991-2-2)



◆ Vlastní posouzení na účinky požáru (částech 2 norem)

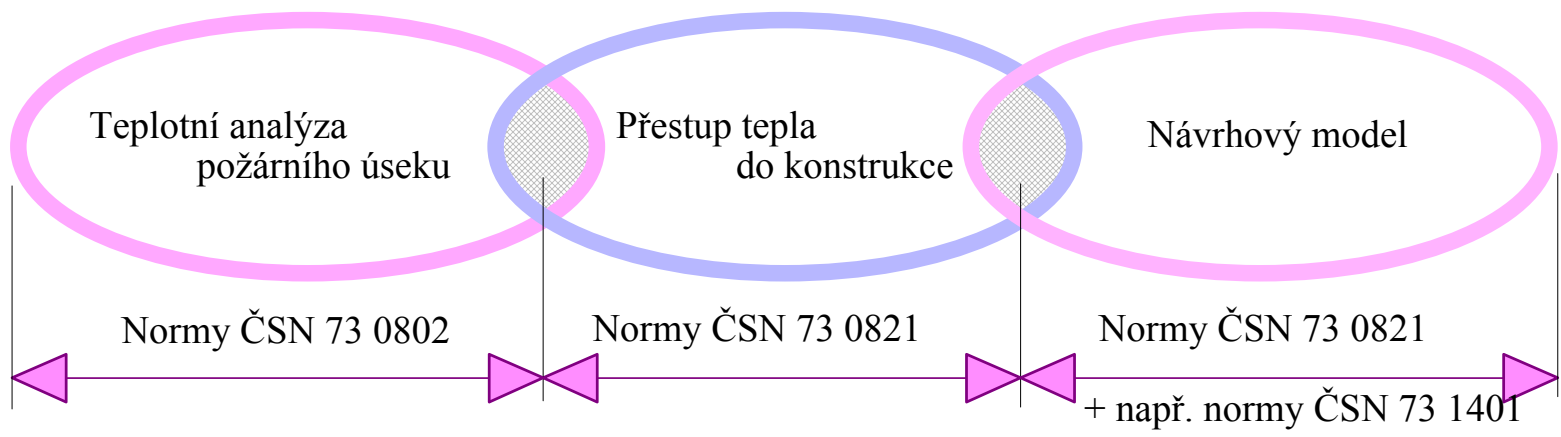
- železobetonové konstrukce (ČSN P ENV 1992-1-2)
- ocelové konstrukce (ČSN P ENV 1993-1-2)
- spřažené ocelobet. konstrukce (ČSN P ENV 1994-1-2)
- dřevěné konstrukce (ČSN P ENV 1995-1-2)
- hliníkové konstrukce (ČSN P ENV 1999-1-2)



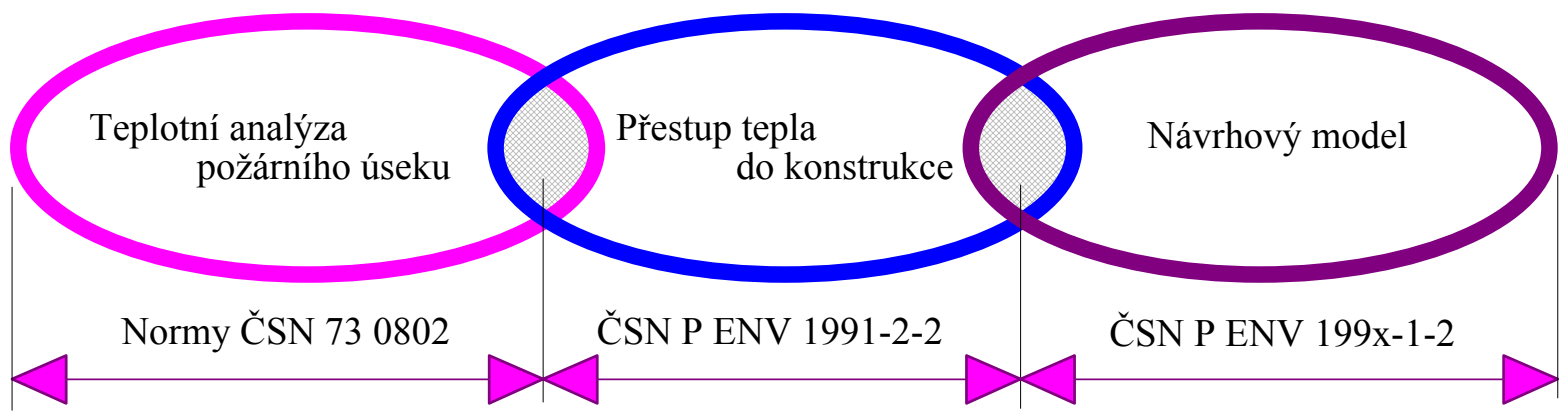
V současné době probíhá konverze předběžných norem na normy ČSN EN xxxx-x-x.



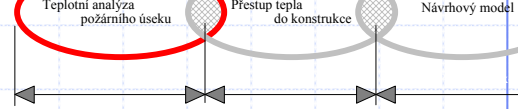
včera



dnes



a zítra ?



# Modely požární situace

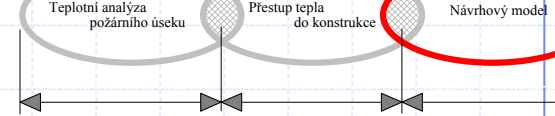
## ◆ Analýza kouře

- Viditelnost v požárním úseku
- Toxicita plynů

## ◆ Analýza teploty

- Normové křivky
- Analytické modely (parametrické/křivky)
- Diskrétní modely (MKP)





# Mechanická zatížení

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{GAj} G_{kj} + \psi_{11} \gamma_{Q1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \psi_{2i} \gamma_{Qi} Q_{ki}$$

+ v kombinaci s

$\Sigma$  kombinace zahrnuje

- $\gamma_{GA} = 1$  dílčí součinitel stálého zatížení
- $G_{kj}$  charakteristická hodnota stálého zatížení
- $\gamma_{Qi} = 1$  dílčí součinitel nahodilého zatížení
- $\psi_{11}, \psi_{2i}$  kombinační součinitele nahodilého zatížení
- $Q_{k1}$  charakteristická hodnota dominant. nahodilého zatížení
- $Q_{ki}$  charakteristické hodnota ostatních nahodilých zatížení



# Kombinační součinitele $\psi_{j,i}$

Zatížení

$\psi_{11}$

$\psi_{2i}$

Užitné zatížení staveb

kategorie A: obytné

0,5

0,3

kategorie B: kanceláře

**0,5**

**0,3**

kategorie C: shromažďovací plochy

0,7

0,6

kategorie D: obchody

0,7

0,6

kategorie E: sklady

0,9

0,9

Zatížení sněhem

**0,2**

**0,0**

Zatížení větrem

**0,5**

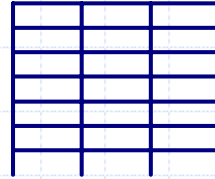
**0,0**

pro pozemní stavby (ENV 1991-1, Tab. 9.3)

