

# KŁADKI DLA PIESZYCH

## przykład projektowania koncepcyjnego

Część 6.

Niniejszy artykuł wieńczy cykl poświęcony projektowaniu kładek dla pieszych jako wprowadzenie dla młodych inżynierów pragnących wziąć udział w organizowanym przez „Buildera” konkursie. Przedstawiony przykład stanowi zarys projektu koncepcyjnego kładki rowerowej.



**dr inż. Mariusz Hebda**  
Politechnika Krakowska  
Katedra Budowy Mostów  
i Tuneli



wskazówka

KONKURS  
DLA MŁODYCH  
INŻYNIERÓW

20  
17  
EDYCJA I

Na podstawie przyjętych przykładowo uwarunkowań terenowych i warunków gruntowo-wodnych zostanie zaproponowany optymalny typ konstrukcji kładki oraz sposób jej posadowienia. Następnie przeprowadzone zostaną obliczenia statyczno-wytrzymałościowe sprawdzające przyjęte przekroje konstrukcji nośnej oraz analiza komfortu użytkowników kładki z uwagi na możliwość dynamicznego wzbudzenia drgań.

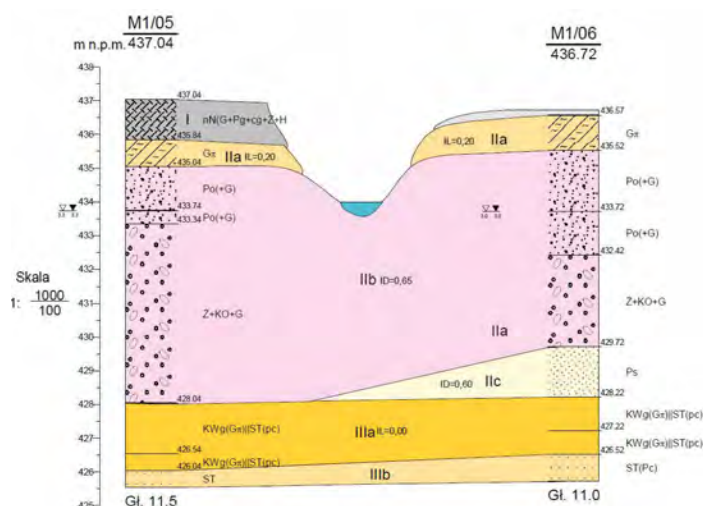
### Opis przeszkody, warunków gruntowo-wodnych i konstrukcji kładki

Zakłada się, że projektowana kładka będzie usytuowana w ciągu trasy rowerowej nad przeszkodą w postaci rzeki górskiej o szerokości koryta przy przepływie normalnym około 35 m. Obliczenia hydrauliczno-hydrologiczne dla prawdopodobieństwa przepływu miarodajnego 1% wykazały konieczność utrzymania światła poziomego obiektu wynoszącego 57,5 m i określiły poziom wody miarodajnej na rzędnej 438,39 m n.p.m. Najniżej położona część konstrukcji przęsła powinna być usytuowana o min. 1,0 m ponad rzędną wody miarodajnej, a więc ponad rzędną 439,39 m n.p.m. Niweletę drogi rowerowej ukształtowano w miejscu przejścia przez przeszkodę w postaci tuku pionowego o promieniu 750,8 m z rzędną w najwyższym punkcie 440,72 i nad podporami 440,15 m n.p.m. Widać zatem, że wysokość konstrukcyjna przęsła kładki nie może przekroczyć wielkości  $h = 439,39 - 440,15 = 0,76$  m.

Warunki geotechniczne w rejonie posadowienia kładki przedstawia profil geologiczny (rys. 1.) opracowany na podstawie dwóch odwiertów badawczych. Wyróżniono trzy pakiety gruntów pod względem ich pochodzenia. Pakiet I obejmuje grunty pochodzenia antro-

pogenicznego, pakiet II to utwory czwartorzędowe i pakiet III utwory trzeciorzędowe. W poszczególnych pakietach wyróżniono:

- warstwę I: nasyp budowlany;
- warstwę IIa: utwory spoiste w postaci gliny pylastej w stanie twar doplastycznym ( $I_L = 0,20$ ), bardzo wysadzinowe;
- warstwę IIb: utwory piaszczysto-żwirowe w postaci pospółki zaglinionej oraz żwiru z otoczkami i gliną w stanie średnio zagęszczonym ( $I_D = 0,65$ ), wątpliwe z uwagi na zauważalną zawartość części pylastych;
- warstwa IIc: utwory niespoiste w postaci piasku średniego w stanie średnio zagęszczonym ( $I_D = 0,65$ ), niewysadzinowe;
- warstwa IIIa: utwory spoiste w postaci zwierzeliny gliniastej w stanie zwartym i półzwartym ( $I_L = 0,00$ ), wątpliwe pod względem wysadzinowości;
- warstwa IIIb: utwory skaliste w postaci piaskowca.



