

Najwyższej klasy budowle inżynierskie Zjednoczonych Emiratów Arabskich



tekst: **dr inż. KAROL RYŻ**, Katedra Budowy Mostów i Tuneli, Politechnika Krakowska; Przedsiębiorstwo Usług Inżynierskich Prokom S.C.

10-19 października 2012 r. odbyła się V Światowa Wyprawa Mostowa „Zjednoczone Emiraty Arabskie 2012”, której organizatorem był prof. dr hab. inż. Kazimierz Flaga z Politechniki Krakowskiej. W toku wyprawy odwiedzono najciekawsze miejsca oraz najważniejsze obiekty o charakterze budowlanym i inżynieryjnym w Zjednoczonych Emiratach Arabskich (ZEA).

Wyniesiona z wyprawy bezpośrednia wiedza, wykonana obszerna dokumentacja fotograficzna, ogrom doznań i wrażeń z bliskiego kontaktu z niezwykłymi budowlami stanowiły kanwę i inspirację do przedstawienia wybranych zagadnień na szerszym forum, w postaci artykułu złożonego z trzech części. Pierwsza dotyczy nowoczesnych dzieł inżynierii lądowej z zakresu mostownictwa i komunikacji szynowej. W drugiej części przedstawiono wybitne w skali współczesnego świata budowle z obszaru budownictwa ogólnego, sakralnego i związanego ze sportem. W trzeciej części zostaną zaprezentowane budowle użyteczności publicznej (muzea, galerie).

Zjednoczone Emiraty Arabskie – obszar intensywnego rozwoju infrastruktury

Zjednoczone Emiraty Arabskie są niewielkim krajem (83,6 tys. km²) położonym na Półwyspie Arabskim. Granicę morską stanowi Zatoka Perska oraz Zatoka Omańska przynależąca do Morza

Arabskiego, a szerzej, do Oceanu Indyjskiego. Obie zatoki rozdziela Cieśnina Ormuz, strategiczny przesmyk w tym rejonie świata.

Obecna struktura państwa, jednocząca siedem emiratów, powstała 2 grudnia 1971 r., kiedy szejka Zayed bin Sultan Al Nahyan doprowadził do porozumienia i zjednoczenia. W ten sposób zakończył się również okres dominacji brytyjskiej. Szejka Zayed został pierwszym prezydentem, wdrożył nowe zasady polityki zdrowotnej, edukacji, zainicjował rozwój infrastruktury oraz solidarnego wspierania wszystkich emiratów. Za swoje zasługi traktowany jest dzisiaj jako ojciec narodu, a jego nazwisko pojawia się w wielu nazwach, również odnoszących się do znaczących budowli w kraju.

Dwie daty odegrały istotną rolę w najnowszej historii ZEA. W 1958 r. odkryto duże złoża ropy naftowej, zwłaszcza w emiracie Abu Dhabi. W 1962 r. rozpoczęto trwający do dzisiaj eksport, który stanowi główne źródło dochodów państwa. Bardzo wysoki dochód na głowę mieszkańca (60 tys. USD rocznie) spr-



Most Zayeda w Abu Dhabi – widok na główne przęsło łukowe wraz z dźwigarem skrzyniowym, fot. K. Ryz

Dubaj stał się realną emanacją utopijnych marzeń budowy miasta idealnego.

wia, że możliwości finansowe państwa są ogromne. Znajdują one wyraz m.in. w niespotykanym na skalę światową intensywnym rozwoju szeroko pojętej infrastruktury, w tym biurowej, mieszkaniowej, hotelowej, handlowej i komunikacyjnej.

ZEA zamieszkuje dzisiaj ponad 8 mln mieszkańców, z czego ok. 20% to lokalni Arabowie (obywatele z pełnymi uprawnieniami), pozostali to Hindusi, Pakistańczycy, Filipińczycy, przybysze z Bangladeszu, państw afrykańskich i innych narodowości Dalekiego Wschodu oraz biali rezydenci, głównie z Europy i Ameryki. Stolica ZEA znajduje się w Abu Dhabi, natomiast najbardziej znaną na świecie metropolią Zjednoczonych Emiratów jest Dubaj, który wyróżnia się wspaniałą, nowoczesną infrastrukturą.

