

## ZWIĘKSZENIE POZIOMEJ SZTYWNOŚCI W CELU WYELIMINOWANIA KONIECZNOŚCI MONTAŻU PRYZRZĄDÓW WYRÓWNAWCZYCH<sup>1</sup>

Grzegorz FREJ\*, Krzysztof STURZBECHER\*\*

\* GF Mosty

\*\* Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Lądowej

Przedstawiono obliczenie dodatkowych naprężeń w szynach wynikających ze współpracy toru i mostu. Na tej podstawie stwierdzono, że należy w torze umieścić przyrządy wyrównawcze. Ze względu na to, że istotny wpływ na wielkość tych naprężeń ma sztywność pozioma podpór, w celu jej zwiększenia, połączono dodatkowo ustrój nośny z przyczółkami przy pomocy tłumików, które działają jak poziome podparcia sprężyste. Ponownie wykonane obliczenia wykazały, że tak zmodyfikowany sposób podparcia ustroju nośnego spowodował obniżenie dodatkowych naprężeń w szynach do dopuszczalnych granic dla toru bezстыkowego. To pozwoliło na rezygnację z montażu przyrządów wyrównawczych, mimo iż wynikało to z długości rozszerzania.

Słowa kluczowe: Mosty kolejowe, interakcja tor-konstrukcja mostu, przyrządy wyrównawcze.

### 1. WPROWADZENIE

Problematyka stosowania przyrządów wyrównawczych w mostach kolejowych została opisana w pracy [1]. Podkreślono, że możliwe jest zrezygnowanie z budowy przyrządów wyrównawczych jeżeli naprężenia w szynach nie przekroczą wartości granicznych. Ta tematyka jest od wielu lat przedmiotem licznych prac badawczych [2,3] i zawarta została w przepisach UIC[6], które były podstawą do zapisów zawartych w PN-EN 1991-2[5]. Poniżej zostanie przedstawiony przykład modelowania oraz obliczeń współpracy toru i konstrukcji zbudowanego mostu, dla którego początkowo zaprojektowano przyrządy wyrównawcze. Aby nie dopuścić do powstania zbyt dużych naprężeń w szynach torów na długich mostach stosuje się przyrządy wyrównawcze. Ich stosowanie w przypadkach, w których długość dylatacyjna nie jest mocno przekroczona, można czasem wyeliminować. W tym celu, aby wykazać, że jest możliwe unik-

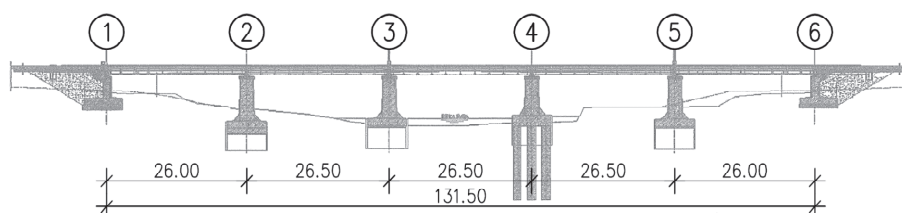
---

<sup>1</sup> DOI 10.21008/j.1897-4007.2017.24.05

nięcie montażu przyrządu wyrównawczego w moście kolejowym wykonano analizę interakcji pomiędzy torem i mostem. Z tej analizy wynikała konieczność zwiększenia poziomego oporu podpór co uzyskano poprzez zastosowanie hydraulicznych urządzeń tłumiących, łączących ustrój nośny z przyczółkiem. To rozwiązanie umożliwiło zrezygnowanie z przyrządów wyrównawczych.

## 2. OPIS OBIEKTU

Widok ogólny mostu pokazano na rys.1.



Rys. 1. Widok ogólny mostu

Most jest pięcioprzęsłowy ciągły, stalowy, z jazdą pośrednią na podsypce. Obiekt usytuowany jest w planie w linii prostej. Zaprojektowano oddzielne konstrukcje pod każdy z dwóch torów. Rozpiętości teoretyczne przęseł wynoszą:  $26,0 + 3 \times 26,5 + 26,0 = 131,5\text{m}$ . Długość całkowita obiektu wynosi  $132,51\text{m}$ . Nośność mostu zgodnie z PN-85/S-10030 "Obiekty mostowe. Obciążenia." odpowiada klasie k+2 (dla linii magistralnych i pierwszorzędných oraz wszystkich zelektryfikowanych).

W przekroju poprzecznym ustrój nośny złożony jest z dwóch spawanych blachownic stalowych w rozstawie  $5,00\text{m}$  oraz poprzecznic stalowych, na których oparte jest koryto balastowe w postaci żelbetowej płyty.

