

Największe osiągnięcia budownictwa mostowego w ostatnich latach

Część 2. Inne kryteria oceny



prof. dr hab. inż.
WOJCIECH RADOMSKI

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska
ORCID: 0000-0002-3404-6109

Artykuł jest kontynuacją prezentacji czołowych osiągnięć budownictwa mostowego według kolejnych, przyjętych przez autora kryteriów, a mianowicie pod kątem budowania długich przepraw mostowych, wznoszenia obiektów wysoko nad terenem oraz wdrażania nowych, niekonwencjonalnych materiałów konstrukcyjnych.

Niniejsze opracowanie stanowi dalszy ciąg subiektywnego przeglądu osiągnięć mostownictwa w ostatnich latach. Współczesne kierunki rozwojowe mostownictwa na świecie i w Polsce, w dość szerokim ujęciu, są przedmiotem niedawnej obszernej publikacji autora [3]. Aby przedstawić czołowe osiągnięcia tej gałęzi budownictwa, autor wprowadził kryteria oceny zbieżne z tymi kierunkami.

Budowanie długich przepraw mostowych

Kolejnym kryterium określającym współczesne osiągnięcia mostownictwa jest budowanie długich przepraw pozamiejskich, głównie przez duże fragmenty akwenów morskich, oraz długich tras na terenach zurbanizowanych lub długich tras dojazdowych do głównego mostu. Pięć najdłuższych obecnie przepraw lub tras mostowych na świecie i w Polsce zestawiono w tabelicy 2.

Dane przedstawione w tabelicy 2. wymagają kilku komentarzy uzasadniających potrzebę podjęcia i rozwijania kierunku oznaczonego poprzednio jako kryterium B.

Kierunki rozwojowe mostownictwa w Polsce są, zachowując wszelkie proporcje, zbieżne ze światowymi. W ostatnich latach poziom naszego budownictwa mostowego znacznie się podniósł oraz w niektórych obszarach dorównuje światu – mamy co pokazać i czym się chlubić.

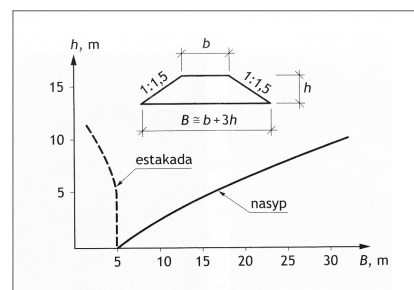
- W budowie współczesnych długich przepraw mostowych znów przodują kraje azjatyckie, zwłaszcza te z licznymi wyspami przybrzeżnymi, na przykład Chiny i Korea Południowa. Głównym dążeniem jest w tym przypadku aktywizacja gospodarcza i społeczna tych wysp [3] lub skrócenie czasu dojazdu do wielkich lotnisk międzynarodowych (np. przeprawa Incheon w Korei Południowej, długości 21,38 km, 2009 rok [15]). Obecnie najdłuższą na świecie przeprawą mostową jest trasa Qingdao Hawan w Chinach, licząca 42,58 km, ukończona w 2011 roku (rys. 26a).

- Polska z przyczyn naturalnych takich długich przepraw ani tras mostowych nie ma. Najdłuższa z takich to estakada WE1 w ciągu Południowej Obwodnicy Gdańska, mająca długość 2,75 km (rys. 26b).

- Przykład estakady w Gdańsku oraz innych liniowych tras biegnących po estakadach i położonych na terenach zurbanizowanych dobrze oddaje bardzo ważny problem decyzyjny. Polega on na tym, że estakady stanowią w wielu przypadkach alternatywę dla nasypów. Często analiza wyłącznie kosztów bezpośrednich wskazuje, że rozwiązanie z nasypem jest tańsze. Trzeba jednak zdawać sobie sprawę, że nasypy są bardzo terenochłonne oraz, zwłaszcza na obszarach zurbanizowanych, stanowią przeszkodę (rodzaj „tamy”) bardzo utrudniającą lub wręcz uniemożliwiającą zagospodarowanie terenu w kierunku prostopadłym do trasy komunikacyjnej. Estakada takiej przeszkody nie stanowi, a co więcej, im wyżej jest usytuowana nad terenem, tym jej obecność przestaje być niemal w ogóle terenochłonna, co schematycznie pokazano na rys. 27. Nawet jeśli założyć, że współczesne metody budowy nasypów zmniejszają pochylenie ich skarp (np. przez użycie geo-



