

# KOLEJOWE KONSTRUKCJE ODCIĄŻAJĄCE TYPU MOSTOWEGO W ŚWIEŁLE BADAŃ IN SITU I ANALIZ TEORETYCZNYCH

Jacek CHRÓŚCIELEWSKI\*, Anna BANASŃ\*, Maciej MALINOWSKI\*,  
Mikołaj MIŚKIEWICZ\*

\* Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

## 1. WSTĘP

Modernizacja linii kolejowych do współczesnych standardów wymaga przebudowy lub wzmocnienia istniejących obiektów inżynierskich. Konieczność zachowania ciągłości ruchu zmusza do prowadzenia prac budowlanych z zastosowaniem konstrukcji odciążających. Obiekty te, mimo ich tymczasowego charakteru, niejednokrotnie muszą być dostosowane do znacznych prędkości taboru kolejowego ( $V$  do 100km/h).

Konstrukcje te jak każde inne kolejowe obiekty mostowe wymagają wykonania badań odbiorowych – próbnego obciążenia, obejmującego swym zakresem zarówno pomiary statyczne jak i dynamiczne [1,2,3,4].

Dodatkowym argumentem przemawiającym za koniecznością przeprowadzenia próbnych obciążeń jest ich tymczasowy charakter, wielokrotność wykorzystania oraz ograniczenia dotyczące parametrów dynamicznych obiektów. Zaznaczmy, że ogólnym zadaniem badań próbnych jest sprawdzenie poprawności pracy konstrukcji i przyjętych założeń obliczeniowych.

Istotnym elementem przy diagnozowaniu tego typu obiektów jest jednoznaczna interpretacja mierzonych parametrów w porównaniu do wartości teoretycznych [5,6,7,8]. Zatem, w odróżnieniu od etapu projektowania, zadaniem formułowanych modeli obliczeniowych jest więc jak najdalej idące, wierne odzwierciedlenie rzeczywistej pracy konstrukcji [9,10].

W pracy przedstawiono i omówiono wybrane modele obliczeniowe, wyniki analiz teoretycznych oraz badań reprezentatywnych kolejowych konstrukcji odciążających typu mostowego.

## 2. CHARAKTERYSTYKA OMAWIANYCH OBIEKTÓW

### 2.1. Konstrukcja odciążająca KO85

Konstrukcja nośna jest dwudzielna. Składa się z dwóch zasadniczych elementów montażowych w postaci skrzynkowych dźwigarów głównych (rys.1, zob. także rys.8). Rozpiętość teoretyczna przęsła wynosi 30,00m, a wysokość konstrukcyjna 1,10m. Każdą z dwóch zamkniętych skrzynek stanowią dwie spawane blachownice, z wgłębieniem w formie korytka w górnej części dla umieszczenia szyny tocznej. Dźwigary skrzynkowe stężone są wewnątrz przeponami w rozstawie co 1,25m. Dwie skrajne przepony z każdej ze stron wykonano z płaskownika 12mm, a przepony pośrednie z płaskownika 10mm. Bliźniacze skrzynki stalowe, po jednej dla każdego toku szynowego, są spięte poprzecznicami kratowymi oraz stężone poziomymi przewiązkami w płaszczyźnie pasa górnego. Połączenia tych elementów zaprojektowano na śruby sprężające  $\varnothing 24$ , klasy 10.9. Zasadnicze elementy łączące obie skrzynki - poprzecznice – zaprojektowano z kątowników L 200×100×12mm oraz L 80×80×10mm. Poziome przewiązki wykonano z płaskownika 280×20mm.



Rys.1. Widok ogólny konstrukcji odciążającej KO85

Cała konstrukcja przęsła posadowiona jest bezpośrednio na klatkach drewnianych z 3 warstw dębowych podkładów kolejowych ułożonych na podsypce tłuczniowo-klińcowej.

### 2.2. Konstrukcja odciążająca KO84

Konstrukcję nośną stanowi pełnościenna blachownica spawana o teoretycznej rozpiętości przęsła  $L_T=17,32m$ . Jazda odbywa się góra, bezpośrednio na dźwigarach bez użycia mostownic (rys.2, zob. także rys.9). Szyny mocowane są do podkładek stalowych, które połączone są na śruby do blach przyspawanych na pasie górnym. Wysokość konstrukcyjna wynosi 1,515m.



Dźwigary główne to dwie stalowe blachownice o zmiennej wysokości średnika, rozstaw poprzeczny dźwigarów głównych wynosi 1495mm. Pasy dźwigarów mają stałą szerokość równą 450mm oraz zmienną grubość pasa: 15mm w obszarze podparcia oraz 19mm w środku przęsła. Stateczność miejscowa średników dźwigarów, ze względu na ścinanie, zapewniona jest dzięki wstawianym żebrakom pionowym co 1200mm. Dźwigary stężone są poprzecznie za pomocą dwuteowych pełnościennych blachownic w rozstawie co 1200mm.

Konstrukcja nośna podparta jest za pośrednictwem łożysk elastomerycznych spoczywających na ruszcie z 3 profili HEB120.



Rys.2. Widok ogólny konstrukcji odciążającej KO84

### 2.3. Konstrukcja odciążająca KO82

Konstrukcja nośna składa się z dwu zasadniczych elementów montażowych w postaci skrzynkowych dźwigarów spawanych o pochylonych średnikach i wgłębieniach korytkowych do bezpośredniego mocowania szyn tocznych (rys.3, zob. także rys.10). Rozpiętość teoretyczna przęsła wynosi  $L_T=30,00m$ , a wysokość konstrukcyjna 1,023m.



Rys.3. Widok ogólny konstrukcji odciążającej KO82

Dźwigary skrzynkowe stężone są ze sobą poprzecznkami montowanymi na śruby sprężające. Wysokość dźwigarów jest zmienna i wynika z pogrubienia blach pasów oraz dodatkowych nakładek.