Zgodnie z PN-EN 1991-2 „Oddziaływania na konstrukcje. Obciążenia ruchome mostów.”[5] obiekt spełnia wymagania dla Modelu Obciążenia 71 ze współczynnikiem  $\alpha_k=1,21$ . Prędkość projektowa ruchu pojazdów kolejowych na obiekcie wynosi  $160\text{ km/h}$ .

Przyczółki zaprojektowano jako żelbetowe masywne, posadowione bezpośrednio. Podpory pośrednie nr 2, 3 i 5 są to żelbetowe filary posadowione bezpośrednio w opasce z grodzic stalowych. Podporę nr 4, przewidzianą do umieszczenia na niej łożyska stałego, zaprojektowano jako żelbetowy filar posadowiony na palach wielkośrednicowych  $\text{Ø}1500\text{mm}$  o długości  $15,0\text{m}$ .

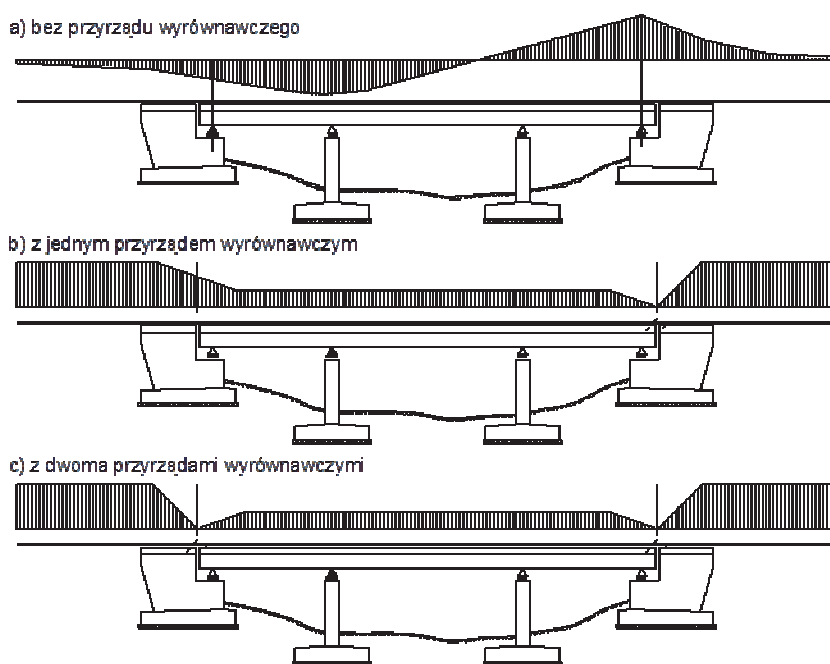
Początkowo zgodnie z projektem branży torowej przewidziano montaż urządzeń wyrównawczych na obu torach z obu stron obiektu. Urządzenia te zlokalizowano w strefach dylatacji mostu. Zastosowano urządzenia wyrównawcze typu

60E1 o długości przesuwu  $\pm 100\text{mm}$ , długość jednego urządzenia wynosiła 12,25m.

Długość dylatacyjna mostu wynosi 79m. Zatem zgodnie z wymaganiami na obiekcie należy przewidzieć przyrządy wyrównawcze. Norma PN-EN 1991-2[5] dopuszcza również możliwość określenia konieczności stosowania przyrządów wyrównawczych na podstawie szczegółowej analizy interakcji układu tor-konstrukcja. Jeżeli taka analiza wykaże, że przyrost naprężeń w szynach i przemieszczenia na końcach ustroju nośnego mieszczą się w granicach dopuszczalnych to można zrezygnować z ich montażu.

### 3. WSPÓLPRACA TORU I MOSTU

Ogólny wpływ urządzeń wyrównawczych na rozkład naprężeń w szynach pokazano na rys. 2.

