

Transport kolejowy w Katarze

Railway transport in Qatar



Robert Wojtczak

mgr inż.

robert.wojtczak@deutschebahn.com

Streszczenie: W artykule omówiono aktualnie realizowane projekty infrastruktury kolejowej w Katarze, a w szczególności projekt metra w Doha. Scharakteryzowano typy używanych konstrukcji takich jak m. in. tunele i wiadukty z bliższym przyjrzeniem się konstrukcji podtorza. W końcowej części podano najważniejsze informacje dotyczące projektu sieci tramwajowej w Lusail i sieci linii dalekiego zasięgu dla pociągów pasażerskich i towarowych.

Słowa kluczowe: Doha Metro; kolej w Katarze; Tunelowanie

Abstract: The article presents the railway infrastructure projects currently carried out in the State of Qatar with specific focus on the Doha Metro Project. The types of designed structures, such as viaducts and tunnels with a closer look at the construction of the trackbed are described in more detail. The last part of the article contains key information about both the Tram Network project in Lusail and the Long Distance Lines for the passenger and freight trains.

Keywords: Doha Metro; Qatar Railways; Tunneling

Katar jest jednym z najmniejszych państw świata. Jego powierzchnię można przyrównać do powierzchni województwa opolskiego, czy świętokrzyskiego. Jest to zarazem najbogatsze państwo, jeśli chodzi o przychód krajowy per capita. Liczba mieszkańców wynosi około 2,6 mln, z czego około 1,5 mln to mieszkańcy stolicy – Dohy. Liczby te mogą być trochę mylące, ponieważ prawie 90% wszystkich rezydentów to osoby, które przyjechały czasowo do pracy, bez obywatelstwa i bez perspektyw na jego otrzymanie. Rdzennych Katarczyków jest zaledwie około 300 tys.

Za sprawą przychodów z eksploatacji ogromnych złóż gazu ziemnego od kilku lat tempo rozwoju Kataru jest jednym z najwyższych w świecie. Przejawia się to m. in. w wielkiej ilości realizowanych inwestycji zarówno w budownictwie mieszkalnym, usługowym i przemysłowym, jak i w budowie dróg kołowych i szynowych. Wszystkie inwestycje prowadzone są z wielkim tem-

pem i rozmachem, a związane to jest ze zbliżającym się mistrzostwami świata w piłce nożnej w 2022 r.

Spółka kolei katarskich powstała w 2009 r, a pierwsze prace wykonawcze rozpoczęto w 2012 na przyszłej stacji metra Msheireb. Do aktualnie realizowanych inwestycji kolejowych oprócz sieci metra w Doha zaliczyć należy sieć tramwajową w nowobudowanym mieście Lusail (*Lusail Light Rail Transit*). Są to inwestycje pierwszej fazy budowy infrastruktury kolejowej w Katarze. W fazie drugiej planowana jest rozbudowa metra, rozbudowa sieci tramwajowej w Lusail i podzielona na kilka etapów budowa krajowej sieci kolejowej z połączeniami do krajów sąsiednich – Arabii Saudyjskiej i Bahrajnu.

Aktualnie (stan na wrzesień 2016 r.) w Katarze nie ma jeszcze ani jednego metra drogi szynowej. Pierwsze pociągi natomiast mają pojechać według planu już w 2019 r.

Ze względu na największe zaawansowanie prac projektowych i wykonaw-

czych, w niniejszym artykule przedstawione są głównie informacje związane z metrem w Doha.

Metro

W trakcie projektowania wykonano szczegółowe studia geologiczne wzdłuż planowanych osi torów. M. in. wykonano 123 wierceń o średnicy do 84 mm na głębokość od 25 do 70 m wraz z pomiarem poziomu zwierciadła wody gruntowej. Badania wykazały w większości obecność skał wapiennych (*Simsima Limestone*), łupków (*Midra Shale*) i tzw. rusu (*Rus Formation* – wapienie z przewarstwieniami gliniastymi i gipsowymi). Zauważono, że formacje wapienne mają nieregularny układ i dużą ilość pustych przestrzeni, spowodowanych zjawiskami krasowymi, bardzo niekorzystnych dla prac tunelowych. Warstwy wodonośne zaobserwowano na głębokości od 5 do 15 m. Wody te zawierają dużą ilość siarczanów i chlorków i są bardzo korozyjne dla stali i be-



1. Mapa Kataru

tonu. Średnia temperatura wód wynosi aż 28°C.