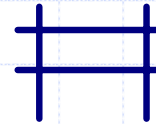


# Analýza konstrukce

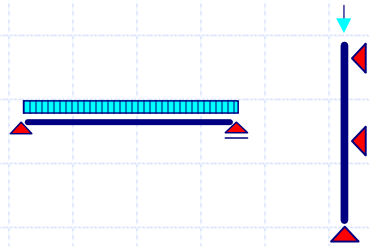
◆ Celé konstrukce



◆ Části konstrukce

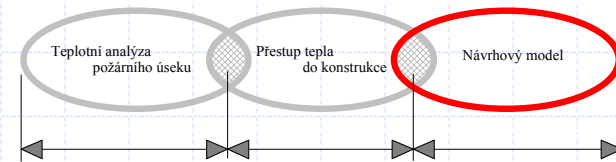


◆ Po prvcích



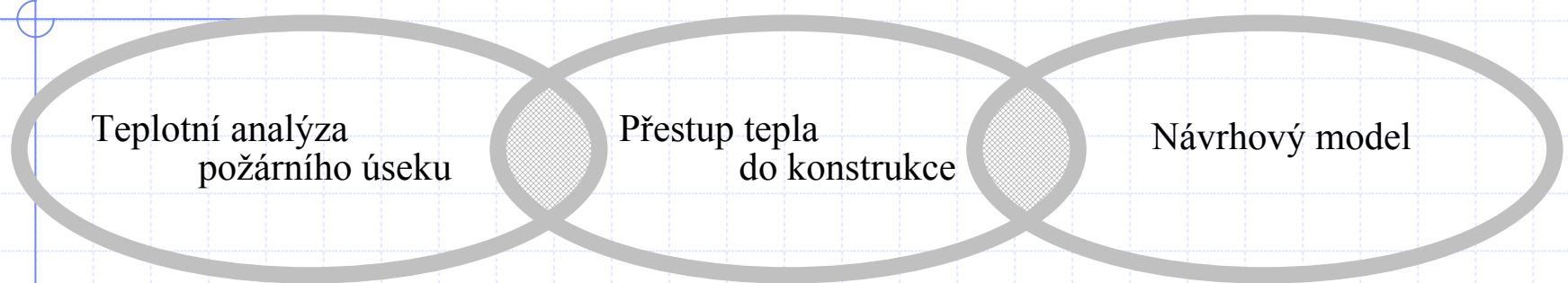
## Účinky teploty

- Změna mechanických vlastností
- Protažení/zkrácení prvků





# Úrovně návrhových modelů



Normové teplotní křivky

Grafy  
Přímý výpočet  
Přírůstkové metody

Po prvcích při 20°C  
Části konstrukce při 20°C

Parametrické teplotní křivky




Celá kce za tepla lineárně

MKP analýza

MKP analýza

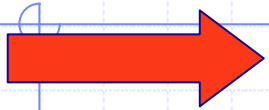
Celá kce za tepla nelineárně

Schéma pro ocelové konstrukce

-  Základní úroveň
-  Komplexní inženýrská úroveň
-  Diskrétní řešení



# Příklady návrhových modelů



## ◆ Základní

- Normové teplotní křivky
- Přestup tepla do konstrukce - grafy
- Analýza konstrukce po prvcích - při 20°C

## ◆ Komplexní inženýrský

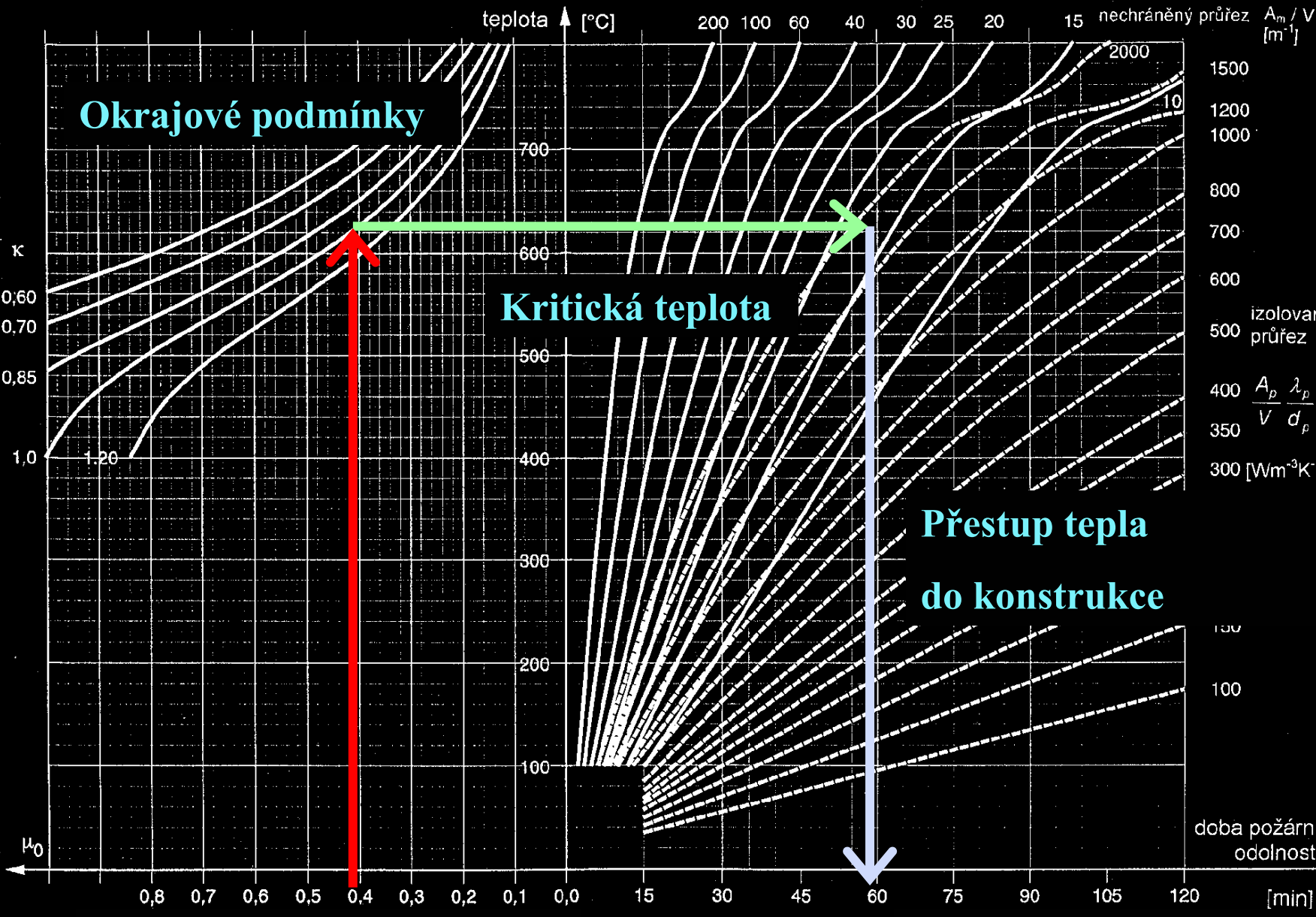
- Parametrické teplotní křivky
- Přestup tepla do konstrukce – přírůstkové metody
- Analýza konstrukce - při 20°C (lineární za tepla)

## ◆ Diskrétní

- MKP analýza požárního úseku
- Přestup tepla do konstrukce MKP
- Nelineární analýza konstrukce za požáru

# Nomogram nastavení požární odolnosti podle ECCS č. 89, 1995

Obr. 5 Nomogram na stanovení požární odolnosti, podle ECCS č. 89, 1995



Zatížení (využití materiálu)

Požární odolnost min



# Příklady návrhových modelů

## ◆ Základní

- Normové teplotní křivky
- Přestup tepla do konstrukce - grafy
- Analýza konstrukce po prvcích - při 20°C



## ◆ Komplexní inženýrský

- Parametrické teplotní křivky
- Přestup tepla do konstrukce – přírůstkové metody
- Analýza konstrukce - při 20°C (lineární za tepla)

## ◆ Diskrétní

- MKP analýza požárního úseku
- Přestup tepla do konstrukce MKP
- Nelineární analýza konstrukce za požáru



Analýza konstrukce při běžné teplotě (20°C)

Posouzení prvku při běžné teplotě (20°C)

Zatížení konstrukce při požární situaci

Globální analýza při běžné teplotě (20°C)

Únosnost prvku při požární situaci  
*(rovnoměrné rozdělení teploty po prvku)*

Stanovení kritické teploty prvku (°C)

Normové teplotní křivky

Parametrické teplotní křivky

Teplotní analýza prvku

Návrh požární odolnosti prvku (minuty)





# Příklady návrhových modelů

## ◆ Základní

- Normové teplotní křivky
- Přestup tepla do konstrukce - grafy
- Analýza konstrukce po prvcích - při 20°C

## ◆ Komplexní inženýrský

- Parametrické teplotní křivky
- Přestup tepla do konstrukce – přírůstkové metody
- Analýza konstrukce - při 20°C (lineární za tepla)



## ◆ Diskrétní

- MKP analýza požárního úseku
- Přestup tepla do konstrukce MKP
- Nelineární analýza konstrukce za požáru



