

Dokąd zmierza mostownictwo?

Świat i Polska, cz. 2

tekst: **prof. dr hab. inż. WOJCIECH RADOMSKI**, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy

Tematem artykułu są kierunki rozwoju mostownictwa w ciągu najbliższych dwóch dekad. Jak w każdej innej dziedzinie, również w odniesieniu do mostownictwa przewidywanie oparte jest na obserwacji dotychczasowych tendencji rozwojowych i pewnego rodzaju ekstrapolowaniu tego, co było i jest, na to, co będzie. Świadomość tego, co może czekać budownictwo mostowe, jest ważna z wielu powodów, z których za najbardziej ogólne i mające zarazem największe znaczenie należy uznać nowoczesne realizacje celów gospodarczych i społecznych, przygotowanie kadr badawczych i inżynierskich do nowych wyzwań, możliwość uniknięcia poprzednio stosowanych rozwiązań konstrukcyjnych, materiałowych, technologicznych (wykonawczych) oraz eksploatacyjnych i utrzymaniowych, które okazały się niewystarczająco właściwe lub nawet błędne. Artykuł stanowi kontynuację tekstu opublikowanego w poprzednim numerze „NBI”. Wszystkie spostrzeżenia, uwagi i prognozy wynikają z subiektywnych obserwacji i przemyśleń autora.

Dla uporządkowania i lepszej percepcji kierunku dotychczasowych przemian w mostownictwie oznaczono w celu dalszego do nich nawiązywania literami od A do G. W 1. części artykułu omówiono **kierunek A** – wzrost skali budowanych obiektów mostowych, zwłaszcza pod względem rozpiętości przęsłowych, przy zachowaniu znanych lub modyfikowanych rozwiązań konstrukcyjnych. W tej części są analizowane (z zachowaniem ciągłości numeracji rozdziałów w stosunku do 1. części artykułu):

Kierunek B. Projektowanie i budowanie długich, wielokilometrowych przepraw mostowych, w tym także międzykontynentalnych.

Kierunek C. Poszukiwanie i realizowanie nowych, zindywiduowanych rozwiązań konstrukcyjnych o dużej ekspresji, zdecydowanie odbiegających od powszechnie stosowanych form. Dotyczy to w przeważającej większości kładek dla pieszych, zwłaszcza w miastach, oraz wiaduktów nad autostradami lub dolinami. Inaczej kierunek ten zdefiniować można jako nową estetykę mostów, której głównym polem doświadczalnym są wspomniane kładki.

Kierunek D. Wprowadzanie do mostownictwa nowych, niekonwencjonalnych materiałów zarówno do realizacji konstrukcji nośnej, jak i pojedynczych jej elementów lub elementów wyposażenia.

Kierunek E. Udoskonalanie metod wykonywania fundamentów, podpór oraz konstrukcji nośnej przy zachowaniu dotychczasowych zasad tych metod.

Kierunek F. Monitoring obiektów pod normalnym obciążeniem eksploatacyjnym oraz budowanie mostów inteligentnych, z wbudowanymi urządzeniami do samoczynnego ograniczenia przemieszczeń lub drgań, co ma szczególne znaczenie w budowach mostowych zlokalizowanych na obszarach aktywnych sejsmicznie.

Kierunek G. Wprowadzanie zaawansowanych metod analizy kosztów oraz nowoczesnych metod remontów i modernizacji istniejącej infrastruktury mostowej.

Wymienione kierunki odpowiadają ogólnym tendencjom rozwojowym mostownictwa światowego. Mostownictwo w Polsce, zwłaszcza w ciągu ostatniego ćwierćwiecza, stało

się niewątpliwie częścią tego mostownictwa i kierunki jego rozwoju są w znacznym stopniu z nim tożsame, przy uwzględnieniu krajowych uwarunkowań terenowych, klimatycznych, ekonomicznych i społecznych. Na te elementy zostanie jeszcze zwrócona uwaga w dalszej części tego opracowania.

Kierunki A–G zostały wyspecyfikowane w celu uporządkowania rozpatrywań. Warto jednak pamiętać, że częstokroć niektóre z wymienionych tendencji występują łącznie (np. C i D). Mimo to każdy z kierunków zostanie przedstawiony oddzielnie, poddany krytycznej analizie i poparty przykładami już zrealizowanych obiektów lub dopiero planowanych bądź projektowanych. Na tej podstawie sformułowane zostaną prognozy dalszego rozwoju mostownictwa na świecie i w naszym kraju.

4. Kierunek B

Drugą cechą rozwojową współczesnego mostownictwa jest projektowanie i budowa długich, wielokilometrowych przepraw mostowych, w niektórych przypadkach mostowo-tunelowych. W tablicy 1 zestawiono pięć najdłuższych obecnie tras mostowych na świecie i w Polsce. Na rycinie 1 pokazano trasy zajmujące pierwsze miejsca w tym rankingu.

Na podstawie obserwacji rozwoju mostownictwa, w tym przypadku w zakresie projektowania i budowy długich tras mostowych, można sformułować następujące uwagi.

- Budowanie długich przepraw mostowych jest zawsze czymś wyjątkowym. Niemniej jednak tras tych stale przybywa. Dotyczy to także przepraw międzykontynentalnych [14], choć nie są one pod względem długości rekordowe. Generalnie, celem realizacji długich przepraw mostowych jest skrócenie czasu podróży do określonych miejsc (np. lotnisk) oraz aktywizacja słabo zagospodarowanych i zaludnionych terenów, jak np. wysp przybrzeżnych w Korei Południowej. W tym kraju istnieje wieloletni program takiej aktywizacji, której podstawowym elementem jest sprawna komunikacja. Zapewnia to m.in. ukończona w 2009 r. trasa mostowa, prowadząca do lotniska Incheon, o długości 21,39 km, której elementem jest most podwieszony o rozpiętości głównego przęsła równej 800 m (10. miejsce w rankingu światowym; ryc. 2) [28].

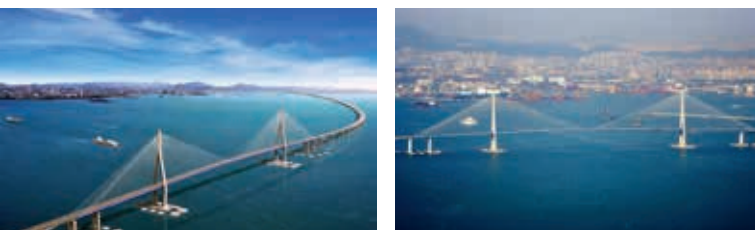
Tab. 1. Najdłuższe trasy mostowe na świecie i w Polsce

Świat	Polska
Qingdao Haiwan, Chiny, 42,58 km, 2011	estakada WE-1 w ciągu południowej obwodnicy Gdańska, 2,75 km, 2012
Lake Pontchartrain Causeway, USA, 38,50 km, (pierwsza nitka 1956, druga nitka 1969)	Trasa im. Eugeniusza Kwiatkowskiego (Estakada Kwiatkowskiego) w Gdyni, 2,59 km, 1998
Manchac Swamp, USA, 36,71 km, 1979	przeprawa autostradowa A1 przez Wisłę w Grudziądzu, 1,96 km, 2011
Hangzhou Bay, Chiny, 35,67 km, 2007	trasa kolejowa przez Wartę na linii 395 w Poznaniu, 1,96 km, 1970
Runyang, Chiny, 35,66 km, 2005	most im gen. Elżbiety Zawackiej w Toruniu, 1,92 km, 2013