Budowa metra podzielona została na dwie fazy. Faza 1 ma być ukończona do Pucharu Świata w 2022 r., natomiast

Faza 2 ma się rozpocząć w późniejszym terminie. W Fazie 1 przewidziano trzy linie metra – Czerwoną Linie, biegnącą wzdłuż wybrzeża i posiadającą odnogę do lotniska oraz Złotą i Zieloną Linie przechodzące z zachodu na wschód. Wybudowany też zostanie odcinek operacyjny, który w następnej fazie będzie częścią Linii Niebieskiej. Wszystkie trzy linie łączą się dwupoziomowo na stacji Msheireb, która jest sercem całego systemu. Przewidziano także budowę czterech stacji odstawczo-naprawczych, po jednej dla Zielonej i Złotej Linii oraz dwie dla Czerwonej, z czego jedna z nich znajdować się będzie pod ziemią. Na rysunku 2 pokazano linie Fazy 1 odpowiadającymi im kolorami, zaś linie Fazy 2 na szaro. W tabeli 1 przedstawiono długość odcinków i liczbę stacji Fazy 1.

Oprócz wydłużenia wszystkich linii, w Fazie 2 przewidziana jest dodatkowa linia – Niebieska, biegnąca wokół centrum miasta, jak również kolejne linie Zielone i Złota. Wybudowane też zostanie kolejna duża stacja odstawczo-naprawcza. W tabeli 2 przedstawiono długość odcinków i ilość stacji przewidzianych w Fazie 2. Udział długościowy poszczególnych typów konstrukcji przedstawiono w tabeli 3, natomiast udział procentowy na rysunku 3. W Fazie 1 66% łącznej długości wszystkich linii stanowią tunele (układ dwóch tuneli) wykonane maszynami TBM. W dalszej kolejności są tunele wykonane metodą odkrywkową (14%) – głównie stacje i odcinki przyległe oraz wiadukty (12%). W Fazie 2 najczęściej zajmują wiadukty (45%) i tunele TBM (44%), długość innych odcinków jest nieznaczną. Po ukończeniu wszystkich planowanych odcinków Fazy 1 i 2 procentowy udział typów konstrukcji kształtować się będzie następująco – tunele TBM – 52%, wiadukty – 32%, pozostałe tunele – 10%, odcinki w poziomie terenu – 4% i rampy – 2%.

Każdą linię zaprojektowano jako dwutorową w rozstawie 4,0 m w terenie otwartym i na wiaduktach oraz nominalnie 15,7 m w osobnych tunelach. Na stacjach podziemnych rozstaw jest zwiększony do 17,5 m, w celu uzyskania szerokości peronu dwukrawędziowego równej 14,4 m. Pociągi zasilane są z trzeciej szyny umiejscowionej z boku toru. Długość jednego pociągu, w zależności od konfiguracji, to 60 m (trzy człony po

Tab. 3. Zestawienie typów obiektów w Fazie 1 i 2

	Tunele	Met. odkrywk.	Rampy	Wiadukty	W poz. terenu
Faza 1	56 km (x2)	12 km	2 km	10 km	4 km
Faza 2	57 km (x2)	9 km	2 km	60 km	5 km
Faza 1 + 2	113 km (x2)	21 km	4 km	70 km	9 km



2. Schemat sieci metra w Doha (Faza 1 i 2)

Tab. 1. Długość poszczególnych linii i ilość stacji w Fazie 1

Linia	Długość linii	Ilość stacji
Czerwona	43 km	18
Zielona	22 km	9
Złota	16 km	10
Operacyjna	4 km	0

Tab. 2. Długość poszczególnych linii i ilość stacji w Fazie 2

Linia	Długość linii	Ilość stacji
Czerwona	27 km	12
Zielona	63 km	31
Złota	21 km	11
Niebieska	20 km	9

20 m) lub 120 m (połączone dwa krótkie pociągi), a nacisk osi wynosi 16 t.