Rys. 1. Profil geologiczny podłoża

### Przyjęcie typu konstrukcji kładki i sposobu jej posadowienia

Konieczną wysokość konstrukcyjną przęsła kładki określono powyżej na 76 cm. Wymagane światło poziome obiektu prowadzi do konstrukcji o rozpiętości teoretycznej przęsła wynoszącej około 60 m. Przy takiej rozpiętości nie będzie możliwe zastosowanie najprostszej konstrukcji belkowej. Pod uwagę należy brać tylko konstrukcje

z głównym elementem nośnym ponad jezdnią, a więc kratownice i łuki z jazdą górą, ewentualnie też konstrukcje podwieszane. W konstrukcjach takich można ukształtować pomost o stosunkowo niewielkiej wysokości konstrukcyjnej. Wybór typu konstrukcji będzie tu uzależniony od oczekiwanych walorów architektonicznych obiektu, które mogą zależeć od miejsca jego lokalizacji, a także od subiektywnych odczuć projektanta. Kładki podwieszane, na przykład z jednym ukośnym pylonem, sprawdzają się w terenach miejskich i nad drogami szybkiego ruchu jako punkty typu „landmark”. W terenie pozamiejskim tego typu konstrukcje należy stosować ze szczególnym wyczuciem, bowiem niekorzystną cechą może być ich dominacja w terenie o ciekawym ukształtowaniu krajobrazowym. Wydaje się, że uniwersalnym rozwiązaniem mogą być obiekty w formie łuków. Szczególnie dobrze wtapiają się w otoczenie wiotkie łuki z delikatnie zarysowaną siatką podwieszę. Konstrukcje takie dobrze harmonizują z otoczeniem przyrodniczym, a ich forma architektoniczna jest na tyle atrakcyjna, że sprawdzą się również jako obiekty typu „landmark” czy w terenie miejskim. Na potrzeby niniejszego przykładu przyjęto konstrukcję kładki w postaci łuku z pomostem podwieszonym za pomocą wieszaków stalowych w układzie trójkątnym (tzw. układ Nielsena). Trójkątny układ wieszaków, w odróżnieniu od pionowego, daje możliwość zastosowania znacznie bardziej smukłego łuku, co pozwala uzyskać konstrukcję o delikatnej formie.

Poszukując właściwego sposobu posadowienia obiektu, należy brać pod uwagę warunki gruntowe, a także stosunki wodne panujące w podłożu. Przy rzekach typu górskiego z wartkim nurtem dobrze jest posadzić stopę około 1,20–1,50 poniżej dna rzeki celem zabezpieczenia fundamentu przed podmyciem. W analizowanym przypadku wymagałoby to wykonania dość głębokich, bo liczących ponad 3 m wykopów. Biorąc dodatkowo pod uwagę, że grunty występujące na tym poziomie (warstwa IIb) zostały zaliczone do wątpliwych z uwagi na zawartość części pylastych, a także na stosunkowo wysoko zalegający strop skały piaskowca, zdecydowano przyjąć posadowienie pośrednie na palach, doprowadzając ich podstawę aż do warstwy skalnej.

## Opis rozwiązań projektowych

Konstrukcję nośną kładki stanowią dwa łuki stalowe z pomostem podwieszonym za pomocą wieszaków w układzie trójkątnym. Łuki o przekroju rurowym kołowym są nachylone ku sobie i stężone poprzecznie w środkowej części stężeniami o przekroju rurowym. Pomost składa się z poprzecznicy blachownicowych i podłużnic z dwuteowników walcowanych połączonych ze sobą sztywno w węzłach. Podwieszenie w postaci prętów stalowych z zamocowaniem systemowym typu sworzniowego. Pomost połączony z dźwigarami łukowymi w osiach poprzecznic skrajnych stanowi ściągnięty rozpór łuku.

Konstrukcja opiera się na masywnych betonowych przyczółkach za pośrednictwem łożysk neoprenowych, w ilości pod dwa na każdej

podporze. Obie podpory są posadowione na palach wielkośrednicowych wierconych. Długość pali przyjęto 10,0 m, tak aby ich podstawa została zagłębiona w skałę na głębokość około 50 cm.