Dubaj i Abu Dhabi – nowe, wielkie metropolie na Półwyspie Arabskim

Przełom XX i XXI w. stanowił okres niesłychanie intensywnego rozwoju infrastruktury w niektórych miastach Zjednoczonych Emiratów. W pewnym okresie pojawiały się informacje, że 75% światowego potencjału dźwigów wieżowych wykorzystywanych jest właśnie w ZEA.

Dubaj stał się realną emanacją utopijnych marzeń budowy miasta idealnego. To właśnie tutaj odbywał się i nadal trwa, chociaż po 2008 r. nastąpiło pewne spowolnienie i korekta, pokaz najnowocześniejszych technologii stosowanych w budownictwie, a architektura doczekała się wielu wybitnych realizacji, które już dzisiaj weszły do zasobów światowego dziedzictwa.

Na nieprzyjaznych piaskach pustyni, w warunkach bardzo uciążliwego klimatu (lato z temperaturami ok. 50 °C w cieniu) pobudowano miasto jak z bałśni, które przyciąga zarówno rodzimych i przyjezdnych milionerów, jak i mniej zamożnych turystów z całego świata, pragnących zobaczyć najnowocześniejsze na świecie linie metra i kolei jednoszynowej, sprawdzić klimatyzację na przystankach autobusowych i stacjach metra, wznieść głowę w kierunku wierzchołka najwyższego budynku świata, obejrzeć lub sprawdzić najlepszy na świecie hotel, dotrzeć po pnium na gałęzie i wierzchołki sztucznej wyspy z piasku w kształcie palmy (znanej dotychczas z map sateli-

tarnych), zrobić zakupy w największych centrach handlowych, pojeździć na nartach na sztucznym górskim stoku na pustyni w środku upalnego lata, zobaczyć największe na świecie akwarium (szyby w *Księżce Rekordów Guinnessa*), uczestniczyć w wyścigach samochodowych Formuły 1 lub turniejach tenisowych wysokiej rangi.

Na początku XX w. Dubaj i Abu Dhabi praktycznie nie istniały. Obecnie Dubaj jest w pierwszej dziesiątce najchętniej odwiedzanych przez turystów miast świata. Wydaje się, że zrealizowana do tej pory niesłychanie atrakcyjna infrastruktura będzie wystarczającym magnesem dla turystów z całego świata na najbliższe kilkadziesiąt lat. Warto poznać ją bliżej, gdyż w wielu przypadkach zawiera w sobie najnowszą myśl techniczną oraz wyznacza wiodące w świecie trendy architektoniczne i estetyczne na najbliższe lata.

Metro bezobsługowe – nowa jakość w systemie komunikacji zbiorowej Dubaju

Obecnie eksploatowane w Dubaju metro składa się z dwóch linii – zielonej i czerwonej. Obie linie na odcinku końcowym obsługują obszary wzdłuż zatoki Creek. Pozostała część linii czerwonej oraz planowane linie nowe usytuowane są równoległe do linii brzegowej zatoki. W planach rozwojowych sieci przewiduje się kolejno budowę dwóch linii – niebieskiej i fioletowej.



Estakada zielonej linii metra w Dubaju, fot. K. Ryz



Typowa stacja metra wśród wysokiej zabudowy Dubaju, fot. K. Ryz



Konstrukcja torów metra na estakadzie, fot. K. Ryz

Metro w Dubaju jest najdłuższym w pełni zautomatyzowanym systemem kolei na świecie.



