

## Podsumowanie

Przedstawione wizualizacje wyraźnie pokazują, że ścisła integracja GPS i technologii inercyjnej pozwala uzyskać bardzo dobrą lokalizację pomiarów – z kapitalną możliwością wykorzystania w pomiarach drogowych. Zbierane dane są stałej dokładności, poniżej 10 cm horyzontalnie, rejestrowane z dużą częstotliwością.

System SPAN jest bardzo łatwy w integracji w mobilnych laboratoriach pomiarowych gdyż poza danymi inercyjnymi oferuje format NMEA, naśladując typowy odbiornik GNSS. Istnieje możliwość wyboru spośród szeregu jednostek IMU,

zależnie od wymagań, poziomu trudności terenu prac i możliwości budżetowych. Przeprowadzone testy dowiodły jednak, że w typowych polskich warunkach do pomiarów drogowych zupełnie wystarczający jest system z najtańszą, nową jednostką inercyjną klasy MEMS.

Niezależnie od doboru IMU istnieje szereg innych możliwości rozbudowy SPAN i zwiększenia jakości uzyskiwanych danych, takich jak zaawansowany *post-processing* specjalistycznym oprogramowaniem np. NovAtel Inertial Explorer, zastosowanie pomocniczego tzw. wektora AL1GN (zestawu 2 odbiorników GNSS) czy integrację sensora na kole pojazdu – jednak ich omówienie przekracza ramy tego artykułu. ■



ANDRZEJ STAŃCZYK

Politechnika Warszawska  
stanczyk.andrzej@neostrada.pl

## Mosty przez Garonnę w Bordeaux

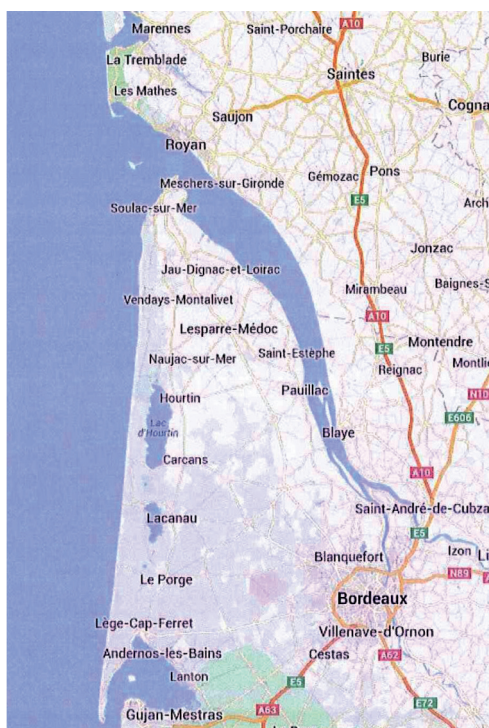
W połowie marca 2013 r. otwarto w Bordeaux największy w Europie most ruchomy, o rozpiętości głównego przęsła większej o 1,0 m od mostu Gustawa Flauberta przez

Sekwanę w Rouen (2008 r.). Po uniesieniu jego środkowego, ponad stumetrowego przęsła na wysokość 53 m, do miasta nadal będą mogły wpływać Garonną wysokie statki morskie, m. in. nieliczne już – ostatnie żaglowce. Przewiduje się, że most ten będzie otwierany około stukrotnie w ciągu roku. Jakie są powody wpływania statków tak daleko w głąb łądu w dzisiejszych czasach, gdy porty morskie budowane są na

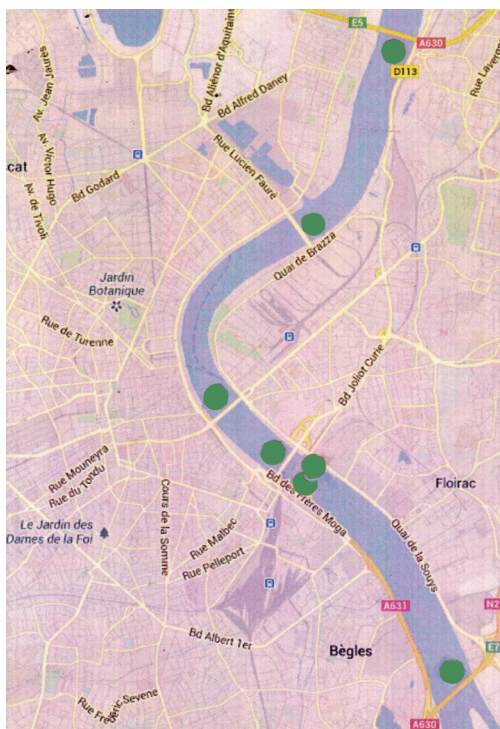
wybrzeżach i chronione falochronami, a transport kołowy zdominował inne rodzaje komunikacji na lądzie?

