

## Studium przypadku: Wieża Rembrandta, Amsterdam, Holandia

*Wieżowiec o wysokości 135 m został zbudowany przy użyciu konstrukcji zespolonej. Szczegółowa analiza metodami inżynierii pożarowej, wykonana po zakończeniu budowy, pokazuje duże możliwości uzyskania istotnych oszczędności w tego typu konstrukcjach.*



„Rembrandt Tower” w Amsterdamie

### Spis treści

1. UZYSKANE EFEKTY	2
2. WSTĘP	2
3. KONSTRUKCJA	2
4. OCENA BEZPIECZEŃSTWA POŻAROWEGO	3
5. INFORMACJE OGÓLNE	6
6. LITERATURA	6

## 1. Uzyskane efekty

Wieżowiec ten zaprojektowano używając konstrukcji zespolonej i uzyskano minimalną wysokość brutto kondygnacji 3,4 m wykorzystując w zespolonych belkach dwuteowniki HE.

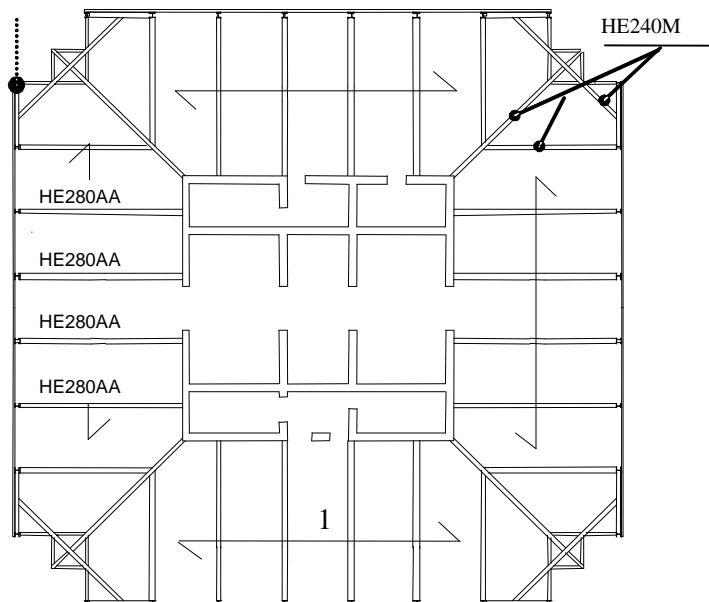
Wykonane metodami inżynierii pożarowej studium wykonanego budynku wskazało na duże możliwości redukcji kosztów zabezpieczenia przeciwpożarowego, do 540 000 euro.

## 2. Wstęp

36-cio piętrowy budynek biurowy zlokalizowany jest w Amsterdamie. Pierwotny projekt zabezpieczenia przeciwpożarowego wykonano zgodnie z obowiązującymi duńskimi przepisami dotyczącymi budynków, opartymi o tradycyjny system klasyfikacji. Alternatywnym sposobem projektowania jest przedstawiony tutaj projekt oparty o zasady inżynierii pożarowej. Pokazuje on duże możliwości uzyskania istotnych oszczędności przy stosowaniu tej formy konstrukcji.

## 3. Konstrukcja

Budynek ma wysokość 135 m. Składa się ze stalowej konstrukcji ramowej ze stalowymi słupami fasady stężonymi kwadratowym trzonem betonowym zawierającym windy i schody. Stropy wykonano z zespolonych płyt opartych na belkach z szerokostopowych dwuteowników walcowanych HE. Belki są swobodnie podparte, zarówno od strony betonowego trzonu, jak i od strony ciągłych słupów. Typowa kondygnacja ma wysokość 3,40 m i każda kondygnacja stanowi jedną strefę pożarową. Rzut budynku pokazany jest na Rys. 3.1.