Konstrukcję przęsła posadowiono bezpośrednio na klatkach drewnianych z 3 warstw dębowych podkładów kolejowych ułożonych na podsypce tłucznio-wo-klíncowej.

Wszystkie omawiane konstrukcje zostały zaprojektowane na obciążenie użytkowe klasy  $k=0$  wg PN-85/S-10030.

### 3. MODELE OBLICZENIOWE ANALIZOWANYCH OBIEKTÓW

Obliczenia w zakresie statycznym wykonano metodą elementów skończonych (MES). W obliczeniach do modelowania konstrukcji użyto elementy belkowe i powłokowe oraz podporowe.

Do dyskretyzacji układów traktowanych jako powierzchniowe wykorzystano 2-wymiarowe, 4-węzłowe powłokowe elementy skończone typu Timoszenko-Reissnera. Elementy te są klasy  $C^0$ , z odpowiednimi modyfikacjami (wzbogaceniem) funkcji kształtu, które eliminują efekt blokady (zakleszczania). Są one całkowane metodą Gaussa regułą 4-punktową, tj. w sposób pełny (FI).

Do dyskretyzacji układów traktowanych jako belkowe stosowano 1-wymiarowe, 2-węzłowe przestrzenne elementy prętowe (ramowe). Elementy te są typu Timoszenki klasy  $C^0$  o liniowych funkcjach kształtu. Ich równania konstytutywne uwzględniają ścinanie i mimośrodkowe położenie osi odniesienia.

#### 3.1. Model obliczeniowy konstrukcji odciążającej KO85

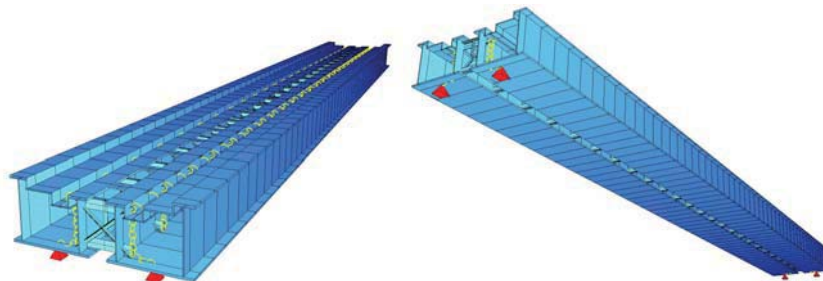
W przypadku obiektu KO85 opracowano dwa przestrzenne modele obliczeniowe traktowane jako: układ belkowy (prętowy) oraz układ powłokowy (powierzchniowy) [10].

W modelu belkowym (rys.4) dźwigary główne, poprzecznice, stężenia, szyny i odbojnice dyskretyzowano elementami prętowymi. Model oparto na siatce 353 węzłów, jest on złożony z 448 elementów prętowych i 10 więzów podporowych.

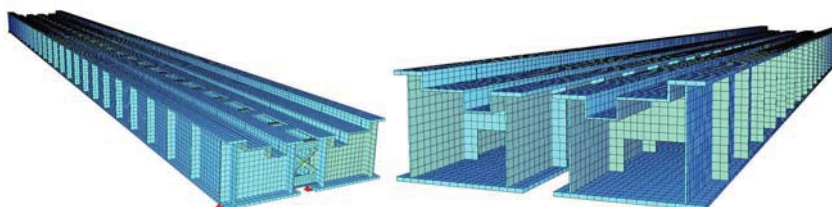
Powłokowy model obliczeniowy (rys.5) wykonano na siatce 43.664 węzłów, składa się on z 42.788 elementów powłokowych i 162 więzów podporowych.

W obu przypadkach przeprowadzono wybiórcze badanie zbieżności lokalnych zachowań rozwiązań MES.





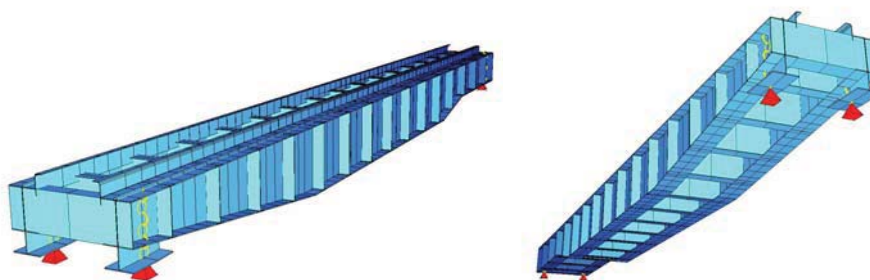
Rys.4. Wizualizacja przestrzennego modelu belkowego obiektu KO85



Rys.5. Wizualizacja przestrzennego modelu powłokowego obiektu KO85

### 3.2. Model obliczeniowy konstrukcji odciążającej KO84

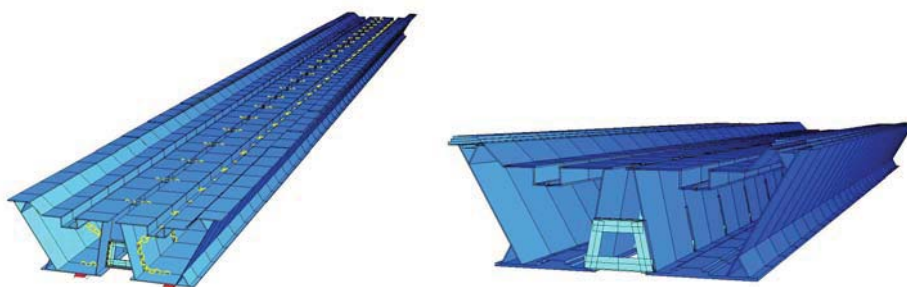
W przypadku obiektu KO84 układ potraktowano jako przestrzenną strukturę ramową [11]. Dźwigary główne, poprzecznice, stężenia, szyny i odbojnice dyskretyzowano 2-węzłowymi elementami belkowymi z uwzględnieniem mimośrodków (rys.6). Siatka dyskretyzacyjna składała się z 179 węzłów, 336 elementów prętowych i 10 węzłów podporowych.



