



ANDRZEJ STAŃCZYK

Warbud SA  
stanczyk.andrzej@neostrada.pl

## Most Ganter na drodze do przełęczy Simplońskiej w Alpach

Słynny most przez wąwóz rzeki Ganter planowano odwiedzić w trakcie wyprawy mostowej Politechniki Krakowskiej – dwukrotnie. Raz przelotnie, podczas przejazdu do kolei Bernina Ekspres, która to podróż jest wielką atrakcją turystyczną i ponownie w drodze powrotnej, z zatrzymaniem się w celu dokładniejszego obejrzenia. Niestety, niespodziewana korekta planu uniemożliwiła powrót nań, a widok z oddalenia i fotografowanie z okien przejeżdżającego autokaru były jak smakowanie ciastka przez szybę witryny. Oryginalna, agresywna sylwetka czyni zeń obiekt typu „landmark”, przykuwający uwagę nie tylko mostowców, ale ich – przede wszystkim (rys. 1).

Oceńmy więc nie tylko estetyczne walory tej budowli, ale też konstrukcyjne i użytkowe zalety i niedostatki, i porównajmy je z cechami częściej dziś spotykanych mostów o podobnej rozpiętości przęseł – mostów podwieszonych na cięgnach: do pylonów wysokich i do pylonów niskich (mosty extradosed).

Most Ganter, zaprojektowany przez szwajcarskiego inżyniera Christiana Menna, profesora mechaniki na Politechnice w Zurichu, ma osiem przęseł o całkowitej długości  $\Sigma L = 678$  m, z których najdłuższe, o rozpiętości  $L_{\max} = 174$  m, łączy korpusy podpór wysokich na 150 m, ustawionych na zboczach doliny, daleko w górze nad łożyskiem rzeki Ganter. Z miejsca widokowego na dojeździe do mostu pięknie rysuje się biała sylwetka jego trzech najdłuższych przęseł i ich niebotycznych podpór na tle ciemnej zieleni lasów wspinających się po stromiznach skarp wąwozu i bieli wiecznych śniegów na górującym nad nim szczycie. Nie widać stąd, niestety, dna doliny, co wrażenie „przefruwania” przestrzeni mostem potęgowałoby jeszcze bardziej.

W czasie, gdy go wzniesiono (1976–1980) nie było jeszcze mostów extradosed – podwieszonych do niskich pylonów. Zaczęto budować je później, wzorując się na tym obiekcie, a mimo to most Ganter ma zalety, których brak tym następcom. Przyjrzyjmy się jemu „szkieletem i okiem” – odkryjmy czym góruje nad nimi.

W mostach podwieszonych do wysokich lub do niskich pylonów, poszczególne cięgna linowe przenoszą siły rozciągające (S) od „przypadających” na nie obciążeń stałych (G) i zmiennych (P):

$$S = (G/\sin \alpha) \dots (G+P)/\sin \alpha \quad (1)$$

w którym:

$\alpha$  – kąt nachylenia cięgna,

S – siła rozciągająca cięgno,

G – obciążenie stałe przypadające na cięgno,

P – obciążenie zmienne przypadające na cięgno.

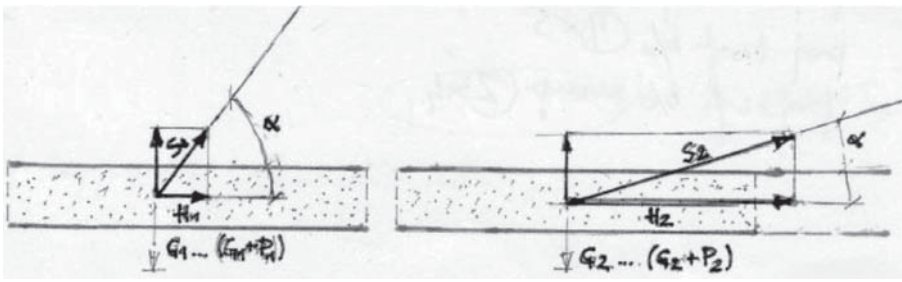
Ewentualne zwiększanie naciągu podczas regulacji jednych cięgien, prowadzi do spadku sił w sąsiednich, jednak suma składowych pionowych sił we wszystkich cięgnach przęsła nie przekracza w stanie budowy występujących wtedy obciążeń stałych – ciężaru przęsła (pomijając słaby opór wynikający ze zginania długiego przęsła – wiotkiego pod obciążeniami skierowanymi ku górze). Efektem regulacji jest unoszenie przęsła bez (istotnego) zwiększenia sumy pionowych składowych sił w cięgnach podwieszających.

