

## Případová studie: Výšková budova Rembrandt Tower, Amsterdam, Holandsko

*Tato 135 metrů vysoká budova má spřaženou nosnou konstrukci. Provedená detailní analýza konstrukce při požáru ukazuje, že u tohoto typu budov může být dosaženo značných finančních úspor na protipožární ochraně.*



Výšková budova Rembrandt Tower, Amsterdam

### Obsah

1.	Shrnutí	2
2.	Úvod	2
3.	Structure	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
4.	Fire safety assessment	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
5.	General information	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
6.	References	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>

## 1. Shrnutí

Nosnou konstrukci budovy tvoří ocelové sloupy a spřažené ocelobetonové stropy s konstrukční výškou pouze 3,4 m, které bylo dosaženo použitím nosníků průřezu HE.

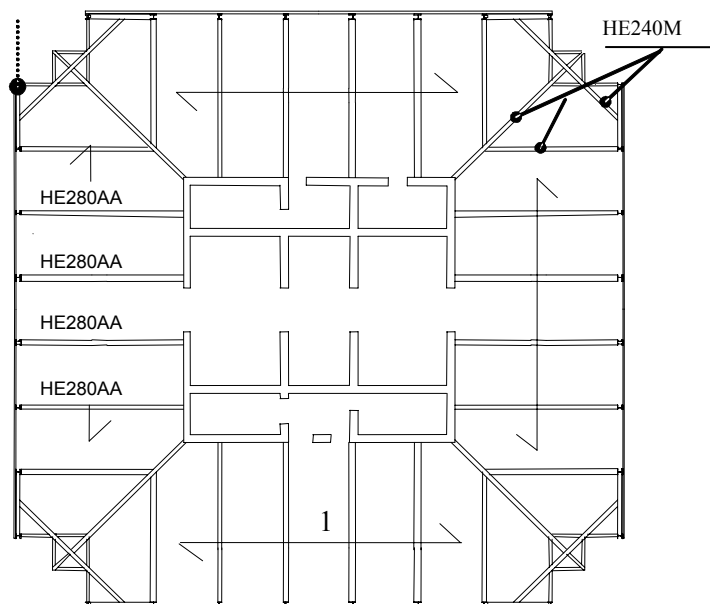
Návrh požární bezpečnosti ukazuje možnosti, které vedly k úspoře 540 000 euro v nákladech na protipožární ochranu.

## 2. Úvod

Tato výšková budova s 36 nadzemními podlažími stojí v Amsterdamu. Poslouží k ukázce dvou přístupů k posuzování požární bezpečnosti staveb. Prvním z nich je v Holandsku v současné době platný přístup využívající požární klasifikaci, druhým je návrh konstrukce s využitím metod požárního inženýrství. Porovnáním výsledných řešení lze získat představu o možnostech úspor u tohoto typu budov.

## 3. Nosná konstrukce

Nosnou konstrukci budovy o výšce 135 m tvoří ocelová konstrukce se sloupy podél obvodového pláště a železobetonové jádro čtvercového půdorysu. Jádro současně slouží ke ztužení budovy a jsou v něm umístěny výtahy a schodiště. Stropní konstrukci tvoří spřažené nosníky průřezu HE a železobetonová deska. Připoje ocelových nosníků ke sloupům i k betonovému jádru byly navrženy jako kloubové. Výška typického podlaží je 3,4 m, každé podlaží tvoří samostatný požární úsek. Půdorys typického podlaží je na obrázku 3.1.



Legenda: 1 = Směr prnutí železobetonové desky

**Obrázek 3.1** Půdorys typického podlaží s vyznačením průřezu stropních nosníků

## 4. Požární bezpečnost

### 4.1 Tradiční řešení

Požární předpisy platné v Holandsku vyžadují stejnou požární odolnost pro budovy nižší než 70 m i pro výškové budovy. Konstrukce musí být navržena tak, aby po dobu trvání požáru nedošlo k jejímu kolapsu, avšak metoda pro posouzení konstrukce není specifikována. Při návrhu konstrukce byla po dohodě s místními úřady zvolena požární odolnost R120 ve spojení s instalací samočinného hasicího zařízení (sprinklerů).