Rys.6. Wizualizacja przestrzennego modelu belkowego obiektu KO84

### 3.3. Model obliczeniowy konstrukcji odciążającej KO82

Modelem obliczeniowym obiektu KO82 jest przestrzenny układ belkowy [12]. Dźwigary główne, poprzecznice, stężenia, szyny dyskretyzowano 2-węzłowymi elementami prętowymi z uwzględnieniem mimośrodów (rys.7). Model oparto na siatce 328 węzłów, składał się on z 498 elementów belkowych i 10 więzów podporowych.



Rys.7. Wizualizacja przestrzennego modelu belkowego obiektu KO82

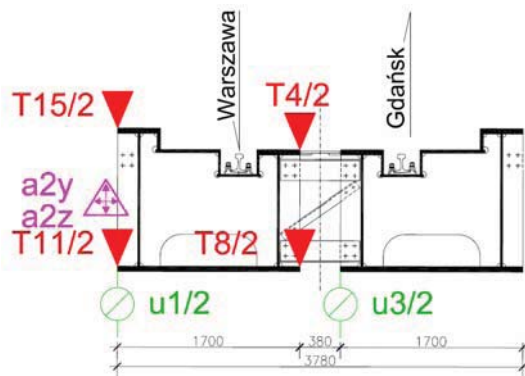
## 4. ZAKRES BADAŃ IN SITU OBIEKTÓW

Badania omawianych obiektów obejmowały pomiary statyczne i dynamiczne [13,14,15]. W badaniach statycznych mierzono ugięcia, odkształcenia/naprężenia w pasach dźwigarów głównych oraz osiadanie podpór. Testy dynamiczne swoim zakresem obejmowały pomiary ugięć, odkształceń/naprężeń i przyspieszeń konstrukcji przęseł. W każdym przęśle rejestrowano wyniki w następujących przekrojach i punktach pomiarowych (rys. 8-10):

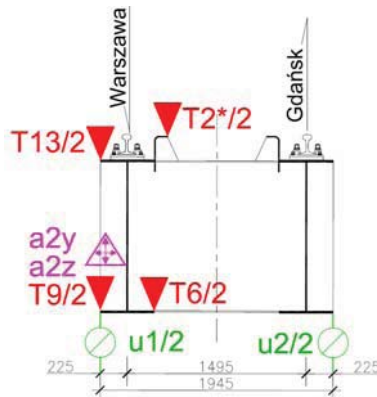
- ugięcia mierzono w dwóch punktach – po jednym dla każdego dźwigara głównego, usytuowanych w środku rozpiętości przęsła,
- odkształcenia rejestrowano w czterech punktach pomiarowych na krawędziach pasów dźwigarów głównych w środku rozpiętości przęsła,
- osiadania podpór mierzono w dwóch punktach dla każdej podpory badanego przęsła,
- przyspieszenia, tj. składowe pionowe i poziome mierzono w dwóch punktach w środku rozpiętości przęsła.

Badania statyczne każdego z przęseł wykonano dla jednego ustawienia zestawu obciążenia próbnego, tj. jednej lokomotywy spalinowej ST44. W testach dynamicznych generowano obciążenie poprzez przejazdy lokomotywy z różnymi prędkościami po obiekcie.

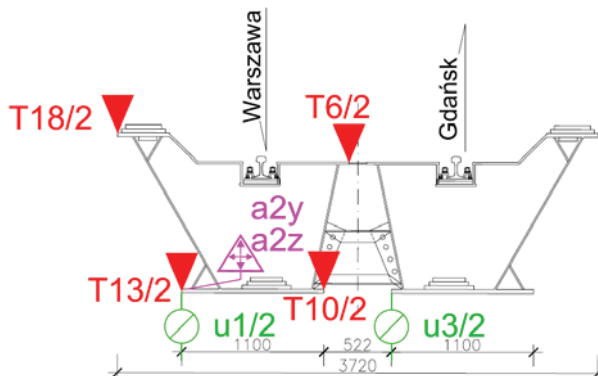




Rys.8. Przekrój poprzeczny konstrukcji odciążającej KO85 z rozmieszczeniem punktów pomiarowych w L/2



Rys.9. Przekrój poprzeczny konstrukcji odciążającej KO84 z rozmieszczeniem punktów pomiarowych w L/2



Rys.10. Przekrój poprzeczny konstrukcji odciążającej KO82 z rozmieszczeniem punktów pomiarowych w L/2

## 5. WYNIKI BADAŃ I OBLICZEŃ MES

### 5.1. Wyniki, obiekt KO85 [4]

Wartości obliczeniowe z obu modeli (prętowy, powłokowy) oraz pomierzonych odkształceń/naprężeń i ugięć z pomiarów statycznych przedstawiono w tab. 1 i 2 i na rys. 12-13. Rys.11 wizualizuje wyężenie konstrukcji w modelu powłokowym odpowiadające realizacji ustawienia symetrycznego (jedna lokomotywa ST44, rys.1). Dodatkowo, w tabelach, pomierzone wartości odniesiono do wartości obliczeniowych i przedstawiono w procentach. Pod pojęciem wartości, wyniki teoretyczne lub obliczeniowe w niniejszej pracy rozumie się wartości uzyskane z obliczeń MES.