# Příklad

Sklad

**TRAVHYDRO**

**Amiens – France**

Podle

**ZAHARIA R.,**

**FRANSSEN J.M.:**

FIRE DESIGN STUDY

CASE OF A HIGH-RISE

STEEL STORAGE

BUILDING







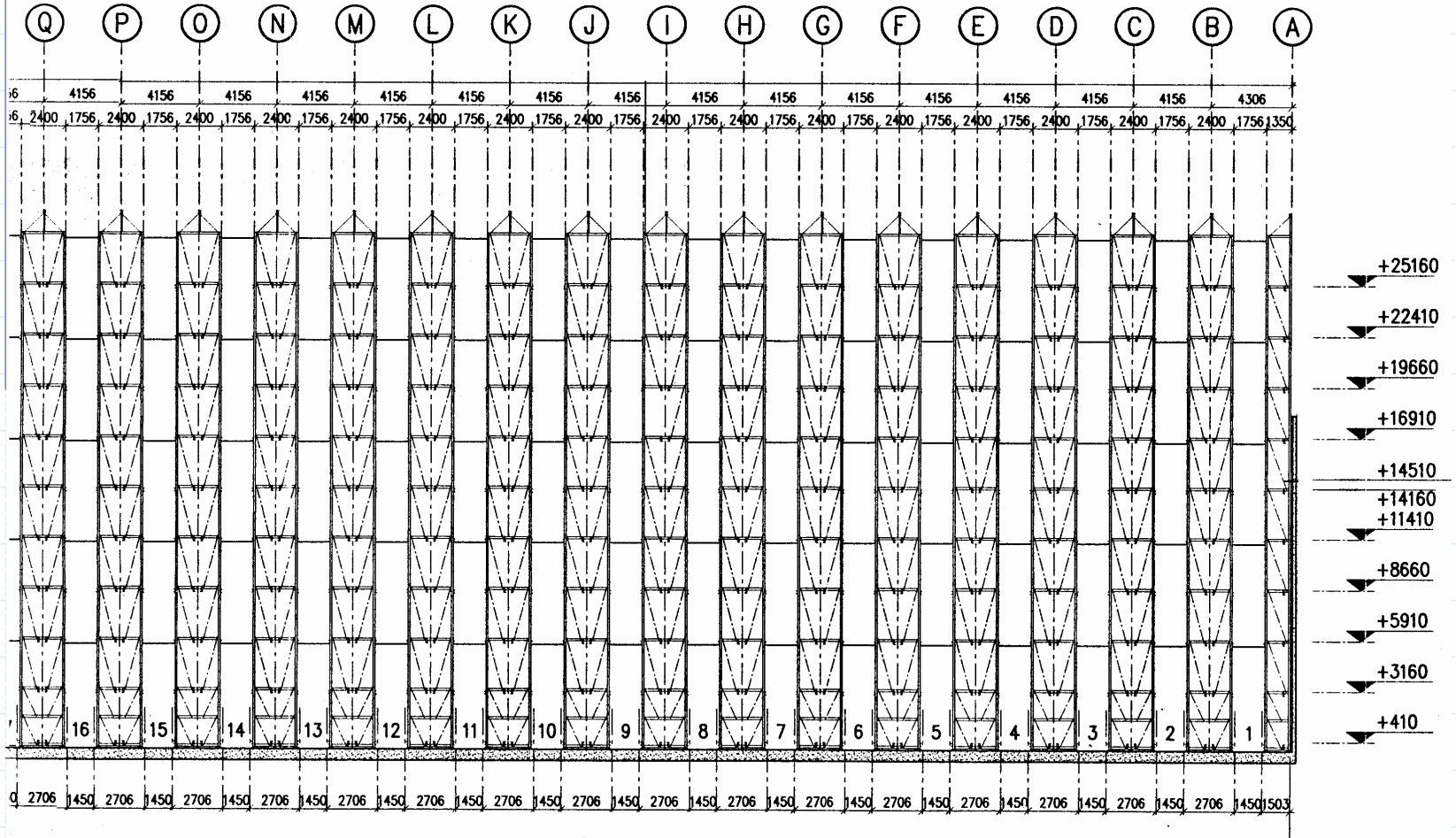
# Zadání

- při nefunkčních sprinklerech, standardně se instalují
- odolnost nad 15 min., ne progresivní kolaps



