

# Nowe typy konstrukcji w mostownictwie XXI wieku

dr hab. inż. Grażyna Łagoda\*, prof. zw. dr hab. inż. Marek Łagoda\*\*

U schyłku XX i na początku XXI w. rozwój przemysłu, a przede wszystkim postęp w dziedzinie inżynierii materiałowej, umożliwił opracowanie nowych materiałów konstrukcyjnych i w konsekwencji nowych typów konstrukcji mostowych. Wśród prekursorskich tworzyw pojawiły się np. materiały kompozytowe, nowe generacje betonów i stali. Poszukiwanie materiałów o wyższych parametrach użytkowych zaowocowało m.in. produkcją betonów wysokiej i superwysokiej wytrzymałości [2, 3] oraz stali o nowych właściwościach. Stało się to przyczyną innego spojrzenia projektantów na przeszkody, których pokonanie jest obecnie zadaniem nowoczesnych konstrukcji mostowych. Ilustracją zmian zachodzących na przestrzeni czasu w budownictwie mostowym jest rycina 1, na której jeden most powstał na początku, a drugi na końcu XX w. Dla pierwszego przeszkodę stanowi niewielka rzeka, dla drugiego zaś cała dolina góriska.



Ryc. 1. Most Lignon k. Le Confolet we Francji, fot. G. Łagoda

Dzisiaj, patrząc na wiadukt Millau we francuskich Pirenejach (ryc. 2), możemy powiedzieć, że spełniło się marzenie ludzkości – budowa mostów ponad chmurami.



Ryc. 2. Wiadukt Millau: obiekt ponad chmurami

W Polsce występują przede wszystkim przeszkody naturalne, wymagające budowy mostów małych lub średnich rozpiętości. Do nowych typów konstrukcji mostowych małych i średnich

rozpiętości można zaliczyć mosty PCS i *extradosed* [5]. Konstrukcja mostów PCS w przekroju poprzecznym to jedynie dwie płyty betonowe i środniki, które mogą być płaskie, faliste lub w postaci kratownic. Mosty *extradosed* wyglądają podobnie do mostów podwieszonych, ale ustrój nośny zachowuje charakterystykę konstrukcji belek sprężonych. Część cięgieł sprężających konstrukcję wyprowadzona jest w pobliżu podpór poza przekrój przeseł, opierając się na niskich pylonach pełniących rolę dewiatorów. Wykonane w ostatnich latach prototypy mostów *extradosed* [8, 9, 11, 14] są bardzo udanymi konstrukcjami, dlatego takie mosty mają szanse na szerokie stosowanie i konstruktywny rozwój.

### Mosty *extradosed*

Połączenie idei mostu podwieszonoego i belkowego sprężonego dało w efekcie nowy typ konstrukcji. J. Mathivat z Francji zaproponował w 1988 r. konstrukcje ciągłe z betonu sprężonego i jednocześnie podwieszonoego za pomocą gęstego olinowania do niskich pylonów. Liny dają duże składowe siły poziome od podwieszenia w belkach głównych, wspomagając siły od cięgieł sprężających. Otrzymujemy w rezultacie ustrój nośny w postaci belki ciągłej sprężonej z dodatkowym sprężeniem. To dodatkowe sprężenie jest zmienne w czasie eksploatacji, zależne od aktualnie działającego obciążenia ruchomego. Mosty te (z podwieszeniem doprzężającym) po angielsku zwane *Extradosed Prestressed Bridges* lub *Bridges with the Advantages of Prestressed* nie doczekały się jeszcze polskiej nazwy.

Podczas wzmocnienia zespolonego mostu przez San w Rzuchowie w 1980 r. zastosowano system linowo-rozporowy z niskimi pylonami nad podporami pośrednimi [7]. Uzyskano w rezultacie skutecznie wzmocnioną, interesującą konstrukcję (ryc. 3), która stała się mimowolnie, znacznie wcześniej od wybudowanych w innych krajach Europy, a nawet świata, pierwszym polskim mostem typu *extradosed*. Był on podczas konferencji w Kozubniku w 1985 r. przedmiotem dyskusji i sporów wśród polskich mostowców, którzy nie mogli się zdecydować czy jest to konstrukcja wstępnie sprężona, czy podwieszona.