Tabela 1. Obliczeniowe i eksperymentalne wartości odkształceń/naprężeń, obiekt KO85

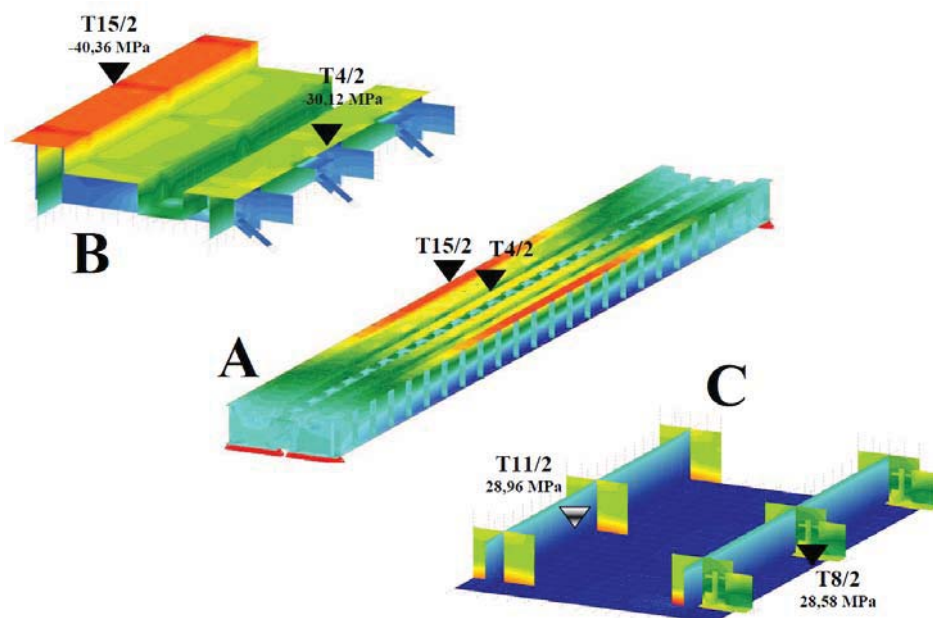
	Naprężenia normalne $\sigma \equiv \sigma_{xx}$ [MPa] w punktach pomiarowych			
	T15/2	T4/2	T11/2	T8/2
Wartości obliczeniowe				
Ust.U1 - model powłokowy $\sigma_{obl p}$	-40,36	-30,12	28,96	28,58
Ust.U1 - model prętowy $\sigma_{obl b}$	-40,25	-29,58	28,66	28,65
Wartości pomierzone (unormowane)				
Ust U1 $\sigma_{pom}$	-34,10	-27,00	27,70	25,55
$\sigma_{pom} / \sigma_{obl p}$ [%]	84,5	89,6	95,6	89,4
$\sigma_{pom} / \sigma_{obl b}$ [%]	84,7	91,3	96,7	89,2

Tabela 2. Obliczeniowe i eksperymentalne wartości ugięć sprężystych, obiekt KO85

	Ugięcia f [mm] w punktach pomiarowych	
	u1/2	u3/2
Wartości obliczeniowe		
Ust.U1 - model powłokowy $f_{obl p}$	25,12	24,96
Ust.U1 - model prętowy $f_{obl b}$	24,88	24,88
Wartości pomierzone (unormowane)		
Ust U1 $f_{pom}$	22,74	23,22
$f_{pom} / f_{obl p}$ [%]	90,5	93,0
$f_{pom} / f_{obl b}$ [%]	91,4	93,3







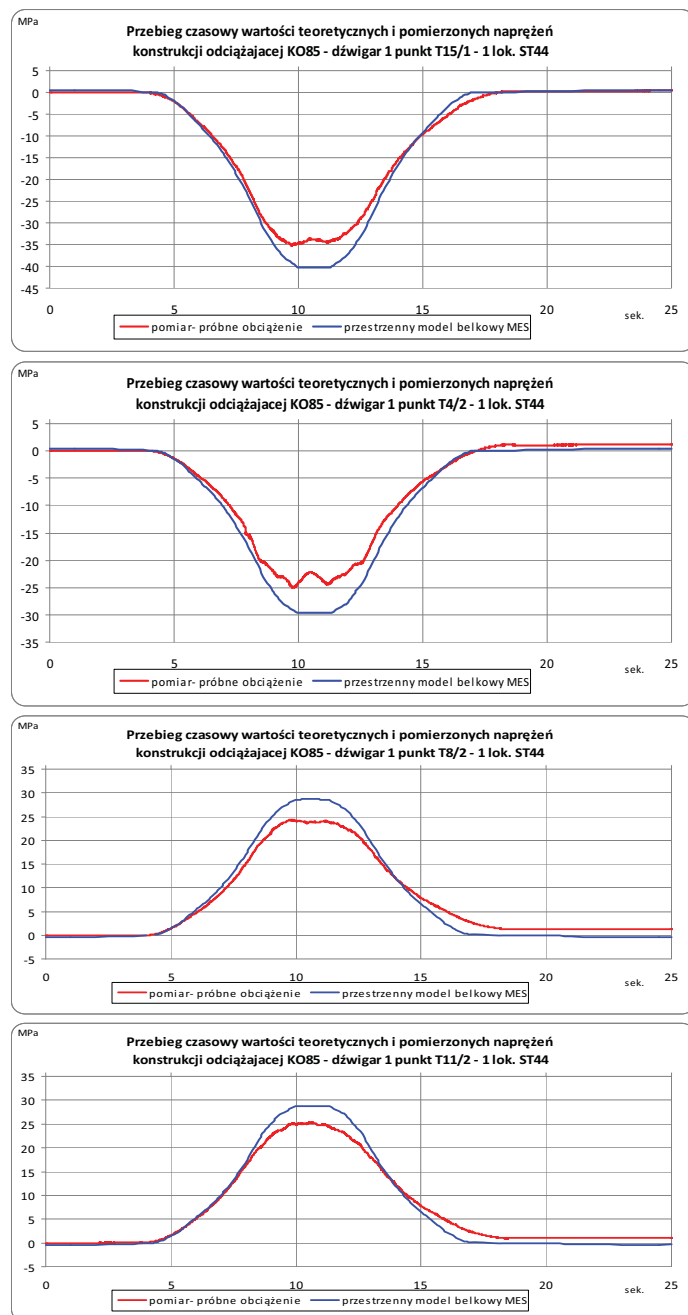
Rys.11. Wizualizacja wyężenia (naprężenia normalne) przęśła obiektu KO85 przy symetrycznym obciążeniu jedną lokomotywą ST44 wraz z punktami pomiarowymi odkształceń/naprężeń – model powłokowy: A – konstrukcja całego przęśła, B – szczegół pasów górnych w rejonie środka rozpiętości, C – szczegół pasa dolnego w rejonie środka rozpiętości.