Rys. 26. Rekordowe przeprawy i trasy mostowe: a) na świecie – Qingdao Hawan, Chiny, 42,58 km, 2011 rok; b) w Polsce – estakada WE1 w ciągu Południowej Obwodnicy Gdańska, 2,75 km, 2012 rok [3]



Rys. 27. Terenochłonność w zależności od wysokości nasypu i wysokości wzniesienia estakady nad terenem

włóknin), to i tak problem zajętości pasa terenu oraz trudności w zagospodarowywaniu otoczenia nasypu nie znika. Dlatego, biorąc pod uwagę również tzw. koszty społeczne, długie estakady będą coraz czę-

ściej budowane zamiast nasypów, szczególnie w obszarach zurbanizowanych. Potwierdza to przykład budowy estakad kolejowych w Krakowie (rys. 28.). Patrząc na to zdjęcie, można sobie wyobrazić, jak utrudniona byłaby komunikacja obu części miasta przedzielonych nasypem. Obecnie bardzo są rozwinięte, także w Polsce, technologie budowy długich estakad, głównie betonowych. Jest już wiele przykładów tego rodzaju obiektów, zastępujących tradycyjne nasypy. Przykłady można znaleźć w monografii [3].



Rys. 28. Budowa estakad kolejowych w Krakowie [3]

Budowanie obiektów wysoko nad terenem

Budowanie wysokich podpór mostowych wynika oczywiście ze znacznego wzniesienia prześle mostowych nad terenem. Budowa takich podpór jest poważnym wyzwaniem inżynierskim. Zwracając uwagę na wysokość położenia mostu nad terenem, należy jednak odróżnić dwie sytuacje. Pierwsza jest taka, że przeszkoda (rzeka lub dolina) jest wprawdzie szeroka, ale możliwe jest jej pokonanie jednym przęsłem, z reguły o konstrukcji wiszącej, podwieszanej lub łukowej. Druga sytuacja jest taka, że przeszkoda jest głęboka (dotyczy to przede wszystkim dolin), ale jednocześnie na tyle szeroka, że jej pokonanie jednym przęsłem nie jest możliwe.

Przykładem pierwszej sytuacji jest uznawany za położony najwyżej na świecie stalowy most podwieszony Beipanjiang przez dolinę rzeki Duge w Chinach, z przęsłem rozpiętości 720 m i usytuowany 565 m nad poziomem wody. Drugi jest także chiński most nad doliną rzeki Siduhe, o konstrukcji wiszącej z przęsłem rozpiętości 900 m, usytuowany 496 m nad poziomem rzeki (niektóre źródła podają wartości 500 m i 550 m), a trzeci betonowy most podwieszony Baluarde w Meksyku z przęsłem rozpiętości 520 m, położony 403 m nad dnem doliny. Ponadto za najwyższy położony nad terenem łukowy most stalowy uznawany jest most nad rzeką Zhijing ($h_t = 294$ m), również w Chinach. Cztery wymienione obiekty pokazano na rys. 29.

Spektakularnym i powszechnie już znanym przykładem drugiej sytuacji jest wiadukt Millau nad doliną rzeki Tarn we Francji. Jest to wieloprzęsłowa betonowa konstrukcja podwieszona o długości 2460 m z przęsłami

Tablica 2. Najdłuższe przeprawy oraz trasy mostowe na świecie i w Polsce

Świat	Polska
Qingdao Karwan, Chiny, 42,58 km 2011 rok	Estakada WE1 w ciągu Południowej Obwodnicy Gdańska, 2,75 km, 2012 rok
Lake Ponchartrain Causeway, USA, 38,50 km, 1950 rok	Estakada im. Eugeniusza Kwiatkowskiego w Gdyni, 2,59 km, 1998 rok
Mancach Swamp, USA, 36,71 km, 1970 rok	Przeprawa autostradowa A1 przez Wisłę w Grudziądzu, 1,96 km, 2011 rok
Hangzhou Bay, Chiny, 35,67 km, 2007 rok	Trasa kolejowa przez Wartę na linii 395 w Poznaniu, 1,96 km, 1970 rok
Runyng, Chiny, 35,66 km, 2005 rok	Most im. gen. Elżbiety Zawackiej w Toruniu z dojazdami 1,92 km, 2013 rok

o rozpiętościach 204 m + 6 x 342 m + 204 m, ukończona w 2004 roku (rys. 30a). Jest wzniesiona 270 m nad poziomem rzeki. Najwyższy pylon ma wysokość 343 m, czyli o 19 m więcej od wieży Eiffla w Paryżu (rys. 30b).