Podstawowe parametry geometryczne kładki są następujące:

- szerokość użytkowa:  $s_u = 2,50$  m
- długość całkowita (w świetle ścianek zapleczych):  $L_c = 59,40$  m
- rozpiętość w świetle podpór:  $L_o = 57,50$  m
- rozpiętość teoretyczna:  $L_t = 58,30$  m
- strzałka w płaszczyźnie łuku:  $f = 8,064$  m
- wyniosłość łuku:  $f/L_t = 0,14$
- wysokość konstrukcyjna pomostu:  $h_k = 0,60$  m.

Konstrukcję pomostu stanowi sztywny ruszt stalowy składający się z poprzecznicy i podłużnic. Rozstaw poprzecznic wynosi 4485 mm. Poprzecznicę zaprojektowano jako blachownicę dwuteową o zmiennej wysokości. W części środkowej wysokość poprzecznic wynosi 450 mm i zmniejsza się do około 280 mm w częściach skrajnych poprzecznic w rejonie zamocowania podwieszenia. Pasy poprzecznic przyjęto z blach 350 x 22, średnik z blachy o grubości 14 mm.

Podłużnice zaprojektowano z dwuteowników walcowanych HEB300. W zasadniczej części obiektu występują cztery podłużnice w rozstawie co 850 mm, natomiast w częściach skrajnych, na odcinkach dwóch rozstawów poprzecznic, pojawiają się dodatkowe dwie podłużnice usytuowane ukośnie w kierunku miejsca oparcia dźwigara łukowego.

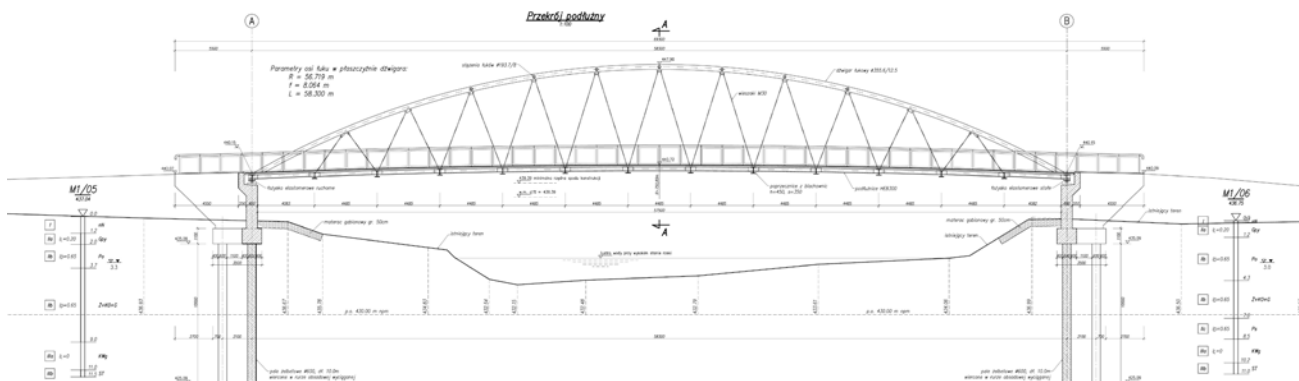
Środniki poprzecznic w miejscach zamocowania wieszaków są wzmocnione żebrami o grubości 12 mm, w ilości po dwa z każdej strony środka. Wzmocnienie środka żebrami występuje też w poprzecznicach podporowej, w strefach nad łożyskami oraz w miejscach zakończenia podłużnic.

Łukowa konstrukcja nośna składa się z dwóch dźwigarów o przekroju z rury  $\varnothing 355,6/12,5$ . Wewnętrzny promień wygięcia każdego z dźwigarów w ich płaszczyznach wynosi 56,541 m. Nachylenie płaszczyzn dźwigarów w stosunku do poziomu wynosi  $77,4^\circ$ . Stężenia poprzeczne dźwigarów przyjęto w postaci pojedynczych prętów o przekroju z rur  $\varnothing 193,7/8$ . Stężenia te rozmieszczono w 7 środkowych węzłach podwieszenia pomostu.