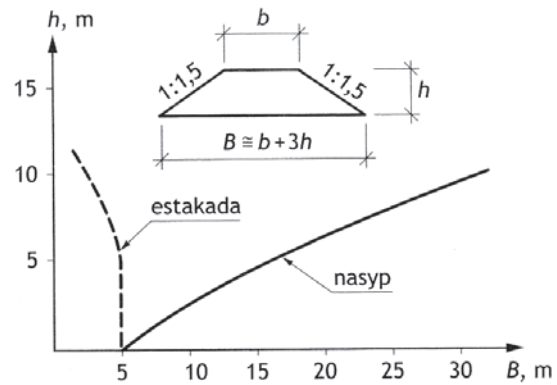


Ryc. 1. Najdłuższe trasy mostowe: a) na świecie – Qingdao Haiwan, Chiny, 42,58 km, 2011, b) w Polsce – estakada WE-1 w ciągu południowej obwodnicy Gdańska, 2,75 km, 2012 (fot. PORR SA)

- Przykład przeprawy międzykontynentalnej pokazano na rycinie 3. Są to trzy mosty nad cieśniną Bosfor. Obecnie jest tam także przeprawa tunelowa, ukończona w 2013 r.
- Oczywiście w Polsce nie ma potrzeby budowania tak długich przepraw mostowych, jak w innych, głównie morskich krajach (chyba że z Gdyni do Helu, co jest na razie czystą fantazją). Niemniej jednak w ostatnich latach i u nas są budowane



Ryc. 2. Przeprawa mostowa Incheon w Korei Południowej, 21,39 km, 2009


 Ryc. 3. Mosty przez Bosfor, od lewej: pierwszy most bosforski – 15 July Martyrs, $L_{\max} = 1074$ m, 1973, drugi most bosforski – Fatih Sultan Mehmet, $L_{\max} = 1090$ m, 1988, trzeci most bosforski – Yavuz Sultan Selim, $L_{\max} = 1408$ m, 2016 (fot. dade72, mehmet, murattelliglu, Adobe Stock)


Ryc. 4. Terenochłonność w zależności od wysokości nasypu i wysokości wzniesienia estakady

relatywnie długie trasy mostowe (por. tab. 1). W naszych warunkach długie estakady są zazwyczaj budowane zamiast nasypów, które – proporcjonalnie do swojej wysokości – są bardzo terenochłonne (ryc. 4) i stanowią, zwłaszcza na obszarach zurbanizowanych, przeszkodę utrudniającą lub wręcz uniemożliwiającą zagospodarowanie przestrzeni w kierunku prostopadłym do trasy komunikacyjnej [29].

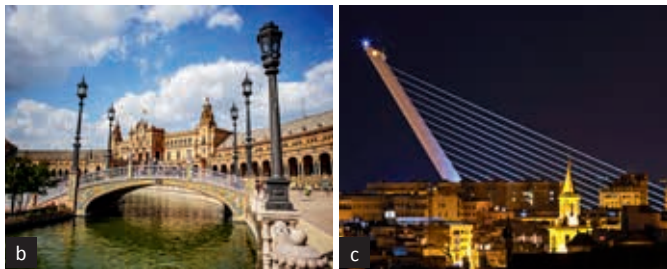
Można na to znaleźć wiele przykładów. Jeden z ostatnich dotyczy Krakowa, w którym wysoki nasyp kolejowy jest zastępowany przez estakadę. Im wysokość wzniesienia estakady nad terenem jest wyższa, tym stanowi ona mniejsze utrudnienie w zagospodarowaniu przyległych do niej obszarów (por. ryc. 4). Innym przykładem jest trasa mostu Rędziańskiego we Wrocławiu o długości 1,742 km (ósmie miejsce w krajowym rankingu).

- Można sądzić, że długie trasy mostowe będą nadal na świecie budowane, także jako trasy międzykontynentalne (alternatywnie rozpatrywane są przeprawy tunelowe – Cieśnina Beringa, Cieśnina Gibraltarska). W naszym kraju realizowanie stosunkowo długich tras mostowych z estakadami będzie zapewne kontynuowane.

5. Kierunek C

Poszukiwanie i realizowanie nowych, zindywidualizowanych form konstrukcyjnych o bardzo silnej ekspresji, odbiegającej od klasycznych rozwiązań obiektów mostowych i nadającej im nowe cechy estetyczne, to bardzo charakterystyczny rys współczesnego mostownictwa. Rys ten dotyczy obiektów o różnej skali, ale jest szczególnie wyraźny w odniesieniu do kładek dla pieszych, zwłaszcza w miastach. Kierunek C jest tematycznie bardzo rozległy i wymagający sięgania po tło nietechniczne – filozoficzne (estetyka), psychologiczne, socjologiczne, kulturowe i ekonomiczne. Wymagałoby to oddzielnego, obszernego opracowania. Dlatego tu problematyka ta będzie potraktowana wprawdzie dość fragmentarycznie, ale tak, aby opisać najbardziej zdaniem autora istotne znamiona wymienionego kierunku. Będą one ujęte w następujących punktach.

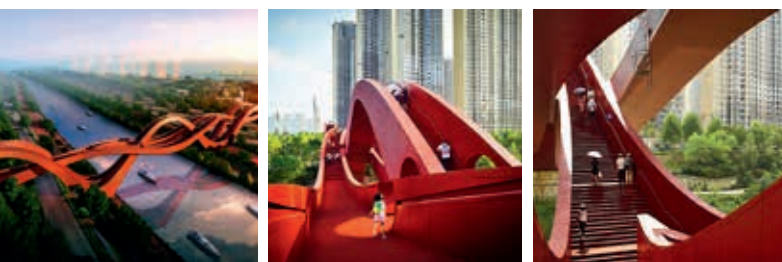
- Nowe rozwiązania bywają często kontrowersyjne, czego przykładem może być most Alamilla w Sewilli (ryc. 5), zaprojektowany przez słynnego i powszechnie uznawanego za wybitnego twórcę, hiszpańskiego architekta i konstruktora, Santiago Calatravę (ur. 1951). Pokazane fotografie wskazują na różny odbiór estetyczny obiektu w zależności od miejsca jego obserwacji. Interesująca, choć daleka od



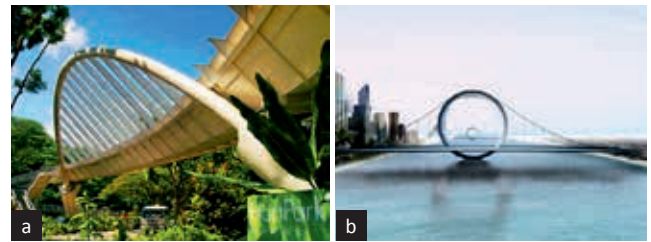
Ryc. 5. Most Alamillo Santiago Calatravy, Sewilla, Hiszpania, rozpiętość przęsła $L = 200$ m, wysokość pylonu 140 m, 1992: a) widok mostu z boku, b) panorama Sewilli, d) „pylonowy wtręt” w panoramę miasta (fot. eyewave, Ruten, hirgon, Adobe Stock)

optymalnej ze względów technicznych i ekonomicznych konstrukcja („harfa” bez odciągów), oglądana ze stosunkowo bliskiej odległości może budzić pozytywne wrażenia (ryc. 5a i 5b), natomiast oglądana z daleka jako element panoramy miasta już takich pozytywnych wrażeń nie budzi (przynajmniej zdaniem autora). Podobnych przykładów można znaleźć więcej.