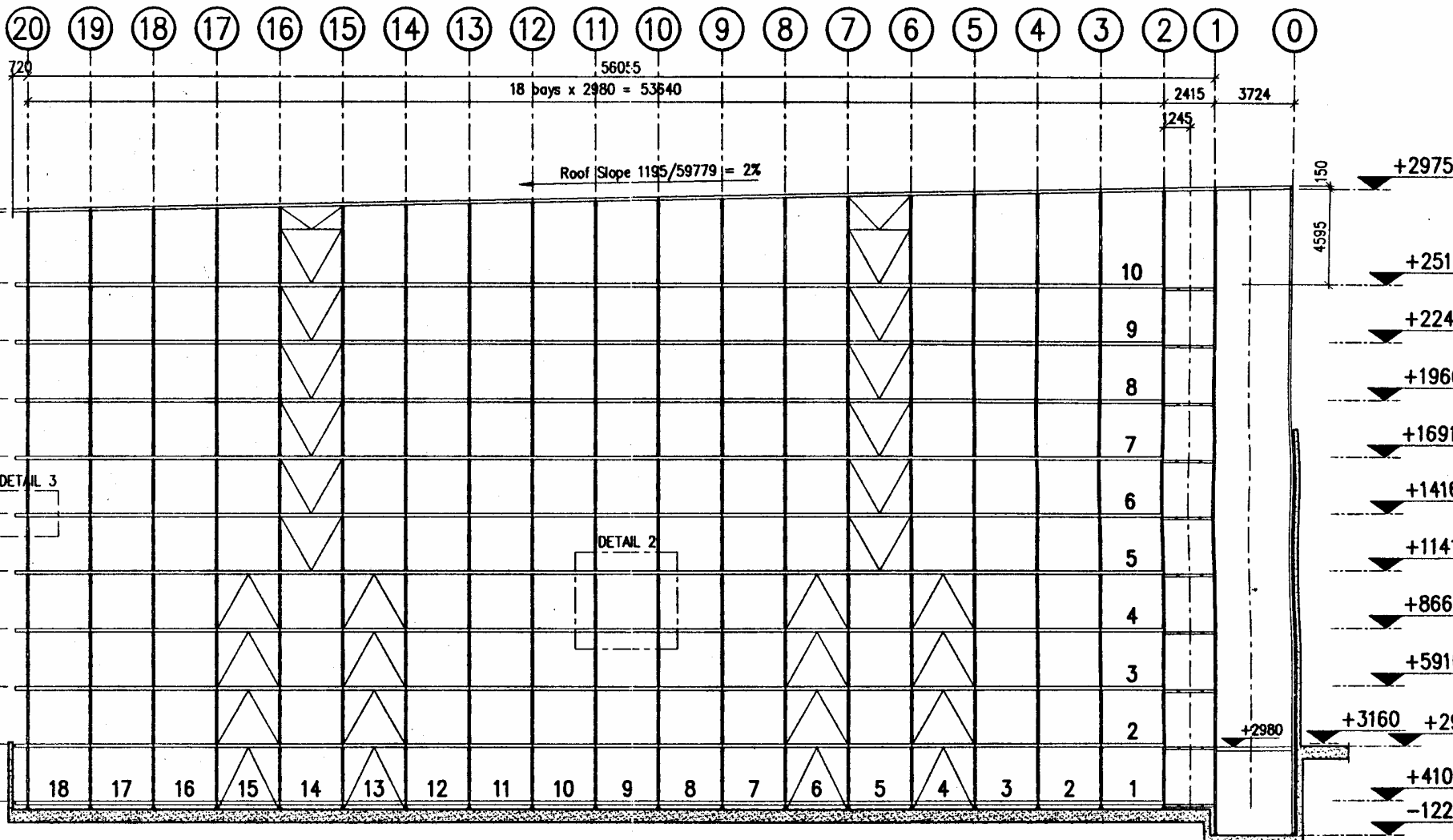


# Podélný řez





# Příčný řez

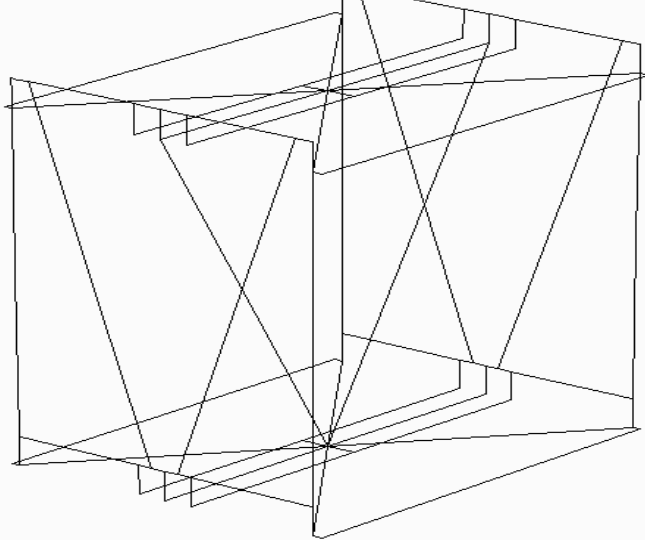




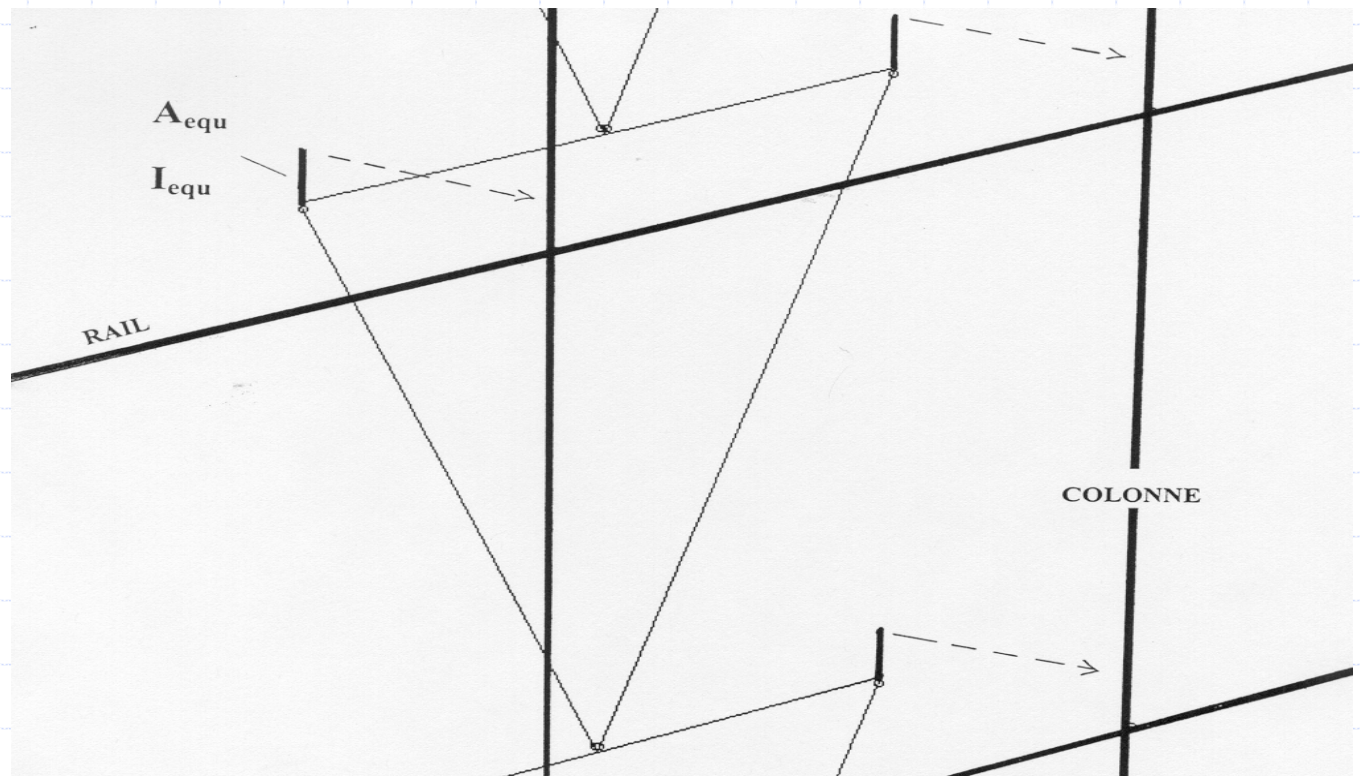
# Modelace

<u>Teplotní křivky</u>	normová	MKP	experiment
<u>Konstrukce</u>			
bez úprav			
rozdělení na dvě			
samostatné věže			
oválné otvory			