Przyzwyczajeni do prawie stałego poziomu wód w Bałtyku nie przypuszczamy, że pływy Atlantyku mogą osiągać na wybrzeżach Francji kilkunastometrowe amplitudy dwukrotnie w ciągu doby (!). Nasze morze od oceanów oddzielają cieśniny duńskie tak wąskie i długie, że oceaniczny przyptyw nie może w nie wtargnąć zbyt daleko, zanim nastąpi odpływ. Podobnie jest i w innych akwenach zamkniętych cieśninami – w Morzu Czarnym i Morzu Śródziemnym. Natomiast na brzegach oceanów różnice poziomów wód podczas przyptywu i odpływu są tak duże, że statki kotwiczone tam z dala od brzegów lub wpływały w ujścia rzek. Takim śródlądowym portem od wieków jest Bordeaux. By dopłynąć doń z Zatoki Biskajskiej, trzeba pokonać 65 km długie i szerokie na 3-11 km estuarium aż do ujścia doń rzek Garonny i Dordogne i jeszcze wpłynąć w Garonnę na niemałą odległość (rys. 1). Tradycja wpływania statków do miasta i istnienie tu urządzeń niezbędnych do ich przyjmowania, budowy i naprawy skłoniły do zbudowania takiego mostu w dole rzeki, który nie byłby przeszkodą dla żeglugi. To właśnie w tutejszej stoczni zbudowano na początku XX w. największy wtedy żaglowiec na świecie – SV France II.

Pierwszy most przez szerokie tu koryto Garonny – rzeki o bystro płynącym nurcie i poziomach zmiennych do 5,7 m (mimo stukilometrowego oddalenia od atlantyckiej Zatoki Biskajskiej), powstał na początku XIX w. Dziś w obrębie obwodnicy miasta jest siedem mostów: pięć miejskich i dwa kolejowe, z których jeden jest nieużywanym już zabytkiem. Są to, w kolejności od ujścia Garonny do estuarium (na rys. 2 – od góry): 1. Pont d'Aquitaine, 2. Pont Jacques Chaban Delmas, 3. Pont de Pierre, 4. Pont Saint Jean, 5. Nowy, czterotorowy most kolejowy, 6. Stary, dwutorowy most kolejowy Gustave'a Eiffela (obecnie nieczynny – zabytek z listy UNESCO) oraz 7. Pont Francois Mitterrand. Poznajmy ich konstrukcję i historię.



Rys. 1. Droga wodna z Zatoki Biskajskiej do Bordeaux



Rys. 2. Położenie mostów (zielone kółka) przez Garonnę w Bordeaux

Miasto Bordeaux istniało już za czasów Cesarstwa Rzymskiego. Wzniesiono je na lewym brzegu Garonny, która ułatwiała transport i komunikację wzdłuż rzeki i dalej oceanem, ale utrudniała przeprawę na przeciwny brzeg. Pierwsze poważne próby zbudowania tu stałej przeprawy sięgają drugiej połowy XVIII w. W 1771 r. sporządzono projekt mostu, ale Jean-Rodolphe Perronet – członek Francuskiej Akademii Nauk, autorytet w dziedzinie mostownictwa i założyciel słynnej *École des Ponts et Chaussées* w Paryżu stwierdził, że budowa jego jest niemożliwa ze względu na trudne warunki wodne: szybki i zmienny nurt rzeki. Pomysł budowy więc zarzucono.

Kolejny projekt mostu drewnianego powstał na rozkaz Napoleona I (1808 r.), który przeprowadzał tu wojska przez Garonnę na wojnę z Hiszpanią. W 1810 r. wydano rozporządzenie jego budowy, ale już w następnym roku Claude Deschamps opracował nowe plany mostu, tym razem kamiennego i do jego budowy przystąpił wraz z synem od początku 1812 r.