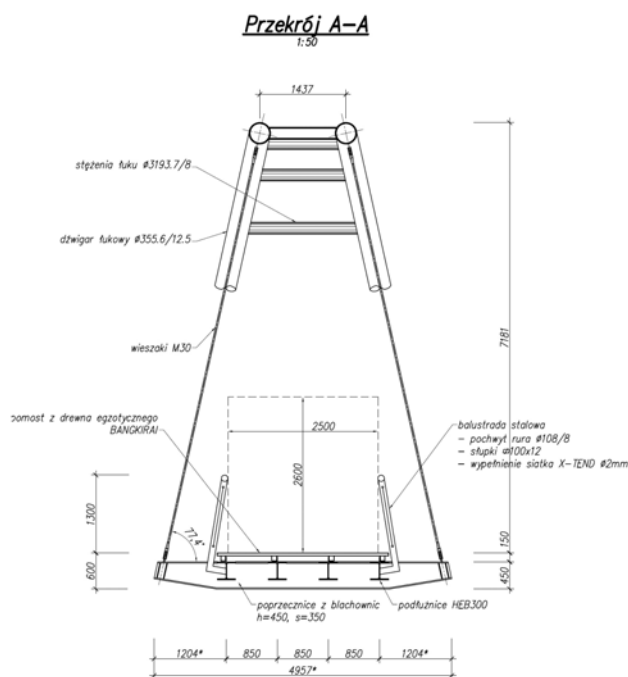
Pomost jest podwieszony do łuków za pomocą wieszaków z prętów stalowych rozmieszczonych w układzie trójkątnym. Zamocowanie wieszaków do dźwigara i do pomostu należy wykonać poprzez blachy węzłowe o grubości 22 mm. Wieszaki do blach węzłowych należy zamocować za pomocą systemowych łączników, które składają się z widelca, sworznia i nakrętki blokującej gwint.

Przyjęto, że nawierzchnia kładki będzie wykonana z drewna egzotycznego BANGKIRAI. Deski będą mocowane wkrętami do legarów, które z kolei przykręcane śrubami są do blach łącznikowych spawanych do pasów górnych podłużnic. Balustrada na ścieżkach rowerowych powinna mieć wysokość równą 1,3 m. Aby nieco podnieść walory estetyczne balustrady i uczynić ją wizualnie lżejszą, przyjęto wypełnienie pomiędzy słupkami z siatki stalowej o średnicy drutu 2 mm.

Rys. 2. Przekrój podłużny kładki



Aby zminimalizować ingerencję obiektu w otaczający krajobraz, założono malowanie stalowej konstrukcji nośnej i balustrad na kolor szary (RAL 9006), natomiast przyczółki w kolorze naturalnego betonu (RAL 7038).



Rys. 3. Przekrój poprzeczny kładki

### Założenia do obliczeń statyczno-wytrzymałościowych

Podstawowe parametry geometryczne kładki, a także przekroje poprzeczne jej elementów nośnych przyjmujemy wstępnie w oparciu o własne doświadczenie bądź też wzorując się na podobnych obiektach już wykonanych, których opis znajdziemy w literaturze. Kolejnym krokiem w projektowaniu koncepcyjnym jest obliczeniowe sprawdzenie przyjętych parametrów, mające na celu wykazać, że spełnione będą normowe stany graniczne nośności i użyteczności.

Obliczenia przeprowadzono zgodnie z systemem norm PN-EN, czyli tak zwanych Eurokodów. Obliczenia statyczne i dynamiczne przeprowadzono metodą elementów skończonych w systemie obliczeniowym Autodesk Robot Structural Analysis. Zastosowano model obliczeniowy klasy ( $e^1$ ,  $p^3$ ), to jest elementy jednowymiarowe (pręty) w układzie przestrzennym. Schemat modelu przedstawiono na rys. 4. Każdy element prętowy w modelu posiada charakterystyki geometryczne i materiałowe odpowiadające przyjętym w koncepcji przekrojom.

Stany graniczne nośności i użyteczności sprawdzono w oparciu o wytyczne norm PN-EN. W ramach stanów granicznych użyteczności sprawdzono komfort użytkownika kładki z uwagi na częstotliwości i przyspieszenia drgań wzbudzanych przez użytkowników.

Uwzględniono obciążenia ciężarem własnym konstrukcji, ciężarem własnym elementów wyposażenia oraz obciążenia użytkowe. Pominięto wpływ obciążeń temperaturą i działaniem wiatru jako nieistotnych dla określenia nośności w omawianym obiekcie.