- W wielu przypadkach pogoń za nowymi formami konstrukcyjno-architektonicznymi robi wrażenie jako cel sam w sobie. Dotyczy to obiektów z rozmaitych tworzyw: drewna, stali i betonu. Efekty są różne, ale często – jeśli budzą pozytywne wrażenia – to raczej podziw niż zachwyt (to duża różnica!). Dwa przykłady, wskazujące na całkowite odejście od uzasadnionych technicznie form konstrukcyjnych i budzących właśnie wspomniany podziw, pokazano na rycinach 6 i 7. Forma mostu chińskiego, zrealizowanego przy udziale Holendrów (ryc. 6), jasno wskazuje, że obiekt nie służy do prostego i w miarę szybkiego pokonania przez pieszych rzeki, tylko drogę tę wydłuża i utrudnia (schody!) w imię bardzo oryginalnego, co trzeba przyznać, rozwiązania konstrukcyjno-architektonicznego. Potwierdza to tezę o pogoni za formą kosztem funkcji.



Ryc. 6. Stalowy most Szczęścia (Węzeł Szczęścia – Lucky Knot), Changsha, Chiny, $L = 185$ m, wysokość 24 m, 2016



Ryc. 7. Kładki dla pieszych: a) Alexandra Arch, Singapur, $L = 80$ m, 2014, b) Lusail, Katar, $L = 225$ m (w budowie)



Ryc. 8: a) kładka dla pieszych Cirkelbroen, Kopenhaga, Dania, $L = 40$ m, otwierana część środkowa 25 m, 2015, maszty z odciągami nie są elementami konstrukcji, pełnią rolę dekoracyjną (np. przez wywieszanie flag), co trochę burzy ład strukturalny obiektu, b) okrągły most drogowy, jezioro Garzon, Urugwaj, $R = 51,5$ m, 2015

Przykład drugi (ryc. 7) ilustruje bardzo obecnie znamienne cechę – odchodzenie od form zgodnych z naturalnymi strumieniami sił wewnętrznych w celu uzyskania oryginalnej formy wizualnej obiektu. To dążenie można uzasadniać (ale czy usprawiedliwiać?) poszukiwaniem nowych, nieopatrzonych form. Można to jednak robić także w sposób mniej kontrowersyjny, spokojniejszy, zachęcający do spaceru lub podziwiania krajobrazu podczas przejazdu mostem, jak to pokazano na przykładach na rycinie 8.

- Współczesny dyktat rozwoju ruchu, zwłaszcza drogowego, wymusza często budowę nowych przepraw mostowych w bezpośrednim sąsiedztwie już istniejących obiektów. Problemem jest wtedy zachowanie ład przestrzenny, co w wielu przypadkach nie jest brane pod uwagę – pragmatyka jest najważniejsza. Na rycinie 9a pokazano pozytywny przykład zachowania walorów przestrzennych mimo różnej konstrukcji mostów, natomiast na rycinach 9b i 9c – przykład negatywny, nowoczesna konstrukcja nowego mostu jest wizualnie nałożona na obiekt stary; ten kontrast (czy w pełni uświadomiony przez projektantów?) nie wpływa dodatnio na estetykę przestrzeni. To wkomponowywanie nowych obiektów w istniejącą przestrzeń zajęta już przez inny most (lub mosty) należy do trudnych zadań urbanistycznych, architektonicznych i konstrukcyjnych. Nic jednak nie zwalnia od dbania o estetykę



Ryc. 9: a) mosty przez zatokę Firth of Forth – lata ukończenia 1890, 1964, 2017, Wielka Brytania (fot. Kruwt, Adobe Stock), b) Bay Bridge, Kalifornia, USA (fot. K. Dąbrowiecki)



Ryc. 10: a) motyl – kładka dla pieszych Butterfly, Bedford, Wielka Brytania, 32 m, 1997, b) lotniskowiec – kładka, Nanterre, Francja (projekt), c) zegar słoneczny – kładka Sundial, Reading, USA, 210 m, 2004 [30]

krajobrazu. Podobne zagadnienia estetyczno-konstrukcyjne występują przy poszerzaniu budowli mostowych, także tych zabytkowych. Przykłady pozytywnych i negatywnych rozwiązań zagranicznych i krajowych znaleźć można w monografii [31].

Temat ten jest obszernie przedstawiony w pracy [30] – tu pokazano tylko trzy przykłady z niej zaczerpnięte (ryc. 10). W tych przypadkach inspiracje te przyniosły zarówno oryginalne rozwiązania konstrukcyjne, jak i dodatnie efekty estetyczne.

- Dążenie do poszukiwania za wszelką cenę oryginalnych form architektoniczno-konstrukcyjnych w wielu przypadkach prowadzi do kontrowersyjnych rozwiązań, a nawet budzących poważne zastrzeżenia. Dotyczy to także kolorystyki obiektów. Wiele krytycznych uwag na ten temat można także odnieść do mostownictwa ostatnich lat w Polsce. Celowo nie będą tu podane takie negatywne przykłady krajowe. Intencją jest tylko skłonienie projektantów do refleksji nad zagadnieniami nierozdzielnej jedności między konstrukcją i estetyką obiektów mostowych. Warto przed projektowaniem sięgnąć np. do dzieła Zbigniewa Wasiutyńskiego (1902–1974) [31], nadal bardzo aktualnie traktującego o zasadach architektury mostów.