Opis: 1 = Kierunek rozpiętości płyty stropowej

*Rys. 3.1 Rzut typowej kondygnacji i wielkości belek*

## 4. Ocena bezpieczeństwa pożarowego

### 4.1 Wymagania tradycyjne

Przepisy holenderskie wymagają w odniesieniu do budynków wyższych niż 70 m takiego samego stopnia bezpieczeństwa pożarowego jak w odniesieniu do budynków niższych niż 70 m. Od strony funkcjonalnej wymaga się by budynek nie zawalił się w całkowitym czasie trwania pożaru. Jednakże nie podano metod oceny bezpieczeństwa pożarowego. Podczas projektowania, oprócz innych środków, w tym w pełni zautomatyzowanej instalacji tryskaczowej, uzgodniono z władzami lokalnymi dla głównej konstrukcji nośnej standardową odporność pożarową 120 minut.

Standardowa odporność pożarowa jest wyznaczana analizując pojedynczy element konstrukcyjny poddany oddziaływaniu standardowego pożaru. Takie podejście powoduje, że pomijana jest interakcja pomiędzy analizowanymi elementami konstrukcyjnymi i elementami stanowiącymi ich podparcie. Nie można uwzględnić obciążeń i deformacji spowodowanych skrępowanymi odkształceniami termicznymi oraz redystrybucją przyłożonych obciążeń, chociaż dobrze wiadomo że czynniki te często są ważniejsze niż inne oddziaływania na konstrukcję spowodowane pożarem. Ponadto nie można uwzględnić korzystnego wpływu innych środków i sposobów łagodzenia oddziaływania pożaru na konstrukcję nośną.

### 4.2 Alternatywne podejście do oceny bezpieczeństwa pożarowego

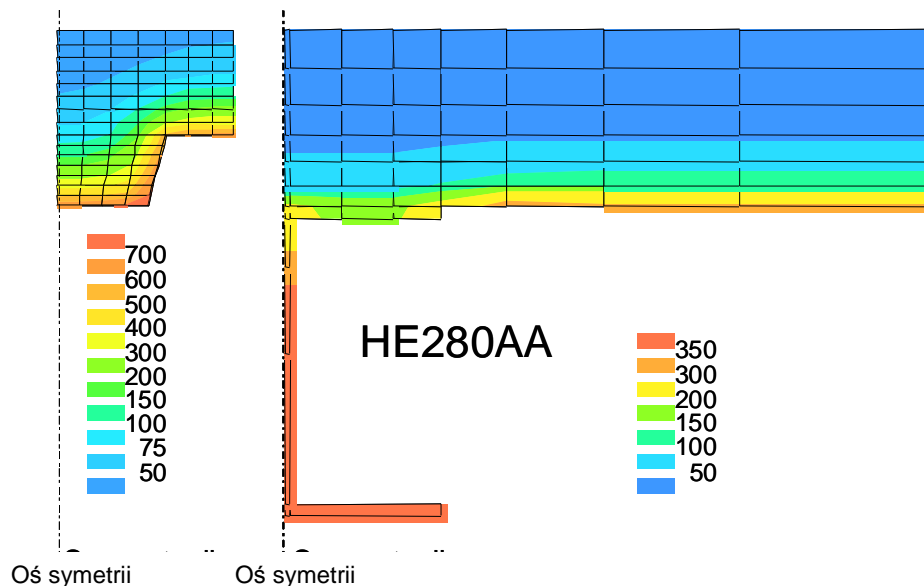
Celem studium wykonanego według zasad Inżynierii Pożarowej (Fire Safety Engineering, FSE) było uzyskanie zrozumienia zjawisk zachodzących w czasie rzeczywistego pożaru, włączając w to interakcję pomiędzy poszczególnymi elementami konstrukcyjnymi. Ponadto wymagane zabezpieczenie termiczne elementów stalowych zostało zróżnicowane w celu spełnienia wymogów ekonomii projektowania. W tym celu utworzono przy pomocy programu komputerowego DIANA model komputerowy MES konstrukcji nośnej wieżowca, który uwzględnił możliwość wystąpienia w pełni rozwiniętego pożaru w jednej strefie pożarowej. Pożar standardowy zastąpiono symulacją rozwoju pożaru w typowej strefie pożarowej przy pomocy programu komputerowego OZONE. Rozmiar stalowych słupów stężających zmniejszono w wyższych częściach budynku ze względu na mniejsze siły osiowe. Prosta analiza pożarowa słupów każdej kondygnacji uwzględniająca oddziaływanie standardowego pożaru wykazała, że najbardziej na zniszczenie narażone są słupy 21 kondygnacji. Dlatego też modelowano właśnie tą kondygnację.