Na rys.12-13 przedstawiono przebiegi czasowe wartości teoretycznych i pomierzonych naprężeń i ugięć od przejazdu jednej lokomotywy ST44.

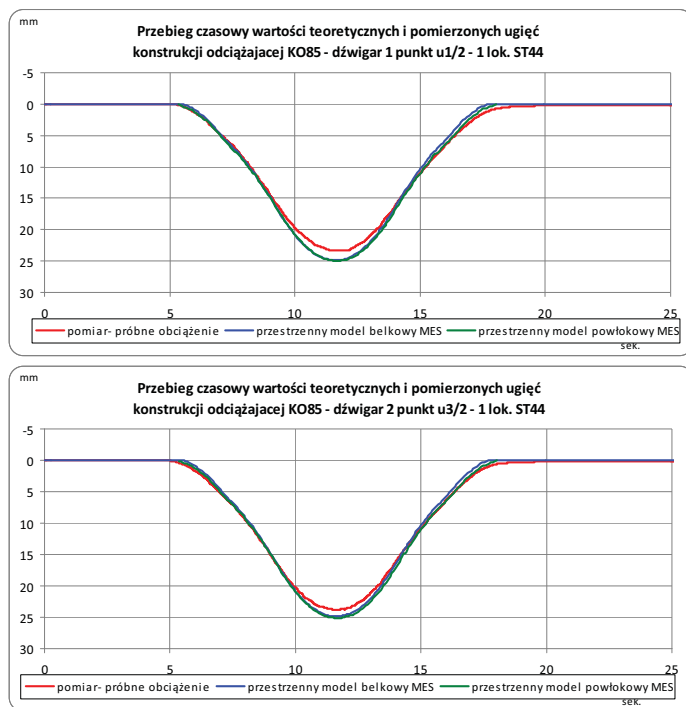
Ekstremalne zarejestrowane wartości przyspieszeń przęśła podczas przejazdów jednej lokomotywy St44 wynosiły:

- składowa pionowa przyspieszeń  $a_z = 0,48 \text{ m/s}^2$ ,
- składowa pozioma przyspieszeń  $a_y = 0,23 \text{ m/s}^2$ .

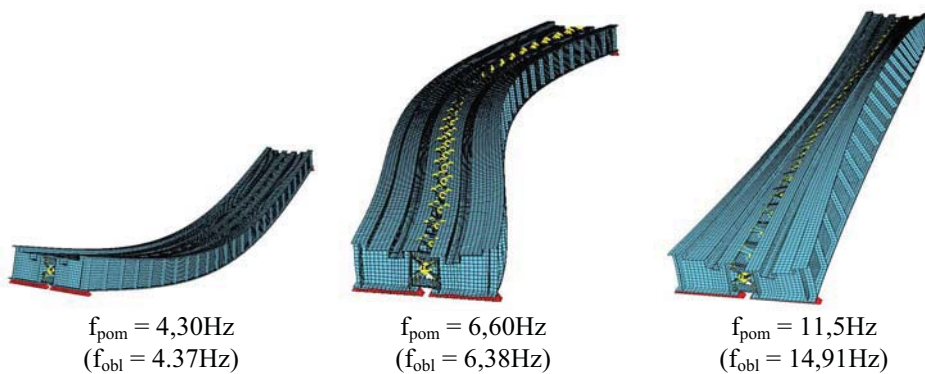
Z zarejestrowanych przebiegów ugięć, naprężeń i przyspieszeń przęśła wyseparowano częstotliwości drgań własnych konstrukcji, które przedstawiono na rys.14.



Rys.12. Przebiegi czasowe wartości obliczeniowych i pomierzonych naprężeń normalnych w pasach dźwigara konstrukcji przęsła obiektu KO85 przy przejeździe jednej lokomotywy ST44.



Rys.13. Przebiegi czasowe wartości obliczeniowych i pomierzonych ugięć przęśła obiektu KO85 przy przejeździe jednej lokomotywy ST44.



Rys.14. Postaci i częstotliwości drgań własnych.

Logarytmiczny dekrement tłumienia oszacowany na podstawie badań dynamicznych wyniósł  $v_{pom} = 0,11$ .

## 5.2. Wyniki, obiekt KO84 [14]

Analogiczne wyniki przedstawiono w tabelach 3 i 4 i na rys.15-16.