Obudowana kładka dla pieszych – dojsię do stacji metra nad dwujezdniową arterią komunikacyjną, fot. K. Ryz



Końcowa stacja zielonej linii metra, fot. K. Ryz

Linia czerwona ma długość 52,1 km; 5 km linii poprowadzono w tunelu, pozostała część usytuowana jest na estakadach. W obrębie znajduje się 29 stacji (dziewięć podziemnych). Prędkość eksploatacyjna na linii wynosi 46 km/h. Budowę linii rozpoczęto w sierpniu 2005 r. Ruch pociągów uruchomiono we wrześniu 2009 r.

Linia zielona ma długość 22,5 km; 8 km linii poprowadzono w tunelu, pozostała część usytuowana jest również na estakadach. W obrębie linii znajduje się 16 stacji. Prędkość eksploatacyjna na linii wynosi 35 km/h. Budowę rozpoczęto w lipcu 2006 r. Ruch pociągów uruchomiono we wrześniu 2011 r.

Zdolność przewozowa metra w Dubaju wynosi 1,2 mln pasażerów dziennie, 27 tys. pasażerów na godzinę dla każdej linii i 355 mln pasażerów rocznie.

Na czołach wsporników jednostupowych podpór estakad zaznaczono kolor linii, co bardzo ułatwia orientację, zważywszy na duże podobieństwo konstrukcji całego systemu metra. Szyny tworzące tory przytwierdzono bezpo-

średnio do pręseł płytowych estakad. Przęsła płytowe (betonowe) są wspólnymi konstrukcjami pod oba tory każdej linii. Prześwit torów wynosi 1435 mm. Metro zasilane jest z trzeciej szyny – napięcie prądu 650 VDC.



Wystrój architektoniczny stacji metra, fot. K. Ryz

Szlakowe stacje metra mają podobną konstrukcję, o bardzo futurystycznym wyglądzie, świetnie komponującym się z ultranowoczesnymi obszarami Dubaju z wysoką zabudową. Wszystkie stacje są klimatyzowane. W związku z tym przy krawędziach peronów postawiono szczelne, przezroczyste ekrany, które otwierane są w miejscach drzwi pociągu, po jego zatrzymaniu. Ekrany te zabezpieczają pasażerów przed wejściem na tory oraz w pewnym stopniu porządkują ich ruch na peronach przy wsiadaniu. Wnętrza stacji mają zróżnicowany wystrój architektoniczny (kilka odmian stylistycznych). Ciekawym problemem w Dubaju jest zapewnienie pasażerom metra dotarcia do celu po opuszczeniu stacji. Omówienie go wykracza jednak poza ramy niniejszego artykułu.

Czerwoną i zieloną linię metra wybudowało konsorcjum złożone z firm Mitsubishi Heavy Industries, Mitsubishi Corporation, Obayashi Corporation, Kajima Corporation oraz tureckiej firmy Yapi Markezi.

Pociągi metra eksploatowane w Dubaju (87 składów pięciowagonowych) produkuje japońska firma Kinki Sharyo. Wygląd zewnętrzny pociągów przypomina trochę niektóre produkowane w Polsce składy pociągów elektrycznych (PESA). Pociągi te charakteryzuje wysoki komfort i bezpieczeństwo. W każdym pociągu wyodrębniono trzy klasy: złota klasa na czole składu (skóra, dywany, wygodniejsze siedzenia, lepsze oświetlenie, panoramiczna szyba czołowa, droższe bilety), klasa tylko dla kobiet i dzieci usytuowana bezpośrednio za klasą złotą oraz pozostałe cztery wagony w składzie to klasa standard (ekonomiczna).

W metrze zastosowano w pełni automatyczne sterowanie pociągami (*Driverless*). Nadzór nad ruchem pociągów dokonują kontrolery stacyjne (STC) oraz centra kontroli pociągów (VCC). Nad pracą całego systemu czuwa centralny ośrodek nadzoru (OCC), zlokalizowany w zajezdniach metra. W pociągach nie ma tradycyjnych maszynistów sterujących składem pociągów.

