

Grzegorz GŁUCH\*  
Politechnika Wrocławska

## EFEKTY ODDZIAŁYWANIA WYSOKIEJ TEMPERATURY NA DŹWIGARY MOSTOWE

**Streszczenie.** W pracy zaprezentowano problem zagrożenia pożarowego obiektów inżynierskich typu mostowego. Przedstawiono stacjonarne pole temperatury wywołane miejscowym oddziaływaniem zjawiska pożaru w dźwigarze żelbetowym. Podjęto próbę oszacowania wpływu obciążenia pożarowego na poziom wyężenia elementów konstrukcji w zakresie przemieszczeń oraz naprężeń lokalnych. Wyznaczono, korzystając z metod numerycznych, rozkład naprężeń lokalnych wywołanych obciążeniem pożarowym.

## INFLUENCE OF HIGH TEMPERATURE ON BRIDGE GIRDERS

**Summary.** This paper presents analyze of influence of high temperature field on concrete bridge girder. The steady field of temperature was presented. Distribution and division of temperature filed was shown in Fig. 4, 5. Local stresses generated from nonlinear temperature distribution was calculated numerically. Deformation of span was calculated numerically and analitically.

### 1. Wprowadzenie

Rosnące obecnie natężenie ruchu kołowego oraz znaczenie transportu dla gospodarki stwarza liczne problemy logistyczne oraz inżynierskie, których rozwiązanie gwarantuje bezpieczeństwo i wygodę użytkowników dróg. W związku ze zwiększającą się liczbą pojazdów korzystających z infrastruktury transportowej rośnie prawdopodobieństwo wystąpienia wypadków komunikacyjnych zarówno na drogach, jak i na obiektach inżynierskich, stanowiących integralną część sieci drogowej. W przypadku dużej liczby zdarzeń drogowych występuje zagrożenie pożarowe wynikające z możliwości zapalenia się uszkodzonych w wypadku pojazdów lub przewożonych przez nie materiałów niebezpiecznych (rys. 1, 2 i 3).

\* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Czesław Machelski

Należy przyjąć jako możliwe założenie, iż narażone na wystąpienie zdarzenia drogowego są, poza elementami dróg, również obiekty inżynierskie: mosty, wiadukty, estakady. Zagrożenie pożarem obiektów inżynierskich typu mostowego jest istotne ze względu na znaczenie komunikacyjne tego rodzaju konstrukcji. W ekstremalnych przypadkach istnieje również niebezpieczeństwo zapalania się elementów konstrukcyjnych lub wyposażenia obiektu, np. osłony want mostów podwieszonych.

Wiele materiałów i substancji transportowanych powszechnie drogami lądowymi wykazuje szczególnie niebezpieczne właściwości fizykochemiczne związane ze spalaniem. Podczas pożaru substancji, takich jak paliwa płynne, tworzywa sztuczne lub inne środki chemiczne powstają znaczne gradienty temperatury, co bezpośrednio oddziałuje na otoczenie w obszarze występowania procesu spalania. Działanie wysokiej temperatury związanej z pożarem na elementy konstrukcji powoduje powstanie w nich odkształceń termicznych, które mogą być przyczyną awarii lub nawet katastrof.

Powszechnie stosowane w budownictwie mostowym materiały budowlane, zwłaszcza stal konstrukcyjna, pogarszają swoje właściwości mechaniczne w zakresie wysokich temperatur pożarowych. Takie zjawisko powoduje wzrost zagrożenia obiektów inżynierskich w trakcie pożaru.



Rys. 1. Widok pomostu po pożarze [1]

Fig. 1. Deck after fire [1]



Rys. 2. Pożar cysterny pod obiektem [1]

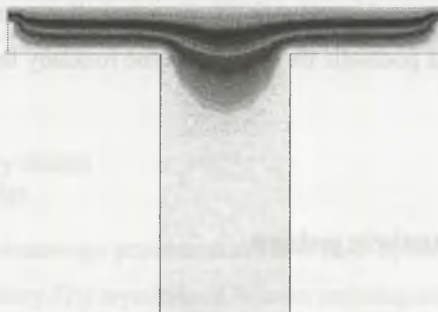
Fig. 2. Fire of truck under span [1]