Tabela 3. Obliczeniowe i eksperymentalne wartości odkształceń – naprężeń, obiekt KO84

	Naprężenia normalne $\sigma \equiv \sigma_{xx}$ [MPa] w punktach pomiarowych			
	T13/2	T2*/2	T9/2	T6/2
Wartości obliczeniowe				
Ust.U1 - model belkowy $\sigma_{obl\ b}$	-49,20	-70,2	83,30	83,30
Wartości pomierzone (unormowane)				
Ust U1 $\sigma_{pom}$	-40,50	-61,40	72,0	73,40
$\sigma_{pom}/\sigma_{obl\ b}$ [%]	82,3	87,5	86,4	88,1

Tabela 4. Obliczeniowe i eksperymentalne wartości ugięć sprężystych, obiekt KO84

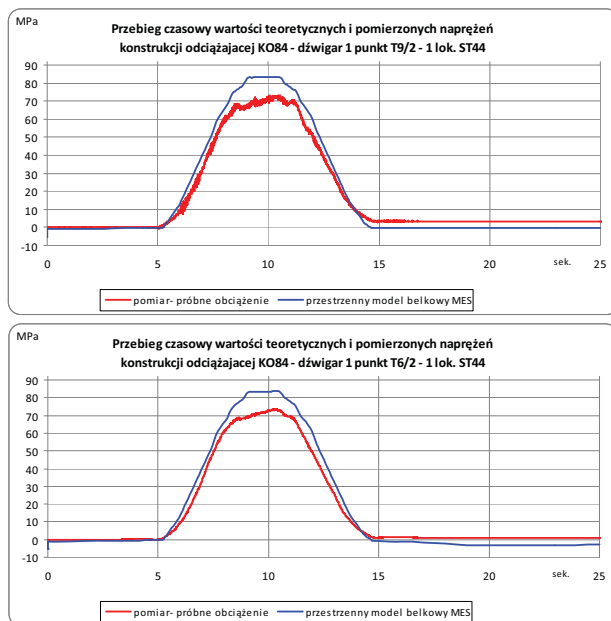
	Ugięcia f [mm] w punktach pomiarowych	
	u1/2	u2/2
Wartości teoretyczne		
Ust.U1 - model belkowy $f_{obl\ b}$	20,42	20,42
Wartości pomierzone (unormowane)		
Ust U1 $f_{pom}$	18,88	19,46
$f_{pom} / f_{obl\ b}$ [%]	92	94

W tym przypadku, w testach dynamicznych ekstremalne wartości wyniosły:

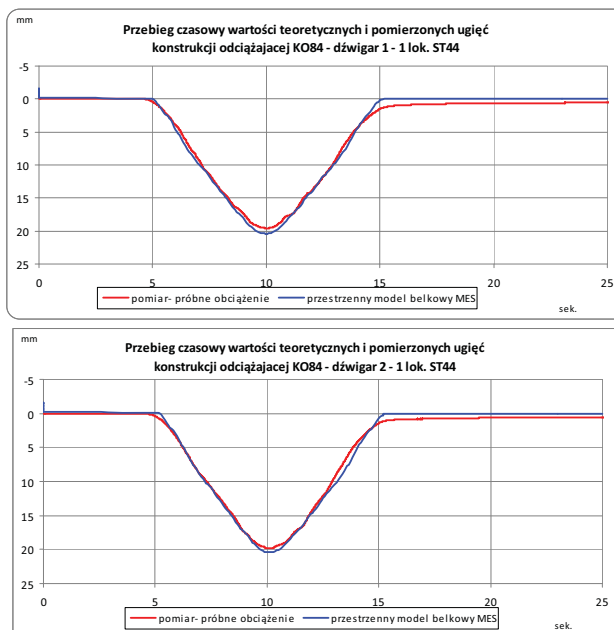
- składowa pionowa przyspieszeń  $a_z = 3,53 \text{ m/s}^2$ ,
- składowa pozioma przyspieszeń  $a_y = 0,58 \text{ m/s}^2$ ;

wyseparowane częstotliwości drgań własnych mają wartości:  $f_{pom} = 3,7 \text{ Hz}$ ,  $f_{pom} = 6,2 \text{ Hz}$ , zaś logarytmiczny dekrement tłumienia oszacowano na  $v_{pom} = 0,04$ .





Rys. 15 Przebiegi czasowe wartości obliczeniowych i pomierzonych naprężeń w pasach dźwigara konstrukcji przęsła obiektu KO84 przy przejeździe jednej lokomotywy ST44



Rys. 16 Przebiegi czasowe wartości obliczeniowych i pomierzonych ugięć przęsła obiektu KO84 przy przejeździe jednej lokomotywy ST44

### 5.3. Wyniki, obiekt KO82 [15]

Analogiczne wyniki przedstawiono w tabelach 5 i 6 i na rys. 17-18.

Tabela 5. Obliczeniowe i eksperymentalne wartości odkształceń – naprężeń, obiekt KO82

	Naprężenia normalne $\sigma \equiv \sigma_{xx}$ [MPa] w punktach pomiarowych	
	T13/2	T10/2
Wartości teoretyczne		
Ust.U1 - model belkowy $\sigma_{obl\ b}$	30,41	29,83
Wartości pomierzone (unormowane)		
Ust U1 $\sigma_{pom}$	28,55	27,60
$\sigma_{pom} / \sigma_{obl\ b}$ [%]	93,9	92,5

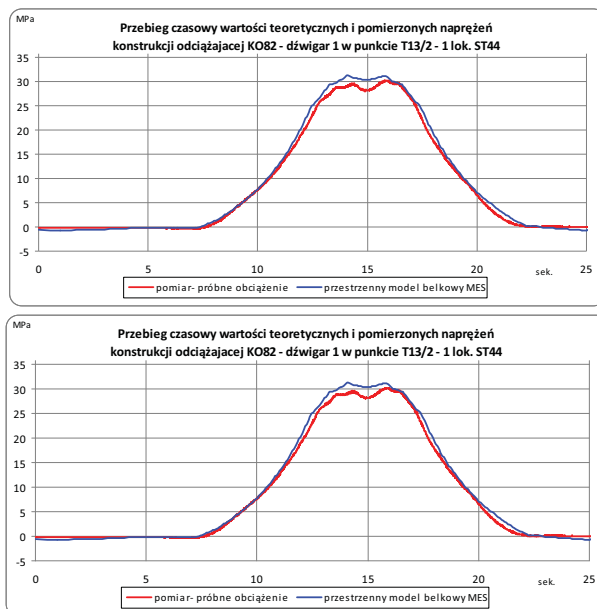
Tabela 6. Obliczeniowe i eksperymentalne wartości ugięć sprężystych, obiekt KO82