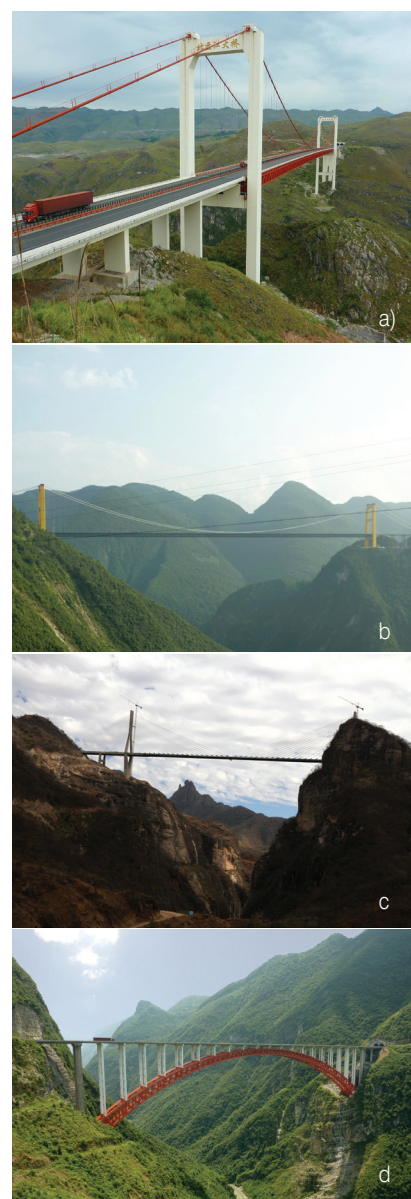
Polska nie ma oczywiście tak wysokogórskich terenów, które przecinają trasy komunikacyjne. Niemniej jednak i u nas budowane są już obiekty mostowe o stosunkowo wysokich podporach. Najnowszym przykładem jest estakada nr 21 w ciągu Zakopianki. Obiekt ten jest wieloprzęsłową konstrukcją z betonu sprężonego o rozpiętościach 56,00 m + 4 x 70,00 m + 90,00 m + 2 x 70,00 m + 56,00 m = 992,00 m. Wysokość podpór w kształcie litery „Y” jest zmienna: od 32,00 m do 43,20 m. Obiekt ten pokazano na rys. 31. Jest uznawany za najwyżej położoną nad terenem estakadę w Polsce [16], [17].

Brak jest kompletnych i usystematyzowanych danych na temat najwyżej położonych nad terenem obiektów mostowych w Polsce. Znane „z wysokości” obiekty są jednak usytuowane niżej od estakady pokazanej na rys. 31. – most kolejowy w Bolesławcu, ukończony w 1846 roku, ma 26 m wysokości, most kolejowy przez Dolinę Łabajową, z 1933 roku – 32 m, a most w Stańczykach (nieużytkowany), lata 1917–1918 – 36,5 m. Można zatem uznać, że owa estakada jest rzeczywiście rekordowa w kraju pod względem wzniesienia nad terenem.