Od ciężaru przęseł i nachylenia cięgien podwieszających silnie zależą składowe siły ściskających dźwigary. Dlatego przęsła niezbyt odporne na ściskanie wzdłuż osi mostu – z lekkich dźwigarów stalowych, współpracujących z betonową płytą pomostu – są

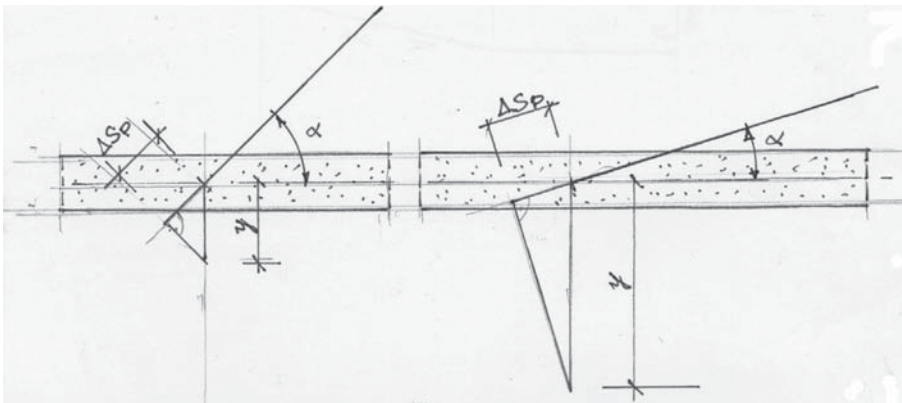


Rys. 1. Widok mostu

podwieszane do wysokich pylonów na cięgnach o dużych kątach pochylenia. Natomiast przęsła mostów extradosed – przeciwnie. Ich ciężkie dźwigary betonowe wprawdzie generują duże siły w cięgnach nachylonych pod małymi kątami, ale sprężone składowymi tych sił są sztywniejsze, co korzystnie wpływa na wyrównanie obciążeń zmiennych przekazywanych na sąsiednie cięgna. Skutkuje to pewnym zmniejszeniem maksymalnych sił w cięgnach od ob-



Rys. 2. Rozkład sił w miejscach podwieszenia przęseł w mostach podwieszonych o wysokich pylonach i w mostach typu extradosed



Rys. 3. Zależność geometryczna między wydłużeniem cięgien i ugięciem przęseł: w mostach podwieszonych do wysokich pylonów i w mostach extradosed

ciążeń zmiennych i łagodzi mankament większego zużycia stali wysokiej wytrzymałości w mostach extradosed niż w mostach o tej samej rozpiętości, lecz podwieszonych do wyższych pylonów.

Wprowadzenie obciążeń użytkowych zwiększa siły w cięgnach (S) i wydłużenie cięgien ( $\Delta s_p$ ) (rys. 2):

$$S = (P/\sin \alpha) \quad (2)$$

$$\Delta s_p = (P/\sin \alpha) s / E_s A_s \quad (3)$$

w których:

- $\alpha$  – kąt nachylenia cięgna,
- S – siła rozciągająca cięgno od obciążeń zmiennych,
- P – obciążenie zmienne przypadające na cięgno,
- $\Delta s_p$  – wydłużenie cięgna od obciążeń zmiennych,
- s – długość cięgna,
- $A_s$  – przekrój poprzeczny cięgna,
- $E_s$  – moduł sprężystości stali sprężającej.

Sprawia to, że wykorzystanie nośności lin w stanie bezużytkowym ( $\sigma_G$ ) musi być odpowiednio nieduże, uwzględniające zapas nośności na efekty obciążeń zmiennych ( $\sigma_P$ ):  $\sigma_G < f_d - \sigma_P$ .