	Ugięcia $f$ [mm] w punktach pomiarowych	
	u1/2	u2/2
Wartości teoretyczne		
Ust.U1 - model belkowy $f_{obl\ b}$	29,58	29,38
Wartości pomierzone (unormowane)		
Ust U1 $f_{pom}$	26,92	27,00
$f_{pom} / f_{obl\ b}$ [%]	91,0	91,9

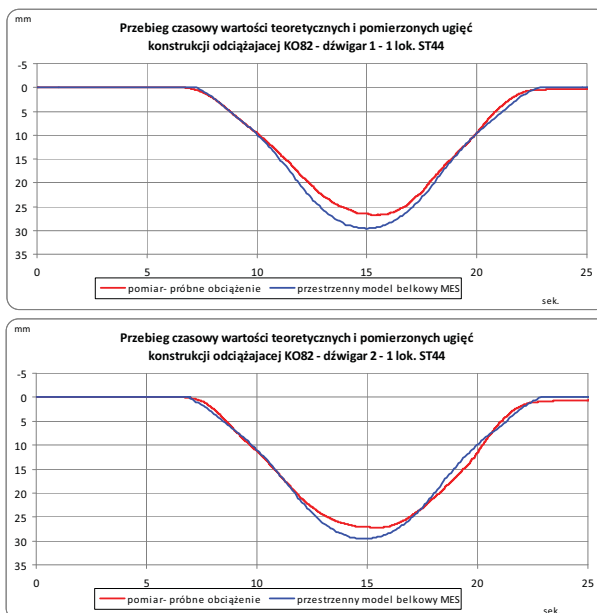
W testach dynamicznych otrzymano:

- ekstremalna składowa pionowa przyspieszeń  $a_z = 1,69 \text{ m/s}^2$ ,
- ekstremalna składowa pozioma przyspieszeń  $a_y = 0,81 \text{ m/s}^2$ ,
- wyseparowane częstotliwości drgań własnych:  $f_{pom} = 4,8 \text{ Hz}$ ,  
 $f_{pom} = 6,4 \text{ Hz}$ .





Rys. 17 Przebiegi czasowe wartości teoretycznych i pomierzonych naprężeń normalnych w pasach dźwigara konstrukcji przęsła obiektu KO82 przy przejeździe jednej lokomotywy ST44



Rys. 18 Przebiegi czasowe wartości teoretycznych i pomierzonych ugięć przęsła obiektu KO82 przy przejeździe jednej lokomotywy ST44



## 6. WNIOSKI

W przypadku zamkniętych dźwigarów skrzynkowych, wyłączając strefy występowania efektów lokalnych, tzn. obszarów różnego typu nieregularności, oba modele: prętowy oraz powłokowy, dają zadawalające i zbieżne wyniki.

Sytuacja ma się inaczej w przypadku dźwigarów cienkościennych otwartych. Konstrukcje tego typu, ze względu na ich znaczną podatność na skręcanie i wymagane rozwiązania konstrukcyjne pomostu, generują złożone postaci deformacji. Z tego względu, układy te wymagają odpowiedniego modelu obliczeniowego w celu wiernego odzwierciedlenia przestrzennej pracy konstrukcji, a przez co jednoznacznej interpretacji wyników badań. W tych przypadkach właściwym staje się opis ustroju jako przestrzennej struktury powłokowej. Należy jednak pamiętać, że w przypadku stosowania powłokowych elementów skończonych (dodajmy: także bryłowych) zagęszczenie siatki deskretyzacyjnej powinno zawsze spełnić warunek zbieżności rozwiązania.

Analiza konstrukcji jako przestrzennej struktury powłokowej staje się, ujawniając lokalne ekstrema wyężeniowe, szczególnie przydatna w przypadku ustrojów znacznie wyężonych w trakcie eksploatacji, przy ocenie wpływu uszkodzeń (np. plastyczne deformacje) czy wpływu zmęczenia na żywotność obiektu [16,17].

W świetle powyższych uwag, modelowanie tego typu układów jako pojedynczej płaskiej belki wolnopodparłej jest trywializowaniem zagadnienia i ucieczką od precyzyjniejszego określenia parametrów konstrukcji jak i jej rzeczywistego wyężenia, nie wspominając nawet o zidentyfikowaniu przestrzennego charakteru pracy układu zarówno w zakresie statycznym jak i dynamicznym.

Przechodząc do szczegółów, pomierzone wartości ugięć i odkształceń/naprężeń omawianych obiektów były nieznacznie mniejsze od wartości obliczeniowych. Analiza wyników badań statycznych i dynamicznych obiektów wskazuje na poprawną pracę tych konstrukcji w zakresie sprężystym.

Na podstawie analizy wyników badań dynamicznych można stwierdzić, że skrzynkowe konstrukcje odciażające typu mostowego (KO85 i KO82) mają znacznie mniejszą podatność dynamiczną w stosunku do układów otwartych belkowych (dźwigary dwuteowe - KO84).

Rozszerzone badania in situ obiektów mostowych są bardzo dobrym sposobem weryfikacji przyjmowanych do analiz teoretycznych modeli obliczeniowych i są doskonałym źródłem wiedzy o rzeczywistym zachowaniu się konstrukcji [1].