Na pionowe obciążenia użytkowe zgodnie z normą [1] składają się: obciążenie równomiernie rozłożone  $q_{fk}$  (reprezentujące oddziaływanie pieszych lub rowerzystów), obciążenie skupione  $Q_{fjk} = 10$  kN i obciążenie pojazdem serwisowym  $Q_{serv}$ . Obciążenia te wzajemnie się wykluczają, należy je zatem analizować jako osobne przypadki obciążenia. Na analizowanym obiekcie zakłada się brak możliwości wjazdu pojazdu serwisowego (z uwagi na niewystarczającą szerokość użytkową kładki), to obciążenie zatem nie występuje. Z uwagi na znaczną długość obiektu z pozostałych dwóch obciążeń pionowych decydujące znaczenie ma obciążenie równomiernie rozłożone. Obciążenie to przyjmowano o intensywności związanej z długością obciążenia (L), według formuły:

$$q_{fk} = 2,0 + 120/(L + 30) \quad (1)$$

co dało wartości  $q_{fk} = 3,4$  kN/m<sup>2</sup>, gdy piesi znajdują się na całej długości pomostu i  $q_{fk} = 4,0$  kN/m<sup>2</sup>, gdy piesi znajdują się na połowie długości pomostu.

Dodatkowo zgodnie z normą [1] jako obciążenie użytkowe przyjmowano też siłę poziomą przyłożoną do pomostu, o wartości równej 10% obciążenia pionowego  $q_{fk}$ .

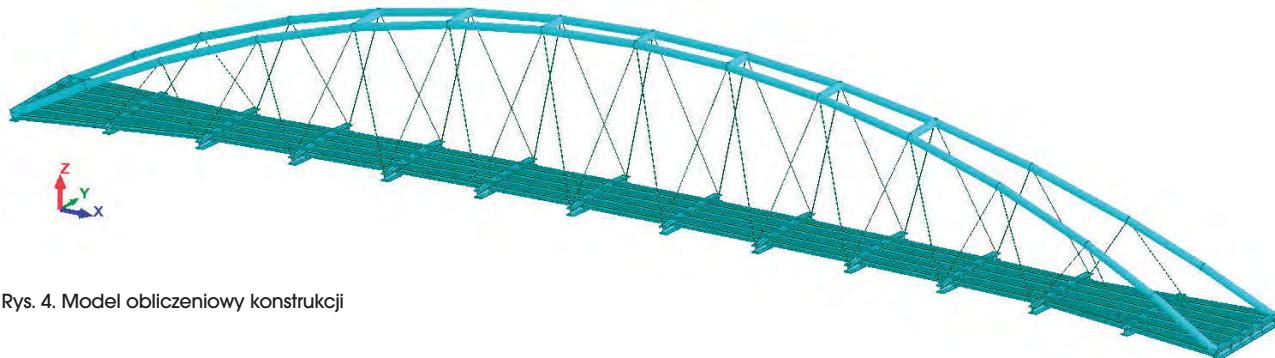
Przyjęto, że wszystkie elementy stalowej konstrukcji kładki będą wykonane ze stali S235 o granicy plastyczności  $f_y = 235$  MPa.

### Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe stalowej konstrukcji przęsła

Konstrukcja analizowanej kładki składa się z trzech głównych elementów, to jest z dźwigara łukowego, pomostu pełniącego rolę ściągu i systemu podwieszenia. Dźwigar łukowy jest poddany ścisnaniu z dwukierunkowym zginaniem i zgodnie z normą [2] należy sprawdzić krytyczne przekroje na to obciążenie oraz dodatkowo uwzględnić możliwość wyboczenia łuku. Wyboczenie należy przeanalizować w płaszczyźnie i z płaszczyzny łuku.

Pomost składa się z rusztu stalowego w postaci poprzecznic i podłużnic. Podłużnice są elementami rozciąganyymi (ściągi dla łuku), w których występuje również zginanie w dwóch kierunkach, pochodzące od pionowego oddziaływania poprzecznic oraz od przestrzennej pracy łuku. Podłużnice należy zatem sprawdzić na rozciąganie z dwukierunkowym zginaniem, ze sprawdzeniem możliwości zwichrzenia przy zginaniu.

W poprzecznicach nie występuje siła podłużna, są to elementy poddane jedynie zginaniu. W płaszczyźnie pionowej występuje zginanie od bezpośredniego działania obciążeń użytkowych (momenty  $M_y$ ), natomiast w płaszczyźnie poziomej poprzecznic zginane są od sił przekazywanych przez rozciągane podłużnice (momenty  $M_x$ ). W przypadku poprzecznic nie ma konieczności sprawdzania utraty stateczności przez zwichrzenie, z uwagi na przytrzymanie ściskanego pasa poprzecznic przez połączonej z nim sztywno podłużnice.