Wprowadzanie niekonwencjonalnych materiałów konstrukcyjnych

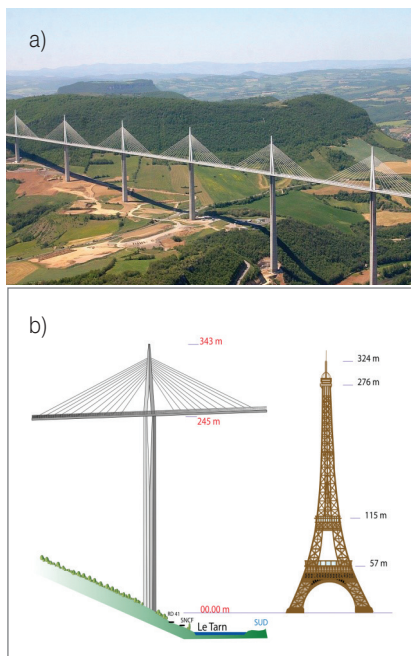
Jednym z wyraźnych nurtów współczesnego mostownictwa jest wprowadzanie nowych, niekonwencjonalnych materiałów konstrukcyjnych. Temu tematowi poświęcono już wiele publikacji i dlatego powinien być znany. Nurt ten ma swe odzwierciedlenie także w Polsce. Warunkuje on jednak w znacznym stopniu postęp w budownictwie mostowym i dlatego nie może być tu pominięty. Przedstawiony będzie w koniecznym skrócie i skoncentrowany na tylko jednym obszarze – na kompozytach polimerowych z włóknami (FRP, z ang. *Fibre Reinforced Polymers*).

Niekonwencjonalne materiały konstrukcyjne coraz szerzej stosowane w mostownictwie

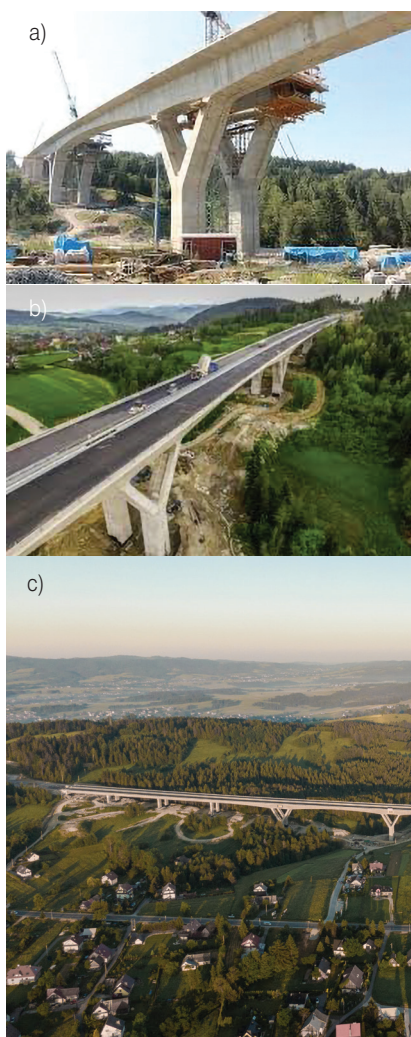


Rys. 29. Najwyżej na świecie położone mosty nad przeszkodą: a) stalowy most podwieszony Beipanjiang nad doliną rzeki Duge, Chiny, $l_{max} = 720$ m, $h_t = 565$ m, 2016 rok; b) stalowy most wiszący nad doliną rzeki Siduhe, Chiny, $l_{max} = 900$ m; $h_t = 496$ m, 2009 rok; c) betonowy most podwieszony nad doliną Baluarde, Meksyk, $l_{max} = 520$ m; $h_t = 403$ m, 2012 rok; d) łukowy stalowy most nad rzeką Zhijing, Chiny, $l_{max} = 430$ m, $h_t = 294$ m (uważany za najwyżej nad terenem położony most łukowy na świecie), 2009 rok

a) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Beipanjiang_Highway_Suspension_Bridge-1.jpg
b) https://en.wikipedia.org/wiki/Sidu_River_Bridge
c) https://en.wikipedia.org/wiki/Baluarde_Bridge#/media/File:Puentes_Baluarde_Mexico.jpg
d) https://en.wikipedia.org/wiki/Zhijing_River_Bridge



Rys. 30. Wiadukt Millau, Francja, 204 m + 6 x 342 m + 204 m, $h_t = 270$ m, 2004 rok; a) widok ogólny; b) porównanie wymiarów wysokościowych z wieżą Eiffla [3]