Podwieszenie mostów extradosed jest dość podatne, co skutkuje zwiększeniem ugięć przęseł. Z porównania wydłużenia lin podwieszających, zakotwionych w przęsle, w odległości „b” od osi pylonu i nachylonych pod różnymi kątami „α”:

$$s = b / \cos \alpha \quad (4)$$

$$\Delta s_p = (Pb/\sin \alpha \cos \alpha) / E_s A_s = 2Pb / (E_s A_s \sin 2\alpha) \quad (5)$$

widać jak istotny jest wpływ nachylenia cięgna – wydłużenie jego zmienia się odwrotnie proporcjonalnie do sinusa podwojonego kąta „α”. Najmniejsze wydłużenie powstałoby przy nachyleniu 45°; przy  $\alpha = 30^\circ$  byłoby większe o 15%, a przy  $\alpha = 15^\circ$  – o 100%, a więc dwukrotnie! Ugięcie dźwigara w miejscu podwieszenia wzrosłoby w jeszcze większym stopniu. Pomijając niewielkie skrócenie dźwigara (rys. 3):

$$y = \Delta s_p / \sin \alpha \quad (6)$$

ugięcie dźwigara wyniesie: przy  $\alpha = 45^\circ$   $y \cong 1,41 \Delta s_p$ ; przy  $\alpha = 30^\circ$   $y \cong 2,00 \Delta s_p$ , a przy  $\alpha = 15^\circ$   $y \cong 3,86 \Delta s_p$

Wydłużenia te można zmniejszyć, zwiększając sztywność podwieszenia... i to jest główna zaleta konstrukcji nośnej mostu Ganter. Most ten jest quasi-kratownicą (quasi-ramownicą) z betonu sprężonego, w której podwieszenie przęsła na odkształcalnych linach zastąpiono „krzyżulcami” z betonu sprężonego, nachylonymi podobnie jak w późniejszych mostach extradosed. „Krzyżulce” te, sprężone cięgnami podwieszenia, wydłużają się niewiele do stanu, w którym nastąpi ich dekompresja (zanik naprężeń ściskających spowodowanych sprężeniem) – do czego twórca nie dopuścił. Znikome ugięcia tego mostu w miejscu połączenia „krzyżulców” z przęsłem pozwalają zwiększyć rozpiętość przęsła nie tylko w porównaniu z maksymalną rozpiętością mostów z betonu sprężonego, ale też i mostów extradosed. Jest to szczególnie korzystne przy przekraczaniu doliny o wysokich, stromych zboczach. Dodatkowe usztywnienie przęsła wynika z monolitycznego połączenia „krzyżulców” z dźwigarami w ich poszerzonym końcu dolnym. Środkowe przęsło mostu Ganter jest najdłuższym przęsłem w Szwajcarii.

Opisaną zaletę dostrzeżono i wykorzystano w tych nielicznych mostach podwieszonych, w których liny odciągowe są obetonowane i naprężone do stanu przekraczającego ekstremalne siły przewidywane w odciągach.

Zmiany sił rozciągających cięgna mostów podwieszonych, spowodowane obciążeniami użytkowymi, są większe w mostach extradosed niż w mostach podwieszonych do wysokich pylonów i mogą wpływać na obniżenie wytrzymałości zmęczeniowej cięgien, jeśli przejazdy ciężkich pojazdów, powodujące ekstremalne wyężenia cięgien będą odpowiednio częste.

Przy 100-letnim okresie trwałości mostu, liczba dużych zmian obciążeń w ciągu doby powodująca istotny uszczerbek nośności lin musiałaby osiągnąć średnio:

- w przypadku uzyskania stu tysięcy cykli  $n = 100000/(100 \times 365) = 2,7$  na dobę,
- w przypadku uzyskania dwóch milionów cykli  $n = 2000000/(100 \times 365) = 55$  na dobę.

W belkowych mostach sprężonych, a także w moście Ganter, amplitudy zmian sił w cięgnach są znacznie mniejsze niż w mostach podwieszonych do wysokich pylonów, zwłaszcza do niskich pylonów w mostach extradosed, a poziom wykorzystania nośności cięgien – wyższy.

Dlaczego więc chętniej budowane są dziś mosty extradosed, skoro budowle o cechach mostu Ganter miałyby przewagę sztywności i maksymalnych rozpiętości, przy lepszym wykorzystaniu stali wysokiej wytrzymałości? Wada braku możliwości poszerzenia pomostu jest wspólna w przypadku obu typów konstrukcji i mniej istotna, gdy ograniczenie szerokości skrajni wynika np. z poprowadzenia szlaku przez wąskie tunele.

Czyżby więc przyczyną zaniechania był wspomniany na początku główny walor mostu – jego estetyka, zapadająca w pamięć sylwetka, doskonale wkomponowana w otoczenie? Czyżby niechęć powielania doskonałego, ale unikalnego rozwiązania wynikała z obawy przed zarzutem plagiatu?