

Największe osiągnięcia budownictwa mostowego w ostatnich latach

Część 1. Kryterium rozpiętości przęsła



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

Rozwój polskiego mostownictwa pod względem czołowych osiągnięć nie ustępuje od mniej więcej dwóch dekad poziomowi światowemu – mamy co pokazać i czym się chlubić.

Rozwijając temat sformułowany w tytule tego opracowania, zawsze trzeba dokonać wyboru – różni autorzy mogą mieć odmienne opinie, co można uznać za największe lub – inaczej rzecz ujmując – najwybitniejsze osiągnięcia mostownictwa i co oznacza określenie „w ostatnich latach”. Dlatego już na wstępie należy zasygnalizować, że dalszy tekst oparty jest na własnych, a więc wysoce subiektywnych, osądach autora, zaś cezura czasowa – to ostatnie dwie dekady, czyli czas liczony od roku 2000. Nie oznacza to jednak, że nie będzie tu odniesień do nieco dawniejszych osiągnięć mostownictwa, bo na przykład wiszący most Akashi Kaikyo w Japonii, będący nadal obiektem o najdłuższym na świecie przęsle (1990,8 m), oddano do użytku w 1998 roku.

Wybór dolnej granicy czasowej – rok 2000 – jest uzasadniony tym, że jak się dalej przekonamy, niemal wszystkie rekordowe pod różnymi względami konstrukcje mostowe zrealizowano na świecie i w Polsce po tym właśnie roku.

Niniejsze opracowanie ma charakter ogólny. Dlatego nie ma w nim szczegółowych opisów technicznych i technologicznych, są natomiast syntetycznie ujęte podstawowe informacje o czołowych w skali świata i Polski osiągnięciach w budownictwie mostowym oraz głównych kierunkach jego rozwoju.

Czas przełomu

Poziom mostownictwa w dużym stopniu zależy od stanu gospodarki w danym kraju oraz tempa jej rozwoju. Ta znana konstatacja znalazła też potwierdzenie w Polsce. Po zmianie ustroju politycznego i ekonomicznego w 1989 roku nastąpił u nas wyraźny skok jakościowy w budowie mostów. Trzeba jednak z uznaniem podkreślić, że środowisko polskich mostowców było dobrze przygotowane do wprowadzania nowych, niestosowanych poprzednio (przynajmniej nie na dużą

skale) rozwiązań konstrukcyjnych, materiałowych i wykonawczych. Bardzo szybko potrafiliśmy nawiązać kontakt ze światem i nawet udoskonalać to, co w mostownictwie zaczerpnęliśmy od innych, bardziej zaawansowanych technicznie krajów.

Za początek istotnych zmian na lepsze we wprowadzaniu nowoczesności do naszego mostownictwa uchodzą w powszechnym odczuciu dwa obiekty – most przez Bug w Broku, ukończony w 1995 roku, oraz most łukowy przez Narew w Ostrołęce, ukończony w 1996 roku. Oba pokazano na rys. 1.

Most w Broku (rys. 1a) jest ciągłą konstrukcją zespoloną – stalowe dźwigary kratownicowe współpracują z betonową płytą pomostu. W monografii [1] znajdujemy taki oto opis tego obiektu: „(...) Montaż konstrukcji mostu przebiegał w siedmiu fazach i był bardzo złożoną operacją techniczną, gdyż w procesie technologicznym stosowano sprężenie płyty pomostowej przed zwarciem konstrukcji oraz balastowanie w celu wymuszenia odkształceń i wprowadzenia do konstrukcji zaprogramowanych sił wewnętrznych. W efekcie powstał obiekt o ciekawej architekturze i bardzo nowoczesnych rozwiązaniach konstrukcyjnych. Projekt montażu tego obiektu zasługuje na specjalne uznanie, albowiem zaświadcza o wielkim kunszcie i kreatywności tworzących go inżynierów”. Dalsze szczegóły na ten temat są przedmiotem publikacji [2].

Z kolei most w Ostrołęce (rys. 1b), choć wzorowany na obiekcie Barqueta przez rzekę Gwadalkiwir w hiszpańskiej Sewilli, zbudowany z okazji światowej wystawy EXPO w 1992 roku, był pod względem formy konstrukcyjnej w okresie realizacji czymś w Polsce zupełnie nowym. W cytowanej już monografii [1] tak go scharakteryzowano: „(...) Nowoczesna, bardzo udana forma architektoniczna mostu oraz atrakcyjna kolorystyka jednoznacznie wskazywały na pozytywne przemiany w polskim mostownictwie”.

Realizacja obu krótko przedstawionych obiektów uruchomiła szybki rozwój mostownictwa w naszym kraju. Jak się dalej przekonamy, w swojej klasie, pod względem czołowych osiągnięć, nie ustępuje ono od mniej więcej dwóch dekad poziomowi światowemu.

Współczesne kierunki rozwojowe mostownictwa

Współczesne kierunki rozwojowe mostownictwa na świecie i w Polsce, w dość szerokim ujęciu, są przedmiotem niedawnej, obszernej publikacji autora [3]. Aby jednak przedstawić czołowe osiągnięcia tej gałęzi budownictwa, trzeba wprowadzić pewne kryteria oceny, zbieżne z tymi kierunkami. Ze względu na zachowanie rozsądnej objętości tego opracowania ograniczymy się tu do czterech tylko kryteriów, a mianowicie:



Rys. 1. a) most przez Bug w Broku, 58,00 + 3 x 69,00 m + 88,00 m + 49,00 m = 402 m, 1995 rok, główny projektant Jerzy Bąk; (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brok_most_na_Bugu_30.07.2012_p.jpg); b) most im. gen. Antoniego Madalińskiego przez Narew w Ostrołęce, 2 x 32,00 m + 110,00 m + 32,0 m = 206,00 m, 1996 rok, główny projektant Marek Łagoda (https://pl.wikipedia.org/wiki/Most_Madali%C5%84skiego)

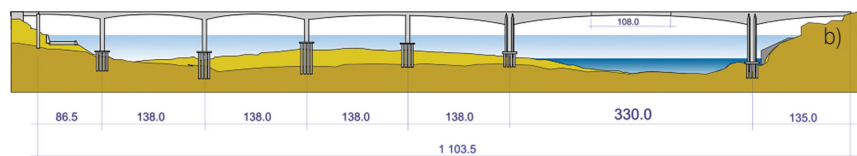
- kryterium A – wzrost rozpiętości przęseł;
- kryterium B – budowanie długich przepraw mostowych;
- kryterium C – budowanie obiektów wysoko nad terenem;
- kryterium D – wprowadzanie nowych, niekonwencjonalnych materiałów konstrukcyjnych.