Rys. 4. Model obliczeniowy konstrukcji



Pręty podwieszenia pomostu należy oczywiście sprawdzić tylko na rozciąganie, należy jednak zawsze sprawdzić podczas analizy statycznej, czy nie występują takie ustawienia obciążenia użytkowego, dla którego w kombinacji z obciążeniem stałym konstrukcji i wyposażenia nie dojdzie do ściskania wieszaków. Takie wieszaki jako elementy wiotkie należy pominąć w analizie i dokonać redystrybucji sił w konstrukcji (analiza nieliniowa) lub też przewidzieć ich wstępny naciąg. Schematem obciążenia, które może wywołać ściskanie części wieszaków, jest obciążenie użytkowe ustawione na połowie przęsła.

Obciążenie użytkowe ustawione na połowie przęsła jest też schematem wywołującym maksymalne zginanie dźwigara łukowego. Jest to cecha charakterystyczna wszystkich konstrukcji łukowych, również tych z jazdą górą.

## Sprawdzenie stanu granicznego nośności (SGN) w dźwigarze łukowym

Przekrój poprzeczny dźwigara łukowego to rura  $\varnothing 355,6/12,5$ , której charakterystyki geometryczne są następujące:

- pole powierzchni przekroju:  $A = 135 \text{ cm}^2$
- moment bezwładności:  $I_y = I_z = 19852 \text{ cm}^4$
- wskaźnik wytrzymałości sprężystości:  $W_{y,el} = W_{z,el} = 1116 \text{ cm}^3$
- wskaźnik wytrzymałości plastycznej:  $W_{y,p} I = W_{z,p} I = 1472 \text{ cm}^3$
- klasa przekroju wg [2]: klasa 1

Miarodajne, obliczeniowe siły przekrojowe występują w przekroju podporowym łuku i wynoszą:  $N_{Ed} = 876,19 \text{ kN}$ ;  $M_{y,Ed} = 55,44 \text{ kNm}$ ;  $M_{z,Ed} = 28,47 \text{ kNm}$ . Z uwagi na klasę 1 przekroju przy wyznaczeniu nośności można wykorzystywać właściwości plastyczne stali, określając jej nośność w stanie granicznym plastycznym. Zgodnie z rozdziałem 6.2.9.1 normy [3] mamy:

- nośność plastyczna przekroju na ściskanie:

$$N_{Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} A = 3172,50 \text{ kN} \quad (\gamma_{M0} = 1.0) \quad (2)$$

- nośność plastyczna przekroju na zginanie:

$$M_{Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} W_{y,pl} = 345,08 \text{ kNm} \quad (3)$$

- nośność plastyczna na zginanie z udziałem siły podłużnej:

$$M_{N,Rd} = M_{Rd} \left[ 1 - \left( \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \right)^2 \right] = 319,43 \text{ kNm} \quad (4)$$

- warunek nośności w złożonym stanie obciążenia:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd}} = 0,54 < 1,00 \quad (5)$$

Oprócz sprawdzenia warunku (5) przedstawiającego nośność przekroju należy jeszcze sprawdzić stateczność elementu ściskanego i zginanego, zgodnie z rozdziałem 6.3.3 normy [2], stosując formuły (6.61) i (6.62). Występujące w powyższych formułach współczynniki zwierzchności  $\chi_{LT}$  można pominąć, jako że przekroje rurowe są odporne na zwierzchności. Po pominięciu niewystępujących u nas momentów, wynikających z przesunięcia środka ciężkości przekroju klasy 4, formuły normowe przyjmą postać:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1 \quad (6)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1 \quad (7)$$

Współczynnik materiałowy  $\gamma_{M1}$  stosowany przy analizie stateczności jest równy 1.1. Wielkości  $N_{Rk}$ ,  $M_{y,Rk}$  i  $M_{z,Rk}$  to nośności charakterystyczne przekroju, odpowiednio na ściskanie i zginanie. W przypadku ściskania nośność charakterystyczna jest równa nośności sprężystej i plastycznej określonej wzorem (2), natomiast w przypadku zginania oznaczają nośności sprężyste, które wynoszą  $M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = 262,26 \text{ kNm}$ .