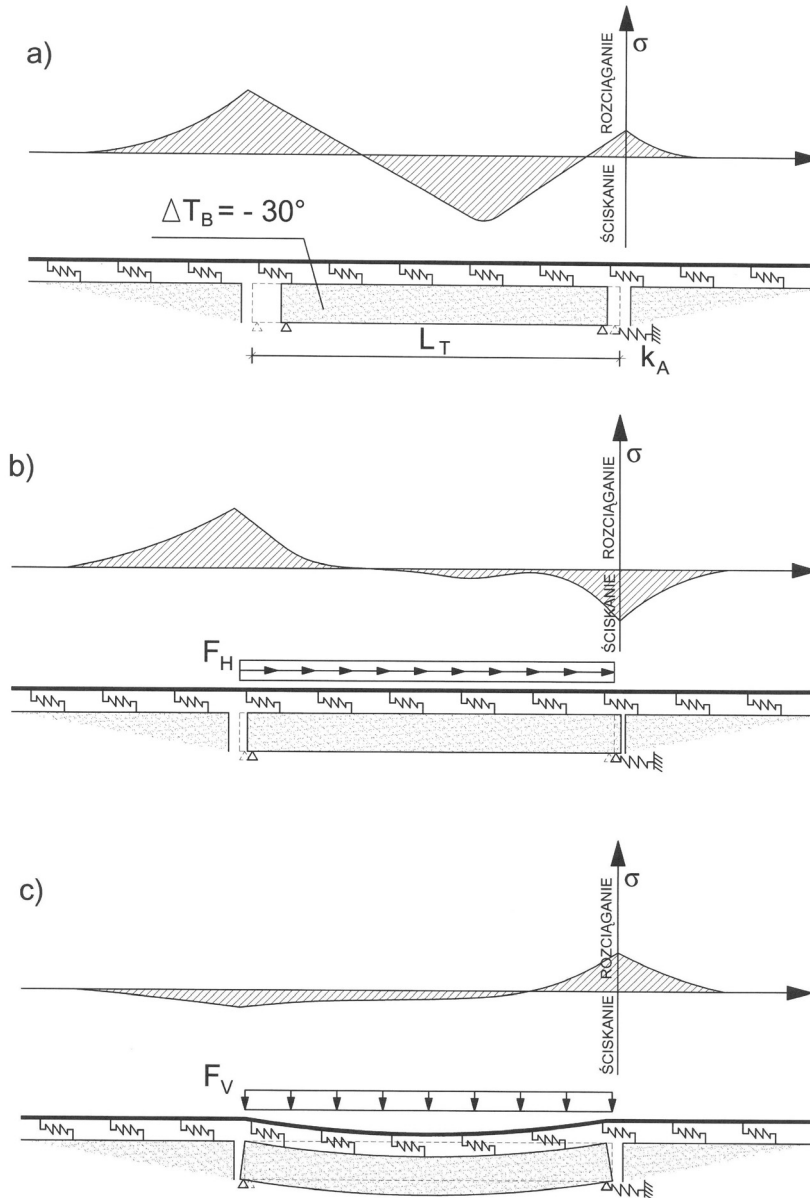


Rys. 2. Wpływ urządzeń wyrównawczych na rozkład naprężeń w szynach

Dodatkowe naprężenia w szynach na obiekcie są wywołane następującymi oddziaływaniami (rys.3):

- wydłużeniem lub skróceniem ustroju nośnego na skutek zmian temperatur,
- przemieszczeniem ustroju nośnego na skutek hamowania lub przyspieszenia

c) przemieszczeniem ustroju nośnego pod pionowym obciążeniem taborem



Rys. 3. Oddziaływania powodujące dodatkowe oddziaływania w szynach

Przykład uproszczonego obliczenia naprężeń w szynach na obiekcie bez przyrządów wyrównawczych:

Rozpatrywany ustrój nośny wolnopodparty o długości  $35\text{m} < 40\text{m}$ .

Tor ciągły na podsypce tłuczniowej, tor nieobciążony,  $k=20\text{kN/m}$ , pole przekroju szyny S60 –wynosi  $0,00768\text{m}^2$ , zmiana temperatury  $\Delta T_N = 30\text{K}$ , siła hamowania  $20\text{kN/m}$ .

Siła w szynach wywołana zmianą temperatury:

$$F_{Tk} = \pm \alpha_T \cdot E_a \cdot A_s \cdot \Delta T_N = \pm 0,000012 \cdot 200000\text{MPa} \cdot 2 \cdot 0,00768\text{m}^2 \cdot 30 = \pm 1,106\text{MN}$$

Z tej wielkości na łożyska stałe i podporę przenosi się następująca wielkość:

$$F_{Tk} = \pm 0,6k L_T = \pm 0,6 \cdot 20 \cdot 35 = \pm 360\text{kN}$$

Na skutek hamowania powstaje siła pozioma:

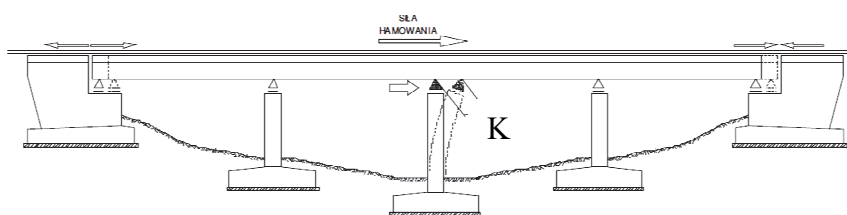
$$F_{Hk} = \pm 20 \cdot 35 = \pm 700\text{kN}$$

Z tego 60% przejmuje łożysko stałe, czyli  $F_{Hk} = 0,6 \cdot 700 = 420\text{kN}$ , a szyny przejmują 40% tej wartości czyli  $H_{Hk} = 0,4 \cdot 700 = 280\text{kN}$ .