Dalsza treść będzie zatem rozwijana wokół wybranych subiektywnie kryteriów.

Trzeba jednak dodać, że we współczesnym mostownictwie odróżnić można – używając mostowej terminologii



Rys. 2. Mosty o rekordowych w skali świata przęsłach belkowych: a) most Shibano, Chiny, 330 m (przęsło betonowo-stalowe – por. rys. 3., 2006 rok); b) most Ponte e Silva, Rio-Niterói, Brazylia, 300 m (stalowa część nawigacyjna), 1974 rok; c) betonowy most Stolma, Norwegia, 301 m (środkowa część o długości 180 m z betonu lekkiego), 1998 rok [3]



Rys. 3. Most Shibano: a) montaż środkowej stalowej części rekordowego przęsła; b) rozpiętości przęseł [3]

Tablica 1. Rekordowe rozpiętości przęseł mostowych na świecie i w Polsce

| Świat | | Polska | |
|---|---|--|---|
| Beton | Stal | Beton | Stal/Zesp.*) |
| I. Mosty belkowe | | | |
| Shibanpo, Chiny, 330 m, 2006 rok Stolma, Norwegia, 301 m, 1998 rok | Ponte e Silva, Rio-Niteroi, Brazylia, 300 m, 1974 rok | Most przez Wisłę w Grudziądzu, 180 m, 2013 rok | Most przez Wisłę w Połańcu*), 160 m, 2014 rok Most im. Marii Skłodowskiej-Curie przez Wisłę w Warszawie*), 160 m, 2012 rok |
| II. Mosty łukowe | | | |
| Beipanjiang, Qinglong, Chiny, 445 m, 2016 rok, (kolejowy) | Chaotianmen, Chiny, 52 m, 2009 rok | Most przez Kamesznicę w Miłowce, 130,84 m, 2006 rok | Most przez Wisłę im. gen. Elżbiety Zawackiej w Toruniu, 270 m, 2013 rok |
| III. Mosty kratownicowe | | | |
| – | Pont de Quebec, Kanada, 549 m, 1917m rok (kolejowy) | – | Most im. Józefa Piłsudskiego przez Wisłę w Toruniu, 132 m, 1934 rok |
| IV. Mosty podwieszane | | | |
| Skarnsundet, Norwegia, 530 m, 1991 rok Most Atlantic przez Kanał Panamski, 530 m, 2029 rok | Władystok, Rosja, 1104 m, 2012 rok | Most Rędziński przez Odrę w ciągu Autostradowej Obwodnicy Wrocławia, 2 x 256 m, 2011 rok | Most im. „Solidarności” przez Wisłę w Płocku, 375 m, 2005 rok |
| V. Mosty „extradosed” | | | |
| Most Jiayue, Chiny, 250 m, 2010 rok Kinmen, Taiwan, 280 m, 2021 rok (w budowie) | Wuhu, Chiny, 312 m, 2000 rok (dwupoziomowy drogowo-kolejowy) | Most w ciągu DK3 w Ostródzie, 206 m, 2017 rok (rekord Europy) | – |
| VI. Mosty wiszące | | | |
| Most w Mariakerke, Belgia, 100 m, 1959 rok | Akashi-Kaikyo, Japonia, 1990,8 m, 1998 rok Caanakkale 1915, Turcja, 2023 m, 2022 rok (w budowie) | – | Most Grunwaldzki przez Odrę we Wrocławiu, 114 m, 1910 rok (ciągną sztywnie) |
| VII. Mosty wstęgowo**) | | | |
| Kładka przez rzekę Maricę, Płowdiv, Bułgaria, 150 m, 1989 rok Kładka przez rzekę Mkomaas, RPA, 150 m, 2007 rok | – | Kładka dla pieszych w Zagórzu Śląskim, 125 m, 2019 rok | – |

*) Pomost o konstrukcji zespolonej „stal-beton”.
**) Kładki dla pieszych lub kładki pieszko-jezdne

– dwa „filary”. Jeden to budowanie nowych obiektów, drugi zaś – to zabiegi techniczne związane z potrzebą bezpiecznej eksploatacji istniejącej infrastruktury mostowej, a więc jej remontami lub modernizacją strukturalną albo funkcjonalną, nieodzowną wobec bardzo już zaawansowanego wieku wielu obiektów i ich nienależytej kondycji. Ten drugi „filar” jest wielkim wyzwaniem technicznym, ekonomicznym i społecznym w wielu krajach, także w tych wysoko rozwiniętych, jak również w Polsce. W tej dziedzinie nasz kraj ma wiele osiągnięć, ale to

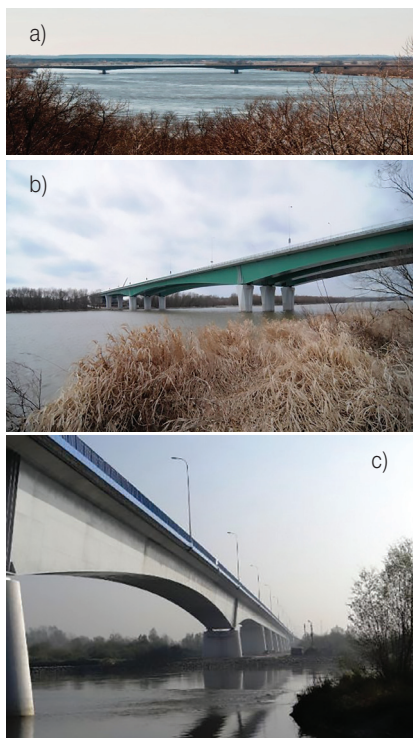
temat na oddzielne opracowanie. Tematyka ta jest u nas przedmiotem między innymi monografii [4] i [5]. Tu będzie ona świadomie pominięta. To opracowanie jest zatem skoncentrowane wyłącznie na osiągnięciach w ramach pierwszego z wymienionych „filarów”, czyli na dotyczących nowych obiektów mostowych.