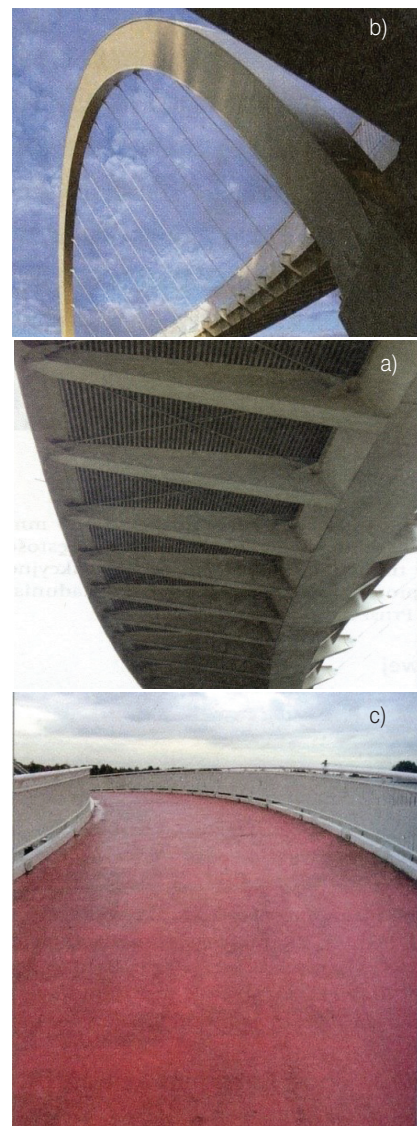
Rys. 31. Estakada nr 21 wzdłuż Zakopianki, $l_{max} = 90,00$ m, $L_c = 1.023,67$ m (między końcami skrzydeł przyczółków), $h_{p,max} = 43,20$ m, 2019 rok; a) podczas budowy; b) fragment ukończonej estakady; c) widok całej estakady (fot. PORR SA)

twie obejmują głównie betony wysokowartościowe z kruszywem naturalnym lub sztucznym (tzw. betony lekkie), betony samozagęszczalne, nowe gatunki stali i stopów aluminium oraz właśnie kompozyty polimerowe z włóknami węglowymi (CFRP – C: carbon), szklanymi (GFRP – G: glass) lub syntetycznymi (AFRP – A: aramid). W tym ostatnim obszarze zastosowań Polska ma znaczące i doceniane w świecie osiągnięcia zarówno w zastosowaniach do wzmocnień konstrukcji mostowych, jak i do budowy nowych obiektów. Z FRP wytwarzane są ciężna do sprężania konstrukcji lub ciężna do obiektów podwieszonych, a także różne inne wyroby (taśmy, maty, kształtki) służące do wzmacniania konstrukcji. Kompendium wiedzy na temat badań, wytwarzania i stosowania kompozytów jest znakomita oraz obszerna krajowa monografia [18], zawierająca też bardzo bogatą bibliografię (kilkaset pozycji). Tu ograniczymy się tylko do przypomnienia nowatorskich konstrukcji mostowych z kompozytów FRP w naszym kraju.

Za pierwszy kompozytowy most na świecie uważany jest obiekt w Ginzi, Bułgaria, wybudowany w 1982 roku i mający rozpiętość jednego przęsła równą 10 m [18]. Od tego roku wzniesiono już na świecie wiele obiektów, stosunkowo najwięcej w USA.

Pierwszym krajowym zastosowaniem tego tworzywa w obiekcie do publicznego użytku było wykonanie pomostu z GFRP w stalowej kładce dla pieszych nad drogą S11 w Gądkach koło Kórnika w Wielkopolsce, ukończonej w 2007 roku (rys. 32.). Projekt pomostu powstał w Zakładzie Mostów Politechniki Warszawskiej [19].

Po wielu analizach i badaniach wybudowano w Polsce dwa obiekty z kompozytów FRP. Oba były plonem współpracy zespołu Politechniki Rzeszowskiej i Mostostalu Warszawa. Pierwszy to most o konstrukcji belkowej tzw. hybrydowej, ponieważ dźwigary główne są wykonane z FRP, natomiast współpracująca z nimi płyta pomostu jest z betonu lek-