Požární odolnost byla stanovena s použitím jednoduchých modelů na jednotlivých prvcích konstrukce vystavených účinkům požáru. Tento postup nezohledňuje účinky spolupůsobení jednotlivých prvků a vnáší do celého posudku značnou nejistotu, protože zanedbává zatížení a vynucené deformace způsobené interakcí jednotlivých částí konstrukce. Je zřejmé, že tyto účinky často představují významnější vliv než ostatní účinky požáru. Při použití jednoduchých modelů izolovaných prvků také nelze zohlednit příznivé účinky vyplývající ze spolupůsobení konstrukčních prvků.

### 4.2 Alternativní řešení metodami požárního inženýrství

The objective of the Fire Safety Engineering (FSE) study was to obtain an understanding of the actual fire behaviour, including the interaction between structural members. Moreover, the required thermal protection on the steel members was varied in order to get a cost effective design. For this purpose, a FE model of the structural system of the tower was developed with the computer programme DIANA, in which a fully developed fire was assumed to occur in one fire compartment. The standard fire was replaced by a simulation of the fire development of a typical fire compartment in the building with the computer programme OZONE. The size of the braced steel columns reduces towards the top of the building because of the lower axial loads. A simple fire analyses of the columns at each storey, based on the standard fire exposure, showed that the columns at the 21<sup>st</sup> storey were most critical. Therefore, this storey was modelled.

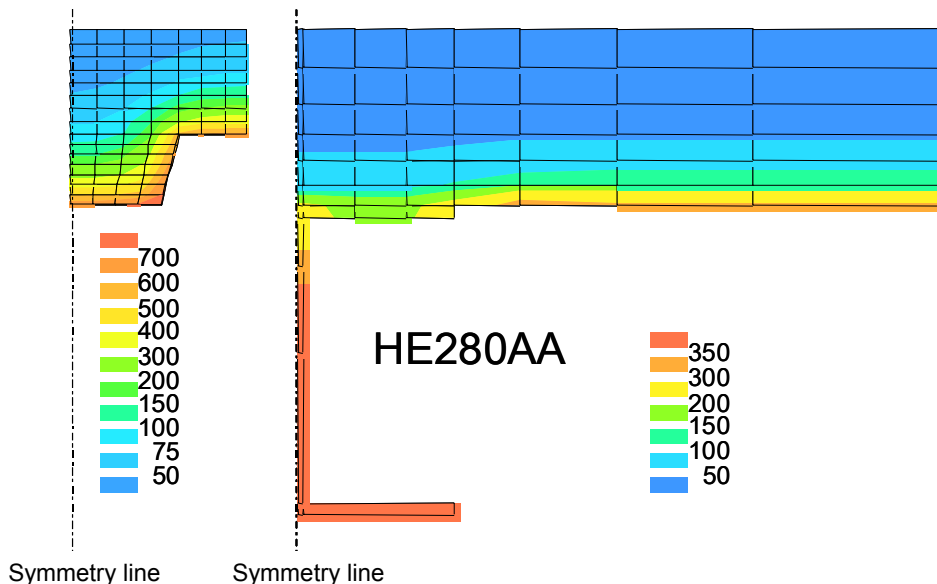
### 4.3 Analýza požárního úseku

Požár v požárním úseku byl simulován pomocí programu OZONE. Vzhledem k tomu, že většina administrativních prostor je navržena jako velkoprostorové kanceláře bez dělících příček, byl vytvořen model požárního úseku o rozměrech 32,4 × 32,4 m bez centrálního prostoru o rozměrech 14,4 × 14,4 m (betonové ztužující jádro). Skutečné teplotní vlastnosti betonových stěn, spřažené stropní konstrukce a konstrukce obvodového pláště (sestavující z ocelového plechu, minerální vlny a žulového obkladu) byly popsány nominálními hodnotami převzatými z databáze programu OZONE. Program dovoluje zahrnout i účinek sprinklerů. Velký vliv na průběh požáru má přístup vzduchu rozbitými skleněnými výplněmi okenních otvorů, proto byla vypracována jednoduchá studie zkoumající vliv okamžiku, kdy dojde k jejich rozbití, na výslednou teplotu ocelové konstrukce. Studie ukazuje, že tento vliv je poměrně malý. Pro výsledný model byl použit předpoklad, že k rozbití všech výplní dojde na samém začátku požáru.