Wzrost rozpiętości przęseł mostowych

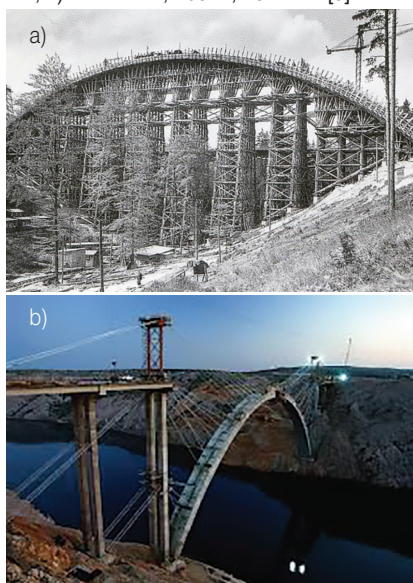
Mosty o rekordowych w skali świata i Polski rozpiętościach przęseł zestawiono w tablicy 1. oraz pokazano na rys. 2–10. Ranking obejmujący więcej pozycji można znaleźć w publikacji [3] oraz na stronie internetowej [6].

Dane przedstawione w tablicy 1. wymagają skomentowania pozwalającego na pełniejsze zrozumienie współczesnej tendencji, oznaczonej poprzednio (por. punkt 2.) jako tendencja A.





Rys. 4. Mosty o rekordowych w Polsce rozpiętościach przęseł belkowych: a) betonowy w Grudziądzu, 180 m, 2013 rok; mosty o przęsłach zespolonych stalowo-betonowych – b) w Warszawie, 160 m, 2012 rok; c) w Połańcu, 160 m, 2014 rok [3]



Rys. 5. Postęp w wykonawstwie betonowych łuków mostowych: a) most autostradowy, Jena Niemcy, 1937 rok, pełne rusztowania pod krążyną łuku, całkowicie zabudowana przestrzeń podmostowa; b) most Maslenica, Chorwacja, 1997 rok, nawisowe betonowanie łuku, całkowicie wolna przestrzeń podmostowa [3]

■ Rozpiętości przęseł nie można analizować w oderwaniu od rodzaju i podstawowych materiałów konstrukcji. Dlatego w tabelicy 1. wprowadzono odpowiadający temu podział, uwzględniając tylko dwa, ale o podstawowym znaczeniu materiały – beton i stal.

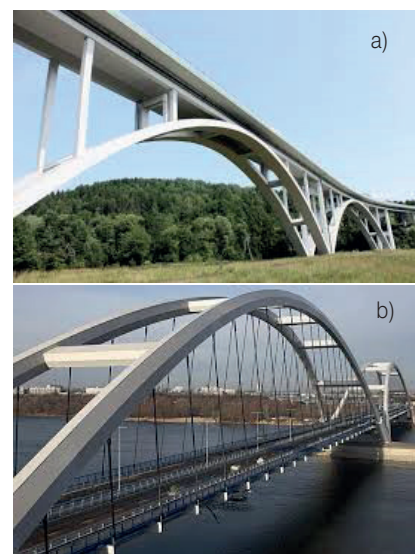
■ Dane w tabelicy 1. wyraźnie wskazują, że znakomita większość rekordowych obiektów powstała po roku 2000, co dotyczy również Polski. Uderza także przewaga osiągnięć krajów azjatyckich, szczególnie Chin.

■ Porównując rekordowe osiągnięcia świata i Polski, trzeba pamiętać, że nasz kraj, z uwagi na jego ukształtowanie, nie jest predestynowany do konkurowania w bicju rekordów rozpiętości przęseł w skali globu – Wisła to nie Mississippi, nie mamy cieśnin ani wysp. Można się starać o rekord, budując most z Helu do Gdyni, ale to raczej humorystyczna możliwość. W krajowych warunkach maksymalne rozpiętości w przedziale od około 300 m do 400 m są zupełnie wystarczające.

■ Mosty belkowe (pozycja I w tabelicy 1.) są najczęściej budowanymi obiektami na świecie i w Polsce. Szczególnie dynamiczny rozwój tych konstrukcji w ostatnich latach można zauważyć w odniesieniu do obiektów z betonu. Warto zauważyć, że „beton” pokonał „stal”. Przykłady pokazano na rys. 2. Trzeba jednak podkreślić, że chiński rekordzista (rys. 2a) zajmuje obecnie pierwsze miejsce w mostownictwie betonowym niezasłużenie, bo środkowa część rekordowego przęsła jest stalowa, co pokazano na rys. 3. Jest to więc raczej przeszło tzw. hybrydowe. Ponadto nie jest zrozumiały cel wybudowania przez Chińczyków rekordowego przęsła. Jak wynika z rys. 3a, nowy most został zrealizowany jako druga nitka trasy komunikacyjnej, w środku nurtu widoczna jest podpora starego mostu, która ogranicza szerokość toru wodnego. Natomiast rekord norweski, pochodzący z 1998 roku (rys. 2c), jest uczciwy, bo owo rekordowe przęsło (301 m) jest całkowicie betonowe, z tym że jego środkowa część o długości 180 m wykonana jest z betonu lekkiego, co radykalnie zmniejsza ciężar własny konstrukcji. Warto też zauważyć, że most z rekordowym przęsłem stalowym (rys. 2b) został wybudowany w 1974 roku i nic nie wskazuje na to, że rekord ten będzie w najbliższym czasie pobity – inne układy konstrukcyjne umożliwiają obecnie osiąganie większych rozpiętości w bardziej ekonomiczny sposób. Stalowe przęsła belkowe, głównie o konstrukcji zespolonej (tj. z betonową płytą współpracującą), są i będą budowane, ale nowego rekordu ich rozpiętości nie należy się spodziewać. W Polsce też „beton” pokonał „stal”, co udokumentowano na rys. 4., a to jest zgodne z tendencją światową. Rekordowe przęsła stalowe są o wspomnianej już konstrukcji zespolonej (rys. 4b i 4c). Wszystkie krajowe rekordy w tej grupie mostów zostały ustanowione po roku 2010. Wszystkie rekordowe przęsła betonowe były na świecie i w Polsce wykonywane metodą betono-



