

Układy konstrukcyjne kolei jednoszynowych

Dominik Bednarek, Danuta Bryja



mgr inż. Dominik Bednarek

Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Katedra Mostów i Kolei

dominik.bednarek@pwr.edu.pl



dr. hab. inż., prof. nadzw. Danuta Bryja

Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Katedra Mostów i Kolei

danuta.bryja@pwr.edu.pl

Kolej jednoszynowa (ang. monorail) jest środkiem transportu, w którym pojazdy poruszają się po torze w postaci jednej szyny stanowiącej konstrukcję belkową – zazwyczaj wykonaną z betonu sprężonego, rzadziej stalową. Belki są podparte na stosunkowo gęsto rozmieszczonych konstrukcjach wsporczych, tworząc w ten sposób estakadę prowadzącą trasę kolei nad terenem. Pojazdy są podwieszone do belki (szyny) lub są oparte na niej siodłowo, stąd wyróżnia się dwa typy kolei – koleje podwieszane i siodłowe. Linie kolei jednoszynowej są na ogół dwutorowe, całkowicie bezkolizyjne, mogą służyć zarówno do przewozu pasażerów jak i towarów. Są zlokalizowane najczęściej w obszarach silnie zurbanizowanych – w wielkich miastach i aglomeracjach miejskich (rys. 1).



1. Fragment linii kolei jednoszynowej w Mumbaju (daw. Bombaj) [7]

Obecnie, w wielu metropoliach na świecie koleje jednoszynowe są pełnoprawnym, bezpiecznym i szybkim środkiem transportu publicznego, alternatywnym do metra czy lekkich kolei miejskich. Rosnąca popularność jednoszynowych kolei nadziemnych wynika z wielu zalet tych konstrukcji. Jedną z nich jest stosunkowo duża łatwość i szybkość wznoszenia. Budowa tego typu kolei nie powoduje tak dużych utrudnień dla mieszkańców jak budowa

nowego, tradycyjnego torowiska w centrum miasta (rys. 1). Jest na ogół znacznie tańsza niż budowa metra podziemnego i porównywalna w kosztach z budową lekkiej kolei miejskiej.

Niewątpliwą zaletą kolei jednoszynowych są doskonałe możliwości dopasowania trasy do terenu, jak i istniejącej zabudowy. Oferowane obecnie systemy pozwalają na projektowanie linii kolejowej o minimalnym promieniu łuku w granicach od 50 do 100 m oraz dopuszczając maksymalne pochylenie trasy do 10%, przy czym ze względu na komfort jazdy za graniczny gradient uznaje się najczęściej 6% [3]. Chociaż ruch pojazdów odbywa się na ogół na estakadach, możliwe jest przeprowadzenie trasy na poziomie terenu jak i w podziemnych tunelach. Podpory estakady mogą znajdować się w istniejącym pasie zieleni pomiędzy jezdniami, co pozwala na lepsze wykorzystanie przestrzeni miejskiej. Możliwe jest również poprowadzenie linii nad istniejącą zabudową (rys. 2) lub nawet przez budynki (rys. 3).



2. Kolej siodłowa przechodząca ponad budynkiem w Las Vegas [30]



3. Kolej siodłowa przechodząca przez budynek w Chongqing [12]

Konstrukcje kolei jednoszynowych składają się ze smukłych elementów belkowych. Ta smukłość jest traktowana przez urbanistów za jedną z zalet, ponieważ smukłe estakady nie powodują dużego zacielenia terenu poniżej, w odróżnieniu od estakad klasycznych (rys. 4). Jednak z perspektywy konstruktora, elementy o niewielkim przekroju i dużej rozpiętości stanowią wyzwanie, bowiem wyznaczenie rzeczywistych naprężeń występujących w takich elementach sprawia trudności obliczeniowe. Na wytyczenie konstrukcji składają się naprę-