Ryc. 3. Wzmocniony most przez San w Rzuchowie, pierwszy polski most typu *extradosed*, fot. M. Łagoda

Mosty *extradosed* wyglądem przypominają mosty podwieszonoego, ale ich parametry konstrukcyjne odpowiadają mostom belkowym. W widoku ogólnym charakteryzują się m.in. tym,

że wysokości konstrukcyjne dźwigarów głównych są znacznie mniejsze niż w normalnych mostach belkowych, a pylony są ponaddwukrotnie niższe niż w klasycznych mostach podwieszonych.



Ryc. 4 a. Most Tsukuhara w Japonii [9] w widoku za mostem podwieszonym



Ryc. 4 b. Most Tsukuhara w Japonii [9] w widoku przed mostem podwieszonym

Most Tsukuhara (ryc. 4) jest jednym z najbardziej typowych przykładów japońskich mostów *extradosed*. Wybudowano go w pobliżu mostu podwieszonoego o podobnych rozpiętościach przęseł. Widok obiektu na tle sąsiadującego z nim mostu podwieszonoego bardzo dobitnie pokazuje różnice istniejące między tymi dwoma typami konstrukcji. Obiekty o wysokich podporach, tzn. w mostach o pomoście usytuowanym wysoko ponad przeszkodą, lepiej wpisują się w krajobraz jako mosty *extradosed*, czyli o niskich pylonach ponad ustrojem nośnym.

Pierwzory typu *extradosed* możemy znaleźć we wcześniejszych powszechnie znanych mostach, jak np. w moście w ciągu autostrady Martigny – Sion (ryc. 5). Olinowanie podwieszająco-sprężające tego mostu jest obetonowane i stanowi w sensie konstrukcyjnym swoistą tarczę.



Ryc. 5. Most w ciągu autostrady Martigny – Sion [6]

Podobną konstrukcją jest most Ganterbrücke nad przełęczą Simplonką (ryc. 6). Tu również olinowanie jest obetonowane. Obiekt ten położony jest nad głęboką doliną, co sprawia, że podpory są bardzo wysokie. Zakrzywienie w planie pomostu tego obiektu dla obserwatora znajdującego się na dole czyni obraz konstrukcji jeszcze ciekawszym.

Pierwsze ciekawsze zrealizowane w Japonii mosty *extradosed* to Tsukuhara, Odawara, Miyakoda oraz Himi Bridge. Rozpiętości tych mostów można zaliczyć do średnich, chociaż przęsło betonowe mostu Odawara o rozpiętości 168 m budzi respekt. Przy tej rozpiętości wysokości konstrukcyjne belek głównych są małe, bo wynoszą w przęśle 3,0 m i nad podporami 5,5 m. Szerokości jezdni są dość typowe, a wysokości pylonów, mierzone wyniesieniem ponad ustrój nośny, są rzeczywiście niewielkie. Wszystkie te parametry mają duży wpływ na estetykę i ekonomię obiektu. Pokazują one, że mamy do czynienia z nowym typem mostu, pośrednim między konstrukcją belkową i mostem podwieszonym.



Ryc. 6. Most nad przełęczą Simplonką [4]



Ryc. 7. Most Odawara Blue Way [10]

Zbudowany w 1994 r. Odawara Blue Way Bridge (ryc. 7) jest jednym z najpiękniejszych japońskich mostów *extradosed*. Jego smukłość, określona stosunkiem wysokości konstrukcyjnej do rozpiętości, jest zbliżona do innych mostów tego typu i wynosi dla przekroju podporowego ok. 30,5, a dla przekroju przęsłowego 56, zaś stosunek rozpiętości do wysokości pylonu nad ustrojem nośnym stanowi aż ok. 11.

Europa w dziedzinie budowy mostów *extradosed* wcale nie pozostaje w tyle. Konstrukcja Sunniberg Brücke w Szwajcarii jest tu najlepszym przykładem (ryc. 8). Pylony, będące przedłużeniem podpór są mocno na końcach odchyłone od pionu. Jest to nie tylko podyktowane względami estetycznymi, ale przede wszystkim konstrukcyjnymi. Obiekt jest bowiem mocno zakrzywiony w planie i chodzi tu o to, by liny (te po stronie większego łuku) nie zakłócały przestrzeni nad pomostem.