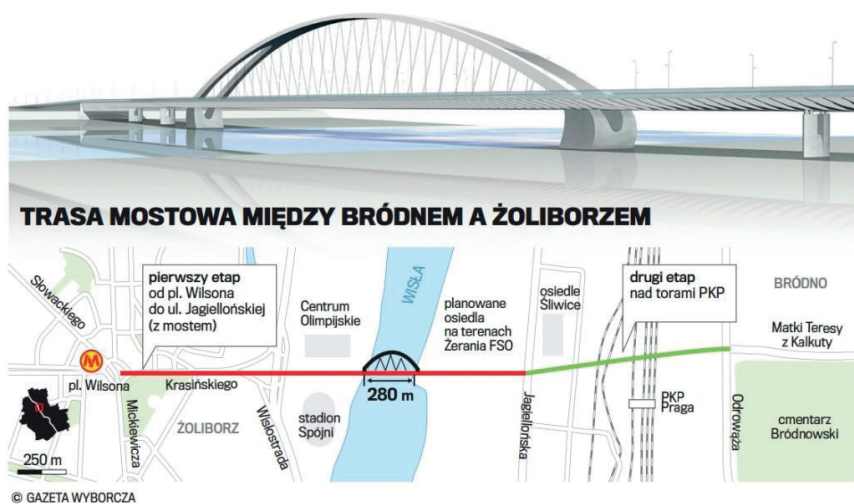
Rys. 6. Mosty o rekordowych w skali świata przęsłach łukowych; a) betonowy – most Beipanjiang, Qinglong (kolejowy!), Chiny, 445 m, 2016 rok; b) stalowy – most Chaotianmen, Chiny, 552 m, 2009 rok [3]



Rys. 7. Mosty o rekordowych w Polsce rozpiętościach przęseł łukowych: a) betonowy – most przez Kamesznicę w Miłowce, 130,84 m, 2006 rok; b) stalowy – most przez Wisłę im. gen. Elżbiety Zawackiej w Toruniu, 270 m, 2013 rok [3]

wania nawisowego. Została ona w naszym kraju po raz pierwszy zastosowana do budowy mostu Bernardyńskiego przez Brdę w Bydgoszczy, ukończonego w 1963 roku. Jego projektantem był znakomity mostowiec Maksymilian Wolff (1921–2007). Po raz drugi metody tej użyto do budowy trzech przęseł o rozpiętości 130 m w moście autostradowym im. Armii Krajowej przez Wisłę koło Torunia, ukończonym w 1998 roku (dobudowanie drugiego ukończono w 2011 roku, czyli po trwającej 35 lat przerwie [7]).

■ Mosty łukowe (pozycja II w tabelicy 1.) były budowane od ponad dwóch tysięcy lat. W czasach nowożytnych wzorowano je początkowo na obiektach wznoszonych



Rys. 8. Jeden z wariantów planowanej przeprawy przez Wisłę w Warszawie w ciągu ul. Krasieńskiego [3]

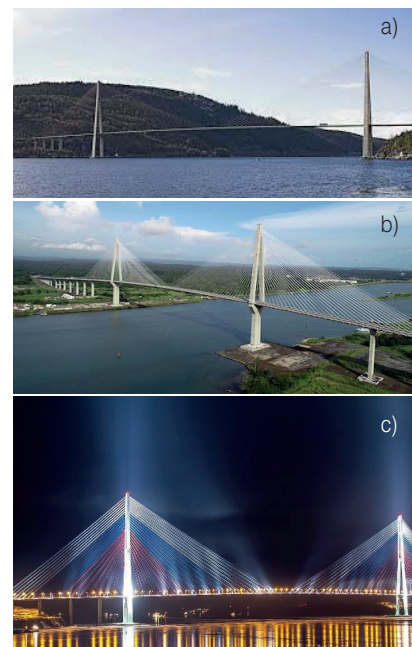


Rys. 9. Rekordowe rozpiętości stalowych przęseł kratownicowych na świecie i w Polsce: a) Pont de Quebec, Kanada, 549 m, 1917 rok (kolejowy); b) historyczny most przez Wisłę w Tczewie, 130 m, 1857 rok; c) most im. Józefa Piłsudskiego przez Wisłę w Toruniu, 132 m, 1934 rok [3]

przez starożytnych Rzymian, zanim zostały ukształtowane ich współczesne formy konstrukcyjne, a także metody wykonawcze. Ich rewolucyjną przemianę dobrze charakteryzuje przykład pokazany na rys. 5. Jak wskazują rankingi, na 10 pierwszych na świecie pod względem rozpiętości stalowych mostów łukowych aż 6 powstało w Chinach w latach 2005–2017, zaś na 10 największych betonowych mostów łukowych także 6 wykonano w Chinach w latach 1995–2016 [6]. Przewaga tego kraju nad resztą świata jest zatem

w tym zakresie miazdząca. Warto jednak zwrócić uwagę, że niektóre z tych mostów trudno zaliczyć do „czysto” żelbetonowych, ponieważ ich zbrojenie jest samoosną konstrukcją kratownicową, następnie obetonowaną. Ewenementem jest to, że rekordowy most Beipanjiang z tukiem o rozpiętości 445 m jest obiektem kolejowym. Można zatem sądzić, że w mostach łukowych tkwią jeszcze rezerwy na wybudowanie mostów drogowych o większych rozpiętościach łuków od aktualnego rekordzisty. Rekordowe mosty w skali światowej pokazano na rys. 6., natomiast w Polsce – na rys. 7. „Beton” nie pokonał jeszcze „stali”, jak w mostach belkowych. Można stwierdzić, że rozpiętości łuków mostowych, zarówno betonowych, jak i stalowych, mogą jeszcze wzrastać, choć raczej stosunkowo niedużo. W odniesieniu do Polski można uznać, że łuki stalowe o rozpiętości do 300 m oraz betonowe do 200 m będą stanowić racjonalny kres rekordowych osiągnięć w skali kraju. Przykład projektu mostu łukowego w Warszawie jako jeden z możliwych wariantów pokazano na rys. 8. Natomiast mosty łukowe o mniejszych rozpiętościach, także z uwagi na ich walory estetyczne, będą zapewne nadal dość powszechnie budowane.