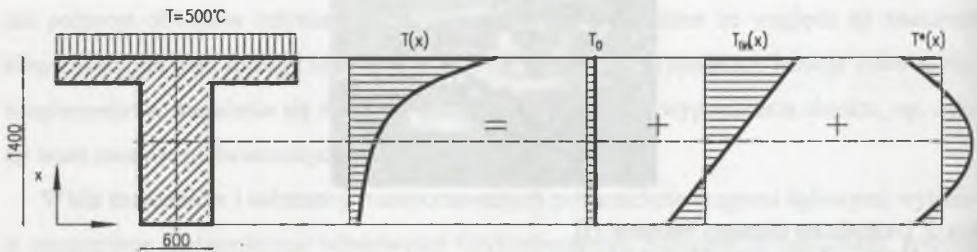
Rys. 3. Uszkodzone elementy balustrad [1]  
Fig. 3. Destroyed elements of balustrades [1]

## 2. Obciążenie dźwigara w trakcie pożaru

Obiekt mostowy wraz z otaczającym go terenem tworzą w przestrzeni złożony układ. Wystąpienie pożaru w obrębie tego układu można analizować na wiele sposobów. Najbardziej prawdopodobne zjawisko to wypadek komunikacyjny wraz z wystąpieniem obciążenia ogniowego w obrębie jezdni (pomostu). Nie należy zapominać jednak o innych możliwych konfiguracjach lokalizacji pożaru, np.: rurociągi wewnątrz przęseł skrzynkowych, rejony podpór pośrednich (zwłaszcza w przypadku wiaduktów nad drogami ekspresowymi oraz autostradami), przestrzeń pod przęsłem [1], elementy podwieszające w mostach linowych. Każda z powyższych możliwości prowadzi do innego typu uszkodzeń konstrukcji. Niektóre ze skutków pożaru są łatwe do usunięcia poprzez wymięnię zniszczonych elementów (np. want), inne wiążą się z długotrwałym lub całkowitym zamknięciem obiektu (np. obiekty drewniane).



Rys. 4. Rozkład temperatury w dźwigarze żelbetowym  
Fig. 4. Temperature distribution in concrete girder



Rys. 5. Podział pola temperaturowego na składowe [2]  
 Fig. 5. Division of temperature field on components [2]

W uproszczonej analizie skutków pożaru przęsła mostowe można poddać działaniu stacjonarnego pola wysokiej temperatury. Taki algorytm pozwala w łatwy sposób określić poziom wyężenia elementów konstrukcyjnych, stanowiących bezpieczeństwo obiektu. Oczywiście, zjawisko pożaru jest procesem zachodzącym w czasie oraz zależnym od wielu innych czynników zewnętrznych. Równania opisujące proces pożaru można znaleźć m. in. w [3]. Jednak analiza takiego procesu jest skomplikowana i wymaga wprowadzenia dużej liczby parametrów. Zależność charakterystyk fizycznych materiałów od temperatury oraz temperatury od czasu prowadzi do zagadnień nieliniowych. Mimo to w celu określenia stopnia wyężenia przęseł można skorzystać z metody uproszczonej, która znaczenie ułatwia obliczenia oraz pozwala na w miarę proste rozwiązanie problemu metodami analitycznymi.

Oddziaływanie pożaru na konstrukcję generuje nieliniowe pole temperatury zależne od zmiennych opisujących geometrię przekroju poprzecznego dźwigara oraz od czasu. Powyższy rozkład temperatury można podzielić na trzy niezależne rozkłady liniowe oraz jeden nieliniowy (rys. 5).

### 3. Ugięcia przęsła w trakcie pożaru

W analizowanym przykładzie wzięto pod uwagę jedynie efekty termiczne, pomijając oddziaływanie pojazdu na dźwigar. Przyjęto równomierny rozkład temperatury wzdłuż współrzędnej poziomej w przekroju poprzecznym dźwigara. Jako materiał przyjęto beton B35 o następujących charakterystykach termofizycznych:

$$E_x = 34,6$$

$$\nu = 0,167$$

$$K_x = 1,5$$

$$\alpha_x = 1e - 5$$

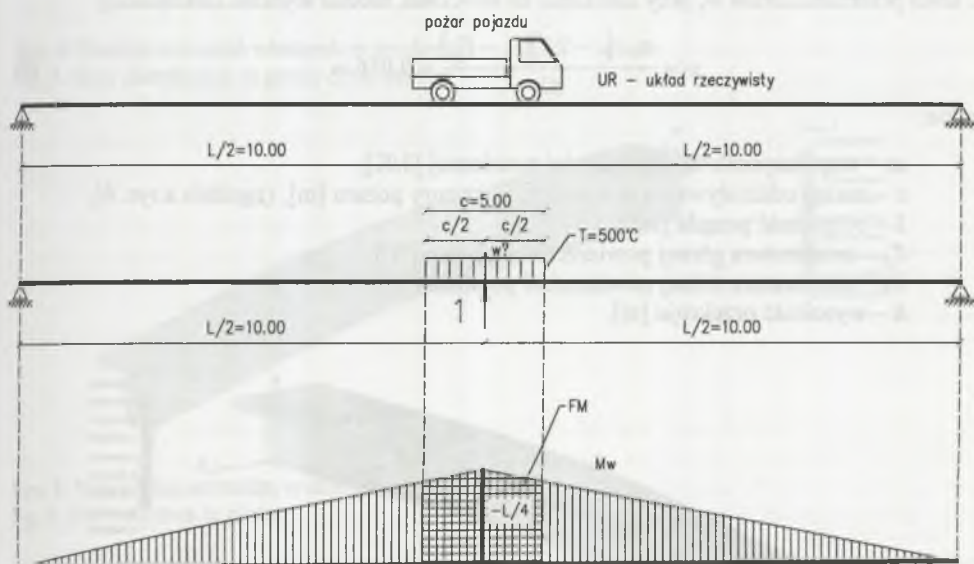
gdzie:

$E_x$  – współczynnik sprężystości podłużnej [GPa],

$\nu$  – współczynnik Poissona,

$K_x$  – współczynnik przewodzenia ciepła [W/mK],

$\alpha_x$  – temperatura górnej powierzchni pomostu [1/K].



Rys. 6. Schemat obliczeniowy obiektu

Fig. 6. View of analyzed bridge

W celu wyznaczenia pionowego przemieszczenia  $w$  (rys. 6) metodą analityczną należy z nieliniowego pola temperatury  $T(x)$  wyodrębnić liniowo zmienną część o postaci [2]:

$$T_{lin}(x) = ax + b \quad (1)$$

Rozkład temperatury dla dźwigara jak na rys. 4 można przybliżyć funkcją o postaci:

$$T(x) = a_1 \exp(x^2) + a_2 x^5 + a_3 x^7 \quad (2)$$

a rozkład  $T^*(x)$  funkcją

$$T^*(x) = T(x) - (\alpha x + b) \quad (3)$$

Odształcenia wywołane polem temperatury  $T^*(x)$  powodują powstanie samorównoważących się naprężeń własnych. Można więc skorzystać z układu równań równowagi statycznej [2]:

$$\begin{cases} N = 0 \Rightarrow \int_{(A)} \sigma^*(x) dA = 0 \\ M = 0 \Rightarrow \int_{(A)} x \sigma^*(x) dA = 0 \end{cases} \quad (4)$$

a stąd

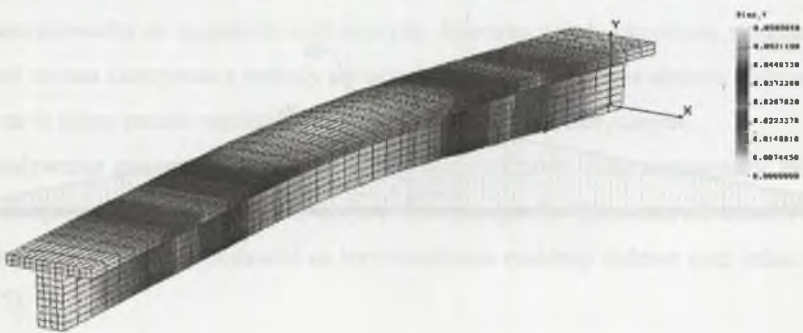
$$\begin{cases} a = 257,3 \\ b = -75,7 \end{cases} \Rightarrow T_{in}(x) = 257,3x - 75,7 \quad (5)$$

Z kolei przemieszczenie  $w$ , przy założeniu że  $\alpha_T = const$ , można wyrazić zależnością:

$$w = \frac{\alpha_T c (c - 2L)(T_d - T_g)}{8h} = 0,056 \text{ m} \quad (6)$$

gdzie:

- $\alpha_T$  – współczynnik rozszerzalności termicznej [1/K],
- $c$  – zasięg oddziaływania wysokiej temperatury pożaru [m], (zgodnie z rys. 6),
- $L$  – rozpiętość przęsła [m],
- $T_g$  – temperatura górnej powierzchni pomostu [°C],
- $T_d$  – temperatura dolnej powierzchni pomostu [°C],
- $h$  – wysokość przekroju [m].