Ryc. 8. Sunniberg Brücke w Szwajcarii [8]

Do podwieszenia i zarazem do doprężenia ustroju nośnego zastosowano liny firmy BBR, podobne do tych, jakich użyto przy budowie mostów warszawskich, tzn. Świętokrzyskiego i Siekierkowskiego przez Wisłę. Również i betony używane do budowy tych typów mostów należą do klasycznych, powszechnie stosowanych także w Polsce.

Dla całej sieci autostrad wznoszone obiekty mostowe (w tym zdecydowana większość to wiadukty) liczone są w tysiącach. Znaczna liczba tych obiektów skłania projektantów do typizacji rozwiązań. Z drugiej jednak strony, identyczne lub prawie identyczne obiekty wywołują wrażenie monotonii i co za tym idzie – uczucie znużenia. Nietypowe wiadukty łatwiej mogą stać się znakami w przestrzeni, punktami charakterystycznymi, wyznaczającymi rytm podróży. Od czasu do czasu wskazana jest jakaś charakterystyczna budowla, urozmaicająca monotonię

podróży, służąca niekiedy jako drogowy szlak. Obiekty *extradosed* z powodzeniem mogą znajdować się nad autostradami, jak np. wiadukt stanowiący charakterystyczny punkt autostrady Genewa – Lyon (ryc. 9).



Ryc. 9. Wiadukt nad autostradą Genewa – Lyon, fot. G. Łagoda

### Mosty PCS

W typowych, sprężonych mostach betonowych o konstrukcjach skrzynkowych duża część przekroju nie bierze pełnego udziału w przenoszeniu obciążeń. Dotyczy to przede wszystkim środników, które znacznie zwiększają ciężar konstrukcji. Wysokość konstrukcyjna zależy nie tylko od wytrzymałości przekrojów, ale również od uwarunkowań technologicznych i eksploatacyjnych (możliwości prowadzenia ciągnięć sprężających, ich naciągów i zakotwień, konieczności prowadzenia przeglądów, konserwacji, nie przekraczanie dozwolonych ugięć itp.). Polskie przepisy techniczne wymuszają w zamkniętych konstrukcjach skrzynkowych przekroje o takiej wysokości konstrukcyjnej, aby minimalna odległość w świetle między pasem górnym i dolnym wewnątrz skrzynki wynosiła 160 cm (jest to wymóg § 302 *Warunków technicznych, jakim mają odpowiadać obiekty mostowe*). Preferowana w wysoko uprzemysłowionych krajach smukłość betonowych konstrukcji skrzynkowych, tzn. stosunek wysokości do rozpiętości, jest nie mniejsza jak 1:20. W konsekwencji więc udział środników w przekroju poprzecznym jest znaczący. Zatem, aby go zmniejszyć, a tym samym zmniejszyć ciężar przęsła, w nowoczesnych mostach proponuje się usunięcie ciągnięć ze środników betonowych. Ciężna w takim obiekcie są odginane za pomocą dewiatorów i kotwione za pomocą bloków. Zabieg ten bardzo efektywnie zmniejsza ich przekrój, a co za tym idzie również ciężar.

Ogólny współczynnik przekroju „ $\rho_G$ ” [13], określający efektywność zaprojektowanej konstrukcji nośnej wynosi:

$$\rho_G = \frac{q}{p+q} \quad (1)$$

gdzie:

$q$  – obciążenie użytkowe (zmiennie + stałe),

$p$  – obciążenie ciężarem własnym.

Wartość obciążenia od ciężaru własnego zależy bezpośrednio od przekroju konstrukcji nośnej „ $A$ ”, zaś nośność przekroju (przede wszystkim na zginanie) od jego momentu bezwładności „ $J$ ”. W przekroju o skupionych masach w skrajnych położeniach (górnym i dolnym), określonych odległościami  $y_g, y_d$ , promień bezwładności jest maksymalny. Przekrój ustroju nośnego jest najlepiej ukształtowany, jeżeli jego promień bezwładności zbliża się do maksymalnego i wynosi:

$$r_{\max}^2 = y_g y_d \quad (2)$$

Efektywność wykorzystania materiału konstrukcyjnego charakteryzuje współczynnik przekroju konstrukcji, który można zapisać w postaci:

$$\rho_s = \frac{r^2}{r_{\max}^2} = \frac{J}{y_g y_d A} \quad (3)$$

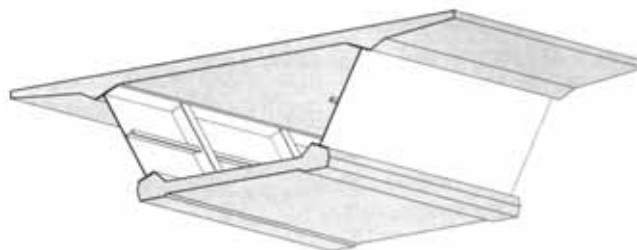
Współczynnik ten dla idealnego przekroju zmierza do jedności. Jeżeli wysokość przekroju poprzecznego wynosi  $h$ , to wysokość rdzenia przekroju wynosi:

$$h_c = \rho_s h \quad (4)$$

i siła sprężająca niezbędna do przeniesienia  $\Delta M$  może być określona funkcją:

$$P_{\min} = F \left( \frac{\Delta M}{h_c} \right) \quad (5)$$

Z przedstawionych rozważań nasuwa się wniosek, że najbardziej optymalny pod kątem wykorzystania materiału jest przekrój złożony z dwóch jak najdalej odsuniętych od siebie mas skupionych. Idea redukcji zbędnego balastu doprowadziła do powstania nowego typu konstrukcji zespolonej lub, stosując dokładniejsze określenie, złożonej sprężonej konstrukcji (ang. PCS – *Prestressed Composite Structures*, ryc. 10).



Ryc. 10. Schematyczny rysunek ustroju nośnego mostu PCS

Najważniejsze elementy ustroju nośnego to pomost, pełniący jednocześnie rolę pasa górnego, oraz pas dolny. Są to elementy, w których występują decydujące siły wewnętrzne. Pasy górny i dolny wykonane są z betonu (ostatnio zaczęto stosować pasy z betonu wysokiej wytrzymałości BWW lub betonu ultrawysokiej wytrzymałości BUWW) i połączone są środnikami stalowymi. Zbrojenie sprężające znajduje się w płycie betonowej poza nią, jako sprężenie zewnętrzne w przestrzeni ograniczonej pasem górnym i dolnym oraz środnikami.

Pierwowzorami konstrukcji PCS są konstrukcje mostowe z ciągnami prowadzonymi poza przekrojem środników. Na rycinie 11 pokazano widok takiej konstrukcji w środku przekroju skrzynkowego. Widoczne są tu doskonale dewiatory, służące do odginania ciągnięć sprężających. Warto zwrócić uwagę na pozostawione otwory, potrzebne do ewentualnej wymiany ciągnięć, np. w celu doprężenia konstrukcji lub przy awarii któregoś z kabli sprężających.



Ryc. 11. Wnętrze przekroju skrzynkowego ze sprężeniem zewnętrznym [9]

Sprężanie najczęściej odbywa się wewnątrz dźwigarów skrzynkowych, co wymaga odpowiedniego sprzętu i przestrzeni. Przekroje w takiej sytuacji muszą mieć odpowiednią wysokość konstrukcyjną przynajmniej w miejscach zakotwienia.

Wcześniejsze rozważania pokazały, że im mniejszy jest udział środników w ciężarze konstrukcji, tym efektywniej wykorzystany jest materiał ustroju nośnego konstrukcji. W związku z tym obecnie rozwijane są trzy odmiany konstrukcji typu PCS:

- z blachownicowymi lub betonowymi płaskimi środnikami,
- ze środnikami z blachy falistej lub trapezowej,
- ze środnikami kratownicowymi (płaskimi lub przestrzennymi).

Porównując mosty PCS z konstrukcjami tradycyjnymi można stwierdzić, że w przypadku PCS osiągamy następujące korzyści:



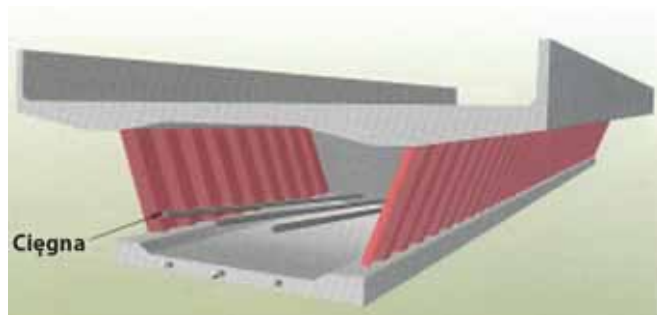
1. Redukcja obciążenia ciężarem własnym nie powoduje obniżenia nośności.
2. W mostach PCS występuje korzystny rozdział sił wewnętrznych dla części betonowych, tzn. praktycznie w betonie nie występują naprężenia ścinające, co pozwala wyeliminować zbrojenie betonu na ścinanie.
3. Zwiększa się promień bezwładności przekroju z uwagi na skupienie przekrojów betonowych na krańcach przekroju poprzecznego.
4. Występuje pełniejsze wykorzystanie środników:
  - środniki zapewniają odpowiednią wysokość konstrukcyjną przekroju,
  - środniki z blach falistych oraz w postaci kratownicy nie pochłaniają siły sprężającej.
5. Występuje pełniejsze wykorzystanie stali sprężającej ze względu na to, że nie ma masywnych środników o dużej sztywności podłużnej.