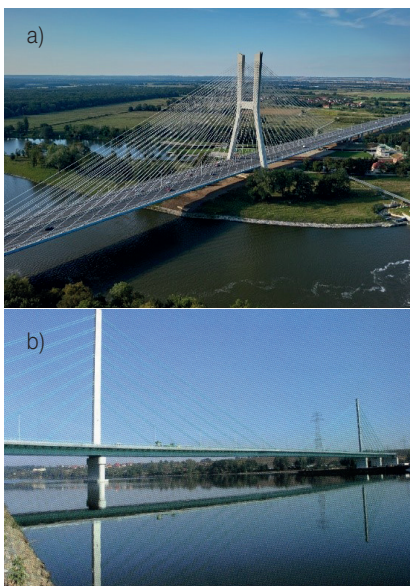
■ Mosty o przęsłach kratownicowych (pozycja III w tabeli 1.) są budowane niemal wyłącznie jako stalowe – betonowe albo są nieudaną repliką małych mostów stalowych, albo mogą być kwalifikowane jako skrzynkowe o ażurowych środnikach. Dlatego uwagę skupiamy tu wyłącznie na obiektach stalowych. Znaczącą rzeczą jest to, że rekordy świata i Polski dzierżą tu obiekty wybudowane przed wielu laty. Pokazano je na rys. 9. Daty podane w podpisie tej ilustracji mówią same za siebie – żadnych nowych rekordów w tego rodzaju konstrukcjach nie należy się spodziewać, choć oczywiście mosty kratownicowe będą bu-



Rys. 10. Mosty podwieszane o rekordowych w skali świata rozpiętościach przęseł: a) betonowy – most Skarnsundet, Norwegia, 530 m, 1991 rok; b) most Atlantic przez Kanał Panamski, 530 m, 2019 rok; c) stalowy – Most Rosyjski, Władywostok, 1104 m, 2012 rok [3]

dowane, znacznie jednak rzadziej niż kiedyś. I konstrukcyjnie, i technologicznie wyczerpały już swoje możliwości.

■ Mosty podwieszane (pozycja IV w tabeli 1.), błędnie nazywane przez niektórych (nawet mostowców!) wantowymi, to rodzaj konstrukcji bardzo intensywnie rozwijany w ostatnich dekadach zarówno pod względem zwiększania rozpiętości przęseł, jak i oryginalności form architektonicznych. Mostom tym poświęcona jest obszerna monografia [8]. Bardzo interesująca jest historia początków ich stosowania, następnie zaniku oraz odrodzenia na początku roku 1950 i powszechnego po nim stosowania. Nie ma tu miejsca na przedstawienie tego tematu – podstawowe informacje można znaleźć w monografii [3]. Skala budowania obiektów mostowych o konstrukcji podwieszanej jest różna – od stosunkowo niewielkich kładek dla pieszych (np. nad ulicami w miastach lub nad autostradami) do bardzo dużych mostów i wiaduktów nad rozległymi przeszkodami wodnymi lub lądowymi. Rekordowe w skali świata mosty podwieszane, betonowe i stalowe, pokazano na rys. 10. Polska także ma się czym pochwalić. W latach 2000–2015 wybudowano w naszym kraju, nie licząc oczywiście innych obiektów, 9 mostów podwieszanych o rozpiętościach głównych przęseł od 143 m (most przez Dunajec w Starym Sączu, 2008 rok) do 375 m (most Solidarności przez Wisłę w Płocku, 2005 rok), przy czym 2 obiekty są całkowicie betonowe (Most Milenijny



Rys. 11. Mosty podwieszane o rekordowych w Polsce rozpiętościach przęseł: a) beton (pylon i przęsła) – Most Rędziański przez Odrę we Wrocławiu, 2 x 256 m, 2011 rok; b) stal (pylon i przęsła) – Most im. „Solidarności” przez Wisłę w Płocku, 375 m, 2005 rok [3]



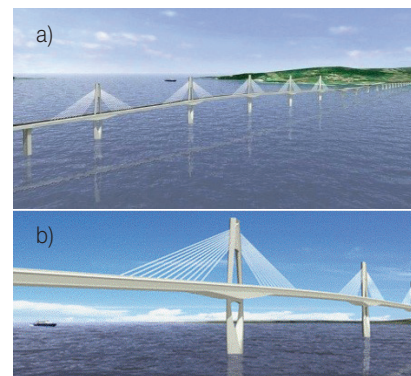
Rys. 12. Pierwszy na świecie most o konstrukcji „extradosed” – most Odawara Blueway, Japonia, $l_{max} = 122$ m, 1994 rok [3]



Rys. 13. Mosty „extradosed” o rekordowych w skali świata rozpiętościach przęseł: b) beton – Most Jiayue, Chiny, 250 m, 2010 rok; b) stal – most Wuhu, Chiny, 312 m, 2000 rok (dwupoziomowy drogowo-kolejowy) [3]

we Wrocławiu, 153 m, 2004 rok i Most Rędziański, 2 x 256 m, 2011 rok). Rekordowe mosty w Polsce – betonowy i stalowy, pokazano na rys. 11. Ze względu na ukształtowanie terenu naszego kraju racjonalne rozpiętości przęseł nowo projektowanych mostów podwieszonych nie powinny w zasadzie przekraczać około 400 m, w większości wystarczają przęsła w przedziale 250–300 m, a nawet mniej. Dlatego betonowe pylony i zespolone, stalowo-betonowe przęsła będą raczej nadal dominować w polskim mostownictwie. Osiągnięte dotychczas rekordy krajowe są nie tyle trudne do pobicia, co zupełnie wystarczają ze względów technicznych i ekonomicznych. Może jednak z jakichś powodów zostanie podjęta próba ustanowienia nowych, czas pokaże...