### 4.3 Rozwój pożaru

Rozwój pożaru modelowano programem OZONE. Ponieważ większość powierzchni biurowych wieżowca nie ma ścian działowych modelowano jedną dużą strefę o wymiarach  $32,40 \times 32,40$  m, z wyłączeniem trzonu centralnego o powierzchni  $14,40$  m<sup>2</sup>. Rzeczywiste charakterystyki termiczne betonowego trzonu, zespolonych stropów i warstwowej konstrukcji fasady (blacha stalowa – wełna mineralna - granit) modelowano zgodnie z wartościami nominalnymi zawartymi w programie. Uwzględniono również wpływ instalacji tryskaczowej. Głównym obszarem niepewności są rezultaty wentylacji przez potłuczone okna. Studium parametryczne wykazało że wpływ założenia stłuczenia okien na temperaturę elementów stalowych w strefie pożarowej jest stosunkowo niewielki. Wyniki oparte na założeniu że wszystkie okna zostają stłuczone na początku pożaru zostały użyte jako dane wejściowe do modelu MES.

## 4.4 Odpowiedź termiczna

Oddzielne modele komputerowe MES zastosowano do wyznaczenia rozkładu temperatur zależnych od czasu i zmiennym rozkładzie wewnątrz przekroju zespolonej stalowo – betonowej płyty, typowych belek HE280AA i ciężkich narożnych belek HE240M. Temperatury słupów obliczono programem OZONE, można przyjąć równomierny rozkład temperatur w słupach narażonych z czterech stron na oddziaływanie pożaru. Rys. 4.1 pokazuje typowy rozkład temperatur w płycie i belce.



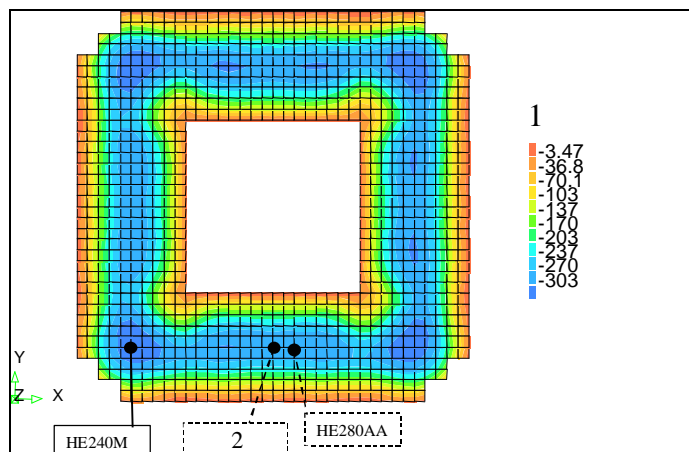
*Rys. 4.1 Rozkład temperatur w płycie zespolonej po 75 minutach trwania pożaru (po lewej) i w typowych nieostoiętych belkach po 50 minutach*