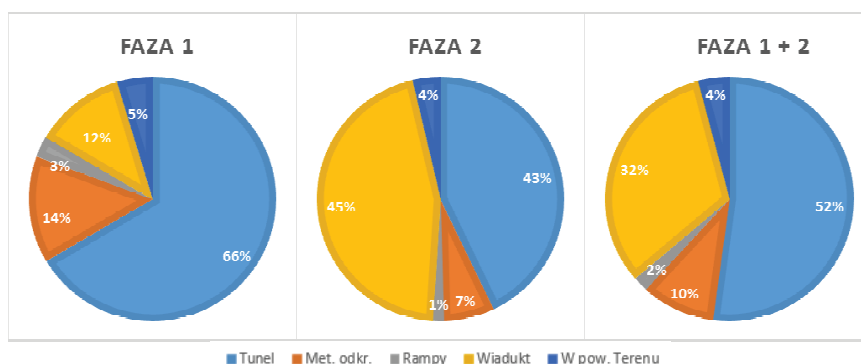
Nawierzchnia toru składać się będzie z szyn typu 60E1 połączonych w tor bezстыkowy, przytwierdzeń sprężystych i prefabrykowanej płyty betonowej. Ze względu na zdarzające się burze piaskowe, zrezygnowano z nawierzchni podsypkowej. Oceniono, że szybko postępujące zanieczyszczenie podsypki wymagać będzie częstych prac utrzymaniowych, przez co w dłuższym okresie nawierzchnia podsypkowa staje się nieekonomiczna.

Ze względu na konstrukcję przejmującą obciążenie od toru metra, a przez to ze względu na rodzaj podtorza linię metra można podzielić na następujące odcinki:

- tunele,
- obiekty podziemne wykonane metodą odkrywkową (stacje, komory rozjazdowe i płytkie tunele),
- wiadukty,
- rampy (zarówno łączące tunel z powierzchnią terenu, jak i łączące powierzchnię terenu z wiaduktem),
- tory przebiegające w poziomie terenu (ewentualnie w niewielkich nasypach lub wykopach). Relacje wysokościowe pomiędzy poszczególnymi odcinkami pokazano na rysunku 4.

Wszystkie odcinki tuneli Fazy 1 zostały ukończone w sierpniu 2016 r. i aktualnie prowadzone są prace wykończeniowe i instalacyjne w tunelach i odcinki poza tunelami. Geometria toru musi być sprawdzona, czy nie wymaga zmian. Na niektórych odcinkach zmiany geometrii toru w planie i profilu są niezbędne, ponieważ mimo zakładanej tolerancji tunelowania równej ± 100 mm, nie udało się uniknąć trochę większych odchyłek. W tym celu będzie zaprojektowana nowa geometria toru wpisująca się w geometrię tunelu, tzw. *wriggle alignment*.

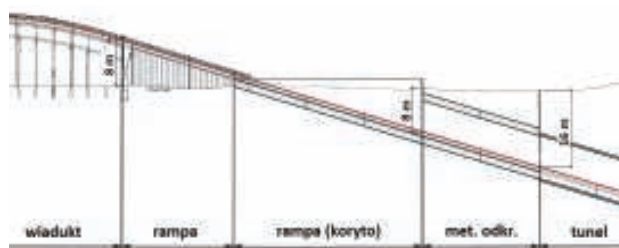
Drążenie tuneli wykonywane jest przez maszyny TBM (*Tunnel Boring Machine*) typu EPB (*Earth Pressure Balance*) gwarantującego balansowanie przez maszynę ciśnienia gruntu. Chociaż drążenie tuneli tą metodą jest względnie wolne (około 13 m na dzień), to jest to bardzo korzystna metoda dla dużych