■ Mosty „extradosed” (pozycja V w tablicy 1.) są jedną z najnowszych form konstrukcyjnych w mostownictwie – pierwszy taki obiekt powstał w 1994 roku w Japonii (most Odawara Blueway z przęsłem rozpiętości 122 m, rys. 12.). Nie ma niestety dobrego odpowiednika nazwy tego rodzaju obiektów – chodzi o dodatkowe sprężenie kablami zewnętrznymi, inaczej są to konstrukcje sprężone kablami wyprowadzonymi poza obrys przekroju przęsła (górną lub dolną). Obszerne informacje o obiektach „extradosed” można znaleźć na przykład w monografii [9] lub publikacji [10]. Obecnie są to konstrukcje bardzo już zaawansowane i budowane relatywnie często w szerokim zakresie rozpiętości. Przęsła tych mostów realizowane są jako przede wszystkim betonowe, nieco rzadziej jako stalowe. Wysokość pylonów (raczej „wyniosłych” dewiatorów) jest znacznie niższa niż w poprzednio przedstawionych mostach podwieszonych. Rekord świata obiektu stalowego to drogowo-kolejowy most Wuhu w Chinach z przęsłem rozpiętości 312 m, ukończony w 2000 roku, natomiast rekord świata obiektu betonowego należy również do chińskiego mostu Jiayue, którego najdłuższe przęsło ma 250 m długości. Oba pokazano na rys. 13. W tej klasie obiektów „beton” jeszcze nie pokonał „stali”, ale jest już tego blisko. Realizowana obecnie na Tajwanie przeprawa długości 5,4 km utworzona jest z ciągłego mostu „extradosed” z przęsłami rozpiętości 280 m (rys. 14.), to tylko o 32 m mniej od rekordu obiektu stalowego. Ponadto przęsła mostów „czysto” drogowych mogą być budowane jako dłuższe od drogowo-kolejowych. Polska ma spektakularne i duże osiągnięcia w realizacji tego rodzaju mostów. Są to betonowe mosty w Ostrołęce i Kwidzynie (rys. 15.). Są to obecnie konstrukcje „extradosed” zajmujące pierwsze i drugie miejsce w Europie pod względem rozpiętości przęseł. Mosty „extradosed” zasługują na dalsze u nas realizacje, ponieważ z szerokim przedziałem



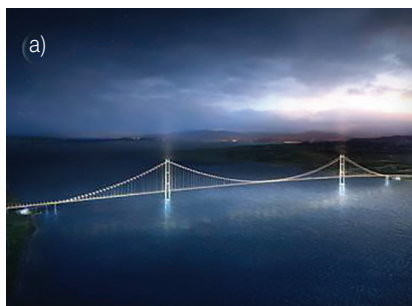
Rys. 14. Przeprawa mostowa Kinmen, Taiwan, 2021 (w budowie) – wizualizacja: a) widok ogólny; b) fragment przeprawy z mostem „extradosed” [https://commons.wikimedia.org]



Rys. 15. Mosty „extradosed” o największych w Polsce rozpiętościach przęseł: a) beton – most w ciągu DK3 w Ostrołęce, 206 m, 2017 rok (rekord Europy); b) beton – most przez Wisłę w Kwidzynie, 2004 m, 2013 rok („wicerekord” Europy) [3]



Rys. 16. Rekordowe w skali świata mosty wiszące: a) betonowy – Mariakerke, Belgia, $l_{max} = 100$ m, 1959 rok; b) stal – Akashi Kaikyo, Japonia, $l_{max} = 1990,8$ m, 1998 rok [3]



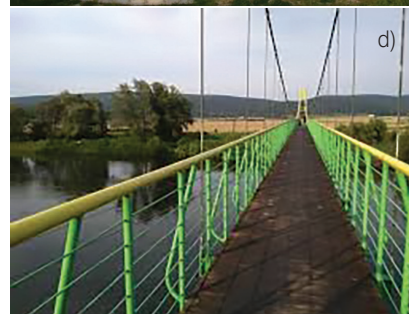
Rys. 17. Most Çanakkale 1915, Turcja, $I_{max} = 2023$ m, 2022 rok (w budowie) – wizualizacja: a) widok ogólny z dużej odległości; b) i c) widok na pylony o wysokości 318 m https://en.wikipedia.org/wiki/%C3%87anakkale_1915_Bridge



Rys. 18. Trzeci Most Bosforski, $I_{max} = 1408$ m, 2016 rok: a) widok ogólny [3]; b) przekrój poprzeczny przęsła – wizualizacja (https://pl.wikipedia.org/wiki/Most_Yavuz_Sultan_Selim)

rozpiętości przęsła (mniej więcej do 250 m) są na ogół po prostu tańsze od mostów podwieszonych.