4. Porównanie zacielenia terenu pod estakadą [15]

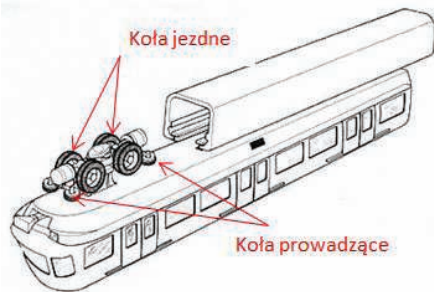
żenia wynikające z ciężaru własnego i ruchomego obciążenia pociągiem, a w przypadku betonowych konstrukcji sprężonych – także naprężenia wynikające ze sprężenia oraz efektów reologicznych. Dodatkowo, ze względu na stosunkowo duży stosunek masy pojazdu do masy belki, udział naprężeń dynamicznych jest znaczny i nie może być pominięty. Określenie stanu wytyczenia dźwigarów stanowiących szyny jezdne wymaga zatem przeprowadzenia analizy dynamicznej, skomplikowanej z uwagi na złożony opis kinematyki pojazdu i idący za tym złożony opis ruchomych sił dynamicznych obciążających tor kolei jednoszynowej.

W Polsce koleje typu „monorail” nie były i nie są budowane, nie są też planowane w najbliższej przyszłości, chociaż w 2011 roku pojawiła się już koncepcja budowy takiej kolei łączącej Kraków z Zakopanem, zlokalizowanej wzdłuż tzw. zakopianki [21]. W 2014 roku pojawiły się też doniesienia prasowe na temat planów budowy kolei jednoszynowej w Rzeszowie, między dworcem kolejowym i kampusami głównych uczelni – Uniwersytetu i Politechniki [25]. Urzeczywistnienie tych planów może być jednak trudne, ponieważ koleje jednoszynowe są w Polsce nadal traktowane jako rozwiązanie awangardowe, a stąd automatycznie są uznawane za nieopłacalne. Zgodnie z aktualnie obowiązującym Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 5 czerwca 2014 roku [8], koleje jednoszynowe są zaliczane do grupy kolei niekonwencjonalnych.

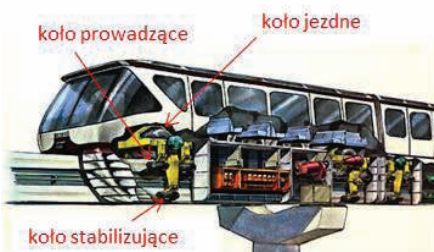
Pojazdy

Zasadniczą cechą odróżniającą kolej jednoszynową od klasycznej kolei dwuszynowej jest zdecydowanie inna proporcja między szerokością pojazdu i szerokością toru. Pojazdy kolei jednoszynowej są zawsze zdecydowanie szersze od toru, co sprawia, że pojazd doznaje poprzecznych wychyleń podczas jazdy, szcze-

gólnie wtedy, gdy porusza się po łukach trasy. Wchylenia pojazdów są ograniczane poprzez specyficzną konstrukcję wózków jezdnych. Zarówno w systemie kolei podwieszanej (rys. 5), jak i siodłowej (rys. 6), wózki jezdne są wyposażone w kilka zestawów kół poruszających się w płaszczyźnie pionowej (koła jezdne) lub poziomej (koła stabilizujące i prowadzące). Koła



5. Wagon kolei SAFEGE [16]



6. Wagon kolei ALWEG [27]

jezdne przenoszą głównie obciążenia pionowe, natomiast koła stabilizujące i prowadzące przenoszą siły poziome, zapewniają stateczność ruchu pojazdu w płaszczyźnie pionowej, poprzecznej do osi toru, ograniczając wychylenia poprzeczne pojazdu.

Obecnie buduje się w zdecydowanej większości koleje typu siodłowego, wyposażone w koła stabilizujące. Rzadziej stosowane są systemy kolei podwieszanej, ponieważ wagony doznają znacznie większych wychyleń na łuku i z tego powodu podróż nimi jest mniej komfortowa. Na świecie jest około dziesięciu firm, które dostarczają kompleksowe systemy kolei jednoszynowej. Są to między innymi koncerny: Bombardier (rys. 7), którego pociągi jeżdżą w Las Vegas (USA) i w Sao Paulo (Brazylia); Scomi (rys. 8), które dostarczyło swoje produkty do Mumbaju w Indiach i Kuala Lumpur w Malezji oraz Hitachi, obsługujące wszystkie miejskie linie jednoszynowej kolei siodłowej w Japonii, linię w Daegu w Korei Południowej (rys. 31) oraz obie linie w chińskim Chongqing (rys. 2). Pojaz-



7. Bombardier Innovia 300 [22]



8. Scomi Sutra [13]

dy oferowane na rynku mogą osiągać prędkość do 80 km/h oraz prędkość handlową między 30 a 50 km/h. Ich zdolność przewozowa wynosi od kilkunastu do czterdziestu tysięcy pasażerów w jednym kierunku w ciągu godziny.