Jednak mosty PCS ze środnikami płaskimi charakteryzują się pewnymi niedogodnościami. W mostach tych, jak dowodzą obliczenia, absorbowana przez środniki część siły sprężającej osiąga wartość nawet ok. 25% całej siły. Jest to nie tylko wartość zmarnowana, ale wymusza ona także dodatkowe pogrubienie lub uźbrowanie środnika w celu zapobieżenia jego wyboczeniu, a więc zabieg ten zwiększa koszt mostu.

Przekrój poprzeczny złożony jedynie z dwóch płyt betonowych i płaskich środników jest bardzo wrażliwy na wpływy reologiczne, co wywołuje zmianę położenia środków ciężkości, a co za tym idzie zmianę mimośrodowość sprężenia. Jest on również wrażliwy na deformacje, zwłaszcza skrętne i wymaga usztywnień w postaci przepon.

Wprowadzenie mostów PCS ze środnikami z blachy ufałdowanej (ryc. 12) eliminuje część uprzednio wymienionych wad, a przede wszystkim ważne są następujące stwierdzenia:

1. Niska sztywność środników w kierunku podłużnym mostu czyni przekrój mniej wrażliwy na wpływy reologiczne.
2. Środniki przenoszą jedynie naprężenia styczne i z tego powodu ich grubość może być stała na całej długości.
3. Zbędne są żebra usztywniające, ponieważ ufałdowanie środnika usztywnia go w pionie, natomiast wzdłuż mostu sztywność zapewniają pasy górny i dolny.
4. Niska wrażliwość środnika na wyboczenie daje gwarancję pracy przekroju z dużym współczynnikiem bezpieczeństwa.
5. Ufałdowanie środnika nie zapewnia jednak pełnej sztywności na deformacje skrętne, czyli wskazane są przepony.



Ryc. 12. Konstrukcja mostu PCS ze środnikami falistymi [9]

Intensywny rozwój konstrukcji mostowych typu PCS odnotowuje się zwłaszcza w Japonii i we Francji. Te kraje zapoczątkowały na szeroką skalę budowę mostów PCS, ale nie są jedyne, bowiem bardzo ciekawe konstrukcje wykonano także i w innych krajach. Należy tu wymienić Wielką Brytanię i Portugalię.

Most Hondani w Japonii (ryc. 13), ze środnikami o konstrukcji nośnej z blachy pofałdowanej wzniesiony został metodą nawisową. Warto zwrócić uwagę na różnicowanie koloru środnika stalowego i elementów betonowych. Blacha falista środnika jest pomalowana na kolor trafnie dobrany do otoczenia. Można powiedzieć, że zabieg ten wysmukla konstrukcję nośną, czyniąc ją lżejszą oraz sprawia, że konstrukcja jest bardziej czytelna

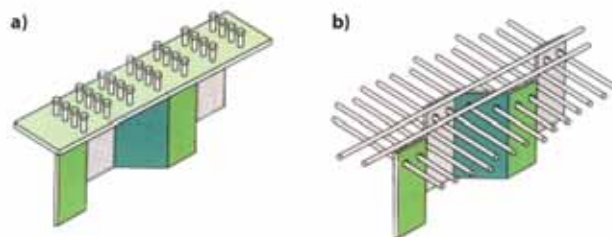
ze względu na wyraźny podział na poszczególne elementy konstrukcyjne.