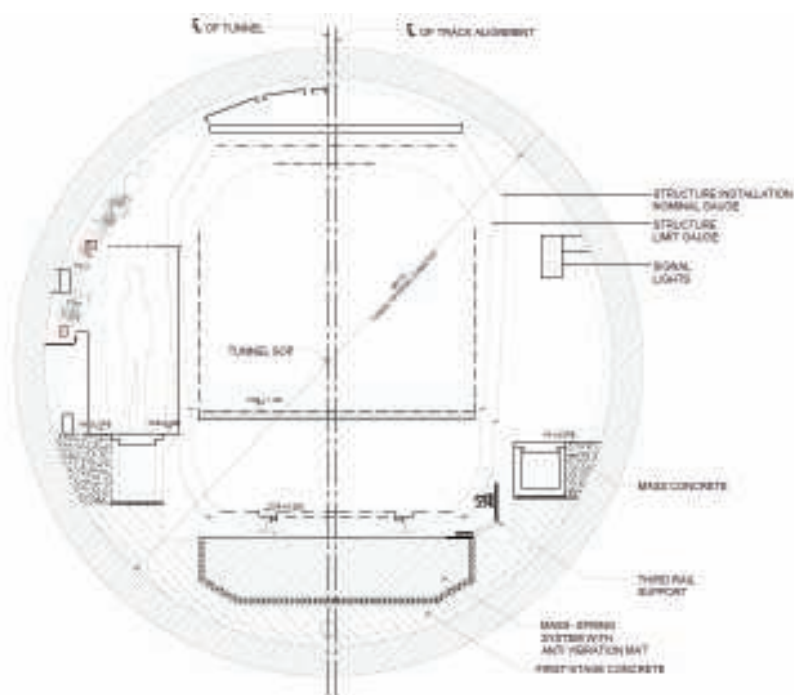
3. Zestawienie udziału procentowego typów konstrukcji

miast aktywnych przez całą dobę. Tunele metra w Doha mają wewnętrzną średnicę wynoszącą 6170 mm, a grubość elementów tunelu (tubingów) wynosi 330 mm. Tubingi są układane automatycznie przez maszynę tunelującą bezpośrednio po wydrążeniu otworu w danym miejscu. Są one z zewnątrz zabezpieczone substancją antykorozyjną ze względu na wysokie położenie zwierciadła wód gruntowych i ich wysoką agresywność. Dodatkowo, pomiędzy grunt rodzimy i zewnętrzną

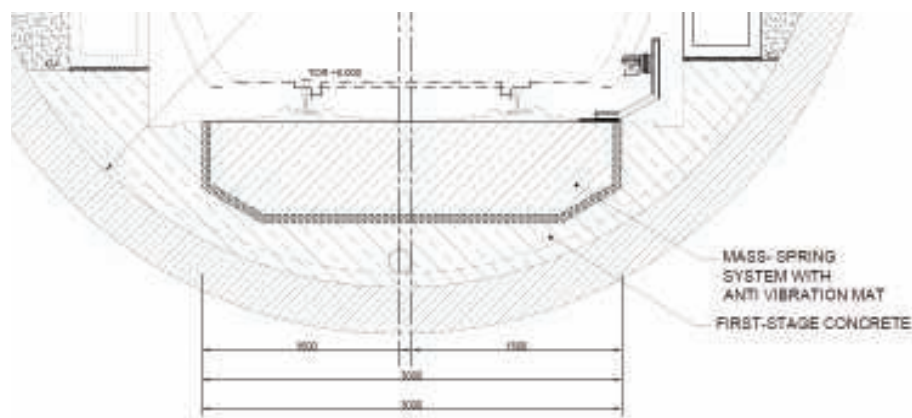
powierzchnię tunelu wprowadza się pod ciśnieniem specjalną mieszankę cementową. Na dnie tunelu wykonuje się betonowe koryto z betonu C25/30, tzw. beton pierwszego etapu. W tak wykonanym korycie układa się maty o specjalnie dobranych właściwościach tłumienia wibracji pochodzących od przejeżdżających pociągów. Na matach wykonuje się płytę betonową toru. Cały układ to tzw. *mass-spring system*. Wymagany poziom sztywności podtorza jest w tym wypadku realizowany