Metro w Dubaju jest najdłuższym w pełni zautomatyzowanym systemem kolei na świecie. Liczy obecnie 74,6 km i jest dłuższe od podobnej sieci metra w Vancouver w Kanadzie, które ma długość 68 km.

Kolej jednoszynowa na wyspie Palma Dżamira (ang. Palm Jumeirah Monorail)

Rozwojowi metropolii Dubaju w ostatnich latach towarzyszy budowa sztucznych wysp zlokalizowanych w pobliżu

już Wyspy Palmowe (największe sztuczne wyspy na świecie), Wyspa Świat i inne. Wyspy widoczne są z kosmosu i stanowią niezwykle logo Dubaju przy jego obserwacji z dużych wysokości. Obecnie najśfynniejsza jest Palma Dżamira (Palm



Estakada kolei jednoszynowej na sztucznej wyspie Palma Jumeirah, fot. K. Ryż



Terminal kolei jednoszynowej u podstawy pnia palmy, fot. K. Ryż



Terminal kolei jednoszynowej na szczycie palmy obok hotelu Atlantis, fot. K. Ryż

brzegu Zatoki Perskiej. Na sztucznej wyspie zbudowano słynny hotel Burj Arab w kształcie żagla (opis zostanie zamieszczony w 2. części artykułu). Przy kolejnych odcinkach zatoki powstały słynne

Jumeirah). Zbudowana jest, podobnie jak inne wyspy, z materiału skalnego wydobywanego z dna Zatoki. Wyspa składa się z palmy oraz okalającego ją falochronu. Całość mieści się w obrębie

Na nieprzyjaznych piaskach pustyni, w warunkach bardzo uciążliwego klimatu (lato z temperaturami ok. 50 °C w cieniu) pobudowano miasto jak z baśni, które przyciąga zarówno rodzimych i przyjezdnych milionerów, jak i mniej zamożnych turystów z całego świata, pragnących zobaczyć najnowocześniejsze na świecie linie metra i kolei jednoszynowej.



Sztuczna wyspa Palma Jumeirah wraz z koleją jednoszynową wzdłuż pnia, Google Maps

5 x 5 km, a długość linii brzegowej wyspy wynosi 75 km. Już w chwili obecnej wyspa ma charakter ekskluzywny. Powstają tu apartamentowe kompleksy mieszkalne (w tym letniskowe) z wła-

snymi marinami, luksusowe hotele (np. Atlantis Hotel na wierzchołku wyspy), kompleks 11 wieżowców (Dubai Pearl) u podstawy pnia z powierzchniami mieszkalnymi, biurowymi i handlowymi,

sklepy i restauracje, jak również parki wodne i parki rozrywki.

Komunikacja wyspy z lądem odbywa się drogą wodną i lądową. Wzdłuż pnia poprowadzona jest arteria drogowa, która na ostatnim odcinku tunelem pod dnem morza pozwala dostać się w rejon hotelu Atlantis. Dla obsługi komunikacji zbiorowej (turyści, obsługa oraz mieszkańcy) zbudowano koleję jednoszynową (ang. *monorail*), którą poprowadzono wzdłuż pnia palmy aż na jej wierzchołek.

Idea kolei jednoszynowej pojawiła się po raz pierwszy w 1821 r. (patent Henry'ego Robinsona Palmera, układ podwieszony kolejki na jednej szynie). Później (początek XX w.) pojawiły się pomysły zastosowania żyroskopu do stabilizacji pionowej kolejki jednoszynowej (Brennan i Scherla). Ewolucja rozwiązań doprowadziła do wykształcenia się dwóch podstawowych systemów. W pierwszym systemie kolej podwieszona jest do napowietrznej szyny. W drugim – szyna poprowadzona jest ponad ziemią na specjalnej estakadzie.