### 4.4 Přestup tepla

Samostatné modely byly použity pro určení teploty plechobetonové desky, běžných nosníků průřezu HE280AA a zesílených okrajových nosníků průřezu HE240M. Model potvrdil

nerovnoměrné rozložení teploty po výšce desky, které se měnilo v čase. Protože sloupy byly vystaveny účinkům požáru ze všech čtyř stran, byl získán časový průběh teploty s předpokladem konstantní teploty po celém průřezu. Příklad průběhu teplot je na obrázku 4.1.

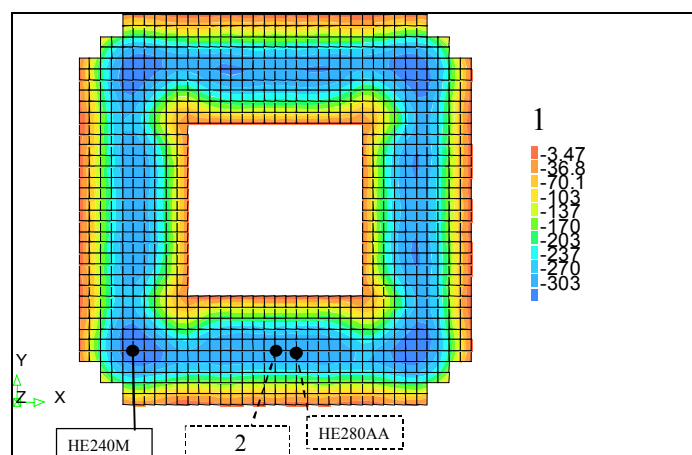


**Obrázek 4.1** Průběh teploty ve stropní desce v čase 75 minut od začátku požáru (vlevo) a v nechráněném ocelovém nosníku v čase 50 minut (vpravo)

## 4.5 Analýza konstrukce

Nosná konstrukce celého 21. podlaží včetně sloupů byla modelována metodou konečných prvků. Oba konce sloupů byly vetknuté, horní konec byl posuvný ve svislém směru. Tento konec byl zatížen účinky horních podlaží se součiniteli zatížení rovnými jedné. Nosníky, sloupy a žebra stropní desky byly modelovány prutovými prvky s numerickou integrací matice tuhosti odvozené podle Mindlin-Reissnerovy teorie. Pro stropní desku byly použity deskové prvky, trapézový plech byl modelován jako výztuž betonové desky s rozdílnou teplotou stěny, spodního a horního povrchu průřezu. Nelineární průběh teploty v žebrech a v betonové desce byl zjednodušen a nahrazen lineárním. Jako průměrná teplota desky byla zvolena průměrná teplota na ose symetrie získaná z teplotní analýzy, viz obrázek 4.1, a teplotní gradient byl odvozen z požadavku stejné teploty výztuže jako v modelu pro teplotní analýzu desky (obrázek 3). Analýza potvrdila, že v průběhu požáru nedojde ke kolapsu konstrukce.

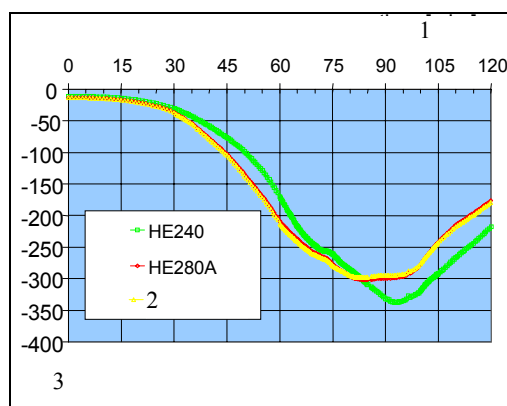
Maximální průhyb konstrukce byl dosažen v 92. minutě požáru a činil 337 mm, viz obrázek 4.2. Po skončení požáru se projevilo zmenšení svislých průhybů vlivem chladnutí konstrukce (obrázek 4.3). Pro vyčíslení nerovnoměrného průběhu teploty po průřezu byly použity tři samostatné modely: pro plechobetonovou desku, pro běžné stropní nosníky průřezu HE280AA a pro zesílené krajní nosníky HE240M. Časový průběh teploty sloupů vystavených požáru ze všech stran byl vypočten programem OZONE (s předpokladem konstantní teploty po celém průřezu). Příklad průběhu teplot je na obrázku 4.1.