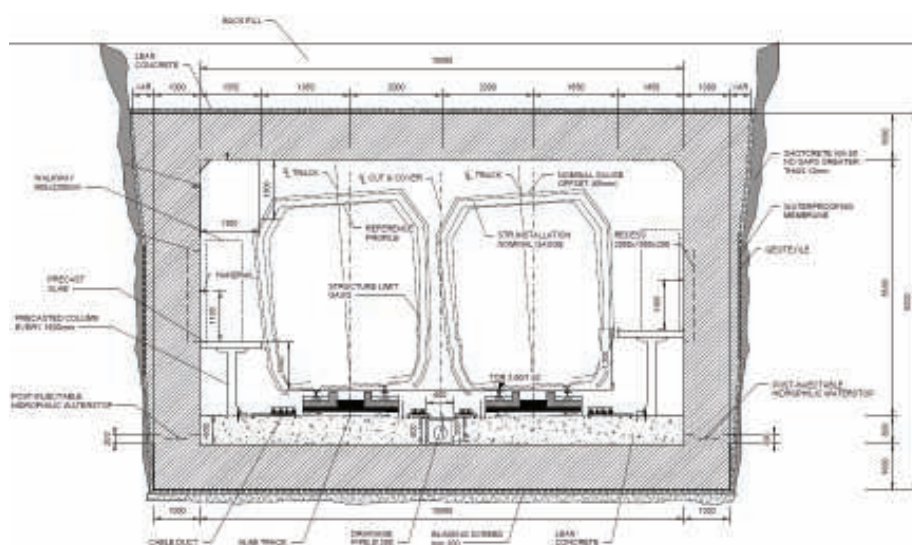
4. Sekcjonowanie odcinków toru metra ze względów konstrukcyjnych



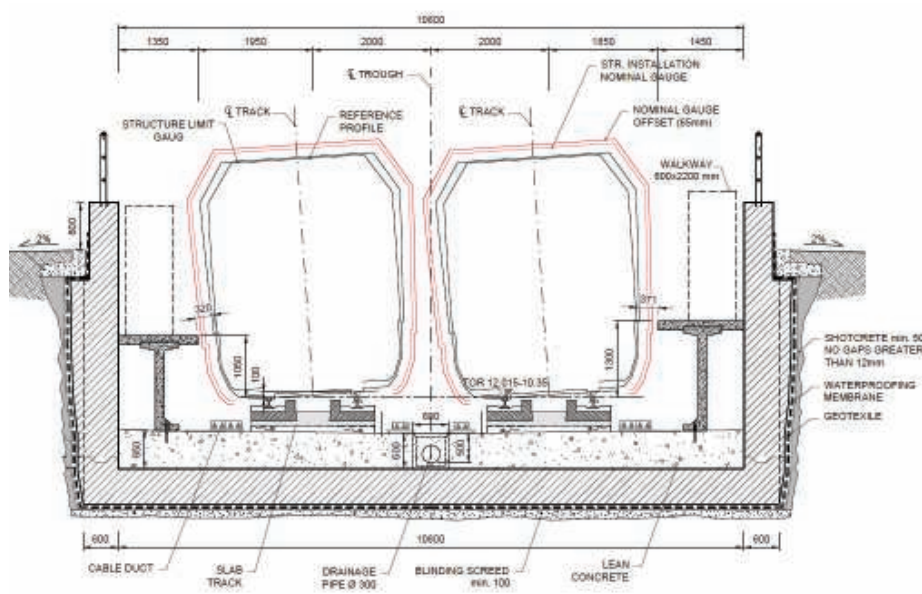
5. Przekrój toru metra w tunelu



6. Szczegół posadowienia toru w tunelu



7. Tunel wykonany metodą odkrywkową



8. Rampa prowadząca do tunelu

przez matę antywibracyjną, ponieważ założyc należy, że zarówno sztywność elementów betonowych i całego tunelu jest na tyle duża, że przemieszczenia

jakie doznają pod przejeżdżającym pociągiem metra są bardzo niewielkie, a przez to pomijalne.

We wrześniu 2015 r. w Doha został

ustanowiony nowy rekord Guinnessa - w tym czasie pracowało jednocześnie 21 tarcz TBM drążących tunele na jednym projekcie komunikacyjnym. Na rysunkach 5-6 pokazano przekroje toru w tunelu.