Katastrofalna powódź zimą 1813 r. oraz upadek imperium i abdykacja cesarza spowodowały wstrzymanie prac. Do wznowienia ich przystąpiono dopiero w latach 1819-1822, już po klęsce cesarza pod Waterloo, niepowodzeniu kampanii „100 dni” i przywróceniu władzy Bourbonów. Jest to użytkowany do dziś **Pont de Pierre** (Most Kamienny) – ostatnie już pośmiertne zwycięstwo cesarza. Siedemnaście niezbyt płaskich przęseł wymurowanych z kamienia i cegły – tyle, ile jest liter w imieniu i nazwisku – Napoleon Bonaparte (fot. 1). Przęsła mostu wsparto na fundamentach z 220 pali jodłowych wbitych w dno rzeki, gdy poziom jej obniżył się o 4 m. Filary na tych palach wykonano przy użyciu dzwona nurkowego sprowadzonego z Anglii. W celu zmniejszenia ciężaru mostu, pozostawiono pustkę wewnątrz przęseł – nad sklepieniami i między ustawionymi na ich krawędziach murami, na których oparto pomost. Długość mostu wynosi 487 m, a szerokość pierwotna 14,6 m. Na filarach, w międzyluczku, ozdobiony jest on medalionami cesarza. Przejazd przez most był płatny do 1863 r.

W 1939 r., gdy most nie mieścił już narastającego ruchu, zdecydowano zburzyć przęsła i ustawić nowe na dawnych podporach. Wykonaniu tego zamysłu przeszkodziła II wojna światowa, a w 1954 r. wymieniono tylko pomost na nowy, o szerokości 19 m. Do czasu zbudowania Pont Saint Jean w 1965 r., było to jedyne przejście drogowe przez Garonnę w Bordeaux. W 1980 r. zmieniono na nim oświetlenie i balustrady. W 2002 r. Most Kamienny uzyskał status zabytku, ale ruch po nim odbywa się nadal. Po wykonanych ostatnio pracach przy pogłębieniu rzeki stwierdzono osiadania podpór mostu, których nierównomierność od czasu jego budowy ocenia się na 50 cm (!). Osiadania te starano się powstrzymać, wzmacniając fundamenty mikropalami w latach 1992–1993, ale dalsze prace, o większym zakresie, planowane są na lata 2014–2015, po wyłączeniu mostu z ruchu. Nierównomierności osiadań podpór są łatwo zauważalne – ich wielkość można ocenić spoglądając wzdłuż pofalowanej krawędzi chodników pomostu.

Na początku XX w. zaakceptowano pomysł budowy **pont transbordeur** – mostu suwnicy zawieszono wysoko nad brzegami, po którego przęsła miał jeździć wózek przemieszczający między bulwarami podwieszony doń pomost. Projekt opracował Ferdinand Arnodin, twórca kilku innych podobnych konstrukcji, lecz jego most w Bordeaux miał być wyjątkowy, z przęsłem o rekordowej rozpiętości – 400 m.



Fot. 1. Most Kamienny w Bordeaux

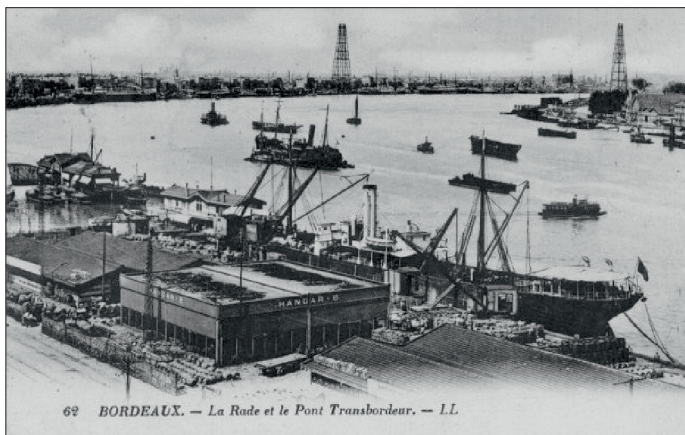




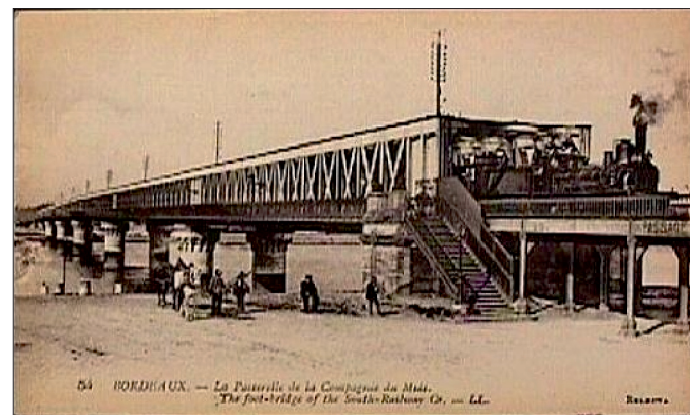
Budowę rozpoczęto w 1910 r. i do początku I wojny światowej (1914 r.) zbudowano dwie wieże wysokie na 45 m nad poziomem rzeki (fot. 2). Rozebrano je w 1942 r., uznając to rozwiązanie za przestarzałe (w innych przekazach podano, że wieże zostały zniszczone przez wojska niemieckie w 1943 r.).

most nazwano kładką Eiffela (*Passarelle Eiffel*), choć nadal nosił oficjalną nazwę *Pont du Chemin de fer du Midi*.