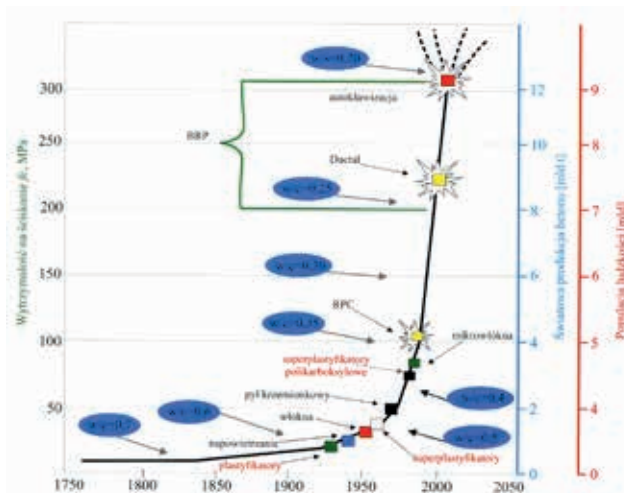
6. Kierunek D

6.1. Uwagi wstępne

Wprowadzenie nowych, niekonwencjonalnych materiałów zarówno do realizacji konstrukcji nośnej, jak i pojedynczych jej elementów (np. cięgien sprężających lub cięgien w mostach podwieszonych), a także do elementów wyposażenia mostów należy do najbardziej wyraźnych i dynamicznie rozwijanych kierunków współczesnego mostownictwa. Jest to temat bardzo obszerny i dlatego ograniczymy się tu do zasygnalizowania tylko dwóch zagadnień, które są zdaniem autora najważniejsze i które wchodzi w bezpośredni obszar jego zainteresowań badawczych i inżynierskich. Są to następujące zagadnienia:

- stosowanie do budowy obiektów mostowych betonów nowej generacji,

- stosowanie w mostownictwie materiałów kompozytowych. Ponadto w mostownictwie metalowym zaobserwować można rozwój wykorzystania nowych gatunków stali konstrukcyjnej oraz stopów aluminium. Bliższe przedstawienie tego tematu pozostawiam innym autorom. Nie można jednak nie zauważyć, że w zakresie analiz, badań i zastosowań stopów aluminium Polska ma własne osiągnięcia, o czym świadczą choćby obszerne publikacje [32, 33]. Zaobserwować również można rozwój konstrukcji hybrydowych, najczęściej o betonowanych, stalowych kratownicach, oraz kratownic z prętami rurowymi wypełnionymi betonem. Ta problematyka była przedmiotem Wrocławskich Dni Mostowych w 2018 r., poświęconych właśnie konstrukcjom hybrydowym. Dlatego nie będzie poruszana w tym opracowaniu.



Ryc. 11. Uogólniona krzywa rozwoju betonu [36]

6.2. Betony nowej generacji

Na temat stosowania betonów nowej generacji w budownictwie mostowym ukazało się w Polsce już wiele publikacji, np. [34]. Całkiem ostatnio tematyka ta była również przedmiotem referatu zamawianego [35]. Dlatego wskażemy tu tylko w syntetycznej formie na główne jej aspekty.

- Na rycinie 11 pokazano często cytowany wykres rozwoju betonu. Dzięki nowoczesnym technologiom potrafimy już wytwarzać i stosować betony o wytrzymałości na ściskanie ok. 300 MPa. Z tych ultrawysokowyttrzymałych betonów powstało kilka obiektów mostowych (np. kładki dla pieszych w Sherbrooke, Kanada, 1997 i Sönyu w Seulu), wielokrotnie już opisywanych, np. w [34]. Obiekty te stanowią wizytówki obecnych możliwości technologicznych, ale w dalszym ciągu można je traktować jako rozwiązania prototypowe. Natomiast na stosunkowo dużą skalę budowane są obiekty mostowe z betonu o wytrzymałości na ściskanie w granicach 60÷100 MPa. Tendencja ta dotyczy mostownictwa w naszym kraju (np. most extradosed w Kwidzynie wykonano z betonu klasy C70/85; por. ryc. 23 w 1. części artykułu). Stosowanie tych podwyższonych klas w stosunku do konwencjonalnego betonu nie wynika zwykle z potrzeby uzyskania tak dużej wytrzymałości. Tendencja ta jest podyktowana głównie większą trwałością betonów oraz uzyskaniem dużej tzw. wczesnej wytrzymałości, co pozwala na przyspieszenie cyklu

wykonywania obiektu. Ewidentną korzyścią jest też zmniejszenie ogólnej kubatury betonu konstrukcyjnego. Wszystko to prowadzi do oszczędności ekonomicznych (por. rozdział 9) [34].

- Drugim kierunkiem rozwoju stosowania betonów nowej generacji w praktyce mostowej są wysokowartościowe betony lekkie. Istnieją liczne przykłady budowania obiektów z ich wykorzystaniem. Chodzi oczywiście o zmniejszenie ciężaru własnego konstrukcji, co jest szczególnie ważne w mostach o dużej skali, przy jednoczesnym spełnieniu wysokich wymagań co do ich trwałości. Najbardziej spektakularnym przykładem jest tu rekordowy most Stolma w Norwegii (ryc. 2 w 1. części artykułu). Betony lekkie są także stosowane w krajowym mostownictwie, choć jeszcze raczej incydentalnie i dotyczą przeważnie elementów pomostów.
- Trzecim kierunkiem rozwojowym jest stosowanie betonu samozagęszczonego. Udział tego betonu w konstrukcjach mostowych jest coraz szerszy na świecie i dotyczy nawet mostów o dużej skali (np. podwieszono mostu Talavera de la Reina w Hiszpanii z przęsłem głównym o rozpiętości 318 m) [34]. W Polsce beton ten został użyty jako materiał konstrukcyjny do budowy łuków mostu Zamkowego w Rzeszowie (ryc. 12) w 2002 r. [37]. W moście tym, zaprojektowanym przez prof. Tomasza Siwowskiego, użyto ok. 900 m³ betonu samozagęszczonego klasy B65, co do tej pory jest jednym z największych zastosowań w Europie. Beton ten był i nadal jest stosowany w polskim i światowym mostownictwie,



Ryc. 12. Most Zamkowy w Rzeszowie, $L_1 = 50$ m, 2002 (fot. Mosty Łódź SA)



Ryc. 13. Mostek wykonany z ultrawysokowytężalnego betonu z kruszywem szklanym [39]

choć raczej jak dotychczas incydentalnie. Można jednak sądzić, że będzie on w kraju i na świecie wykorzystywany coraz częściej. Są już i u nas udane próby laboratoryjnego wytwarzania samozagęszczalnych betonów lekkich [38].

- Do nowych rozwiązań materiałowych należy zastępowanie klasycznego kruszywa kruszywem z innych materiałów. Jako przykład można podać szkło. W Kanadzie z użyciem kruszywa szklanego wytworzono utrawysokowytężalny beton (96 MPa po 28 dniach i 127 MPa po 91 dniach), z którego wykonano mały mostek ($L = 12,5$ m), pokazany na rycinie 13 [39]. Pozyskiwanie tego rodzaju kruszywa z materiałów odpadowych jest zgodne z lansowaną obecnie strategią zrównoważonego rozwoju.
- Piątą i ostatnią z przedstawianych tu tendencji jest dążenie do zwiększania trwałości mostów drogą eliminacji zbrojenia stalowego, podatnego na korozję, innego rodzaju zbrojeniem (por. podrozdział 6.3). Zamiast klasycznych prętów zbrojeniowych zaczęto praktyczne próby stosowania do zbrojenia betonu tekstyliów (ang. *textile reinforced concrete* – TRC) [35]. Próby te są wprawdzie dosyć obiecujące, ale do stosowania tego rozwiązania w powszechnej praktyce mostowej jest jeszcze raczej daleko. Nie można jednak wykluczyć rozpowszechnienia tego rodzaju rozwiązania, zwłaszcza w odniesieniu do mostów o mniejszej skali.