Rys. 32. Stalowa kładka dla pieszych z pomostem kompozytowym nad drogą S11 w Gądkach k/Kórniku. $L = 241,45$ m, $l_{max} = 40,00$ m, 2007 rok; a) widok z boku; b) widok z dołu na stalowe wsporniki i spód pomostu kompozytowego z GFRP; c) nawierzchnia na kompozytowym pomoście (archiwum autora)

kiego zbrojonego prętami z GFRP. Most jest obiektem o jednym przęśle swobodnie podpartym rozpiętości 20,00 m (rys. 33.). Wybudowano go w roku 2015 w miejscowości Błażowa w pobliżu Rzeszowa. Drugim obiektem jest już całkowicie kompozytowy (ang. *all-composite*) most z dźwigarami głównymi z tkanin z włókien szklanych i węglowych oraz z pianki PCV i żywicy epoksydowej, natomiast płyta pomostu wykonana jest z włókien szklanych oraz żywicy epoksydowej. Jest to obiekt jednoprzęsłowy o rozpiętości 10 m. Wybudowano go w miejscowości Nowa Wieś w okolicach Rzeszowa w roku 2016. Obiekt ten pokazano na rys. 34.

Dokładny opis wytwarzania kompozytowych elementów konstrukcyjnych, ich transportu i montażu oraz przebiegu całej budowy jest zamieszczony w przywoływanej już monografii [18].



Rys. 33. Most w miejscowości Błażowa, konstrukcja hybrydowa – kompozytowe dźwigary główne i zespolona z nimi płyta pomostu z betonu lekkiego zbrojonego prętami GFRP, $l = 20,00$ m, 2015 rok [3]



Rys. 34. Most w miejscowości Nowa Wieś, konstrukcja całkowicie kompozytowa, $l = 10,00$ m, 2016 rok [3]

Jednym z celów wprowadzania kompozytów FRP do mostownictwa jest dążenie do zwiększenia trwałości obiektów – materiały te na przykład nie podlegają korozji jak stal i destrukcji w formach spotykanych w betonie.

Mosty kompozytowe są niewątpliwie tzw. przyszłościowym obszarem rozwoju mostownictwa. Jako kraj mamy szansę twórczego uczestniczenia w tym rozwoju.

Uwagi końcowe

Niniejsze opracowanie jest subiektywnym przeglądem osiągnięć mostownictwa w ostatnich latach. Ta dziedzina zawsze znajdowała się w czołówce budownictwa pod względem nowatorskich rozwiązań materiałowych i konstrukcyjnych, co potwierdzają najnowsze realizacje obiektów mostowych. Wiele istotnych kierunków rozwojowych zostało tu świadomie pominiętych. Warto jednak je choćby wymienić – rozwój metod wykonawczych fundamentów podpór i przęseł, nowe formy architektoniczno-konstrukcyjne (często bardzo kontrowersyjne pod względem estetycznym) obiektów, mosty budowane w celu wywierania u użytkowników ekstremalnych wrażeń (np. serie szklanych mostów, mostowych platform widokowych).

Kierunki rozwojowe mostownictwa w Polsce są, zachowując wszelkie proporcje,

zbieżne ze światowymi. W ostatnich latach poziom naszego budownictwa mostowego znacznie się podniósł oraz w niektórych obszarach dorównuje światu – mamy co pokazać i czym się chlubić.