## 4.5 Odpowiedź konstrukcji

Modelowano cały strop 21-szej kondygnacji, łącznie ze słupami. Na górnych i dolnych końcach słupów przyjęto sztywne podparcia, górne końce mają swobodę przemieszczeń w kierunku pionowym. U góry słupów przyłożono obciążenia pionowe reprezentujące ciężar części budynku powyżej modelowanej kondygnacji, stosując częściowy współczynnik bezpieczeństwa równy jedności. Belki, słupy, zbrojone żebra zespolonej płyty modelowano numerycznie zintegrowanymi elementami belkowymi bazującymi na teorii Mindlina-Reissnera. Żelbetową płytę stropową modelowano krzywoliniowymi elementami powłokowymi. Stalową płytę stropu uwzględniono jako zbrojenie, uwzględniając oddzielnie temperatury na półce dolnej, środku i półce górnej. Nieliniowy rozkład temperatur w żebrach i w płycie uzyskany dzięki modelowi służącemu do analizy odpowiedzi termicznej uproszczono do rozkładu liniowego w elementach skończonych belkowych i powłokowych. Dlatego też przyjęto średnią temperaturę równą średniej temperaturze nad osią symetrii w modelu odpowiedzi termicznej, jak na Rys. 4.1, a gradient termiczny przyjęto w taki sposób, że temperatura zbrojenia w modelu konstrukcyjnym równa jest temperaturze węzła modelu odpowiedzi termicznej odpowiadającego lokalizacji prętów zbrojeniowych. Nie doszło do zniszczenia w czasie trwania pożaru.

Ugięcie stropu wyniosło 337 mm po 92 minutach, jak pokazano na 0. W fazie schładzania, ugięcie zmniejsza się, jak pokazuje 0. Oddzielne modele komputerowe MES zastosowano do

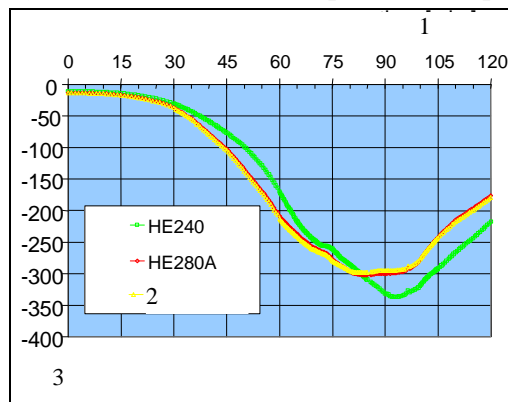
wyznaczenia rozkładu temperatur zależnych od czasu i zmiennym rozkładzie wewnątrz przekroju zespolonej stalowo – betonowej płyty, typowych belek HE280AA i ciężkich narożnych belek HE240M. Temperatury słupów obliczono programem OZONE, można przyjąć równomierny rozkład temperatur w słupach narażonych z czterech stron na oddziaływanie pożaru (patrz przykładowo 0).



Opis:

- 1 Ugięcie pionowe Czas = 92 minuty [mm] (Max = 29.9 mm Min= -337 mm)
- 2 Strop SB (SB floor)

**Rys. 4.2 Przemieszczenia pionowe stropu**



- 1 Czas [minuty] (Time [min])
- 2 Strop SB (SB-Floor)
- 3 Ugięcie [mm] (deflection [mm])

**Rys. 4.3 Ugięcia stropu i belek**

W uzupełnieniu powyższych informacji, zaawansowane obliczenia pokazały, że rezultatem redystrybucji obciążeń są istotne odkształcenia pojawiające się w betonie w narożu płyty stropowej (w pobliżu belek HE240). Obszar ten mógłby być obszarem krytycznym (z powodu miażdżenia betonu), ale takie zjawisko nie jest istotne przy analizie na poziomie elementu.

Ostatecznie eliminując zabezpieczenia przed pożarem belek stropowych uzyskano istotną redukcję kosztu izolacji termicznej, w porównaniu z kosztem wynikającym z tradycyjnego projektu pożarowego. Ocenia się że oszczędności wyniosły około 540 000€ w budynku o powierzchni użytkowej 36 000 m<sup>2</sup> (ceny z roku 2001).