Dźwigary betonowe (szyny) kolei w obrębie falochronu wyspy, fot. K. Ryz



Pociąg jednoszynowy na wyspie Palma Jumeirah, fot. K. Ryz



Wsiadanie do pociągu jednoszynowego na stacji początkowej, fot. K. Ryz



Dźwigary betonowe (szyny) kolei w obrębie zabudowanego pnia wyspy, fot. K. Ryz

Bardzo wysoki dochód na głowę mieszkańca (60 tys. USD rocznie) sprawia, że możliwości finansowe państwa są ogromne. Znajdują one wyraz m.in. w niespotykanym na skalę światową intensywnym rozwoju szeroko pojętej infrastruktury, w tym biurowej, mieszkaniowej, hotelowej, handlowej i komunikacyjnej.



Wnętrze terminalu kolei jednoszynowej na szczycie palmy, fot. K. Ryż

System drugi zastosowano na Palmie Dżamira w Dubaju. Szynę w przedmiotowym przypadku stanowi belka betonowa o przekroju prostokątnym i szerokości kilkudziesięciu centymetrów. Po takiej szynie kolejka, o specjalnie ukształtowanej konstrukcji, porusza się okrakiem. Pionowe położenie kolejki stabilizują koła stykające się zarówno

z powierzchnią górną, jak i bocznymi betonowej belki-szyny. Wszystkie stacje kolejki, z powodu wysokich temperatur panujących tutaj przez znaczną część roku, są klimatyzowane. W związku z tym przy krawędziach peronów zbudowano szczelne, przezroczyste ekrany, które otwierane są w miejscach drzwi wagonów, po zatrzymaniu składu. Ekrany te stanowią również barierę bezpieczeństwa dla pasażerów oraz w pewnym stopniu porządkują ruch podróżnych na peronach przy wsiadaniu do kolejki.

Podobne realizacje kolejki jednoszynowej spotykane są współcześnie w wielu dużych miastach Japonii. Wiodącym producentem takich systemów komunikacyjnych jest firma Hitachi Transportation Systems. Zwraca się uwagę na futurystyczny wygląd systemu kolejki oraz łatwość budowy estakad (powtarzalność i znaczna prostota konstrukcji podpór), które mają wiele zalet w porównaniu z rozwiązaniami naziemnymi i podziemnymi.

Most szejka Zayed w Abu Dhabi

Abu Dhabi, stolica ZEA, położone jest na wyspie. Arterie komunikacyjne wiodące do miasta w pierwszej kolejności prowadzone są po mostach. W 2010 r. przekazano do eksploatacji, po siedmiu latach budowy, nowy most nazwany imieniem szejka Zayed bin Sultana Al Nahyana, wprowadzający do miasta trzeci główny szlak komunikacyjny w postaci czteropasmowej autostrady łączącej Półwysep Arabski z wyspą nad kanałem Maqta.

Projekt techniczny mostu opracowała firma Buckland & Taylor Ltd., zgodnie z projektem architektonicznym autorstwa słynnej w całym świecie Zaha Hadid. Wykonawstwem obiektu (generalny wykonawca) zajmowały się firmy Archirodon Construction (Overseas) Co. SA oraz Six Construct Ltd. Sprzężenie wykonała firma VSL International. Koszt budowy wyniósł ok. 300 mln USD.

Już w chwili obecnej konstrukcja mostu została uznana za najbardziej skomplikowaną na świecie pod względem

Nieregularna, sinusoidalna architektura mostu Zayed nawiązuje do tęsknoty Arabów za pustynią, za pofalowanymi wydrami piasku wędrującymi po pustyni podczas wiosennych burz.



Most Zayed w Abu Dhabi – widok ogólny, fot. K. Ryż



Dźwigar skrzyniowy mostu Zayed, fot. K. Ryz

Most Zayed został zaprojektowany jako wybitne dzieło sztuki inżynierskiej oraz jako obiekt o niespotykanych walorach architektonicznych i estetycznych, który w metropolii Abu Dhabi ma pełnić funkcję landmark, czyli wyróżnika miejsca.

geometrycznym. Łączna długość obiektu wynosi 842 m. Prześwit pod największym przęsłem osiąga 16 m.