6.3. Materiały kompozytowe

Do najbardziej charakterystycznych i spektakularnych przejawów wprowadzania do mostownictwa w skali globalnej i lokalnej materiałów niekonwencjonalnych należy rozwój stosowania kompozytów polimerowych z włóknami węglowymi, szklanymi i syntetycznymi. Wobec wydanej właśnie (2018) obszernej monografii [40] nie będziemy tu tej tematyki rozwijać. Natomiast zwrócimy uwagę, że zastosowanie materiałów, nazywanych dalej FRP (od ang. *fibre reinforced polymer*), dotyczy następujących podstawowych obszarów:

a) wykonywanie nowych konstrukcji całkowicie kompozytowych lub hybrydowych (np. dźwigary kompozytowe i pomost żelbetowy albo dźwigary stalowe lub betonowe i pomost kompozytowy);

b) wymiana istniejących pomostów betonowych lub stalowych na nowe – kompozytowe, co dotyczy przede wszystkim renowacji lub modernizacji istniejących obiektów mostowych;

c) stosowanie wyrobów kompozytowych do wzmocnień konstrukcji przęsła i podpór (taśm, mat, L-kształtek);

d) pojedyncze elementy tworzące konstrukcje, głównie kabły do sprężania betonu lub jako ciągną w konstrukcjach podwieszonych oraz pręty (niemetaliczne) do zbrojenia betonu.

Obserwacja rozwoju zastosowań FRP w mostownictwie pozwala na sformułowanie następujących komentarzy.

- W światowym mostownictwie stosowanie kompozytów FRP jest stosunkowo częste i to w każdym z wymienionych wyżej obszarów. Są obiekty, które zostały wykonane w całości z materiałów nowej generacji, budowane jeszcze w latach 90. XX w., więc obecnie mogą być traktowane jako raczej niekonwencjonalne niż nowe. Skala zastosowań kompozytów FRP w światowym mostownictwie systematycznie wzrasta [40]. Dotyczy to także obszaru opisanego wyżej w punkcie d) [41].



Ryc. 14. Stalowa kładka dla pieszych z pomostem kompozytowym nad drogą S11 w Gądkach koło Kórniku, $L = 241,45$ m, $l_{\text{mas}} = 40,00$ m, 2007 [42]

- Z satysfakcją stwierdzić można, że w obszarach oznaczonych poprzednio jako a) i c) Polska ma znaczące osiągnięcia na tle światowym. Kilka kompozytowych kładek o mniejszej skali powstało w latach poprzednich, ale obiekt o większej skali wybudowano w 2007 r. (ryc. 14) [42]. W latach 2015–2016 zrealizowano dwa mosty w ciągu dróg lokalnych jako finalny efekt programu badawczego (ryc. 15) [40].
- Wstępne analizy (por. rozdział 9) wykazują, że stosowanie kompozytów FRC do budowy obiektów mostowych ma swoje uzasadnienie techniczne i ekonomiczne. Można zatem spodziewać się rozszerzenia u nas tego kierunku rozwoju mostownictwa, podobnie do tendencji światowych.
- Szczególnie rozwinięte są obecnie na świecie i w kraju metody wzmacniania konstrukcji mostowych z użyciem wyrobów z kompozytów FRP. Od czasu pierwszego zastosowania taśm do wzmocnienia mostu przez Wiar w Przemysłu w 1997 r. [43] wzmocniono u nas wiele obiektów mostowych, stosując różne odmiany tej metody; opracowano też i wdrożono do praktyki oryginalne sposoby naprężania taśm kompozytowych. Obszerne informacje na temat wzmacniania za pomocą kompozytów FRP znaleźć można w publikacji [44].
- Obszar oznaczony poprzednio jako d) nie jest jeszcze w Polsce dobrze reprezentowany, choć są już pojedyncze realizacje należące do tego obszaru. W moście w Błażowej (por. ryc. 15a) do zbrojenia płyty pomostu z betonu lekkiego LC 35/37 użyto prętów kompozytowych (z włóknami szklanymi – GFRC) o średnicy 12 mm. O ile autorowi wiadomo, w Polsce nie zastosowano jeszcze cięgien podwieszających ani kabli sprężających z FRP. Jest to więc pole do zagospodarowania, motywowane dążeniem do zwiększenia trwałości technicznej obiektów mostowych.

7. Kierunek E

Odnośnie do tego kierunku można sformułować następujące, syntetycznie ujęte komentarze.

- Udoskonalanie metod wykonawczych fundamentów, podpór i prześleń mostowych jest od kilku już dekad procesem ciągłym. Technologie wykonawcze, znane co do podstawowych zasad, są dostosowywane do indywidualnych przypadków. Głównym tego celem jest dążenie do uzyskania wysokiej jakości robót przy możliwym do osiągnięcia skracaniu czasu ich prowadzenia, zachowanie pełnego bezpieczeństwa wykonawstwa oraz zapewnienie obiektowi wymaganej trwałości. Zagadnienia technologiczne i ich rozwój stanowią bardzo obszerny temat, wymagający oddzielnego opracowania.
- Obecnie w Polsce dysponujemy niemal wszystkimi technologiami wykonawczymi stosowanym na świecie [45]. Wyjątek



Ryc. 15: a) most o prześle z belek kompozytowych i żelbetowej płycie pomostu w Błażowej, $L_1 = 21,00$ m, 2015, b) most o prześle całkowicie kompozytowym w Nowej Wsi koło Rzeszowa, $L_1 = 10,00$ m, 2016 (fot. Mostostal Warszawa SA)

stanowi wspornikowy montaż betonowych segmentów prefabrykowanych, który w nowej rzeczywistości gospodarczej nie odrodził się od przełomu lat 60 i 70. XX w. – most Pomorski przez Brdę w Bydgoszczy, 1967, most Przemysława przez Wartę w Poznaniu, 1973 – oba projektu Maksymiliana Wolfa (1921–2007). Metoda ta może być traktowana jako alternatywna w stosunku do nawisowego betonowania i dlatego nie jest stosowana. Warto jednak rozważyć jej *redivivus* w obliczu np. budowania na obwodnicach miast długich estakad, choć tu konkurencyjna może okazać się metoda budowy sekcja po sekcji [46].

- Wobec generalnie wysokiego obecnie poziomu technologii budowy mostów oraz bardzo dobrej na ogół jakości stosowanych materiałów udoskonalenia mogą dotyczyć niektórych, szczegółowych rozwiązań, tak aby być konkurencyjnym na rynku mostowym. Dobrym tego przykładem są nowe sposoby sprężania i podwieszania konstrukcji mostowych [47]. Na szczególną uwagę zasługuje nowa generacja kabli sprężających elektroizolowanych. Odpowiednia instalacja umożliwi bardzo wczesne wykrycie jego uszkodzeń.
- Zagadnienia technologiczne są ściśle związane z ekonomią. Wybór odpowiednich rozwiązań konstrukcyjnych, materiałowych i metod wykonawczych zależy w dużym stopniu od relacji cenowych na rynku. Dążenie do obniżania kosztów nie może w mostownictwie prowadzić do obniżenia trwałości i bezpieczeństwa użytkowania obiektów, a także do zaniebdywania efektów estetycznych. W warunkach ograniczeń finansowych, które występują w mniejszym lub większym

stopniu zawsze, lepiej jest budować mniej, ale dobrze. Jest to ważne stwierdzenie dotyczące przyszłości i odnosi się obecnie w dużym stopniu także do mostownictwa kolejowego w Polsce [48].