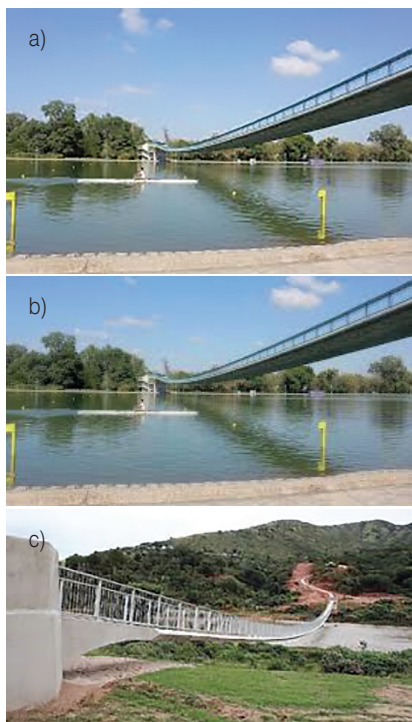
■ Mosty wiszące (pozycja VI w tabeli 1.) dzierżą bezwzględne rekordy rozpiętości przęsłowych. Obecnie duże obiekty są budowane ze stali, nieliczne (dwa!) betonowe, w Belgii, mają już tylko historyczne znaczenie, ale nadal są eksploatowane. Aktualnych „rekordzistów” pokazano na rys. 16. W realizacji tego rodzaju mostów znów przodują kraje azjatyckie. Według światowego rankingu [6], obejmującego 30 obiektów o najdłuższych przęsłach, aż 22 położone są właśnie w Azji (w Chinach 15, w Japonii 2, w Południowej Korei 2, w Turcji 3). Rekord japońskiego mostu Akashi Kaikyo będzie niebawem pobity. W Turcji budowany jest obecnie przez Koreę Południową most wiszący Çanakkale 1915, mający środkowe przęsło rozpiętości 2 023 m i którego pylony mają wysokość 318 m (PKiN w Warszawie wraz z iglicą ma 237 m). Budowę rozpoczęto 18 marca 2017 roku i jej ukończenie przewidywane jest równo po pięciu latach prac – 18 marca 2022 roku. Wizualizację tego mostu pokazano na rys. 17. Projekty mostów o jeszcze większych rozpiętościach przęsła są zaawansowane (np. most przez Cieśninę Messyńską, między Sycylią i końcem włoskiego „buta” ma mieć rozpiętość głównego przęsła równą 3300 m). W zakresie projektowania oraz realizacji mostów wiszących ostatnie lata przyniosły bardzo interesujące rozwiązania konstrukcyjne. Bardzo dobrym tego przykładem jest ukończony w 2016 roku trzeci most przez Bosphor w Stambule, nazwany Yavuz Sultan Selim (Sultana Selima I Groźnego, inaczej: Trzeci Most Bosforski). Jego przęsło główne ma rozpiętość 1408 m, zaś wysokość pylonów – 322 m (85 m więcej od PKiN w Warszawie). Jest to obiekt o ustroju wisząco-podwieszonym (hybrydowym) i jest najdłuższą konstrukcją mostową na świecie przeznaczoną do ruchu drogowego i kolejowego (rys. 18). Tak ogromny postęp w budowie mostów wiszących (także podwieszonych) jest możliwy dzięki podjęciu i rozwijaniu bardzo zaawansowanych badań aerodynamicznych. Efektem jest to, że od 7 listopada 1940 roku (4 miesiące po ukończeniu obiektu), czyli od słynnej katastrofy mostu Tacoma w USA, nie wystąpiła już żadna katastrofa mostu wiszącego spowodowana oddziaływaniami wiatru. W Polsce nie mamy dużych mostów wiszących, bo po prostu nie ma potrzeby ich budowania. Jedynym obiektem, który może być zaliczony do tego rodzaju konstrukcji, jest zażytkowy Most Grunwaldzki we Wrocławiu ze sztywnym, nieliniowym ciągnem (rys. 19a i b). Mamy natomiast kilka wiszących kładek dla pieszych, rekordową pokazano na



Rys. 19. a) i b) Most Grunwaldzki przez Odrę we Wrocławiu, 114 m, 1910 rok; c) i d) kładka dla pieszych przez San w Witryłowie, 150 km, 2011 rok [3]

rys. 19c i d. Na razie nic nie wskazuje, aby powstał w Polsce duży most wiszący. Ale znów – czas pokaże, czy wystąpi taka potrzeba.

■ Mosty wstęgowe (pozycja VII w tabeli 1.) mają długą historię (ich protoplasta to mosty z lian). Obecnie są budowane głównie jako kładki dla pieszych na terenach rekreacyjnych oraz w miastach, zarówno jako konstrukcje jednoprzęsłowe, jak i ciągle, dwu- oraz wieloprzęsłowe. Szczegółowe informacje o takich obiektach można znaleźć w monografiach [3] i [11]. Cechami charakterystycznymi mostów wstęgowych są wklęsła niweleta oraz bardzo mała wysokość konstrukcyjna (w realizacjach wskaźnik $h/l = 1/100 \div 1/300$). Są one realizowane w znakomitej większości z obetonowanych ciągnów ze stali lub z kompozytów polimerowych z włóknami, przeważ-



Rys. 20. Rekordowe w skali świata wstępowe kładki dla pieszych: a) beton – kładka przez rzekę Marica, Płowdiw, Bułgaria, 150 m, 1989 rok; b) beton – kładka przez rzekę Mkomaas, RPA, 150 m, 2007 rok [3]



Rys. 21. Dwie rekordowe (i jedyne) kładki wstępowe w Polsce: a) i b) beton – w Lubniu, przez Rabę, 71,40 m, 2011 rok [3]; c) i d) beton – w Zagórzcu Śląskim przez Jezioro Bystrzyckie, 80 m, 2019 rok [fot. arch. Betard]

nie węglowymi – por. kryterium D, p. 6). Mają bardzo atrakcyjną estetykę i dlatego liczba ich zastosowań wzrasta. Rekordowe w skali świata obiekty wstępowe pokazano na rys. 20. Są one zlokalizowane w Bułgarii i Republice Południowej Afryki, co jest dość nieoczekiwane, ponieważ kraje te nie należą do mostowych potęg. Duże osiągnięcia mają tu natomiast Czechy. W Polsce wybudowano dotychczas dwa obiekty wstępowe – przez Rabę w Lubniu w 2011 roku i – zupełnie niedawno – w Zagórzcu Śląskim przez Jezioro Bystrzyckie. Oba pokazano na rys. 21. Oprócz kładek przeznaczonych do normalnego ruchu miejskiego lub pozamiejskiego wykonywane są jeszcze kładki, które można nazwać turystycznymi. Największą rozpiętość przęsła na świecie (494 m) ma obiekt w Szwajcarii (rys. 22.). W Polsce przykładem kładki turystycznej, ale o zupełnie innym charakterze konstrukcji, jest obiekt w Krynicy-Zdroju, zbudowany wraz z wieżą widokową z drewna (rys. 23.), dobrze wkomponowany w krajobraz. Skoro wspomnieliśmy o drewnie, to nie można pominąć dwóch kładek dla pieszych – wstępowej w Niemczech nad kanałem Men – Dunaj (rys. 24.) oraz podwieszanej w naszych Pieninach, z pomostem z drewna klejonego o rozpiętości 90 m (rys. 25.) – jest to rekord świata mostu drewnianego o konstrukcji podwieszanej. Ze względu na nowoczesność konstrukcji i zalety estetyczne można się spodziewać dalszych realizacji obiektów wstępowych w Polsce i na świecie. To bardzo trudne pod względem wykonawczym ustroje konstrukcyjne. Dotychczasowe realizacje pokazały jednak, że jesteśmy dobrze przygotowani do następnych. Szczegóły dotyczące projektowania i realizacji dwóch krajowych wstępowych kładek dla pieszych można znaleźć w publikacjach [12], [13], [14].