## 5. Informacje ogólne

- Klient: Philips BV
- Architekt: ZZ+P Architects
- Projekt szkieletu konstrukcyjnego: Samenwerkende Adviesbureaus Amstelhoek
- Wykonawca: Sedijko
- Ekspertyza w zakresie zabezpieczenia przed pożarem: (FSE approach) Centre for Fire Research TNO
- Czas budowy: 1996
- Całkowita wysokość: 135 m
- Rzut budynku: 32,40 x 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.

## Protokół jakości

<b>TYTUŁ ZASOBU</b>	Studium przypadku: Wieża Rembrandta, Amsterdam, Holandia		
<b>Odniesienie</b>			
<b>DOKUMENT ORYGINALNY</b>			
	<b>Imię i nazwisko</b>	<b>Instytucja</b>	<b>Data</b>
<b>Stworzony przez</b>	Leen Twilt	TNO	2003
<b>Zawartość techniczna sprawdzona przez</b>	Mike Haller	PARE	08/11/05
<b>Zawartość redakcyjna sprawdzona przez</b>	Marc Brasseur	PARE	08/11/05
<b>Zawartość techniczna zaaprobowana przez:</b>			
<b>1. WIELKA BRYTANIA</b>	G W Owens	SCI	20/1/06
<b>2. Francja</b>	A Bureau	CTICM	20/1/06
<b>3. Szwecja</b>	A Olsson	SBI	20/1/06
<b>4. Niemcy</b>	C Müller	RWTH	20/1/06
<b>5. Hiszpania</b>	J Chica	Labein	20/1/06
<b>6. Luksemburg</b>	M Haller	PARE	20/1/06
<b>Zasób zatwierdzony przez Koordynatora Technicznego</b>	G W Owens	SCI	13/7/06
<b>TŁUMACZENIE DOKUMENTU</b>			
<b>Tłumaczenie wykonał i sprawdził:</b>		B. Stankiewicz, PRz	
<b>Tłumaczenie zatwierdzone przez:</b>	B. Stankiewicz	PRz	

## Informacje ramowe

<b>Tytuł*</b>	<b>Studium przypadku: Wieża Rembrandta, Amsterdam, Holandia</b>	
<b>Seria</b>		
<b>Opis*</b>	Wieżowiec o wysokości 135 m został zbudowany przy użyciu konstrukcji zespolonej. Szczegółowa analiza metodami inżynierii pożarowej, wykonana po zakończeniu budowy, pokazuje duże możliwości uzyskania istotnych oszczędności w tego typu konstrukcjach.	
<b>Poziom dostępu*</b>	Umiejętności specjalistyczne	Do użytku ogólnego
<b>Identyfikator*</b>	Nazwa pliku	D:\ACCESS_STEEL_PL\SP\3\SP018a-PL-EU.doc
<b>Format</b>	Microsoft Word 9.0; 9 Pages; 2336kb;	
<b>Kategoria*</b>	Typ zasobu	Studia przypadków
	Punkt widzenia	Klient, Architekt. Inżynier
<b>Temat*</b>	Obszar stosowania	Budynki wielokondygnacyjne
<b>Daty</b>	Data utworzenia	14/03/2006
	Data ostatniej modyfikacji	
	Data sprawdzenia	
	Ważny od	
	Ważny do	
<b>Język(i)*</b>		Polski
<b>Kontakt</b>	Autor	Leen Twilt, TNO
	Sprawdził	Mike Haller, PARE
	Zatwierdził	
	Redaktor	Marc Brasseur, PARE
	Ostatnia modyfikacja	
<b>Słowa kluczowe*</b>	Bezpieczeństwo pożarowe; Budynki wielokondygnacyjne; Biura; Projektowanie architektoniczne; Projektowanie koncepcyjne	
<b>Zobacz też</b>	Odniesienie do Eurokodu	
	Przykład(y) obliczeniowy	
	Komentarz	
	Dyskusja	
	<i>Inne</i>	
<b>Obszar stosowania</b>	Przydatność krajowa	EU





<b>Instrukcje szczególne</b>	
----------------------------------	--