Obliczając na tej podstawie naprężenia w szynach, przy pominięciu naprężeń wywołanych obrotem ustroju nośnego nad łożyskami, otrzymuje się następujące wartości:

- wskutek zmian temperatury siła w szynie wynosi:  $H_{Tk} = 1,106 - 0,36 = 0,746\text{MN}$
- całkowita siła w szynie  $H = 0,746 + 0,28 = 1,157\text{M}$
- naprężenie w szynie  $\sigma = 75,3\text{MPa}$

Warunkiem uniknięcia montażu przyrządów wyrównawczych jest aby podpory miały odpowiednią sztywność poziomą. Na rys. 4 pokazano wpływ sztywności filara na przemieszczenie ustroju nośnego pod wpływem działania sił poziomych. W analizowanym moście sztywność pozioma filara  $K_p$  wynosiła  $135\,000\text{kN/m}$  co jest większe od minimalnej sztywności wynoszącej, wg przepisów DB[1],  $100\,000\text{kN/m}$  dla filara w środku przy długości pomostu równej  $120\text{m}$ .



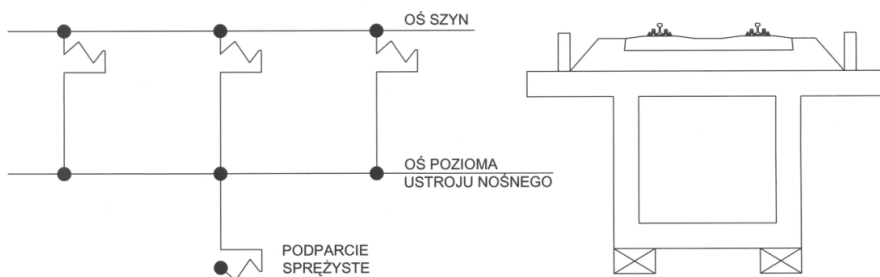
Rys. 4. Wpływ podatności podpór na poziome przemieszczenia ustroju nośnego względem toru

## 4. ANALIZA WSPÓLNEJ ODPOWIEDZI TORU I MOSTU

### 4.1. Model obliczeniowy

Sposób wykonania analizy wspólnej odpowiedzi konstrukcji szczegółowo jest w zawarty w normie [5] i przepisach UIC [6]. Dla mostów, w których długość rozszerzania jest mniejsza niż 40m można stosować metodę uproszczoną. W przypadku rozpatrywanego obiektu ta metoda nie mogła mieć zastosowania.

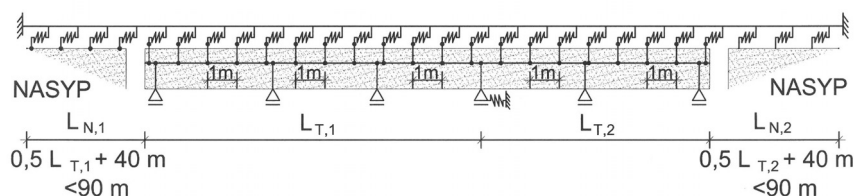
Obliczenia wykonano na modelu, w którym uwzględniono nieliniowe oddziaływanie pomiędzy torem i konstrukcją ustroju nośnego. Na rys.5 pokazano schemat modelu połączenia toru z ustrojem nośnym wg UIC[6] z zastosowaniem plastyczno-sprężystych elementów łączących.



Rys. 5. Model obliczeniowy połączenia szyn z ustrojem nośnym[6]

Model obliczeniowy mostu pokazano na rys.6. Pomiędzy osią szyn a górną powierzchnią pomostu znajduje się połączenie zamodelowane przy pomocy biliniowego podparcia sprężystego, którego parametry zgodne są z plastycznym oporem toru na ścinanie  $k$ . Ustrój nośny podparty jest na podporach, które mają sztywność poziomą w poziomie łożysk, przedstawioną przy pomocy podparcia sprężystego. Podparcie sprężyste podpory z łożyskiem stałym obliczone zostało na podstawie analizy zachowania się tej podpory pod wpływem działania sił poziomych.

Do obliczeń wykorzystano wyspecjalizowany program komputerowy[4], w którym zaprogramowano model konstrukcji i modele oddziaływań.



Rys. 6. Model obliczeniowy mostu

#### 4.2. Założenia i zakres obliczeń

W obliczeniach uwzględniono m.in. następujące parametry toru i konstrukcji mostu:

- tor na obiekcie jest prosty lub o promieniu  $R \geq 1500\text{m}$ ,
- grubość podsypki pod podkładami wynosi co najmniej 30cm,
- podłużny plastyczny opór toru na ścinanie wynosi  $k = 20 \div 40 \text{ kN/m}$  dla toru nieobciążonego,
- i odpowiednio  $k = 60 \text{ kN/m}$  dla toru obciążonego,
- sztywność pozioma podpory z łożyskiem stałym, określona na podstawie rzeczywistych charakterystyk geometryczno-materiałowych i parametrów podłoża, wynosi 135 000 kN/m,
- sztywność poziomą przyczółków przyjęto równą  $1\text{E}6 \text{ kN/m}$ .