W celu optymalizacji położenia toru w tunelu, zastosowano wzór wyliczający przesunięcie osi tunelu względem osi toru w zależności od przechyłki toru i położenia drogi ewakuacyjnej. Obydwie drogi ewakuacyjne zaprojektowano po wewnętrznych stronach układu tuneli, tj. w tunelu lewym droga ewakuacyjna znajduje się po prawej stronie toru, a w tunelu prawym po stronie lewej. Ma to za zadanie ułatwienie ewakuacji poprzez połączenia pomiędzy tunelami. W wypadku drogi po zewnętrznej stronie łuku wzory do obliczenia przesunięcia poziomego SH i pionowego SV przedstawiają się następująco:

$$S_H = 85 - 0.75 \cdot C,$$

$$S_V = 1675 + 0.75 \cdot C,$$

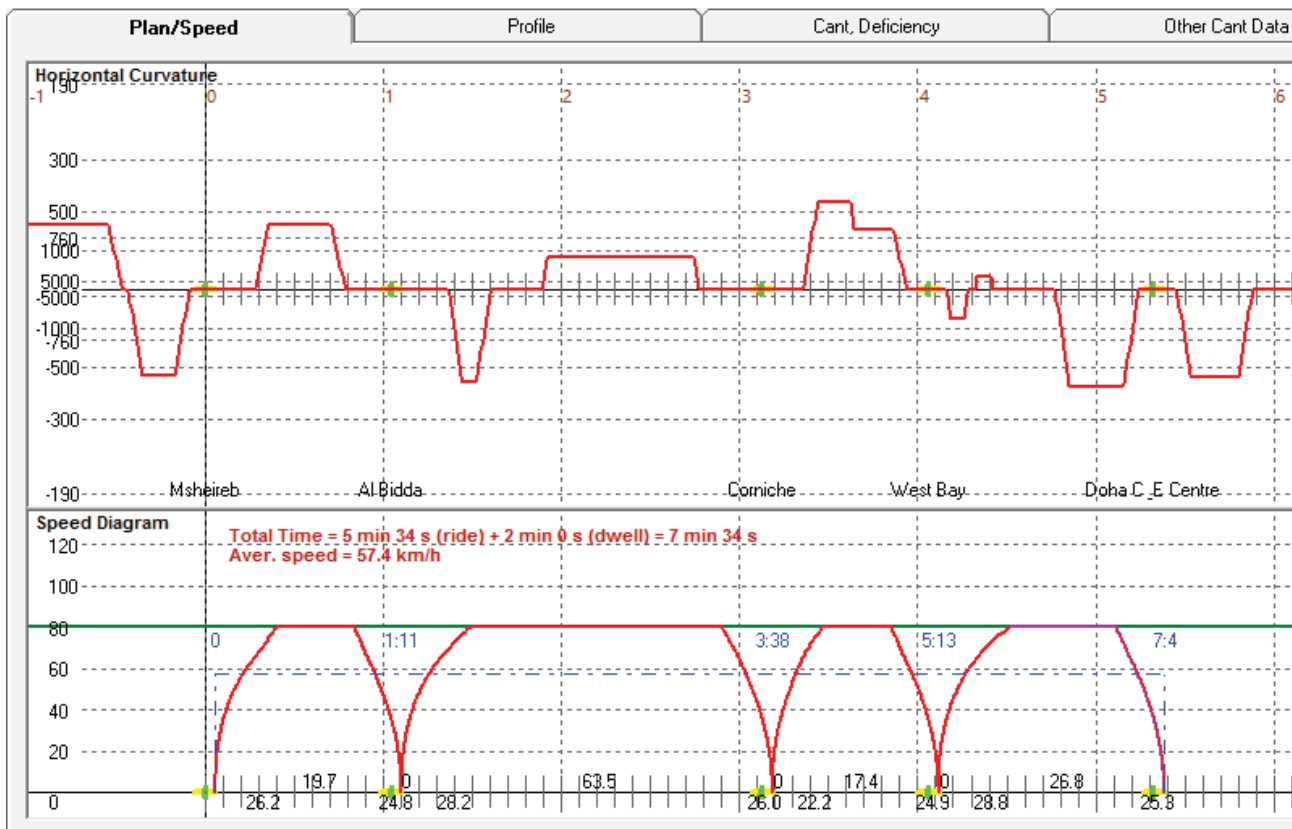
natomiast, gdy droga jest po wewnętrznej stronie łuku:

$$S_H = 85 + 0.75 \cdot C,$$

$$S_V = 1675.$$

W powyższych wzorach C oznacza przechyłkę wyrażoną w milimetrach, wynik przesunięcia również wyrażony jest w milimetrach. Łatwo zauważyć, że na odcinkach prostych oś tunelu odsunięta jest w poziomie o 85 mm w lewo lub w prawo, w zależności od położenia drogi ewakuacyjnej i 1676 mm w pionie. Maksymalną przechyłkę określono na 100 mm, z tego też względu maksymalne przesunięcie tunelu w płaszczyźnie poziomej wynosi 160 mm. Obciążenie od toru nie jest zatem ustalone osiowo z osią geometryczną tunelu. Nie stanowi to jednak problemu dla pracy tunelu.