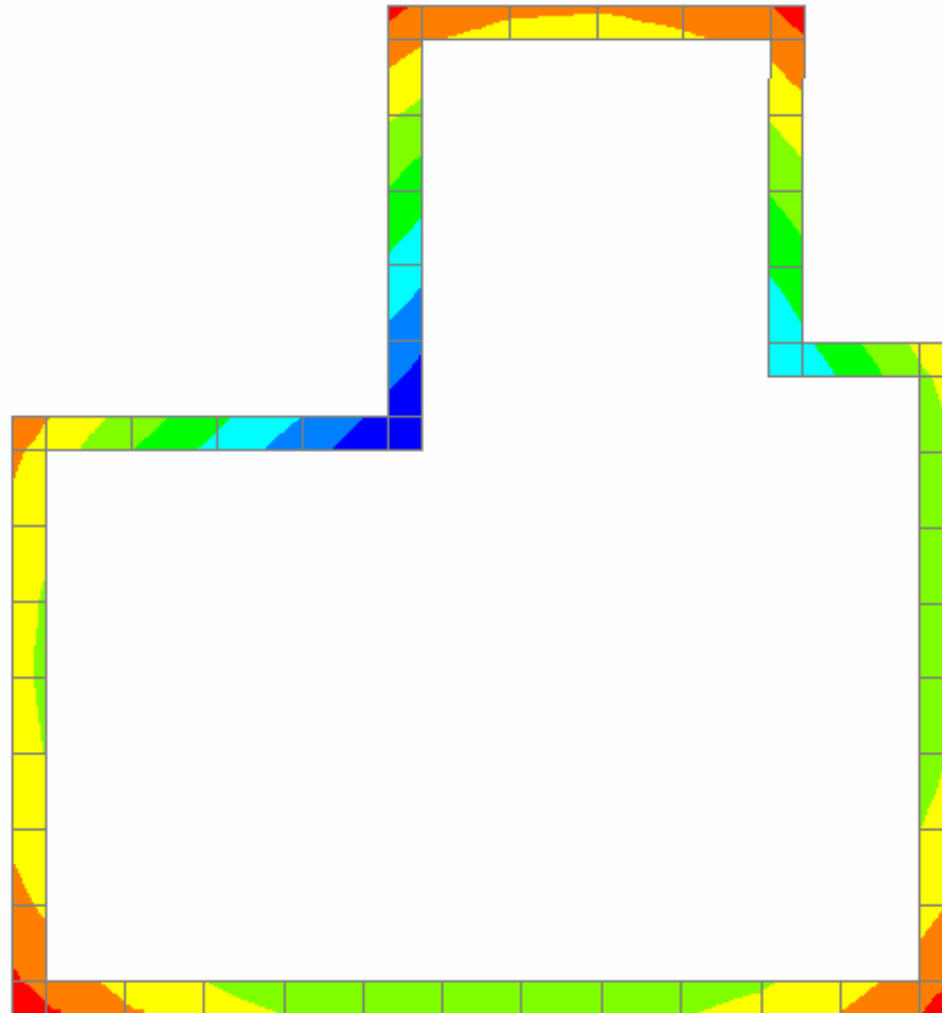


# Rovinný model





# Rozvoj teploty po tenkostěnném průřezu



**Diamond 2001**

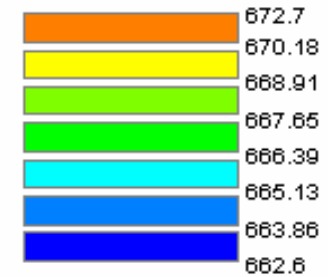
FILE: UPRIGHT.OUT

NODES: 104

ELEMENTS: 52

TIME: 900

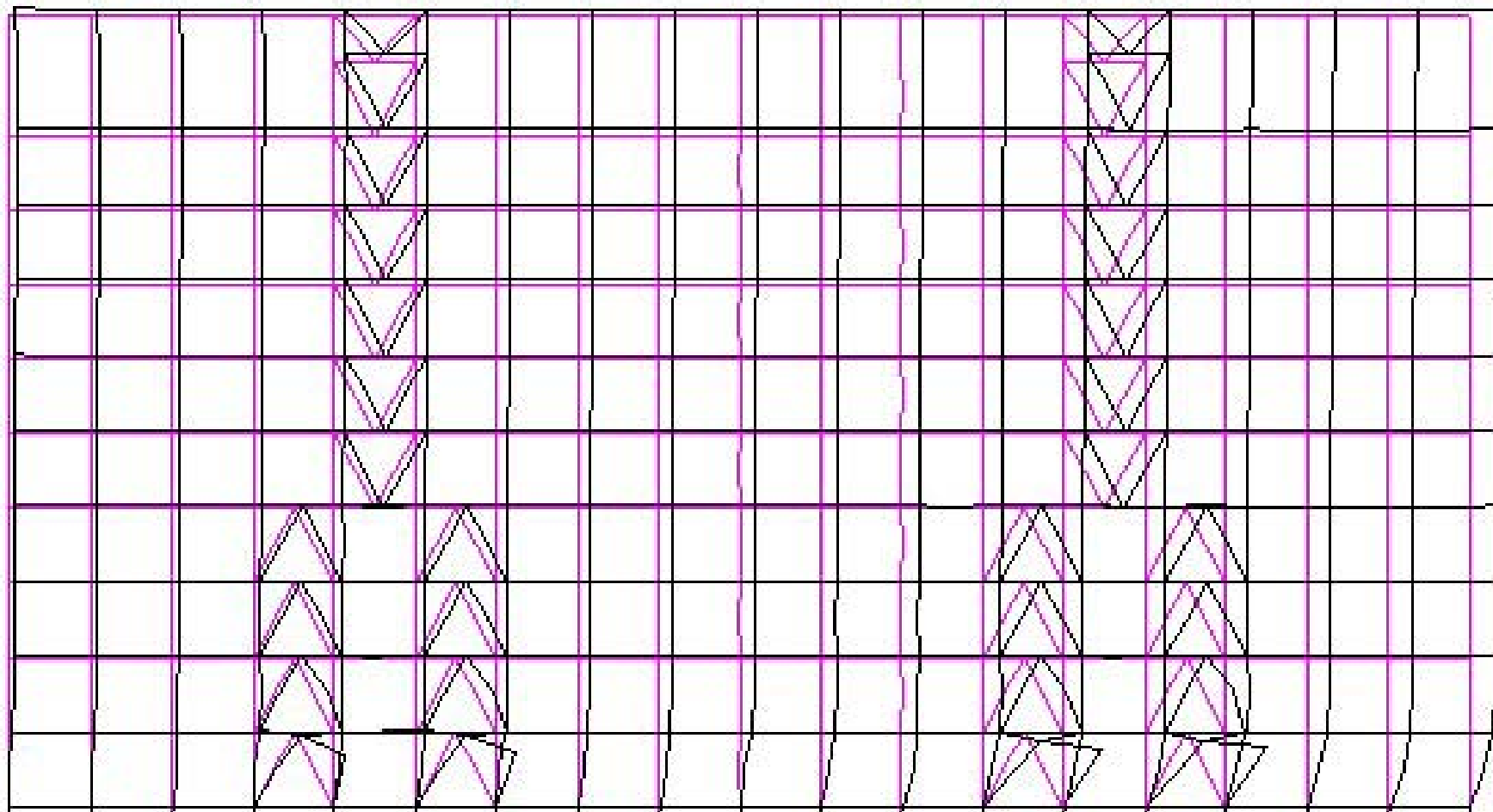
TEMPERATURE PLOT







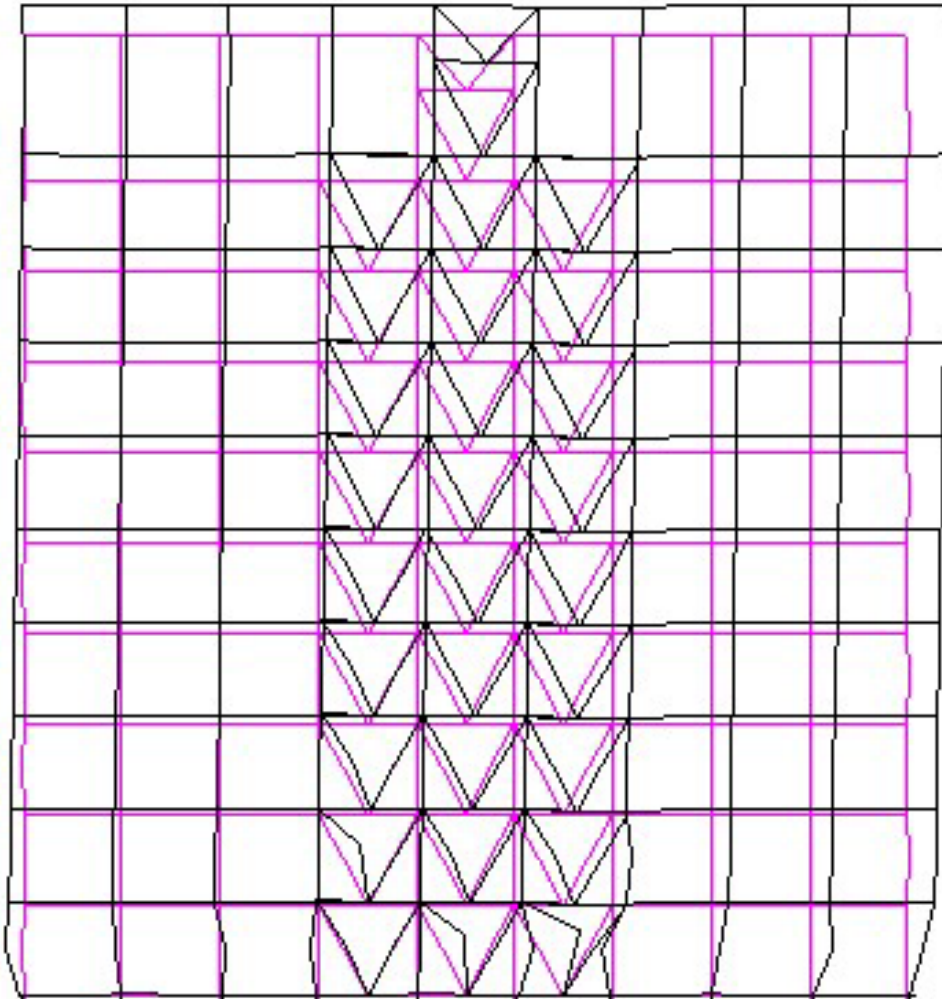
# Konstrukce bez úprav normová křivka hoření



$$R = 1' 52''$$



# Úprava rozdělením na dvě části normová křivka hoření

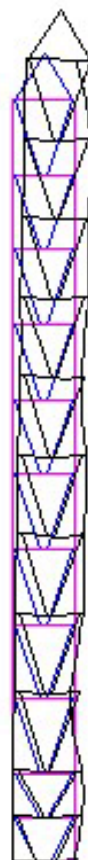
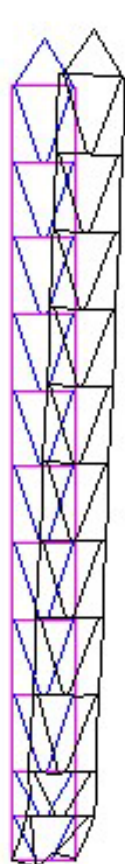