Przyjęto kryteria dotyczące naprężeń w szynach wg normy[5]. Są one następujące:

- dodatkowe naprężenia w szynie UIC60 o wytrzymałości na rozciąganie co najmniej 900MPa wywołane wspólną odpowiedzią konstrukcji i toru należy ograniczyć do 72MPa w odniesieniu do naprężeń ściskających oraz do 92MPa w odniesieniu do naprężeń rozciągających.

Uwzględniono następujące oddziaływania:

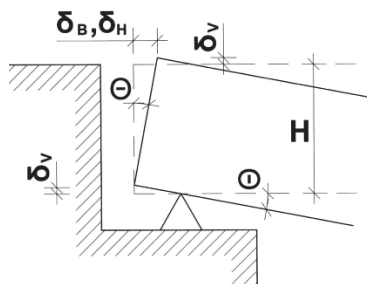
- obciążenie pionowe taborem Model Obciążenia 71,  $\alpha_k = 1,21$ ,
- towarzyszące oddziaływania wywołane hamowaniem lub przyspieszaniem taboru:
  - siły hamowania taboru kolejowego wynoszą  $20\text{kN/m}$  toru  $\leq 6000\text{kN}$
  - przyspieszenie wynosi  $33\text{kN/m}$  toru  $\leq 1000\text{kN}$
- oddziaływania termiczne:
  - zmiana temperatury przęsła  $\pm 35^\circ\text{C}$ ,
  - zmiana temperatury szyny  $\pm 50^\circ\text{C}$
  - maksymalna różnica temperatury między szyną a konstrukcją przęsła  $\pm 20^\circ\text{C}$ .

#### 4.3. Sprawdzenie parametrów przemieszczeń konstrukcji wg PN- EN 1991-2 pkt.6.5.4.5.2 [5]

##### 4.3.1. Wymagania

Konstrukcja ustroju nośnego, aby można rozpatrywać tor ciągły musi zapewnić spełnienie wymagań dotyczących granicznych przemieszczeń konstrukcji nad łożyskami skrajnymi.

Schemat oznaczeń przemieszczeń pokazano na rys. 7.



Rys. 7. Schemat przemieszczeń nad łożyskiem skrajnym

W wyniku przyspieszania i hamowania względne przemieszczenie podłużne  $\delta_B$  [mm] między końcem przęsła a przyległym przyczółkiem, lub względnym przemieszczeniem podłużnym między dwoma kolejnymi przęsłami nie powinno przekraczać następującej wartości:

- 5 mm w przypadku szyn bezstykowych bez przyrządów wyrównawczych lub z przyrządem wyrównawczym na jednym końcu przęsła.

W przypadku pionowych oddziaływań ruchomych (do dwóch torów obciążonych Modelem Obciążenia 71 i, jeśli trzeba, SW/0) podłużne przemieszczenie górnej powierzchni pomostu na końcu przęsła wywołane odkształceniem przęsła  $\delta_H$  [mm] nie powinno przekraczać następującej wartości:

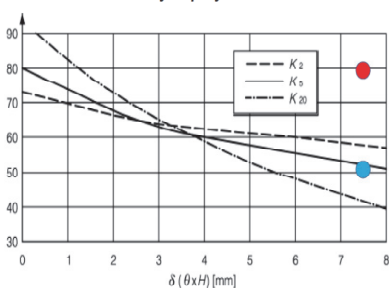
- 8 mm, gdy uwzględniane jest łączne zachowanie konstrukcji i toru (ważne, gdy jest tylko jedno urządzenie wyrównawcze lub nie ma żadnego).

Przemieszczenie pionowe górnej powierzchni przęsła względem przyległej konstrukcji (przyczółka lub innego przęsła)  $\delta_v$  [mm] wywołane oddziaływaniami zmiennymi nie powinno przekraczać następujących wartości:

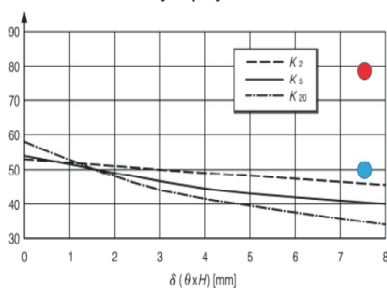
- 3 mm przy miejscowej maksymalnej prędkości liniowej do 160 km/h,
- 2 mm przy miejscowej maksymalnej prędkości liniowej powyżej 160 km/h.