Literatura

- [1] Biliszczuk J., Mosty w dziejach Polski, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2017, s. 392.
- [2] Stańczyk A., Most przez Bug w Broku, „Drogownictwo”, 2, 2017, s. 71–74.
- [3] Radomski W., Kierunki rozwojowe mostownictwa – Świat i Polska, „Wrocławska Seria Wydawnicza Inżynierii Mostowej”, tom 12, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2019, s. 188.
- [4] Bień J., Uszkodzenia i diagnostyka obiektów mostowych, WKŁ, Warszawa 2010, s. 417.
- [5] Radomski W., Kasprzak A., Poszerzenie mostów, PWN, Warszawa 2017, s. 341.
- [6] <http://bridge.aalto.fi/en/longspan.htm>.
- [7] Serwacki T., Technologia wykonywania autostradowego mostu przez Wisłę koło Torunia w roku 1998 i 2010, „Inżynieria i Budownictwo”, 2-8, 2011, s. 395–398.
- [8] Biliszczuk J., Mosty podwieszane – projektowanie i realizacja, Arkady, Warszawa 2005, s. 525.
- [9] Trochymiak W., Mosty betonowe z naprężonymi ciągniami – ewolucja form konstrukcyjnych i zasad obliczania, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2012, s. 354.
- [10] Trochymiak W., Mosty typu extradosed – przegląd dokonana, „Inżynieria i Budownictwo”, 10, 2014, s. 548–561.
- [11] Biliszczuk J. et al., Mosty wstęgowe, „Wrocławska Seria Wydawnicza Inżynierii Mostowej”, tom 9, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2016.
- [12] Markocki N., Rogowski R., Most wstęgowy z betonu sprężonego w Lubniu, „Mosty”, 2, 2013, s. 26–31.
- [13] Barcik W. et al., Projektowanie nowej kładki dla pieszych przez Jezioro Bystrzyckie w Zagórzu Śląskim, „Inżynieria i Budownictwo”, 7-8, 2013, s. 392–396.
- [14] Barcik W. et al., Wstęgowa kładka dla pieszych przez jezioro Bystrzyckie w Zagórzu Śląskim, „Mosty”, 6, 2019, s. 25–29.
- [15] Radomski W., Łagoda M., Budowa przeprawy mostowej Incheon w Korei Południowej, „Inżynieria i Budownictwo”, 1-2, 2009, s. 64–68.
- [16] Strama P., Najwyżej położona nad gruntem estakada w Polsce, „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne”, 6(87) 2019, s. 40–46.
- [17] Durdą J., Karpiński K., Wybrane aspekty projektowania obiektu nr 21 w ciągu drogi ekspresowej S7 Lubień – Rabka-Zdrój, „Mosty”, 1, 2020, s. 22–28.
- [18] Siwowski T., Mosty z kompozytów FRP – Kształtowanie, projektowanie, badania, PWN, Warszawa 2018, s. 624.
- [19] Grotte T. et al., Stalowa łukowa kładka dla pieszych z podwieszonym pomostem z kompozytów polimerowych, „Inżynieria i Budownictwo”, 1-2, 2009, s. 69–73.

DOI: 10.5604/01.3001.0014.1448

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA
Radomski Wojciech, 2020, Największe osiągnięcia budownictwa mostowego w ostatnich latach, „Builder” 06 (275). DOI: 10.5604/01.3001.0014.1448

Mosty kompozytowe są niewątpliwie tzw. przyszłościowym obszarem rozwoju mostownictwa. Jako kraj mamy szansę twórczego uczestniczenia w tym rozwoju.

Streszczenie: Dokonano przeglądu czołowych w skali świata i kraju osiągnięć mostownictwa, przyjmując za kryteria oceny długość przepraw oraz tras mostowych, wysokość położenia obiektów nad terenem oraz stosowanie niekonwencjonalnych materiałów konstrukcyjnych. Przedstawiono i scharakteryzowano rekordowe osiągnięcia odpowiadające dwóm pierwszym kryteriom. Zwrócono uwagę na rozwój obu tendencji także w Polsce, ale z zachowaniem odpowiednich proporcji wynikających z jej ukształtowania terytorialnego i stopnia zurbanizowania. Zastosowania nowych materiałów konstrukcyjnych ograniczono do przedstawienia krajowych osiągnięć w zakresie wprowadzenia kompozytów polimerowych z włóknami do budowy nowych obiektów mostowych. W podsumowaniu wskazano inne jeszcze kierunki rozwoju mostownictwa, które w opracowaniu świadomie pominięto, a które zasługują na popularyzację.

Słowa kluczowe: mosty, długie trasy mostowe, wysokość położenia nad terenem, kompozyty polimerowe z włóknami

Abstract: TOP ACHIEVEMENTS OF BRIDGE ENGINEERING IN THE LAST YEARS. The top achievements of bridge engineering are presented based on three criteria: lengths of the bridge routs, the high of bridge location over the ground and application of the new structural materials. Presentation of the last one is limited to the use of Fibre Reinforced Polymers (FRP) for construction of the new bridges in Poland. The above criteria are exemplified by bridge structures built recently in the world and in Poland. It is emphasized that the development of the bridge engineering in Poland is in accordance with above mentioned world criteria. The other criteria intentionally omitted in the paper are listed. They can be presented in detail and exemplified in the next papers published in the journal.

Keywords: bridges, length of the bridge routs, location over the ground, FRP