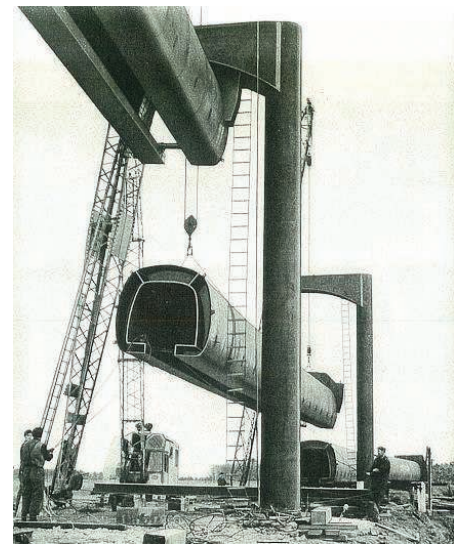
Charakterystyczną cechą kolei jednoszynowych jest stosunkowo duża masa pojazdów w porównaniu z masą belkowej konstrukcji wsporczej (szyny). Przeciętna masa pustego wagonu oscyluje w granicach 11-15 ton, co daje masę ok. 18-22 ton w przypadku wagonu z pasażerami. Zdarza się, że masa pojazdu jest jeszcze większa, przykładowo – model obciążenia statycznego dla rozwiązania Hitachi Large zakłada obciążenie przypadające na oś 110 kN, co odpowiada masie 11 ton [6]. Jeśli przyjmimy, że szyna jest belką żelbetową o wymiarach 0,85×1,5×30 m, czyli jej masa wynosi ok. 96 ton, to można zauważyć, że masa jednego wagonu z pasażerami stanowi ok. 1/6 masy układu belka - wagon. Taka proporcja mas sugeruje znaczny wpływ efektów dynamicznych obciążenia na stan wytrzymałości belki wsporczej.

Konstrukcja estakad i rozjazdów

Estakady kolei jednoszynowych są najczęściej wykonywane z elementów prefabrykowanych, co znacząco przyspiesza budowę. Użycie belek prefabrykowanych pozwala na zachowanie ruchu na ulicach w bezpośrednim sąsiedztwie budowy. Konieczne jest tylko wydzielenie części pasa ruchu na krótkim odcinku zamiast zamknięcia całej ulicy. Prace budowlane można prowadzić poza godzinami szczytu, co pozwala na dodatkowe zmniejszenie uciążliwości związanych ze wznoszeniem estakady.

W zależności od typu kolei i przewidywanego taboru stosowane są różne kształty i typy konstrukcji szyny jezdnej. W kolejach podwieszonych szyna jest najczęściej konstrukcją stalową lub zespoloną. Ściany szyny stalowej mają często strukturę komorową, wówczas komory są wypełniane betonem, co zwiększa nośność przekroju oraz jego sztywność. Przykładem jest belka typu SAFEGE (rys. 9) o otwartym przekroju cienkościennym. W tym rozwiązaniu powierzchnia toczna kół znajduje się wewnątrz szyny, co zabezpiecza elementy jezdne przed wpływami atmosferycznymi.