W 2008 r. zdecydowano most ten rozebrać, ale na wniosek UNESCO rozbiórkę wstrzymano i po wpisaniu budowli na listę światowego dziedzictwa ludzkości w 2010 r. – pozostał jako zabytek.



Fot. 2. Wieże Pont transbordeur w Bordeaux



Fot. 3. Most Eiffela przez Garonnę w Bordeaux

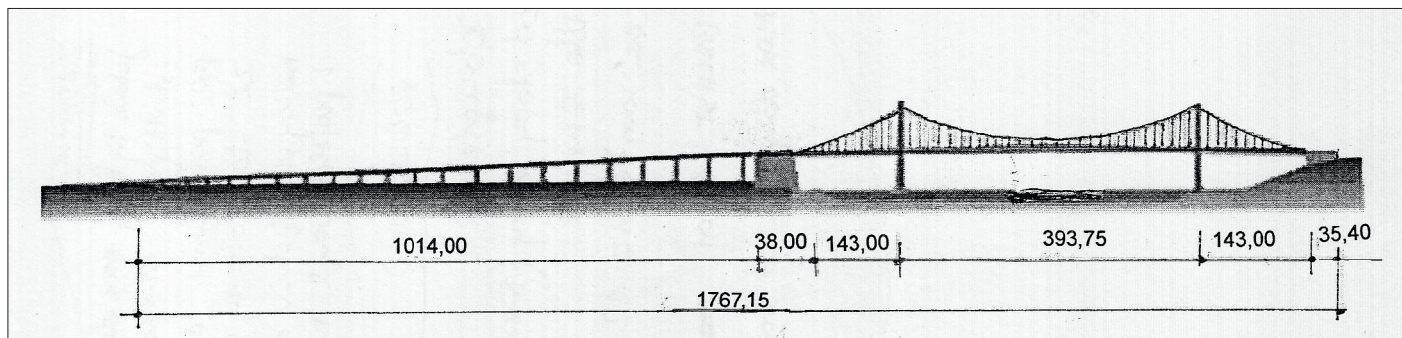
Rozwój kolei na początku XIX w. sprawił, że kolejnym mostem w Bordeaux był **most kolejowy** – pierwsze dzieło **Gustave'a Eiffela** (1832–1923). Ten znany później konstruktor, nie dostawszy się na studia w Politechnice Paryskiej, zdobył wykształcenie w dziedzinie chemii i specjalizował się w obróbce metalu. Bezpośrednio po ukończeniu studiów (1855 r.) został zatrudniony w firmie, która uzyskała koncesję na budowę mostu przez Garonnę na linii kolejowej z Paryża do Bayonne.

W latach 1963–1965 zbudowano **Pont Saint-Jean** – most belkowy z betonu, o długości 474 m i rozpiętości przęsła 77 m, choć w tym czasie trwała budowa innego mostu w mieście, przekraczającego Garonnę poniżej portu. Most zbudowano w krótkim czasie, mimo kontrowersji dotyczących projektu Fayetona oraz jego realizacji przez przedsiębiorstwo Campenon Bernard.

Projekt mostu sporządzili: Paul Renault i Stanislaw de la Roche Tolay, a Eiffel był odpowiedzialny początkowo tylko za zakupu nitów. Jednak w krótkim czasie, już w wieku 26 lat, został kierownikiem budowy, kończąc ją w dwa lata (1860 r.). Fundamenty mostu zbudowano na kesonach przy użyciu sprężonego powietrza, co w tamtym czasie było techniką innowacyjną. Siedem kratowych przęsła wiodło dwa tory, a w 1862 r. dobudowano po wschodniej stronie mostu chodnik dla pieszych i cyklistów. Przejście to było niepłatne, w przeciwieństwie do przekraczania rzeki Mostem Kamienym, szybko więc chodnik ten stał się tak popularny, że cały

Wszystkie dotychczas zbudowane mosty w Bordeaux znajdowały się w centrum miasta i dalej w górę Garonny, powyżej stoczni i kotwicznicy statków. Aby miasto mogło rozwijać się także w dół rzeki i aby usunąć zeń ruch tranzytowy, w latach 1960–1967 powstał wiszący **Pont d'Aquitaine** długości 1767 m. Główne przęsło tego mostu, o rozpiętości 394 m i szerokości 20,9 m wyniesiono 58 m nad poziomem wód, co umożliwiło nawigację statków, ale wymagało długiego dojazdu po stronie miasta, w celu pokonania sporej różnicy wysokości przez pojazdy i dlatego pomysł ten był silnie krytykowany. Szczyty pylonów, połączonych u góry rygłem, sięgają 103 m nad poziomem rzeki.