#### 4.3.2. Sprawdzenie przemieszczeń na końcach ustroju nośnego bez uwzględniania współpracy z torem.

- dla mostów stalowych przy  $k=20/60$  kN/mb



- dla mostów stalowych przy  $k=40/60$  kN/mb



Rys. 8. Sprawdzenie przemieszczeń poziomych ustroju nośnego wg załącznika G[5]



Na rys.8 pokazano obliczone wartości przemieszczeń na wykresach zamieszczonych w PN-EN[5] załącznik G. Dla obydwu przypadków, przy  $k=20/60\text{kN/m}$  i  $k=40/60\text{kN/m}$  (lato/zima) i dla obydwu końców ustroju nośnego, wartości poziomych przemieszczeń są zbyt duże.

#### 4.3.3. Wyniki obliczeń przemieszczeń

Względne przemieszczenie podłużne  $\delta_B$  między końcami przęseł lub pomiędzy końcem przęsła a przyczółkiem wynosi:

a) przy obciążeniu hamowaniem lub przyspieszeniem dla toru bezстыkowego

$$\delta_{B\max} = 7,4 \text{ mm}$$

b) przy obciążeniu hamowaniem lub przyspieszeniem dla toru z przyrządami wyrównawczymi na obu końcach

$$\delta_{B\max} = 23,6 \text{ mm}$$

Wniosek: Warunek granicznych przemieszczeń poziomych na końcach pomostu jest niespełniony dla toru bezстыkowego.

Przemieszczenie podłużne górnej powierzchni na końcu pomostu  $\delta_H$  wywołane odkształceniem przęsła obciążonym taborem model obciążenia 71 wynosi:

$$\delta_{H\max} = 6,5 \text{ mm}$$

Wniosek: warunek granicznych przemieszczeń poziomych górnej powierzchni pomostu jest spełniony dla toru bezстыkowego.

Wstępna analiza potwierdziła konieczność stosowania przyrządów wyrównawczych.

#### 4.4. Wartości naprężeń w szynach

Obliczone wartości naprężeń w szynach zastawiono w tablicy 1.

Tablica 1. Wartości naprężeń w szynach dla zaprojektowanego mostu

Plastyczny opór na ścinanie toru nieobciążonego/obciążonego		Reakcja pozioma na podporę	Przemieszczenie poziome podpory	Naprężenia rozciągające	Naprężenia ściskające
Kombinacja	k [kN/m]	R <sub>H</sub> [kN]	U <sub>x</sub> [mm]	Δσ <sub>r</sub> [MPa]	Δσ <sub>c</sub> [MPa]
(1) Lato	20/60	2405	13,7	–	87
(2) Zima	40/60	2470	14,1	106	–
Poziom naprężeń w stosunku do dopuszczalnych (wytężenie)				<b>115%</b>	<b>120%</b>

Na podstawie przeprowadzonej analizy okazało się, że dla zaprojektowanego mostu z torem bezстыkowym, naprężenia rozciągające w szynach są przekroczone o ok. 15% a naprężenia ściskające o ok. 20%.

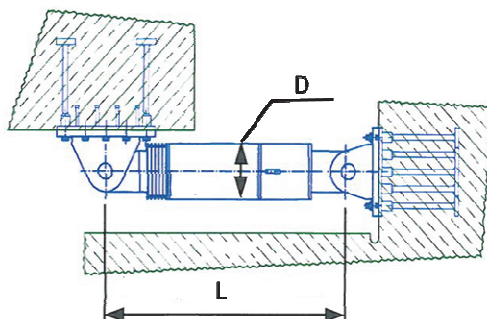
Około 60% sił poziomych przejmował filar. Na skutek tego, że filar przejmował tak znaczną siłę poziomą doznawał również znacznego poziomego przemieszczenia. W celu zmniejszenia tego przemieszczenia i w związku z tym zmniejszenia sił poziomych przejmowanych przez filar, połączono końce ustroju nośnego z przyczółkami przy pomocy tłumików.

## 5. ZWIĘKSZENIE POZIOMEJ SZTYWNOŚCI PRZY POMOCY TŁUMIKÓW

### 5.1. Działanie tłumików

Zasada działania urządzeń tłumiących opiera się na klasycznym siłowniku hydraulicznym, w którym siła reakcji wynika z przepływu płynu, który przemieszcza się z jednej komory do drugiej. Siła tłumienia wytwarzana przez urządzenie zależy bezpośrednio od prędkości przesuwu.

Dla niskich prędkości przesuwu wynikających np. ze zmian termicznych siła tłumienia jest pomijalnie mała, a tłumik nie generuje oporów. Siła tłumienia gwałtownie wzrasta dopiero przy wystąpieniu dużej prędkości, wynikającej np. z hamującego na obiekcie pociągu. Charakterystyka działania urządzenia dobierana jest w zależności od przeznaczenia i związanych z tym maksymalnych prędkości przesuwu. Na rys. 9 pokazano schemat konstrukcji tłumika.