Tunele wykonane metodami odkrywkowymi (*cut and cover*) przewidziane są w miejscach, gdzie profil toru zaprojektowany jest płytko pod powierzchnią terenu, i można wtedy wykonać prace z powierzchni terenu. Przyjęto zasadę, że bezpieczne tunelowanie maszynami TBM przeprowadzone może być tylko, gdy nad górną powierzchnią tunelu pozostaje nadal warstwa gruntu o grubości rów-



12. Wykres ruchu pociągu dla odcinka linii czerwonej

Złotą poprowadzić wiaduktem w pasie rozdzielającym główną miejską arterię drogową. Wyniknie z tego konieczność wybudowania serii czterech wiaduk-tów o rozpiętościach 140 m przechodzących nad dwupoziomowymi skrzyżowaniami drogowymi.

Jak i dla innych odcinków, tak i dla torów w poziomie terenu również przewiduje się nawierzchnię torową na prefabrykowanej płycie betonowej (rysunek 11). W tym przypadku płyta betonowa spoczywa na warstwie betonu grubości 35 cm mającej za zadanie rozłożenia obciążenia na większą powierzchnię na odpowiednio dla istniejących warunków gruntowych układu warstw. Górna warstwa grubości 50 cm powinna być zagęszczona do wskaźnika zagęszczenia równego 1,0, a moduł odkształcenia wtórnego powinien wynosić min 120 MPa. Podłoże gruntowe powinno charakteryzować się wskaźnikowej zagęszczenia równym 0,95 i modułem odkształcenia wtórnego 45 MPa. Powinno też być wyprofilowane do spadku 5% na zewnątrz ze względu na odwodnienie. Założona prędkość projektowa to 80 km/h w tunelach i do 130 km/h

poza tunelami. Ze względu na ograniczenia powodowane przez istniejącą infrastrukturę, zarówno podziemną jak i naziemną, w niektórych miejscach nie udało się uzyskać zakładanej prędkości projektowej. Również niewielkie odległości pomiędzy stacjami w pobliżu centrum miasta nie pozwoliły na osiągnięcie 130 km/h na odcinkach poza tunelami. W niektórych przypadkach ograniczono prędkość do 60 km/h. Na rysunku 12 pokazano fragment wstępnej analizy ruchu pociągu między stacjami linii czerwonej. Średnia odległość między stacjami w tym przypadku to około 1,3 km, a średni czas przejazdu ze stacji do stacji to 90 s. Prędkość średnia (komercyjna) na analizowanym odcinku wyniosła 58 km/h, wliczając czasy postoju na stacjach wynoszące po 30 s. Widać wyraźnie na wykresie, że prędkość projektową dobrano właściwie, a zwiększenie jej do 100 km/h nie przyniosłoby znacznych korzyści. Analizy dokonano w autorskim programie komputerowym Railab.

Sieć tramwajowa w Lusail (Lusail Light Rail Transit)

Pisząc o metrze w Doha, nie można nie wspomnieć o będącej także w trakcie budowy sieci tramwajowej w Lusail. Obie sieci, choć w sensie połączeń torowych niezależne, to jednak schodzą się na wspólnych stacjach. Sieć LLRT składa się z czterech linii o łącznej długości 30 km, z czego około 8 km przebiega w tunelach wykonanych metodą odkrywkową. Przystanki zaprojektowano w różnych konfiguracjach – z peronem wyspowym, z peronami zewnętrznymi i rozdzielonymi. Łącznie zaplanowano 32 stacje/przystanki, z czego 8 podziemnych. Planuje się jeszcze powiększenie zaprojektowanej sieci o kolejne 11 km i kilkanaście przystanków. Zasilanie pociągu zaprojektowano z sieci górnej (w tunelach) i z trzeciej szyny umiejscowionej w osi toru (poza tunelami).