Podczas badań mostu rozpoczętych w 1979 r. stwierdzono postępującą korozję głównych lin i spowodowane tym niepo-



Rys. 3. Most Akwitania – układ mostu przez Garonnę z lewobrzeżnym dojazdem



a)



b)



c)



d)



Fot. 4. Most Akwitania: a) część prawobrzeżna mostu, b) lewobrzeżny przyczółek rozdzielczy, c) pylon prawobrzeżny, d) widok wzdłuż pomostu

kojące objawy – trwałe przemieszczenia pionowe pomostu. Pomiary ich kontynuowano w latach 80-tych i 90-tych, aż wreszcie stwierdzono, że konieczna jest wymiana lin nośnych. Nowe, zabezpieczone przed korozją, zawieszono w latach 2000–2005.

Kolejnym mostem, wzniesionym w latach 1992–1993 był autostradowy **Pont François Mitterrand** (do 1967 r. zwany **Pont Arcins**). Zamyka on pierścień obwodnicy miasta w górze Garony, w pobliżu wyspy Arcins, odciążając most Akwitania z ruchu tranzytowego. Przeprawa ta jest złożona z dwóch niezależnych ustrojów nośnych, każdy o szerokości 14 m i długości 642 m – po 7 przęseł rozpiętości  $63 + 5 \times 102 + 69$  m.

Do czasu zbudowania pierwszego mostu kolejowego przez Gustave'a Eiffela, dworzec kolejowy był położony na prawym brzegu rzeki, a dalszą drogę pasażerowie pociągu odbywali promem. Po ukończeniu – dworzec przeniesiono do miasta, lecz po pół wieku użytkowania, dwutorowy most z ograniczeniem prędkości przejazdu do 30 km/h stał się „wąskim gardłem”. Dlatego obok, w styk do dawnego, zbudowano nowy, **czterotorowy most kolejowy**, o dwukrotnie większej prędkości przejazdu. Na ten nowy most, długości 476 m i szerokości 22 m przeniesiono ruch pociągów w maju 2008 r. Projekt Jeana Duvala i Jeana Giacinto, realizacja: SPIE (fundamenty) i Eiffage (ustrój nośny).

Dziś, choć miasto liczy tylko około ćwierć miliona mieszkańców, to komunikację w nim utrudniała duża odległość między dwoma ostatnimi mostami w dole rzeki. Było to impulsem do podjęcia decyzji o budowie nowego mostu między nimi – mostu, który nie zamykałby przejazdu dla wysokich statków, ale też nie wymagał wjazdu na tak wysoko uniesione przęsło jak w moście Akwitania. W efekcie powstał projekt mostu ruchomego o pięknej sylwetce stworzony w pracowni architektonicznej Lavigne et Chéron Architectes przy współpracy najbardziej dziś znanego francuskiego mostowca – Michela Virlogeux i Hardesty & Hannover.

Podstawowe parametry budowli: długość mostu 575 m, szerokość 32–45 m, rozpiętość głównego, podnoszonego przęsła 117 m. Przepustowość – 43 tysiące pojazdów na dobę. Przez most prowadzą dwa pasy publicznego transportu tramwajami, cztery pasy ruchu samochodowego oraz chodniki dla pieszych i ścieżki rowerowe.

Unikatowe przęsło o masie 2600 t jest podnoszone na dwóch parach wież o wysokości 77 m. Ich betonowe fundamenty mają wymiary: długość 44 m, szerokość 18 m i wysokość 16 m. Czas potrzebny na podniesienie przęsła jest krótki – zaledwie 12 min. Szacuje się, że w ciągu roku tego typu operację będzie można zobaczyć około 100 razy.

**Most** zbudowano w latach 2009–2012 i nazwano imieniem **Jacquesa**





Fot. 5. Most Chaban Delmasa: a) widok całości, b) przęsło przed uniesieniem, c) przęsło uniesione maksymalnie, d) podpora w nurcie rzeki, e) most „do nikąd”, f) wieże do podnoszenia przęsła, g) zbocza linowe u szczytu wież