Literatura

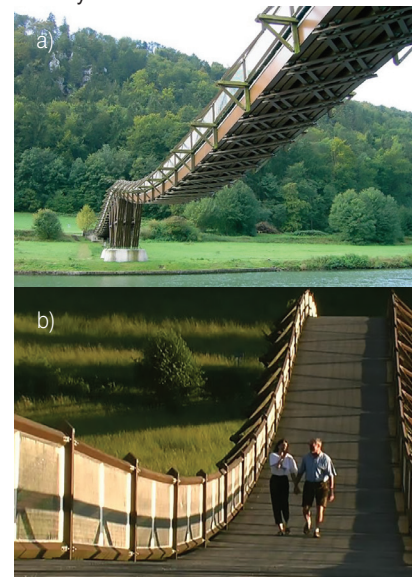
- [1] Biliszczuk J., Mosty w dziejach Polski, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2017, s. 392.
- [2] Stańczyk A., Most przez Bug w Broku, „Drogownictwo”, 2, 2017, s. 71-74.
- [3] Radomski W., Kierunki rozwojowe mostownictwa – Świat i Polska, „Wrocławska Seria Wydawnicza Inżynierii Mostowej”, 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, ss. 525.
- [9] Trochymiak W., Mosty betonowe z naprężonymi cięgnami – ewolucja form konstrukcyjnych i zasad obliczania, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2012, s. 354.
- [10] Trochymiak W., Mosty typu extradosed – przegląd dokonanych, „Inżynieria i Budownictwo”, 10, 2014, S. 548-561.
- [11] Biliszczuk J. et. al., Mosty wstępowe, Wrocławska Seria Wydawnicza Inżynierii Mostowej, tom 9, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2016.
- [12] Markocki N., Rogowski R., Most wstępowy z betonu sprężonego w Lubniu, „Mosty”, 2, 2013, s. 26-31.



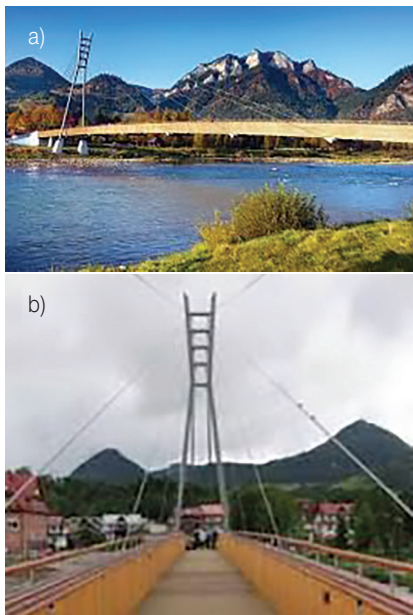
Rys. 22. Rekordowa wstępowa kładka turystyczna, Charles Kuonen, Randa, Szwajcaria, 494 m, 2017 rok: a) widok ogólny, b) fragment z licznymi turystami [3]



Rys. 23. Drewniana kładka widokowa w Krynicy-Zdroju, 1030 m, 2019 rok: a) wieża widokowa; b) fragment kładki, Fot. Słotwiny Arena.



Rys. 24. Drewniana kładka wstępowa nad kanałem Men – Dunaj w pobliżu Lessing, Niemcy, $l_{max} = 73$ m, 1987 rok: a) widok ogólny od spodu; b) pomost [3]



Rys. 25. Podwieszona kładka dla pieszych w Sromowcach Niżnych w Pieninach (widoczne Trzy Korony) z pomostem z drewna klejonego, $l_{max} = 90$ m, 2006 rok: a) widok z boku; b) pomost [https://pl.wikipedia.org/wiki/K%C5%82adka_w_Sromowcach_Ni%C5%BCnych]

[13] Barcik 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 Inżynierijne”, 6(87) 2019, s. 40-46.

[17] Durda J., Karpiński K., Wybrane aspekty projektowania obiektu nr 21 w ciągu drogi ekspresowej S7 Lubień – Rabka Zdój, „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: 10.5604/01.3001.0014.1122 .

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA

Radomski Wojciech, 2020, Największe osiągnięcia budownictwa mostowego w ostatnich latach, „Builder” 05 (274). DOI: 10.5604/01.3001.0014.1122

Streszczenie: Zdefiniowano tendencje rozwojowe mostownictwa w ostatnich dwóch dekadach. Przedstawiono, scharakteryzowano i zilustrowano rekordowe w skali świata oraz Polski rozpiętości przęseł w zależności od rodzaju i podstawowego materiału konstrukcji

(betonu lub stali). Wskazano na wysoki poziom czołowych osiągnięć krajowego mostownictwa i jego zbieżność ze światowymi tendencjami rozwojowymi. Inne osiągnięcia inżynierii mostowej będą przedmiotem artykułu w następnym numerze czasopisma.

Słowa kluczowe: mosty, tendencje rozwojowe, rodzaje konstrukcji, rekordowe rozpiętości przęseł

Abstract: TOP ACHIEVEMENTS OF BRIDGE ENGINEERING IN THE LAST YEARS. The recent development trends of bridge engineering are defined. The world and Polish records of span lengths depending on the bridge structural system and its basic structural material (concrete or steel) are listed, characterized and exemplified. The world level of the top Polish achievements in bridge engineering as well as their accordance with the world development trends are emphasized. Other top the bridge engineering will be presented in the paper published in the next issue of the journal.

Keywords: bridges, development trends, type of structure, span lengths records