Ryc. 13. Most Hondani w Japonii [10]

W mostach ze środnikami falistymi moment zginający powoduje osiową deformację środnika i przenoszony jest jedynie przez płyty betonowe. Jedną z nich jest ściskana przez moment zewnętrzny, druga przez ciągną sprężającą. Jeśli chodzi o metody budowy, to dotychczas mosty takie budowane były metodą nawisową, na sztywnym deskowaniu, oraz metodą łączenia segmentów prefabrykowanych.

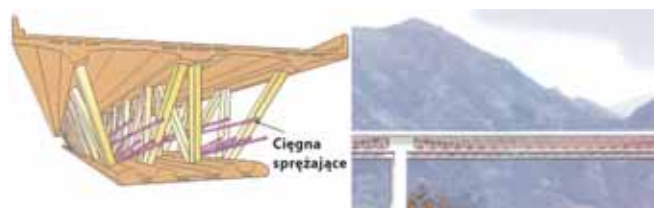
Zastosowanie blach fałdowych eliminuje naprężenia spawalnicze oraz uciążliwą technologię wykonywania żeber usztywniających środniki, a także zmienia na korzyść wygląd mostu. Środniki w nowoczesnych konstrukcjach PCS, wykonywane z blach giętych, trapezowych mogą być łączone konwencjonalnie, jak w przypadku mostów zespolonych (ryc. 14 a). W najnowocześniejszych rozwiązaniach stosuje się całkowitą eliminację stalowych pasów górnych i łączników między płytą a dźwigarem stalowym. Współpracę zapewniają pręty zbrojeniowe, przechodzące przez środnik (ryc. 14 b). Siły rozwarstwiający są przenoszone bezpośrednio przez zbrojenie miękkie. Rozwiązanie to wymaga szczególnego deskowania, ale przy dobrej organizacji prac łącznie jest tańsze.



Ryc. 14. Łączniki w mostach ze środnikami falistymi: a) tradycyjne, b) nowoczesne [11]

Zastosowanie w mostach PCS środników falistych ma znaczenie nie tylko estetyczne. Jest to bardzo istotne również z punktu widzenia ekonomiki, ponieważ wykonywanie pionowych i poziomych żeber usztywniających w środnikach konwencjonalnych wymaga dużych nakładów robocizny i materiałów. Jest po prostu droższe. Ponadto do konstrukcji wprowadzone są dodatkowo naprężenia spawalnicze.

W mostach PCS istnieje również możliwość wykorzystania idei kratownicy (ryc. 15). W takich rozwiązaniach cięgna sprężające można zakotwić w węzłach kratownicy.



Ryc. 15. Konstrukcja PCS ze środnikami kratownicowymi [9]

W konstrukcjach tych rozkłady sił wewnętrznych i ich przenoszenie jest analogiczne jak w przypadku mostów PCS ze środnikami

kami z blach fałdowych. Z uwagi na odkształcalność betonowych płyt górnej i dolnej preferowane są kratownice Warrena lub typu X, kraty Pratta są tu zdecydowanie gorsze. Ten schematycznie pokazany obraz i fragment mostu pokazany na rycinie 15 to przeszło japońskiego mostu New Tomei Bridge, wybudowanego w 1996 r. Jest to obiekt o schemacie statycznym belki ciągłej w postaci kilka przęseł średniej rozpiętości, zlokalizowany w ciągu nowej autostrady. Należy dodać, że konstrukcja jest czytelna, przejrzysta, a przy tym bardzo dobrze przewietrzana, co wpływa korzystnie na utrzymanie obiektu. W takim moście wilgoć, która zawsze sprzyja korozji materiałów, nie ma możliwości utrzymywania się przez dłuższy czas.

W dziedzinie budowy mostów PCS ze średnikami kratownicowymi również Europa wcale nie pozostaje w tyle. Dowodem na to są wiadukty Sylans we Francji. Na rycinie 16 widać, że mosty PCS ze średnikami w formie kratownicy, w tym przypadku kratownicy typu X, są ciekawe zarówno z punktu widzenia rozwiązania technicznego, jak również w aspekcie estetycznym.