Ustrój nośny mostu ma zasadniczo trzy główne przęsła (największe o rozpiętości 234 m), chociaż przeprowadzając dokładniejszą analizę, można wyodrębnić jeszcze dodatkowe przęsła o mniejszej rozpiętości. Głównym elementem konstrukcji są dwa ciągłe łuki ukształtowane w postaci nieregularnej sinusoidy ze zmiennymi amplitudami. Łuki te wykonane są z betonu i stali (przekrój skrzyniowy), a ich usytuowanie w przestrzeni jest zmienne w stosunku do płaszczyzny pionowej poprowadzonej w osi obiektu. Łuki przenikają się wzajemnie z ciągłymi skrzyniowymi dźwigarami, podwieszonymi do trzech głównych przęseł łuków. W sprzężonych, betonowych skrzyniach rozwinięto silnie partie wspornikowe. Wsporniki, tworzące wraz z pasem górnym skrzyń pomost obiektu, wyposażono w silne elementy krawędziowe oraz tarczowe uźbrowanie, które tworzy bardzo charakterystyczny układ komór w podniebieniu konstrukcji mostu.

Most Zayed został zaprojektowany jako wybitne dzieło sztuki inżynierskiej oraz jako obiekt o niespotykanych walorach architektonicznych i estetycznych, który w metropolii Abu Dhabi ma pełnić funkcję *landmark*, czyli wyróżnika miejsca. Wskazuje się, że nieregularna, sinusoidalna architektura mostu nawiązuje do tęsknoty Arabów za pustynią, za pofalowanymi wydhami piasku wędrującymi po pustyni podczas wiosennych burz.

Dopełnieniem walorów estetycznych mostu oglądanego w ciągu dnia jest dynamiczne oświetlenie, oparte na subtelnej kolorystyce. Całość sterowana jest elektronicznie, a system stwarza możliwość realizacji różnych programów iluminacji. Układ komór w podniebieniu konstrukcji mostu wykorzystano w projekcie iluminacji do uzyskania niecodziennych efektów, które dają obiektowi drugie, nocne, bardzo atrakcyjne życie. Projekt iluminacji wykonał Rogier van der Heide, dyrektor ds. projektowania firmy Philips Lighting. Architekt Zaha Hadid stwierdziła, że nocna iluminacja dynamicznie uczytelnia przestrzenną strukturę konstrukcji mostu. Podobno w nocy most

fascynuje, emanując radością w stronę użytkowników i obserwatorów. Zagościł tu *genius loci* tak bardzo oczekiwany przez szczodrych inwestorów obiektu.

Podsumowanie

Przedstawione w tej części artykułu przykłady zrealizowanych w Dubaju elementów infrastruktury komunikacyjnej (bezobsługowe metro i kolej jednoszynowa na Palm Jumeirah) oraz most szejka Zayed w Abu Dhabi wskazują, że mamy do czynienia z przedsięwzięciami najwyższej światowej klasy. Pochłaniają one wielkie nakłady finansowe, jednak stanowią jednocześnie wyznaczniki nowych trendów i dokonań w światowej inżynierii komunikacyjnej i mostownictwie. Wdrożenie innowacyjnych rozwiązań w komunikacji zbiorowej Dubaju stanowi ważny, prekursorski test dla metropolii całego świata w obszarze nowoczesnych systemów bezobsługowych. W 2. części artykułu zostaną zaprezentowane wiodące budowle ZEA w obszarach budownictwa ogólnego (Burj Khalifa – najwyższa budowla świata, Burj Arab, Emirates Palace), sakralnego (meczet Zayed) i związanego ze sportem (tor Formuły 1 w Abu Dhabi).

Literatura

- [1] Metro w Dubaju, Wikipedia.org
- [2] Kolej jednoszynowa na wyspie Palm Jumeirah, Wikipedia.org
- [3] Most Szejka Zayed, Wikipedia.org
- [4] Zjednoczone Emiraty Arabskie, Wikipedia.org