8. Kierunek F

Odnośnie do tego kierunku można sformułować następujące, syntetycznie ujęte komentarze.

- Bardzo wyraźnym rysem światowego, a także i naszego mostownictwa jest monitoring zachowania obiektów, zwłaszcza o dużej skali lub o prototypowych rozwiązaniach materiałowych i konstrukcyjnych. Już stosunkowo wiele obiektów, również w Polsce, jest zaopatrywanych w instalacje pozwalające śledzić, co dzieje się z mostem w trakcie jego zwykłej, codziennej eksploatacji (rodzaj samolotowej czarnej skrzynki). Monitorowanie jest częścią diagnostyki mostów, będącej przedmiotem monografii [49], w której są też podane wiadomości na jego temat.
- Monitorowanie obiektów jest stosowane na świecie na dużą skalę od trzech mniej więcej dekad, a u nas od co najmniej dekady, i to w zaawansowanym stopniu. Jest rzeczą zrozumiałą, że dotyczy ono tylko niektórych obiektów, które cechuje zwykle duża skala lub nowatorstwo rozwiązań materiałowych i konstrukcyjnych. Jako przykłady można podać most łukowy im. Jana Pawła II przez Wisłę w Puławach lub podwieszony most Rędziński przez Odrę na autostradowej obwodnicy Wrocławia bądź dwa pierwsze w Polsce mosty kompozytowe zlokalizowane na drogach lokalnych Podkarpacia (por. ryc. 15). Są one odpowiednio oprzyrządowane. Jak już wspomniano, zaletą monitoringu jest możliwość śledzenia na bieżąco zachowania konstrukcji pod normalnym, codziennym ruchem pojazdów. Największym problemem jest nie tyle rejestracja wskazań różnych urządzeń pomiarowych, co ich interpretacja – trzeba umieć wyselekcjonować ewentualne niepokojące sygnały z morza otrzymanych danych. Wymaga to m.in. specjalistycznego oprogramowania komputerowego oraz wysoko kwalifikowanej kadry obsługującej monitoring. Trzeba przyznać, że o ile mamy informacje o instalowaniu monitoringu, o tyle na temat sposobu jego funkcjonowania i analizy wskazań informacje są jak dotychczas dość ograniczone.
- Trzeba wyraźnie powiedzieć, że inicjatywa zainstalowania monitoringu zależy głównie od projektantów. Formy uzyskania na to zgody od inwestorów bywają różne, ale nie są jeszcze przedmiotem żadnych obowiązujących formalnie procedur postępowania. Niektórzy inwestorzy dają się jednak przekonać, zwłaszcza gdy realizacja dotyczy obiektu o cechach nowatorskich. Warto przy tym nadmienić, że mimo dość pozornie drogiego oprzyrządowania, koszt instalacji do monitorowania obiektu jest stosunkowo niski – można go ocenić w zależności od skali konstrukcji i jej złożoności w granicach 1÷2% ogólnych kosztów inwestycji. Jeżeli końcowym etapem programu badawczego jest nowatorski obiekt, to jego monitoring stanowi niezbywalny element tego programu. Tak było u nas np. ze wspomnianymi mostami kompozytowymi, pokazanymi na rycinie 15.
- Monitoring obiektów mostowych nie jest obligatoryjny (chyba że stanowi immanentny element programu badaw-

czego, którego finałem jest nowatorski obiekt), potrzeba jego instalowania wynika z samodzielnych decyzji projektantów, wspartych dość dotychczas incydentalnie przez wykonawców, oraz zgody inwestorów. Inaczej nie ma obowiązku wbudowywania w obiekt systemu monitoringu.

- Monitoring jest prowadzony w różnych fazach budowy. Jest to szczególnie ważne, gdy np. budowa przęseł betonowych realizowana jest z zastosowaniem metod, w których stany montażowe mają inny schemat statyczny od schematu w stanie eksploatacyjnym (np. metodą betonowania nawisowego lub nasuwania wzdłużnego). Taki jednak monitoring (np. pomiary geodezyjne służące do kontroli zachowania wymaganych w projekcie parametrów geometrycznych konstrukcji i jej przemieszczeń na różnych etapach realizacji obiektu są także formą monitoringu) można zaliczyć do stosowanych na każdej budowie. Natomiast monitoring obiektów mostowych podczas ich eksploatacji ma inny, podany poprzednio cel. Inaczej nieco rzecz ujmując, korzyści ze stosowania monitoringu polegają na tym, że daje on możliwość wczesnego wykrycia niepokojących efektów i niemal natychmiastowego zastosowania środków zaradczych (napraw, wzmocnień, wymiany elementów), zapewniających dalszą bezpieczną eksploatację bądź też zapobiegających awarii lub katastrofie (wprowadzenie ograniczeń ruchu lub w skrajnym przypadku wyłączenie obiektu z użytkowania czy zamknięcie ruchu). Dostatecznie wczesne wykrycie nieprawidłowości w zachowaniu konstrukcji może też oczywiście prowadzić do oszczędności natury ekonomicznej. Wymaga to jednak, raz jeszcze to podkreślmy, umiejętności wyławiania niepokojących sygnałów.
- Czy system monitoringu będzie rozwijany w Polsce? Można zaryzykować, że tak i że będzie on też dotyczyć obiektów kolejowych, przenoszących ruch pociągów o dużej prędkości. Brak nam po prostu dotychczas dostatecznie szerokich doświadczeń o wpływie znacznych prędkości ruchu na zachowanie obiektów mostowych, które dotychczas przenosiły ruch znacznie wolniejszy. Można w tym zakresie dzięki monitoringowi uzyskać odpowiedź, czy modernizacja istniejących obiektów była konieczna i czy została właściwie zaprojektowana i zrealizowana.

9. Kierunek G

Odnośnie do tego kierunku można sformułować następujące, syntetycznie ujęte komentarze.

- Obecne metody analizowania efektywności budowy nowych obiektów mostowych lub modernizacji i remontów obiektów istniejących są bardzo zaawansowane, wszystkie jednak oparte od strony podstawowej koncepcji na zasadach sformułowanych w dawnej już monografii [50].
- We wszystkich metodach analiz rozpatrywane są losy mostu w ciągu całego okresu jego przewidywanej eksploatacji. Brane są też pod uwagę aspekty społeczne i kulturowe. Istnieją również metody uwzględniające strategię zrównoważonego rozwoju. Jako te nowe metody można wymienić: ekonomiczną ocenę cyklu życia (ang. *life cycle cost analysis* – LCCA), środowiskową ocenę cyklu życia (ang. *life cycle assessment* – LCA), społeczną analizę cyklu życia (ang. *life cycle social analysis* – LCSA) oraz będącą niejako ich ukoronowaniem, zintegrowaną (holistyczną)

analizę cyklu życia (ang. *integrated [holistic] life cycle analysis – ILCA, HLCA*). Metody te, stosowane już na świecie i częściowo nawet oprogramowane, nie są jeszcze w Polsce dość powszechnie znane ani używane. Bliższe informacje o nich można znaleźć m.in. w publikacji [51]. Umiejętność wykorzystywania wymienionych metod w praktyce mostowej będzie już niedługo absolutnie niezbędna.