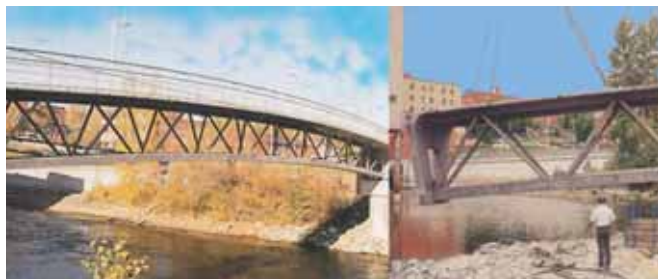


Ryc. 16. Wiadukty Sylans we Francji [6]

Wiadukty te, jak większość podobnych konstrukcji we Francji, zbudowano przy pomocy stalowej dźwigni kratownicowej metodą łączenia segmentów. Montowane są z elementów prefabrykowanych. Granicą podziału na segmenty jest koszt prefabrykacji, ciężar oraz transport. Ciężar jednego, najcięższego segmentu dochodzi do 150 t. Rozpiętości przęseł wiaduktów francuskich przekroczyły już 100 m. Zastosowanie średników w postaci kratownicy przestrzennej przyczynia się do zmniejszenia rozpiętości płyty, a tym samym do zmniejszenia wartości siły sprężenia poprzecznego.

Ostatnio bardzo chętnie stosowane są profile rurowe do wykonania krzyżulców w kratownicach stalowych.

Przykładem bardzo awangardowego rozwiązania mostu PCS, w którym zastosowano BUWW, tzw. RPC, jest 60-metrowa kładka dla pieszych przez rzekę Magog w Sherbrooke w stanie Quebec w Kanadzie (ryc. 17), wykonana z prefabrykowanych segmentów. Jest to również konstrukcja kratownicowa z betonowymi pasami i stalowymi rurowymi krzyżulcami. Ustrój nośny sprężono podłużnie ciągnami zewnętrznymi, usytuowanymi wewnątrz kratownicy. To, co odróżnia ten obiekt od innych tego typu, to materiał, z którego wykonano pas górny. Jest to beton ultrawysokiej wytrzymałości.



Ryc. 17. Kładka dla pieszych przez rzekę Magog. Widok ogólny i w czasie montażu [1]

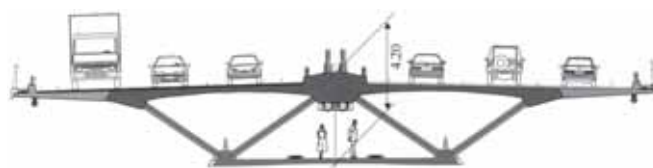
Skład materiałowy betonu RPC 200, którego użyto do budowy kładki w Sherbrooke, oraz jego właściwości pokazuje rycina 18. Istotnym składnikiem jest tutaj pył kwarcowy. Dzięki takiemu składowi otrzymano materiał charakteryzujący się wspaniałymi własnościami mechanicznymi. Imponujące są zwłaszcza wartości

charakterystycznej wytrzymałości na ściskanie oraz udarności wyrażonej pracą łamania.

Lp.	Wielkość	Wartość gwarantowana	Wartość charakterystyczna	Receptura	
				Składnik	Ilość [kg/m <sup>3</sup> ]
1	Wytrzymałość na ściskanie	280 MPa	200 MPa	Piasek	1010
				Cement	705
				Pył kwarcowy	210
2	Wytrzymałość na rozcz. przy zginaniu	60 MPa	30 MPa	Krzemionka	230
				Woda	195
				Włókna	190
				Plastyfikator	37.5
3	Praca łamania	40000 J/m <sup>2</sup>	20000 J/m <sup>2</sup>		
4	Moduł Younga	60 GPa	50 GPa		

Ryc. 18. Tabela opisująca właściwości i skład betonu RPC [1]

Konstrukcje PCS są ostatnio projektowane również w postaci mostów podwieszonych. Typowym przykładem takiego obiektu jest most przez Mondego w Coimbrze w Portugalii (ryc. 19).



Ryc. 19. Most w Coimbrze. Widok ogólny i przekrój poprzeczny [11]

#### Podsumowanie

1. Rozwój przemysłu materiałowego wpływa bardzo mocno na tendencje rozwojowe mostownictwa, zwłaszcza w dziedzinie tworzenia nowych form konstrukcji.
2. Przy budowie mostów nowej generacji, a szczególnie mostów PCS, najczęściej stosowane są materiały najwyższej jakości.
3. Można się spodziewać, że po opanowaniu na skalę techniczną produkcji betonów ultrawysokiej wytrzymałości, ekonomika budowlanej wymusi powszechne ich stosowanie.
4. Dzisiaj można odnotować również bardzo spektakularny rozwój produktów stalowych. Projektanci i architekci otrzymali w pierwszej dekadzie obecnego stulecia nowe klasy i gatunki stali, nowe rodzaje kształtowników walcowanych i blach grubych.
5. Po udanych pierwszych realizacjach nowego typu mostów, w których wykorzystuje się nowoczesne materiały konstrukcyjne, staną się w niedalekiej przyszłości bardzo popularne i będą chętnie projektowane przede wszystkim

ze względu na ekonomikę inwestycji i piękną, czytelną formę konstrukcji.