Legenda:

- 1 Průhyb stropní konstrukce v čase 92 minut [mm] (Max = 29.9 mm Min= -337 mm)
- 2 Nosníky stropní konstrukce

**Obrázek 4.2 Průhyb stropní konstrukce**



- 1 Čas [min]
- 2 Nosníky stropní konstrukce
- 3 Průhyb [mm]

**Obrázek 4.3 Průhyb stropních nosníků**

Podrobné studium výsledků analýzy ukazuje výskyt vysokých napětí v rozích stropní desky (podél nosníků průřezu HE240) způsobené přerozdělením zatížení. V této oblasti může dojít k překročení únosnosti betonu v tlaku vlivem přetížení. Je zřejmé, že toto nelze zjistit analýzou jednotlivých prvků konstrukce.

Na základě této podrobné analýzy lze upustit od protipožární ochrany ocelových nosníků, což vede ke značným finančním úsporám v porovnání s tradiční metodou požárního návrhu. Úspory činí přibližně 540 000 Euro pro tuto budovu s užitnou plochou 36 000 m<sup>2</sup> podle cen z roku 2001.

## 5. Údaje o projektu

- Investor: Philips BV
- Architekt: ZZ+P Architects
- Statika: Samenwerkende Adviesbureaus Amstelhoek
- Dodavatel: Sedijko
- Posouzení požární bezpečnosti: (FSE approach) Centre for Fire Research TNO
- Termín výstavby: 1996
- Celková výška: 135 m
- Půdorys: 32,40 × 32,40 m

## 6. Literatura

- [1] Steenbakkers, P. (2001) Brandveilig Ontwerpen van Hoogbouwconstructies, Deel I – Verkennend onderzoek, Graduation report TU Delft (in Dutch).
- [2] Steenbakkers, P. (2001) Brandveilig Ontwerpen van Hoogbouwconstructies, Deel II - Case Studie Rembrandttoren, Graduation report TU Delft (in Dutch) InfoBEC–Bilbao Exhibition Centre Newsletter, Issues 1-4, Year 2003. Published by BEC.

## Quality Record

<b>RESOURCE TITLE</b>	Případová studie: Výšková budova Rembrandt Tower, Amsterdam, Holandsko		
<b>Reference(s)</b>			
<b>ORIGINAL DOCUMENT</b>			
	<b>Name</b>	<b>Company</b>	<b>Date</b>
<b>Created by</b>	Leen Twilt	TNO	2003
<b>Technical content checked by</b>	Mike Haller	PARE	08/11/05
<b>Editorial content checked by</b>	Marc Brasseur	PARE	08/11/05
<b>Technical content endorsed by the following STEEL Partners:</b>			
1. UK	G W Owens	SCI	20/1/06
2. France	A Bureau	CTICM	20/1/06
3. Sweden	A Olsson	SBI	20/1/06
4. Germany	C Müller	RWTH	20/1/06
5. Spain	J Chica	Labein	20/1/06
6. Luxembourg	M Haller	PARE	20/1/06
<b>Resource approved by Technical Coordinator</b>	G W Owens	SCI	13/7/06
<b>TRANSLATED DOCUMENT</b>			
<b>This Translation made and checked by:</b>	Z. Sokol	CTU in Prague	21/6/07
<b>Translated resource approved by</b>	F. Wald	CTU in Prague	31/7/07
<b>National technical contact</b>	F. Wald		