Współczynniki wyoboczeniowe  $\chi_y$  i  $\chi_z$ , uwzględniające odpowiednio możliwość wyoboczenia w płaszczyźnie i z płaszczyzny łuku, należy wyznaczyć, określając siłę krytyczną przy wyoboczeniu, korzystając z załącznika D.3 normy [3]. W przypadku wyoboczenia w płaszczyźnie łuku siła krytyczna jest wyznaczana ze wzoru:

$$N_{cr} = \left( \frac{\pi}{\beta s} \right)^2 E I_y \quad (8)$$

gdzie:  $E I_y$  – sztywność giętna łuku,  $s$  – połowa rozpiętości łuku,  $\beta$  – współczynnik długości wyoboczeniowej. Współczynnik  $\beta$  należy określić z rysunku D.4 normy [3] na podstawie stosunku strzałki łuku do jego rozpiętości i ilości odcinków, na które łuk podzielony jest przez punkty podwieszenia wieszaków. W przypadku analizowanego obiektu współczynnik  $\beta$  jest równy 0,33, a siła krytyczna określona wzorem (8)  $N_{cr,y} = 4446,50 \text{ kN}$ .

W przypadku takim jak analizowany, gdzie dwa łuki nachylone są ku sobie i stężone w części środkowej poprzecznkami, wyoboczenie z płaszczyzny łuku może wystąpić w części dźwigara na odcinku od podpory do pierwszego stężenia poprzecznego, czyli w słupach tak zwanej ramy portalowej. Siłę krytyczną w takim przypadku określa się z załącznika D.3.4 normy. W analizowanym przypadku wartość tej siły wynosi  $N_{cr,z} = 3380,51 \text{ kN}$ .

Po wyznaczeniu sił krytycznych dla wyoboczenia w płaszczyźnie i z płaszczyzny łuku można wyznaczyć odpowiednie współczynniki wyoboczenia, korzystając przy tym ze wzorów zawartych w rozdziale 6.3.1.2 normy [2]. W analizowanym przypadku współczynniki te wynoszą:  $\chi_y = 0,769$  i  $\chi_z = 0,687$ .

Do sprawdzenia nośności według warunków (6) i (7) konieczne jest jeszcze wyznaczenie współczynników interakcji  $k_{yy}$ ,  $k_{zz}$ ,  $k_{yz}$  i  $k_{zy}$ . Współczynniki te wyznacza się według dosyć skomplikowanych formuł z załącznika A lub B normy [2], w zależności między innymi od smukłości i sił krytycznych w kierunkach y i z oraz od sposobu rozkładu momentów zginających na badanym elemencie. W analizowanym przypadku wartości tych współczynników, wyznaczone z załącznika B, wynoszą:  $k_{yy} = 1,032$ ,  $k_{zz} = 1,130$ ,  $k_{yz} = 0,678$  i  $k_{zy} = 0,619$ . Ostatecznie zatem warunki sprawdzające przyjmą postać:

$$\frac{876,19}{0,769 \cdot 3172,50} + 1,032 \frac{55,44}{262,26} + 0,678 \frac{28,47}{262,26} = 0,72 \leq 1 \quad (9)$$

$$\frac{876,19}{0,687 \cdot 3172,50} + 0,619 \frac{55,44}{262,26} + 1,130 \frac{28,47}{262,26} = 0,72 \leq 1 \quad (10)$$

## Sprawdzenie stanu granicznego nośności (SGN) poprzecznic

Poprzecznicze zaprojektowano jako blachownice spawane o pasach z blachy 350 x 22 mm i środniku z blachy 412 x 14 mm. Charakterystyki geometryczne przekroju są następujące:

- pole powierzchni przekroju:  $A = 211 \text{ cm}^2$
- wskaźnik wytrzymałości sprężystości:  $W_{y,el} = 3484 \text{ cm}^3$ ,  $W_{z,el} = 898 \text{ cm}^3$
- wskaźnik wytrzymałości plastycznej:  $W_{y,p} I = 3879 \text{ cm}^3$ ,  $W_{z,p} I = 1844 \text{ cm}^3$
- klasa przekroju wg [2]: klasa 2

Miarodajne, obliczeniowe siły przekrojowe w poprzecznicach wynoszą:  $M_{y,Ed} = 126,27 \text{ kNm}$ ;  $M_{z,Ed} = 61,83 \text{ kNm}$ . Z uwagi na klasę 2 przekroju przy wyznaczeniu nośności można wykorzystywać właściwości plastyczne stali, określając jej nośność w stanie granicznym plastycznym. Sprawdzenie nośności przekroju dla przypadku jednoczesnego działania momentów zginających w dwóch kierunkach wykonano zgodnie z formułą 6.2 normy [2]:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{M_{y,Ed}}{f_y \frac{W_{y,pl}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{z,Ed}}{f_y \frac{W_{z,pl}}{\gamma_{M0}}} = 0,28 < 1 \quad (11)$$

## Sprawdzenie stanu granicznego nośności (SGN) podłużnic

Podłużnice zaprojektowano z przekrojów walcowanych typu HEB o profilu 300. Charakterystyki geometryczne przekroju są następujące:

- pole powierzchni przekroju:  $A = 149 \text{ cm}^2$
- wskaźnik wytrzymałości sprężysty:  $W_{y,el} = 1677 \text{ cm}^3$ ,  $W_{z,el} = 570 \text{ cm}^3$
- wskaźnik wytrzymałości plastyczny:  $W_{y,pl} = 1864 \text{ cm}^3$ ,  $W_{z,pl} = 1168 \text{ cm}^3$
- klasa przekroju wg [2]: klasa 1

Miarodajne, obliczeniowe siły przekrojowe w poprzeczniczy wynoszą:  $N_{Ed} = 715,44 \text{ kN}$ ;  $M_{y,Ed} = 63,32 \text{ kNm}$ ;  $M_{z,Ed} = 20,63 \text{ kNm}$ . Z uwagi na klasę 1 przekroju przy wyznaczeniu nośności można wykorzystać właściwości plastyczne stali, określając jej nośność w stanie granicznym plastycznym. Przed przystąpieniem do określenia nośności przekroju należy sprawdzić, czy konstrukcja jest narażona na możliwość utraty stateczności z uwagi na zwichrzenie. W tym celu sprawdza się warunek 6.59 normy [3]. Rozstaw usztywnień poprzecznych wynosi  $L_c = 4,485 \text{ m}$ , współczynnik  $k_c = 0,94$ , smukłość porównawcza  $\lambda_1 = 93,9$ , smukłość graniczna  $\lambda_{c0} = 0,2$ , promień bezwładności przekroju pasa zastępczego  $i_{fc} = 8,1 \text{ cm}$ , zaś nośność sprężysta przy zwichrzeniu  $M_{c,Rd} = 358,27 \text{ kNm}$ . Otrzymujemy zatem:

$$\lambda_f = \frac{k_c L_c}{i_{fz} \lambda_1} = 0,554 < \lambda_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} = 1,132 \quad (12)$$

co oznacza, że podłużnica jest niewrażliwa na zwichrzenie.

Sprawdzenie nośności przekroju dla przypadku jednoczesnego działania momentów zginających w dwóch kierunkach wykonano

zgodnie z formułą 6.2 normy [2]:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{N_{Ed}}{f_y \frac{A}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y,Ed}}{f_y \frac{W_{y,pl}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{z,Ed}}{f_y \frac{W_{z,pl}}{\gamma_{M0}}} = 0,42 < 1 \quad (13)$$

## Podsumowanie

Przedstawiony przykład stanowi tylko zarys projektu koncepcyjnego, który powinien być bardziej rozbudowany w części rysunkowej. Wymagany byłby jeszcze plan sytuacyjny kładki przedstawiający jej lokalizację w terenie, rzut z góry obrazujący między innymi kształt przyczółków i powiązanie obiektu z nasypem drogi rowerowej, a także rysunek przedstawiający wizualizację kładki. Ten ostatni rysunek jest szczególnie istotny w sytuacji, gdy inwestorowi prezentowanych jest kilka wariantów obiektu do wyboru. Część obliczeniową należy uzupełnić o sprawdzenie nośności posadowienia, którą pominięto w prezentowanym przykładzie. Zakładając, że pale posadowione zostały na skale, można założyć, że pale nie będą pracować jako przemieszczeniowe i obliczyć ich nośność pionową bez udziału pobocznic. Istotną sprawą dla pali w przyczółkach mostowych jest wyznaczenie nośności pala na zginanie, które występuje od sił poziomych przekazywanych z przęsła, ale przede wszystkim od parcia gruntu na ściany przyczółka. ■

Artykuł z ujęciem „Sprawdzenia komfortu użytkowania z uwagi na wpływy dynamiczne” na [www.buildercorp.pl](http://www.buildercorp.pl)

## BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-EN 1991-2 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 2: Obciążenia ruchome mostów.
- [2] PN-EN 1993-1-1 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [3] PN-EN 1993-2 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 2: Mosty stalowe.

REKLAMA

SOS WIOSKI  
DZIECIĘCE

# SZUKAMY RODZICÓW SOS

Zostań zastępczym rodzicem SOS w Wiosce Dziecięcej. Tutaj opuszczone i osierocone dzieci znajdują swój nowy dom i rodzinę. Pomóż zastąpić niezastąpionych.

Dowiedz się więcej na [www.rodzicesos.org](http://www.rodzicesos.org) lub zadzwoń 22 460 92 51

Partner medialny