6. Most ze względu na swoją ważną funkcję i oddziaływanie na ludzi powinien sprostać zarówno oczekiwaniom społecznym, jak i inwestora.

#### Literatura

1. Aitcin P.C., Lachemi M., Adeline R., Richard P.: *The Sherbrooke Reactive Powder Concrete Footbridge*. "Journal of the International Association for Bridge and Structural Engineers" 1998, Vol. 2 (8).
2. Faust T.: *Leichtbeton im Verbundbau-neue Anwendungsfelder für den Leichtbeton*. Leipziger Massivbau-Seminar. Neue Ideen, Entwicklungen und Produkte im Konstruktiven Ingenieurbau. Institut für Massivbau und Baustofftechnologie. Leipzig 1996.
3. Hacman L.E., Farrell M.B., Dunham O.O.: *Slurry Infiltrated Mat Concrete SIMCON*. "Concrete International" 1992, Vol.12.
4. Leonhardt F.: *Brücken. Ästhetik und Gestaltung*. DVA 1982.
5. Łagoda G.: *Wybrane nowości w technice mostowej i ich wpływ na estetykę mostów*. „Inżynieria i Budownictwo” 1999, nr 9.
6. Łagoda G.: *Wiadukty nad autostradami. Wybrane zagadnienia kształtowania konstrukcyjnego i estetycznego*. „Politechnika Warszawska. Prace naukowe. Budownictwo” 2001, z. 137.
7. Łagoda M.: *Wzmocnienie i badanie zespolonego mostu podwieszonoego*. Konferencja naukowa „Ocena nośności mostów – teoria i badania”. Gliwice-Kozubnik 1985.
8. Menn C.: *Functional Shaping of piers and pylons*. "Structural Engineering International" 1998, Vol. 4.
9. Nakamura S.: *New Structural Forms for Steel/Concrete*

*Composite Bridges*. "Structural Engineering International" 2000, Vol. 1.

10. Nihon Doro Kodan.: *Development of Technology for Expressway Bridges*. Japan Highway Public Corporation 1998.
11. Reis A.J.: *Urban bridges: design, environmental and construction*. "Structural Engineering International" 2001, Vol. 3.
12. Research Group on Steel Bridges. The Kozai Club. *High Performance Steels for Bridges Constructions*. Tokio 1998.
13. Rosignoli M.: *Prestressed Composite Box Girders for Highway Bridges*. "Structural Engineering International" 1997, Vol. 4.
14. Toczkiwicz R.: *Mosty typu extradosed o dźwigarach zespolonych*. „Drogownictwo” 2006, nr 11.

\* Instytut Dróg i Mostów, Politechnika Warszawska

\*\* Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Politechnika Lubelska

## GRZYBKOWSKI & GUZEK

Adwokacka Spółka Partnerska

Specjalizacja: • Prawo handlowe • Prawo gospodarcze oraz podatkowe  
• Prawna obsługa nieruchomości • Zasady ładu korporacyjnego

### FIDIC

problematyka umów na roboty drogowe i budowlane

#### Grzybowski & Guzek

ul. Dominikańska 3, 61-762 Poznań, tel. 0-61 852 62 77; 0-61 855 72 36

kancelaria@grzybkowski-guzek.pl; t.grzybkowski@grzybkowski-guzek.pl;  
t.guzek@grzybkowski-guzek.pl www.grzybkowski-guzek.pl

# Vermeer



Biuro Handlowe RUDA

ul. Zegadłowicza 10

40-555 Katowice

tel. fax: (032) 251 25 53

Wiertnice horizontalne

Żerdzie wiertnicze FIRESTICK I, II

Narzędzia wiertnicze

Głowice do wiercenia w skałach

Systemy mieszalnicze płuczki

Przyrządy do sterowania i kontroli

Kraking

[www.bh-ruda.pl](http://www.bh-ruda.pl)