- Zastosowanie tych metod analizy pozwala m.in. na podjęcie decyzji, czy bardziej opłacalne są remont lub modernizacja danego obiektu, czy też jego rozbiórka i wybudowanie obiektu nowego w miejsce starego. W takim przypadku czynnikiem decydującym może być czas prowadzenia robót [52].
- Współczesne analizy efektywności wymagają dysponowania przez środowisko mostowe tzw. umiejętnościami lub kwalifikacjami miękkimi. Umożliwiają one ocenę społecznych i kulturowych skutków podejmowanych decyzji technicznych i ekonomicznych. Wymaga to odpowiedniego przygotowania kadr. O społecznej roli inżynierów i naukowców w niedalekiej przyszłości bardzo interesująco piszą autorzy publikacji [53].

10. Podsumowanie

Wyodrębnione na potrzeby tego opracowania kierunki rozwoju mostownictwa, które zostały subiektywnie wybrane na podstawie obserwacji zmian zachodzących w tej dziedzinie budownictwa, pozwalają sformułować następujące uwagi końcowe.

- Rozwój konstrukcji, poszukiwanie nowych form wyrazu obiektów mostowych w znacznej mierze zależy od rozwiązań materiałowych. Nowe, rzeczywiście znaczące w skali świata osiągnięcia będą wymagać stosowania tworzyw innych od konwencjonalnych.
- Pogoń za oryginalnością form architektonicznych mostów może prowadzić, i często już prowadzi, do zaniku ich funkcjonalności.
- Można przewidywać budowę dalszych długich przepraw mostowych, w tym międzykontynentalnych.
- Systematycznie wprowadzane będą udoskonalenia znanych technologii wykonawczych – trudno sobie wyobrazić budowę mostów za pomocą dziś w ogóle nieznanymi metod.
- Rozwój analiz ekonomicznych wyraźnie wskazuje, że czynnik czasu powinien być traktowany w mostownictwie jako kategoria ekonomiczna, podobnie też należy rozpatrywać efekty i koszty społeczne.
- Można przewidywać, że w dalszym ciągu – przynajmniej w najbliższych latach – dominacją osiągnięć mostowych krajów azjatyckich będzie trwać w skali globalnej.
- Cały świat mostowy – projektanci, wykonawcy, zarządcy – musi być w coraz większym stopniu świadomy społecznych i kulturowych skutków swych decyzji technicznych. Do tego potrzebne są tzw. umiejętności miękkie, które powinny być także rozwijane w czasie kształcenia kadr mostowych.
- W zamieszczonych komentarzach dotyczących każdego z wyodrębnionych kierunków rozwojowych zwracano uwagę, że – zachowując wszelkie proporcje – kierunki

rozwoju mostownictwa w Polsce są zbieżne ze światowymi. Wieloma osiągnięciami możemy się chlubić.

- Zgodnie z zapowiedzią na wstępie tego opracowania, akcenty na poszczególne kierunki rozwojowe mostownictwa na świecie i w Polsce rozłożone są nierówno. Wynika to głównie z ograniczeń objętości, choć i tak jest ten artykuł wyjątkowo obszerny. Ponadto jako autor ośmielam się przypomnieć o – także zapowiadany – subiektywizmie wyboru i scharakteryzowania poszczególnych tendencji rozwoju.

Literatura

- [1] Bažant Z., Hubler M.H., Qiang Y.: *Excessive Creep Deflections: An Awakening*. „Concrete International” 2011, No. 8, pp. 44–46.
- [2] Radomski W.: *Kilka uwag o efektach pełzania w konstrukcjach mostowych z betonu sprężonego*. „Obiekty Inżynierskie” 2012, nr 2, s. 15–25.
- [3] Biliszczuk J., Machelski C., Onysyk J., Węgrzyniak M.: *Stan dużych mostów z betonu sprężonego wybudowanych w latach 1954–1975*. „Inżynieria i Budownictwo” 1996, nr 9, s. 516–519.
- [4] Obiegałka B.: *Mosty w Toruniu i ich budowniczy*. Fundacja Rozwoju Nauki w Zakresie Inżynierii Lądowej im. A. i Z. Wasiutyńskich. Warszawa 2017.
- [5] Chwaściński B.: *Mosty na Wiśle i ich budowniczy*. Fundacja Rozwoju Nauki w Zakresie Inżynierii Lądowej im. A. i Z. Wasiutyńskich. Warszawa 1997.
- [6] Niemierko A.: *Budowa mostów w Polsce 1995–2005*. „Drogownictwo” 2006, nr 2, s. 50–61.
- [7] Stańczyk A.: *Most przez Bug w Broku*. „Drogownictwo” 2017, nr 2, s. 71–74.
- [8] <http://bridge.aalto.fi/en/lomgspan.htm>
- [9] Billington D.P., Deodatis G.: *Form and aesthetics in cable-stayed bridges, in Cable-stayed Bridges – Recent developments and their Future*. Ed. M. Ito et al. Elsevier Science Publishers B.V., 1991, pp. 35–55.
- [10] Biliszczuk J.: *Mosty podwieszane. Projektowanie i realizacja*. Arkady. Warszawa 2005.
- [11] Radomski W.: *Katastrofy i awarie mostów a rozwój wiedzy budowlanej*. XXV Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie budowlane, Międzyzdroje 24–27 maja 2011. Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. T. 1. Szczecin 2011, s. 153–174.
- [12] Biliszczuk J.: *Inżynieria mostowa w Polsce niepodległej (1918–2018)*. „Inżynieria i Budownictwo” 2018, nr 7–8, s. 371–382.
- [13] Biliszczuk J.: *Mosty w dziejach Polski*. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne. Wrocław 2017.
- [14] Grodecki W., Radomski W.: *Mostowe i tunelowe przeprawy międzykontynentalne*. „Geoinżynieria. Drogi, mosty, tunele” 2007, nr 1, s. 18–27.
- [15] Meyer U.: *Proposal for a carbon fibre reinforced composite across the Strait of Gibraltar at its narrowest site*. „Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers” 1987, Part B, Vol. 201, No. B2, pp. 73–78.
- [16] Kisała D.: *Niekonwencjonalne mosty podwieszane i extra-dosed*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2015, nr 4, s. 20–24.