**V výztuhy : R = 7' 46''**

**Λ výztuhy : R = 6' 55''**



# Modifikace propojení ztužidel konstrukce normová křivka hoření



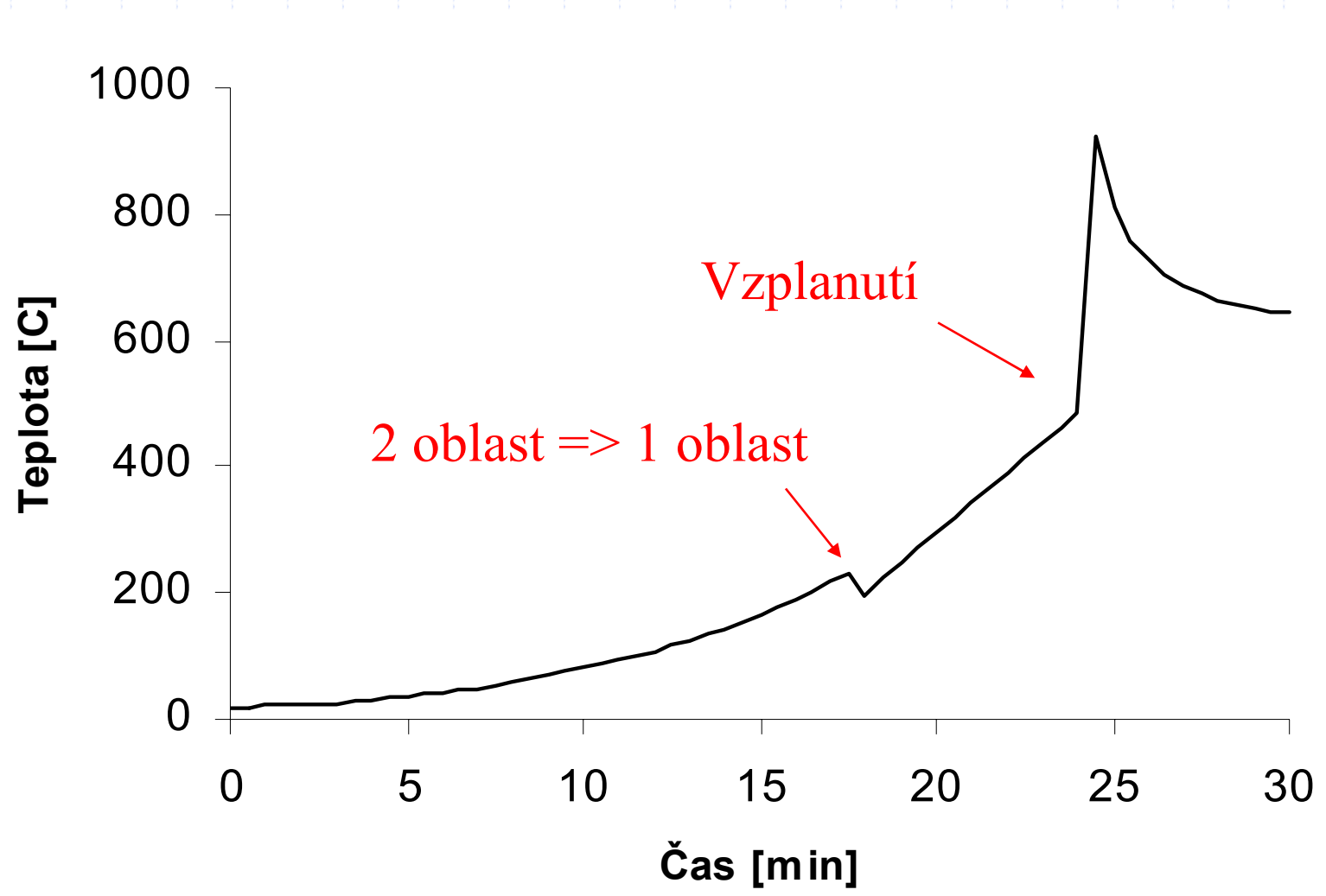
Počáteční kce  
 $R = 2' 47''$

Šroubované přípoje  
S oválnými otvory  
 $R = 5' 38''$

Oválné otvory +  
dřevěné vodorovné pruty  
 $R = 6' 42''$