Ze względu na wiele skrzyżowań z drogami oraz na inne istniejące ograniczenia założona prędkość projektowa wynosząca 70 km/h, zgodnie z przewidywaniami, nie została osiągnięta na części trasy, a przez to oczekiwana

prędkość komercyjna na niektórych odcinkach będzie wynosić około 30 km/h. Średni czas podróży pomiędzy kolejnymi przystankami wynosić będzie 1-2 min. Oczekuje się, że dziennie z tramwaju korzystać będzie około 50 tys. pasażerów. Samo Lusail również jest bardzo ciekawym projektem. Jest to całkowicie nowe miasto budowane dla 200 tys. mieszkańców na północ od Doha. Będzie posiadać centra mieszkaniowe i biurowe, szkoły, szpitale, centra handlowe itd.

Sieć kolejowa dalekiego zasięgu

Planowana sieć kolejowa pasażersko-towarowa dalekiego zasięgu nie tylko połączy stolicę z innymi miastami, ale również z innymi krajami GCC (*Gulf Cooperation Council*) takimi jak Arabia Saudyjska, Bahrajn, Kuwejt, Zjednoczone Emiraty Arabskie i Oman. Przewiduje się wybudowanie pięciu głównych linii: towarową z portu Mesaieed do Ras Laffan, o ruchu mieszanym z Doha do Dukhan, z Doha do Al Shamal i z Doha do Arabii Saudyjskiej oraz linię pasażerską dużej prędkości z Doha do

Bahrajnu poprzez podmorski tunel. Budowa tych linii również jest podzielona na fazy. W pierwszej fazie przewiduje się wybudowanie 143 km odcinków dwutorowych, ponad 30 rozjazdów w torach głównych, jedną stację pasażerską, trzy stacje towarowe, jedną stację intermodalną oraz około 100 obiektów inżynierskich (w tym 60 mostów). W kolejnych fazach planuje się wybudowanie dodatkowych 350 km linii dwutorowych. Duża część linii przechodzących przez aglomeracje miejskie wybudowana będzie w tunelach wykonanych maszynami TBM o średnicy wewnętrznej 9 m. Cała sieć ma być przystosowana do jazdy pociągów pasażerskich z prędkością 220 – 270 km/h i 120 km/h towarowych. Wszystkie prace są podzielone na cztery fazy i powinny być ukończone do 2030 r.

Podsumowanie

Od kilku lat Katar bardzo szybko się rozwija, a przejawem tego jest m. in. budowa nowoczesnych systemów transportowych, w tym sieci kolejowych. W tym samym czasie prowadzone są prace

intensywne prace projektowe i wykonawcze nad trzema różnymi systemami transportu kolejowego – metrem, siecią tramwajową i siecią linii dalekiego zasięgu. W artykule skupiono się na projekcie metra i omówiono poszczególne typy konstrukcji w zależności od położenia toru względem istniejącego terenu. Przy przeważającej długości odcinków w tunelach i na wiaduktach i przy w miarę jednorodnych warunkach geologicznych w Katarze, problemy podtorza kolejowego nie wydają się być najistotniejsze, choć w żadnym wypadku nie mogą być bagatelizowane.

Materiały źródłowe

- [1] Materiały własne Qatar Railways Corporation.
- [2] Qatar Rail, Alignment Design Specifications – Long Distance, Metro & LRT, 08/2016.
- [3] Kretschmer M, Jantschke M. The Doha Metro – Tunnelling in special dimensions. Tunnel, 05/2012.
- [4] www.railabstudio.com/Railab_PL.pdf, 2015-08-30.

REKLAMA

DOLKOM spółka z o. o. we Wrocławiu od blisko 60 lat wykonuje modernizacje i naprawy infrastruktury kolejowej z wykorzystaniem maszyn do robót torowych o dużej wydajności oraz wykonuje naprawy maszyn do robót torowych i napraw sieci trakcyjnej. Spółka jest przewoźnikiem kolejowym i posiada wydane przez Urząd Transportu Kolejowego licencje i certyfikaty bezpieczeństwa.



DOLKOM
WROCLAW

Kontakt:

50-502 Wrocław ul. Hubska 6; tel. (71) 717 5630; fax. (71) 717 5164
e-mail: dolkom@dolkom.pl; www.dolkom.pl