- [17] Trochymiak W.: *Mosty betonowe z naprężonymi cięgnami – ewolucja form konstrukcyjnych i zasad obliczania*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2012.
- [18] Trochymiak W.: *Mosty typu extradosed – przegląd dokonań*. „Inżynieria i Budownictwo” 2014, nr 10, s. 548–557.
- [19] Stefanowski T., Supeł P., Trochymiak W.: *Analiza zmienności sił i naprężeń normalnych w cięgnach extradosed mostu MS-3P na obwodnicy Ostródy*. Konferencja Naukowo-Techniczna Konstrukcje sprężone, Kraków 18–20 kwietnia 2018. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej. Kraków 2018, s. 227–230.
- [20] Żółtowski K.: *Koncepcja mostu przez Wisłę koło Kwidzyna*. „Inżynieria i budownictwo” 2014, nr 10, s. 558–561.
- [21] Filipiuk S., Stefanowski T.: *Projekt wykonawczy mostu przez Wisłę koło Kwidzyna*. „Inżynieria i Budownictwo” 2014, nr 1, s. 562–565.
- [22] Zawifa P., Dargacz P., Knoppik P.: *Technologia budowy mostu przez Wisłę koło Kwidzyna i estakad dojazdowych*. „Inżynieria i Budownictwo” 2014, nr 10, s. 571–578.
- [23] Szczygieł J.: *Mosty z betonu zbrojonego i sprężonego*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 1972.
- [24] KZN pedestrian bridge a first in Africa. „Civil Engineering” 2008, November / December, pp. 16–20.
- [25] Strasky J.: *Stress ribbon and cable supported pedestrian bridges*. Thomas Telford, 2005.
- [26] Krupa A., Rogowski R.: *Pierwsza w Polsce kładka pieszojezdna z betonu sprężonego*. „Geoinżynieria. Drogi, mosty, tunele” 2012, nr 5, s. 40–42.
- [27] Markocki B., Rogowski R.: *Most wstęgowy z betonu sprężonego w Lubniu*. „Mosty” 2013, nr 2, s. 26–31.
- [28] Radomski W., Łagoda M.: *Budowa przeprawy mostowej Incheon w Korei Południowej*. „Inżynieria i Budownictwo” 2009, nr 1–2, s. 64–68.
- [29] Radomski W.: *Poszerzanie mostów*. PWN. Warszawa 2017.
- [30] Salamak M.: *Inspiracje w projektowaniu mostów*. VI Krajowa Konferencja Estetyka mostów, Instytut Dróg i Mostów Politechniki Warszawskiej i Oddział Warszawski ZMRP, Warszawa–Jachranka, 16–18 kwietnia 2008. Warszawa 2008, s. 191–198.
- [31] Wasiutyński Z.: *O architekturze mostów*. PWN. Warszawa 1971, reedycja Fundacja im. A. i Z. Wasiutyńskich. Warszawa 2012.
- [32] Siwowski T.: *Pomosty aluminiowe obiektów mostowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 2008.
- [33] Siwowski T.: *Kształtowanie obiektów mostowych ze stopów aluminium*. „Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska” 2011, t. 58, nr 1, s. 341–352.
- [34] Radomski W.: *Betony niekonwencjonalne w budownictwie mostowym – praktyczne aspekty stosowania*. „Inżynieria i Budownictwo” 2014, nr 10, s. 566–570.
- [35] Siwowski T.: *Mosty betonowe: stan obecny i kierunki rozwoju*. Referat zamawiany, X Konferencja Dni betonu, Wisła, 8–10 października 2018. Wydawnictwo Stowarzyszenia Producentów Cementu. Kraków 2018.
- [36] Czarnecki L., Woyciechowski P.: *10 dni betonu w XXI wieku*. X Konferencja Dni betonu, Wisła, 8–10 października 2018. Wydawnictwo Stowarzyszenia Producentów Cementu. Kraków 2018, s. 32.
- [37] Radomski W.: *Pierwsze w Polsce zastosowanie betonu szmagęszczanego w konstrukcji mostu*. „Inżynieria i Budownictwo” 2003, nr 2, s. 103–107.
- [38] Kaszyńska M.: *Lekkie betony wysokowartościowe samozagęszczalne – badania i ocena możliwości ich wykonania*. „Inżynieria i Budownictwo” 2007, nr 5, s. 235–239.
- [39] Arezki T.-H. et al.: *Novel Ultra-High-Performance Glass Concrete*. „Concrete International” 2015, Vol. 37, No. 3, pp. 41–47.
- [40] Siwowski T.: *Mosty z kompozytów FRP. Kształtowanie, projektowanie, badania*. PWN. Warszawa 2018.
- [41] Liu Y., Zwingmann B., Schlaich M.: *Carbon Fibre Reinforced Polymer Structures for Cable Structures – A Review*. „Polymer” 2015, No. 7, pp. 2078–2099.
- [42] Grotte T. et al.: *Stalowa łukowa kładka dla pieszych z podwieszonym pomostem z kompozytów polimerowych*. „Inżynieria i Budownictwo” 2009, nr 1–2, s. 69–73.
- [43] Siwowski T., Radomski W.: *Pierwsze krajowe zastosowanie taśm kompozytowych do wzmocnienia mostu*. „Inżynieria i Budownictwo” 1998, nr 7, s. 382–388.
- [44] Łagoda M.: *Wzmacnianie konstrukcji mostowych kompozytami polimerowymi*. Studia z Zakresu Inżynierii, z. 76. Polska Akademia Nauk, Komitet inżynierii Lądowej i Wodnej. Warszawa 2012.
- [45] *Współczesne technologie budowy mostów*. Red. nauk. J. Biliszczuk. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne. Wrocław 2014.
- [46] Biliszczuk J. et al.: *Mosty betonowe wznoszone metodą sekcja po sekcji*. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne. Wrocław 2014.
- [47] Piekarski J.: *Czy lepsze jest wrogiem dobrego, czyli co zmienia się w technologii sprężania i podwieszania konstrukcji mostowych?*. „Mosty” 2018, nr 1, s. 44–47.
- [48] Siwowski T., Kulpa M.: *Współczesne rozwiązania konstrukcyjne i technologiczne kolejowych obiektów mostowych w Polsce*. 64. Konferencja Naukowa KILIW PAN i KN PZITB Inżynieria kolejowa – szanse i wyzwania, Krynica 2018. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej. Kraków 2018, s. 263–290.
- [49] Bień J.: *Uszkodzenia i diagnostyka obiektów mostowych*. Wydawnictwa Komunikacji Łączności. Warszawa 2010.
- [50] Wasiutyński Z.: *O analizie efektów użytkowych i nakładów w mostownictwie*. PWN. Warszawa 1961.
- [51] Siwowski T.: *Algorytmy wyboru technologii naprawy mostu wg zasad zrównoważonego rozwoju, 20 lat Pomost Consulting*. Wydawnictwo Sagier PR. Rzeszów 2015, s. 126–137.
- [52] Radomski W.: *Mosty – remontować i modernizować, czy rozbierać?*, XII Seminarium Współczesne metody wzmacniania i przebudowy mostów, Poznań Kiekrz, 11–12 czerwca 2002. Poznań 2002, s. 195–202.
- [53] Głomb J., Furtak K.: *XXI wiek – nowa rola nauki i techniki*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej. Kraków 2018.

Artykuł jest nieco zmienioną wersją referatu wygłoszonego podczas konferencji Wrocławskie Dni Mostowe *Mosty hybrydowe*, Wrocław, 29–30 listopada 2018