Rys. 9. Schemat konstrukcji tłumika

### 5.2. Dobór tłumików

Obliczenie podstawowych parametrów urządzeń tłumiących (siła tłumienia) wykonano przy założeniach, które sformułowano w oparciu o wyniki obliczeń dla interakcji układu tor-konstrukcja dla toru bezstykowego.

Podstawowe założenia, na podstawie których określono wymagane minimalne siły tłumienia:

Całkowita charakterystyczna siła hamowania na długości mostu:

$$\sum H = 1,21 \times 20,0 \text{ kN/m} \times 132,0 \text{ m} = 3200 \text{ kN}.$$

Na ustrój nośny i podpory przenosi się 60% siły hamowania.

Pozostałe 40% całkowitej siły hamowania jest przenoszone przez nasyp kolejowy za pośrednictwem szyn, podkładów i tuczni.

Siła hamowania przekazywana na obiekt będzie przenoszona przez podporę z łożyskiem stałym i tłumiki hydrauliczne zlokalizowane na przyczółkach.

Podatność pozioma (sztywność) podpory z łożyskiem stałym jest niezmienną i wynosi 135 000 kN/m. Bezwładność reakcji tłumików na impuls obciążenia przyjęto w zakresie 2-3mm.

Na rys. 10 pokazano uproszczony schemat obliczeniowy konstrukcji.



Rys. 10. Schemat podparcia ustroju nośnego z tłumikami na przyczółkach

Przeanalizowano realizację tłumienia siły hamowania na trzy sposoby w zależności od lokalizacji tłumików na konstrukcji obiektu:

A – Tłumiki z jednej strony obiektu na przyczółkach,

B – Tłumiki z obu stron obiektu na przyczółkach.

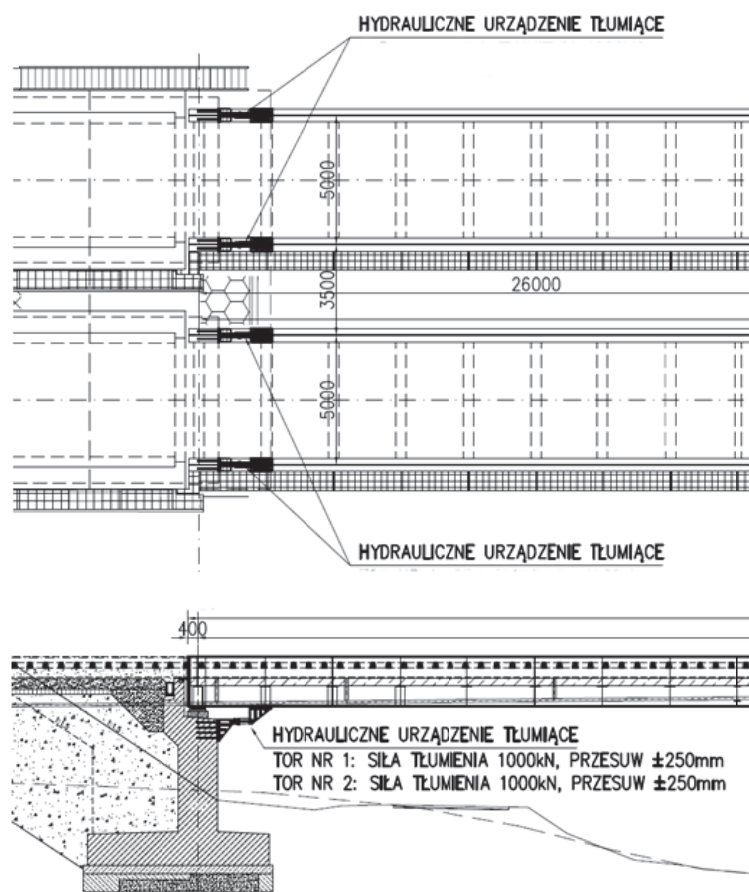
Wyniki obliczenia wymaganych wartości sił tłumienia (maksymalnych reakcji poziomych) dla trzech wariantów rozmieszczenia tłumików zestawiono w tablicy 2.

Tablica 2. Zestawienie obliczonych wartości sił przekazywanych przez tłumiki na przyczółki

Rozmieszczenia tłumików na konstrukcji obiektu	Siła tłumienia [kN] na przyczółku 1	Reakcja pozioma [kN] Podpora stała	Siła tłumienia [kN] na przyczółku 6
Brak urządzeń tłumiących	x	$2 \times 1235 = 2470$ kN	x
Tłumiki na przyczółku 1	$2 \times 850 = 1700$ kN	$2 \times 385 = 770$ kN	x
Tłumiki na obydwu przyczółkach	$2 \times 520 = 1040$ kN	$2 \times 325 = 650$ kN	$2 \times 390 = 780$ kN
Tłumiki na przyczółku 6	x	$2 \times 400 = 800$ kN	$2 \times 835 = 1670$ kN

Z uwagi na to, że największe przekroczenie naprężeń dla toru bezстыkowego ma miejsce od strony większej długości rozszerzania rozważano następującą alternatywę: dwa tłumiki na przyczółku nr 1 lub po dwa tłumiki na obydwu przyczółkach.