## LITERATURA

1. Olaszek P., Łagoda M.: Rola próbnych obciążeń na przykładzie badań trzech dużych mostów, *Drogownictwo* 12/2003 392-399
2. Szczygieł J.: Mosty z betonu zbrojonego i sprężonego, WKiŁ, 1978
3. Madaj A., Wołowicki W.: *Budowa i utrzymanie mostów*, WKiŁ, 2007
4. Bień J.: Uszkodzenia i diagnostyka obiektów mostowych, WKiŁ, 2010
5. Chróścielewski J., Rucka M., Banaś A., Malinowski M., Miśkiewicz M., Rutkowski R.: Systemy monitorowania stanu technicznego konstrukcji na przykładzie trzech mostów, *Mosty*, 2 (2011) s. 32-40.
6. Chróścielewski J., Malinowski M., Miśkiewicz M.: Test loading of the longest span arch bridge in Poland. *Bridges, tradition and future* / eds. Adam Podhorecki, Andrzej S. Nowak; University Press, University of Technology and Life Sciences in Bydgoszcz. - Bydgoszcz, 2009. - s. 33-48 - ISBN 978-83-89334-88-2.
7. Chróścielewski J., Malinowski M., Miśkiewicz M., Dudek M.: Wybrane mosty kolejowe – obliczenia i weryfikacja in-situ, *MES 2005 : Programy MES w Komputerowym Wspomaganiu Analizy, Projektowania i Wytwarzania : IX konferencja naukowo-techniczna : materiały konferencyjne : Giżycko, 19-22 października 2005* / org. Wojskowa Akademia Techniczna Wydział Mechaniczny ; Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN [et al.] - Warszawa : Zakład Mechaniki Ogólnej WAT, 2005. - s. 27-36 – ISBN 83-89399-01-10, 2005.
8. Chróścielewski J., Malinowski M., Miśkiewicz M., Żółtowski K.: Modelowanie konstrukcji mostowych w świetle badań, Pięćdziesiąta pierwsza Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB : „Problemy naukowo-badawcze budownictwa - KRYNICA 2005” : Gdańsk -Krynica, 12-17 września 2005. T. 4, s. 103-112 - ISBN 83-921478-9-8, 2005.
9. Chróścielewski J., Malinowski M., Miśkiewicz M., Dudek M.: Modelowanie konstrukcji mostowych - obliczenia i weryfikacja "in situ", *Analizy numeryczne wybranych zagadnień mechaniki* / pod red. T. Niezgody. - Warszawa : WAT, 2007. - s. 87-108 - ISBN978-83-89399-44-1, 2007.
10. Chróścielewski J., Banaś A., Malinowski M.: Projekt próbnego obciążenia konstrukcji odciążającej typu mostowego rozpiętości  $L=30,0\text{m}$  w km 85+350 linii E-65, Sopot, ARKOBI – Maciej Malinowski, 2011.
11. Chróścielewski J., Banaś A., Malinowski M.: Projekt próbnego obciążenia konstrukcji odciążającej typu mostowego rozpiętości  $L=30,0\text{m}$  w km 84+420 linii E-65, Sopot, ARKOBI – Maciej Malinowski, 2011.
12. Chróścielewski J., Banaś A., Malinowski M.: Projekt próbnego obciążenia konstrukcji odciążającej typu mostowego rozpiętości  $L=30,0\text{m}$  w km 82+747 linii E-65, Sopot, ARKOBI – Maciej Malinowski, 2011.
13. Chróścielewski J., Malinowski M., Rutkowski R., Banaś A., Miśkiewicz M., Sitarski A., Pyrzowski Ł., Rutkowski T.: Sprawozdanie z badań podczas próbnego obciążenia konstrukcji odciążającej typu mostowego rozpiętości  $L=30,0\text{m}$  w torze nr 2 w km 85+350 linii E-65, Gdańsk, Politechnika Gdańska WILiŚ KMBiM, 2011.



14. Chróścielewski J., Malinowski M., Rutkowski R., Banaś A., Miśkiewicz M., Sitarski A., Pyrzowski Ł., Rutkowski T.: Sprawozdanie z badań podczas próbnego obciążenia konstrukcji odciążającej typu mostowego rozpiętości  $L=30,0\text{m}$  w torze nr 2 w km 84+420 linii E-65, Gdańsk, Politechnika Gdańska WILiŚ KMBiM, 2011.
15. Chróścielewski J., Malinowski M., Rutkowski R., Banaś A., Miśkiewicz M., Sitarski A., Pyrzowski Ł., Rutkowski T.: Sprawozdanie z badań podczas próbnego obciążenia konstrukcji odciążającej typu mostowego rozpiętości  $L=30,0\text{m}$  w torze nr 2 w km 82+747 linii E-65, Gdańsk, Politechnika Gdańska WILiŚ KMBiM, 2011.
16. Żółtowski K., Szafranski M.: Ocena bezpieczeństwa wiaduktu kolejowego wskutek uderzenia pojazdów ponadgabarytowych Inżynieria i Budownictwo 2/2011 84-87
17. Chróścielewski J., Malinowski M., Banaś A.: Ekspertyza techniczna dotycząca uszkodzenia wiaduktu drogowego nr 17 nad obwodnicą Trójmiasta w m. Borkowo, Gdańsk, Politechnika Gdańska WILiŚ KMBiM, 2011.

## **TEMPORARY RAILWAY BRIDGES DURING MEASUREMENTS AND NUMERICAL ANALYZIES**

### **Summary**

Paper presents calculation results and in-situ measurements temporary railway bridges. Methods to model these kind of structures properly and scope and methodology of load testing are presented. Results of theoretical analysis were compared with measurements. Conclusions of appliance sophisticated numerical modeling and necessity of in-situ measurements to check the correctness of structure work were drawn.