Kolej siodłowa jest rozwiązaniem częściej stosowanym, stąd szyny tej kolei są bardziej zróżnicowane. W przeważającej większości są stosowane belki sprężone prefabrykowane. Belki mają różne gabaryty w zależności od poruszającego się po nich taboru. W obecnie oferowanych systemach szerokość belki waha się w granicach od 66 cm dla rozwiązania Di-



9. Montaż belki SAFEGE [17]

sney-Bombardier M-VI do 90 cm w przypadku systemu realizowanego przez włoską firmę FCF w irańskim mieście Quom. Różnica między stosowanymi szerokościami belki wynosi zatem 24 cm, czyli 12 cm mierząc od osi podłużnej, co daje nadzieję na choćby częściowe ujednolicenie systemów w przyszłości. Belki mogą mieć stałą lub zmienną wysokość, która zwiększa się w kierunku podpór (rys. 10) według krzywej



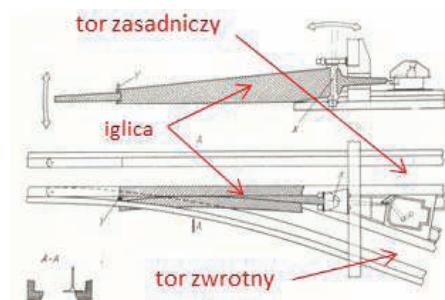
10. Belka w wytwórni w Mumbaju [9]

parabolicznej, na dolnej powierzchni belki. Zmienna wysokość pozwala na lepsze wykorzystanie przekroju konstrukcji.

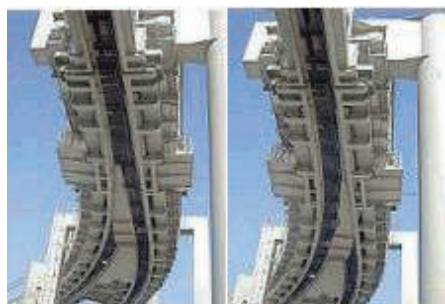
Estakada w stanie użytkowym stanowi belkę ciągłą lub ramę o kilku przęsłach. Układ wieloprzęslowy zapewnia ciągłość odkształcenia belki i jest rozwiązaniem zapewniającym większy komfort jazdy niż zestaw belek swobodnie podpartych, w przypadku których przejazd nad podporą generuje dodatkowe drgania. W trakcie wykonywania estakady stosuje się dwa rodzaje sprężenia. Na etapie prefabrykacji wykonuje się sprężenie wstępne, pozwalające na przeniesienie ciężaru własnego elementu belkowego, a po ułożeniu w miejscu docelowym wykonuje się sprężenie dodatkowe, które prowadzi do uciąglenia połączeń elementów i pozwala na przeniesienie obciążenia zmiennego.

Istotną częścią całej linii kolei jednoszynowej są rozjazdy. Od niezawodności tych elementów zależy niezakłócone i punktualne realizowanie połączeń. Wbrew powszechnemu wyobrażeniu, zmiana toru i kierunku jazdy nie jest technologicznym wyzwaniem. W przypadku kolei podwieszanej typu SAFEGE, kształt belki pozwala na realizację rozjazdu z użyciem ru-

chomej iglicy, czyli analogicznie do rozjazdów stosowanych w klasycznej kolei (rys. 11 i 12).



11. Schemat rozjazdu kolei SAFEGE [4]



12. SROzjazd kolei SAFEGE w skrajnych położeniach [32]

Rozjazdy kolei siodłowej mają konstrukcję bardziej skomplikowaną. Najpopularniejszym w Japonii sposobem na zmianę toru jest zastosowanie stalowego odcinka szyny, zbudowanego z kilku ruchomych segmentów. Rozjazd tego typu pozwala na zmianę krzywizny odcinka, co umożliwia zmianę toru jazdy (rys. 13).



13. Rozjazd zbudowany z ruchomych segmentów [32]

Jako rozjazdy stosuje się również mechanizmy przesuwające i wymieniające pewien fragment belki, pokazane na rysunku 14.



14. Wymiana fragmentu belki [32]

Podpory i stacje

Słupy stanowiące filary estakady mają na ogół kształt litery T (rys. 15) w przypadku linii dwutorowej i kształt litery Γ, jeśli na linii występuje jeden tor (rys. 16). Gdy niemożliwe jest posadowienie słupów bezpośrednio pod projekto-



15. Kolej ALWEG w Seattle [28]



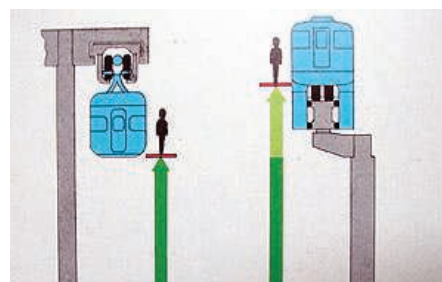
16. Kolej SAFEGE w Shonan [19]