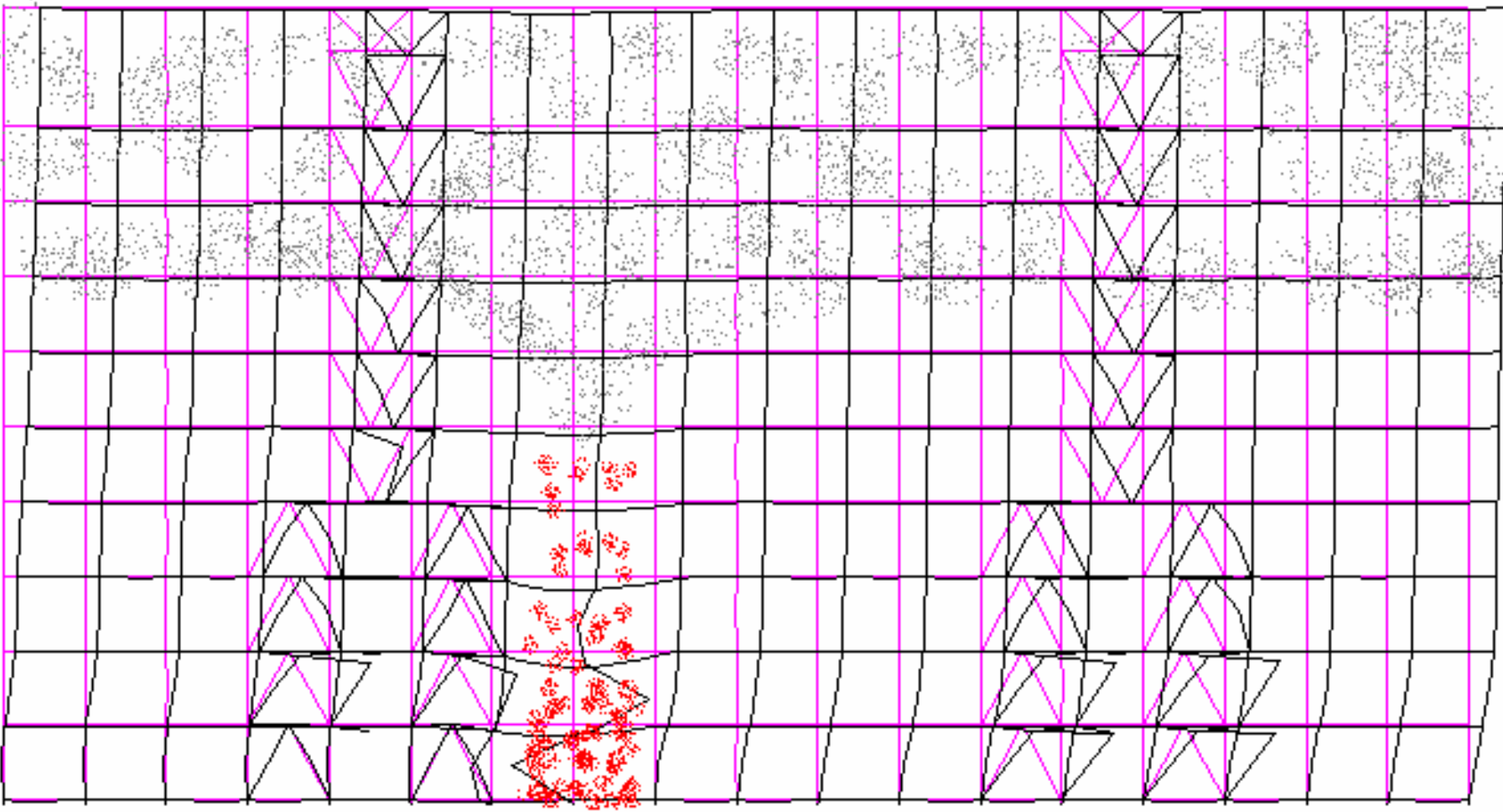


# Diskrétně vypočtená teplotní křivka MKP program OZone





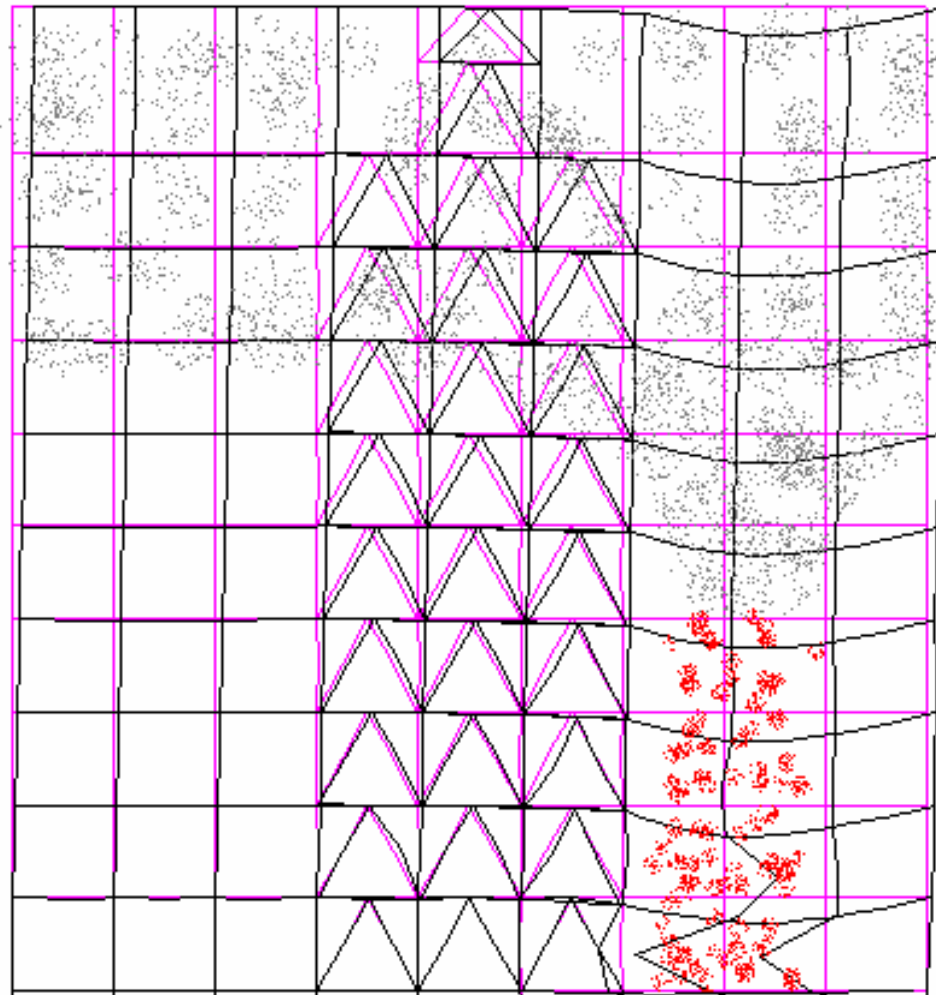
# Konstrukce bez úprav teplotní křivka MKP



$$R = 5' 55''$$



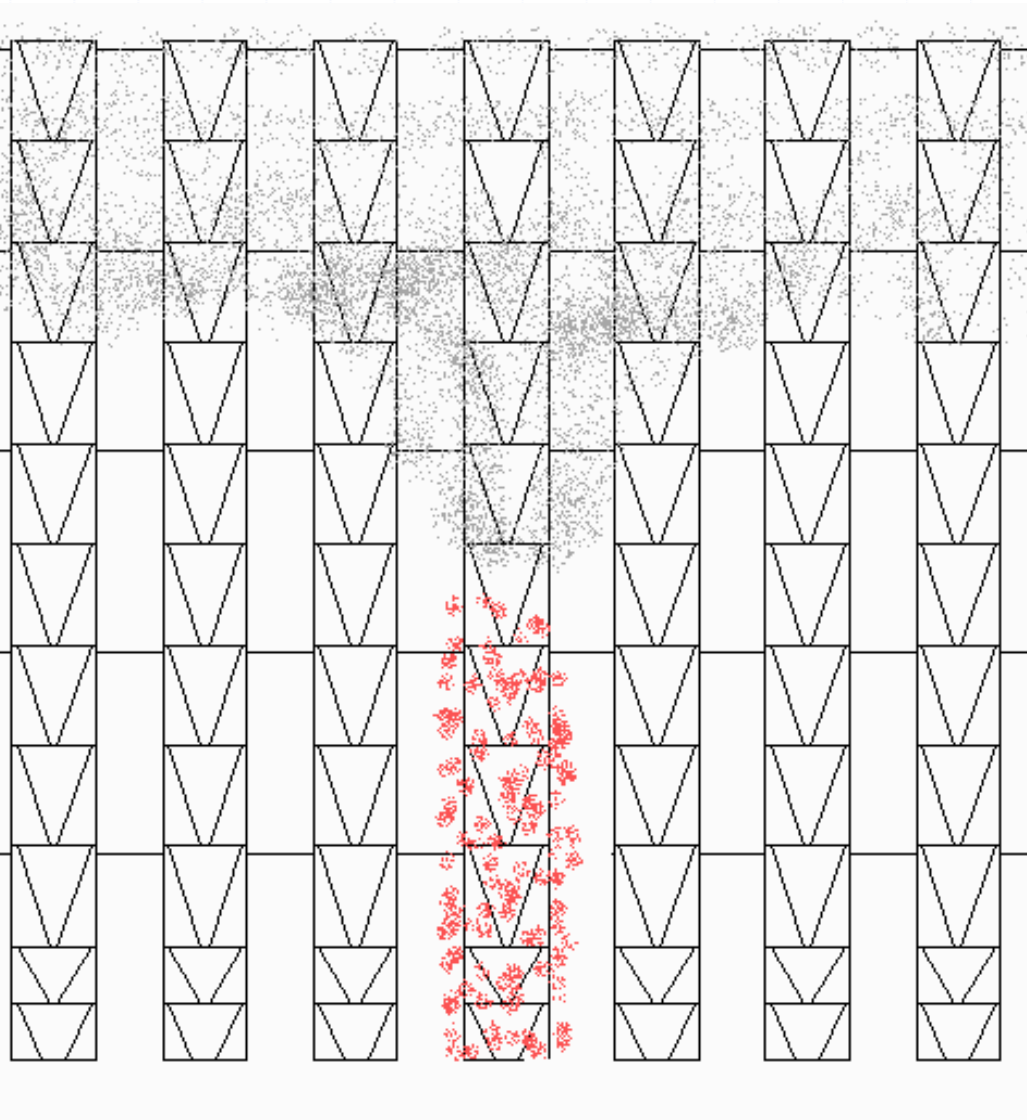
# Úprava konstrukce rozdělením na dvě části teplotní křivka MKP