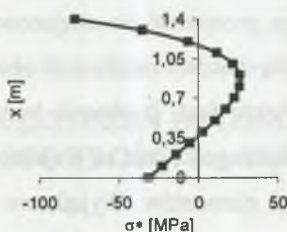


Rys. 7. Deformacja przęsła w czasie pożaru  
Fig. 7. Span deformation during fire

Mimo iż wyodrębniony z pola temperatury rozkład  $T^*(x)$  nie powoduje przemieszczeń przęsła (powyższy fakt jest skutkiem przyjęcia hipotezy płaskich przekrojów dla zdeformowanego dźwigara), to jednak wynikają z niego lokalne naprężenia osiągające znaczne, czasami przekraczające dopuszczalne, wartości dla materiałów konstrukcyjnych. Takie miejscowe wyczerpanie materiału może być przyczyną uszkodzeń konstrukcji, a to z kolei zagrożeniem

bezpieczeństwa użytkowników. Dla analizowanego przypadku dźwigara poziom lokalnych naprężeń można określić korzystając z zależności:

$$\begin{aligned}\sigma^*(x) &= \varepsilon^*(x)E \\ \varepsilon^*(x) &= \alpha, T^*(x)E\end{aligned}\quad (7)$$



Rys. 8. Rozkład naprężeń własnych w przekroju  
Fig. 8. Stress distribution in girder cross-section



Rys. 9. Naprężenia normalne w dźwigarze  
Fig. 9. Normal stress in girder

Postać funkcji rozkładu odkształceń własnych  $\varepsilon^*(x)$  jest analogiczna do postaci funkcji  $T^*(x)$ , następuje jedynie skalowanie przez moduł sprężystości podłużnej  $E$ . Rozkład naprężeń własnych na wysokości przekroju można więc przedstawić jak na rys. 8. Dla analizowanego dźwigara wykonanego z żelbetu lokalne naprężenia termiczne znacznie przekroczyły wytrzymałość materiału na ściskanie i na rozciąganie. Należy jednak zaznaczyć, iż część naprężeń termicznych w analizowanym dźwigarze żelbetowym zostanie przeniesiona przez zbrojenie główne oraz konstrukcyjne, które nie zostało uwzględnione w trakcie przeprowadzania analizy.

#### 4. Wnioski

Przeprowadzona analiza ukazała wagę problemu zagrożenia pożarowego w obiektach inżynierskich. Mimo iż prawdopodobieństwo takiego zdarzenia jest nieznaczne, to jednak należy je uwzględnić na etapie projektowania oraz budowy. Powstające lokalne naprężenia termiczne znacznych wartości mogą prowadzić do miejscowych uszkodzeń elementów konstrukcji, co może pociągnąć za sobą czasowe zamknięcie obiektu lub nawet katastrofę budowlaną. Wagę problemu podkreśla także fakt, iż obecnie budowane obiekty inżynierskie typu mostowego osiągają coraz większe długości oraz są projektowane nierzadko z maksymalnym wykorzystaniem rezerwy nośności elementów. Wyjątkowo zagrożone są mosty, w których wykorzystano elementy linowe jako układy nośne. Możliwość uszkodzenia takiego elementu w trakcie wypadku drogowego jest znaczna, nawet mimo zabezpieczeń konstrukcyjnych. Jednocześnie geometria oraz cechy fizyczne materiału silnie warunkują zależność sił wciąganych od obciążenia temperaturą. Szczególnie duże zagrożenie występuje dla obiektów drewnianych lub zawierających inne materiały łatwo palne jako elementy konstrukcyjne lub jako wyposażenie. Niebezpieczny może być także lokalny wpływ wysokiej temperatury na dźwigary sprężone wywołujący duże zmiany siły sprężającej, a co za tym idzie również zmiany w układzie sił wewnętrznych.

#### LITERATURA

1. [www.wdr.de](http://www.wdr.de)
2. Zobel H.: „Naturalne zjawiska termiczne w mostach”. WKŁ, Warszawa 2003.
3. Sychta Z.: „Spowolnienie procesu rozkładu termicznego i spalania materiałów podstawowym warunkiem bezpieczeństwa pożarowego obiektów technicznych”. Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej, Katedra Technicznego Zabezpieczenia Okrętów, Szczecin 2002.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Mirosław Kosiorek