Ostatecznie wybrano rozwiązanie polegające na zastosowaniu po dwa tłumiki dla każdego toru tylko na przyczółku nr 1. Na rys. 11 pokazano schemat przymocowania tłumików do ustroju nośnego i przyczółka nr 1.



Rys. 11. Schemat przymocowania tłumików na przyczółku

Po rozpatrzeniu dostępnych tłumików na rynku przyjęto następujące urządzenia:

- Tłumiki o sile tłumienia **1000kN** i przesuwie podłużnym wzdłuż osi mostu  **$\pm 250$ mm**
  - zlokalizowane przy przyczółku nr 1 w torze nr 1 – 2 szt.
- Tłumiki o sile tłumienia **1000kN** i przesuwie podłużnym wzdłuż osi mostu  **$\pm 250$ mm**
  - zlokalizowane przy przyczółku 1 w torze nr 2 – 2 szt.

### 5.3. Obliczenie naprężeń dla konstrukcji o zwiększonej sztywności poziomej

Wyniki obliczeń naprężeń w szynach dla ustroju nośnego z tłumikami łączącymi ustrój nośny z przyczołkiem 1 zestawiono w tablicy 3. Wyniki obliczeń wskazują, że w szynach nie zostaną przekroczone wartości dopuszczalne dodatkowych naprężeń wynikających ze współpracy toru z ustrojem nośnym.

Tablica 3. Wartości naprężeń w szynach dla zaprojektowanego mostu z tłumikami

Plastyczny opór na ścinanie toru nieobciążonego/obciążonego		Naprężenia rozciągające	Naprężenia ściskające
Kombinacja	k [kN/m]	$\Delta\sigma_r$ [MPa]	$\Delta\sigma_c$ [MPa]
(1) Lato	20 / 60	–	58
(2) Zima	40 / 60	69	–
Poziom wyteżenia:		<b>75%</b>	<b>80%</b>

## 6. PODSUMOWANIE

Wykonana szczegółowa analiza dodatkowych naprężeń w szynach wynikająca ze współpracy toru i mostu potwierdziła, że należy w torze umieścić przyrządy wyrównawcze. Ten wymóg zgodny jest wymaganiami przepisami i normami. Ze względu na to, że istotny wpływ na wielkość naprężeń w szynach ma sztywność pozioma podpór, w celu jej zwiększenia, połączono dodatkowo ustrój nośny z przyczołkami przy pomocy tłumików, które działają jak poziome podparcia sprężyste, gdy przemieszczenie wywoływane jest w sposób dynamiczny, a nie stawiają istotnych oporów przy przemieszczeniach wolnozmiennych. Ponownie wykonane obliczenia wykazały, że tak zmodyfikowany sposób podparcia ustroju nośnego spowodował, że dodatkowe naprężenia w szynach zmieściły się w dopuszczalnych granicach dla toru bezstykowego. To pozwoliło na rezygnację z montażu przyrządów wyrównawczych.

## LITERATURA

1. Sturzbecher K., *Przyrządy wyrównawcze w świetle aktualnych przepisów i norm europejskich*, Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej PP. Poznań 2015, 237–238.
2. Freistein H., Geissler K., *Interaktion Gleis/Bruecke bei Stahlbruecken mit Beispielen*, Stahlbau 82(2013) H.2, 78–86.
3. Wenner M., Lippert P., Plica S., Mrx S., *Längskraftabtragung auf Eisenbahnbrücken*. Bautechnik nr 2, 2016, 59–67.
4. Midas Civil. Rail Structure Interaction.
5. PN-EN 1991-2 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje.
6. Część 2: Obciążenie ruchome mostów.
7. UIC Code 774-3 Track/Bridge Interaction. Recommendations for calculation.

## **INCREASING OF HORIZONTAL STIFFNESS REMOVES THE NEED FOR THE INSTALLATION OF RAIL EXTENSION DEVICES**

### **Summary**

The data collected on the impact of additional stresses found on the rails had a direct correlation between the track and the bridge. The results displayed a need for the rail expansion devices to be placed in the track. Due to the fact that the stiffness of the supports had a significant effect on the stresses that developed, in order to increase the stiffness, an additional support structure was connected with footholds by means of faders which act as horizontal spring supports. The calculations have shown that the removal of the rail expansion devices has caused the additional stresses in the rails to fit within the allowable limits of the track. As a result of the removal they were more effective; however, this was also due to length of expansion.