**R = 7' 30''**



# Úprava rozdělením na dvě části a přípojů teplotní křivka MKP



Bez úprav:  $R = 6' 05''$

Oválné otvory:  $R = 7' 41''$

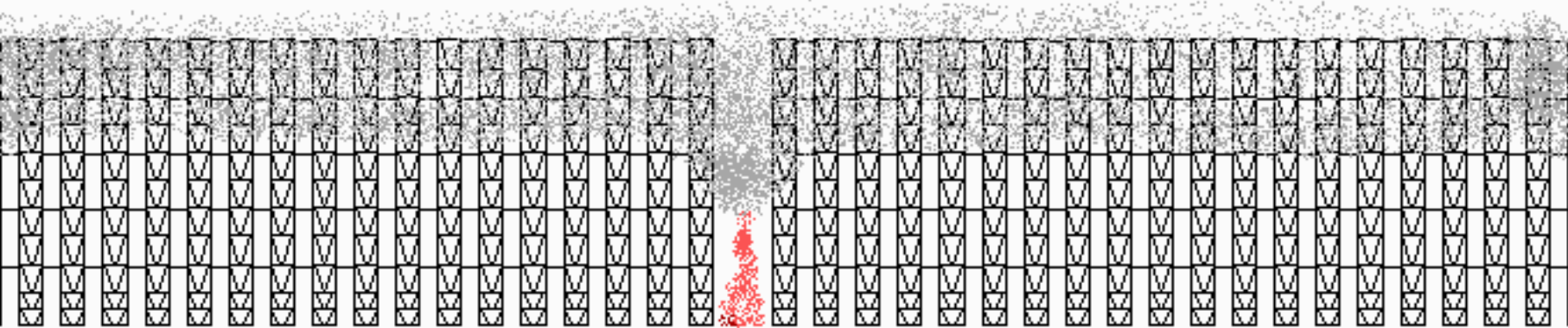




# Úprava konstrukce rozdělením na dvě části teplotní křivka MKP

Stav po kolapsu první věže

- < 6 min. – neupravená konstrukce.
- > 7 min. – upravená konstrukce







# Křivka hoření podle experimentu

## Parametry

### •Otvory

stěny: 4 dveře – bez oken

strop: odvod kouře 2%

### • Požární zatížení

8400 MJ/m<sup>2</sup>

### • Maximum RHR

8620 kW/m<sup>2</sup>

### • Rychlost hoření

t(1MW)=66sec

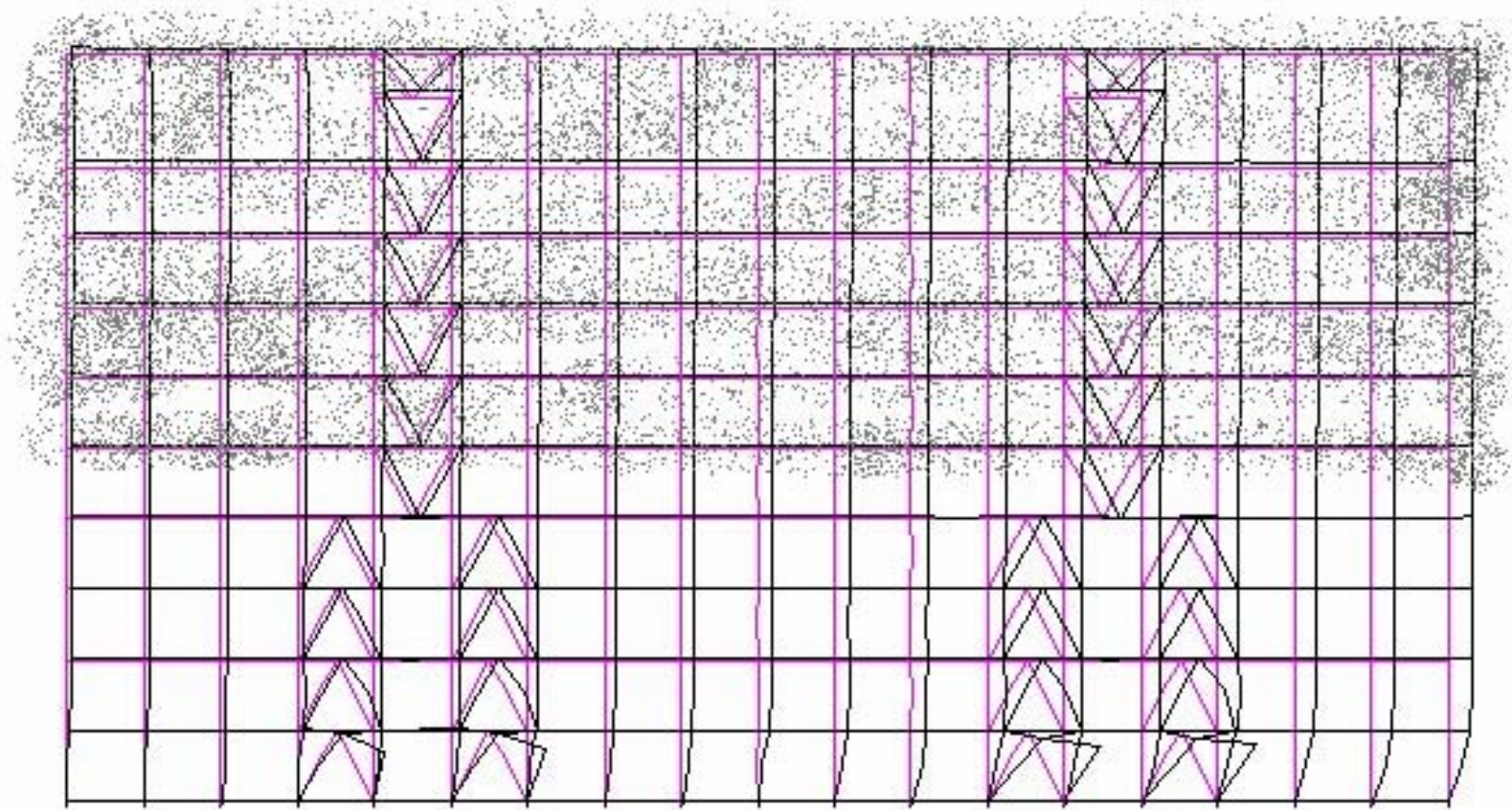
### • Sprinklery

vypnuty





# Konstrukce bez úprav křivka hoření podle experimentu

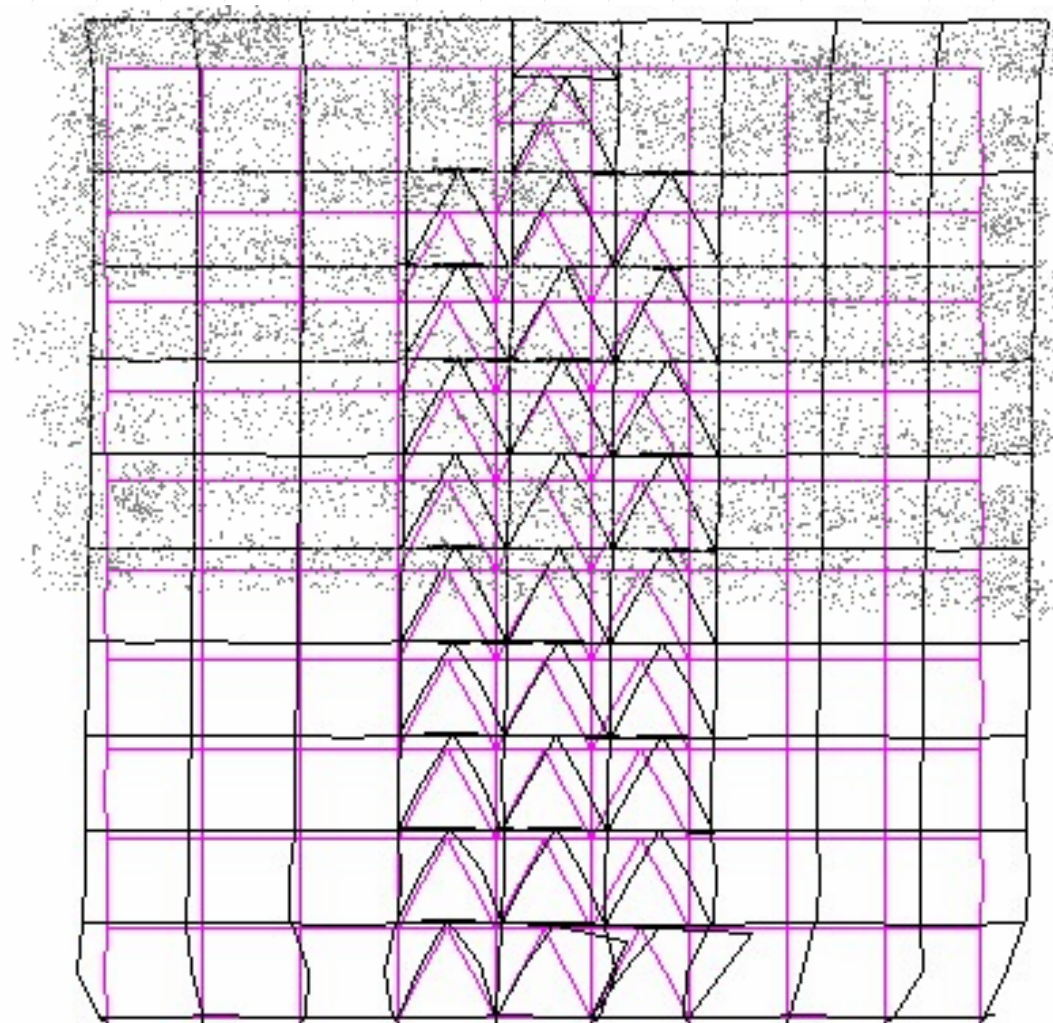


**R = 20' 40''**





# Úprava konstrukce rozdělením na dvě části křivka hoření podle experimentu



$$R = 24' 40''$$



# Jedna samostatná věž křivka hoření podle experimentu



**Neupravená konstrukce**      **R = 20' 35''**

**Upravená konstrukce**      **R = 24' 30''**



# Přehled výsledků

<u>Teplotní křivky</u>	normová	MKP	experiment
<u>Konstrukce</u>			
bez úprav	1' 52''	5' 55''	20' 40''
rozdělení na dvě	6' 47''	7' 30''	24' 40''
samostatné věže	2' 47''	6' 05''	20' 35''
oválné otvory	5' 38''	7' 41''	24' 30''



# Shrnutí

- ◆ **Spolehlivost za požární situace**
  - experimenty pro výrobky
  - výpočty pro konstrukce
- ◆ **Více úrovní návrhových modelů**
  - základní
  - inženýrská
  - diskrétní
- ◆ **Tři základní části výpočtu**
  - teplotní analýza
  - přestup tepla
  - analýza konstrukce