17. Koval Lane w Las Vegas [14]

waną linią, stosuje się podpory ramowe, tak jak to pokazano na rysunku 17, który przedstawia linię kolei jednoszynowej w Las Vegas, przechodzącą nad ulicą Koval Lane. W tym przypadku, łukowa część trasy linii przebiega bezpośrednio nad jezdnią, zatem podpory słupowe estakady zastąpiono podporami ramowymi.

Wysokość podporu jest tak dopasowana, aby nie powodować zakłócenia ruchu odbywającego się poniżej, czyli z zachowaniem skrajni drogowej. Generalnie, podpory kolei siodłowej mają mniejszą wysokość niż podpory kolei podwieszanej, za wyjątkiem bezpośredniego sąsiedztwa stacji, gdzie wysokość podporu jest podyktowana poziomem peronów, który zależy od lokalizacji stacji. Jeśli położenie stacji jest dostosowane do poziomu nadziemnej trasy linii, to perony stacji kolei siodłowej są usytuowane wyżej niż kolei podwieszanej, co pokazano schematycznie na rysunku 18.



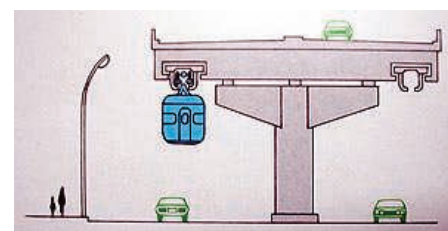
18. Różnica w wysokości podporu i peronów [11]

Przy budowie kolei jednoszynowej możliwe jest wykorzystanie podpór istniejących estakad drogowych lub kolejowych. Na rysunku 19 przedstawiono przykładowe rozwiązanie



19. Wspólne podpory autostrady i kolei siodłowej w Kitakyushu [14]

tego typu, zastosowane w mieście Kitakyushu, położonym na północy japońskiej wyspy Kiusiu. Szyny jezdne kolei siodłowej w pokazanym rozwiązaniu są oparte na dodatkowych wspornikach filarów wielopasmowej estakady autostradowej. W przypadku kolei podwieszonych proponowany jest też inny sposób podparcia, przedstawiony na rysunku 20 – tu szyny jezdne



20. Wspólne podpory autostrady i kolei podwieszanej [10]

są ukształtowane w części wspornikowej przekroju poprzecznego estakady drogowej.

Stacje kolei jednoszynowej spełniają najczęściej funkcje przystanków osobowych, na ogół nie są stacjami w rozumieniu terminologii kolejowej, wyłączając stacje końcowe. Odległości dzielące sąsiednie stacje zazwyczaj wahają się od 0,5 do nawet 3,5 km. Stacje są położone na ogół nad terenem, na poziomie estakady prowadzącej linię kolejową, ale mogą być też projektowane na poziomie terenu lub pod jego powierzchnią. Możliwe jest zlokalizowanie stacji w pasie rozdziału między jezdniami. Przykładem stacji podziemnych są trzy ostatnie stacje linii tokijskiej, zlokalizowane przy lotnisku Haneda. Budynki stacji monorail mogą stanowić lokalne centra handlu i w ten sposób generować dodatkowe przychody.



21. Sahara Station w Las Vegas [18]

Budynek stacji może być oparty na podobnych podporach, jak te na szlaku oraz na belkach wystających wspornikowo nad przebiegającą obok jezdnią. Przykładem takiej stacji jest Sahara Station w Las Vegas, pokazana na rysunku 21. Pasażerowie docierają do tego typu stacji poprzez kładki prowadzone z sąsiednich budynków, perony są zazwyczaj odrębne dla każdego z dwóch kierunków ruchu. Innym spotykanym rozwiązaniem są stacje z peronem wyspowym, wspólnym dla obu kierunków ruchu, oparte na słupach wzdłuż zewnętrznych krawędzi platformy peronowej – tak jak ma to miejsce na linii nr 15 w Sao Paulo (rys. 22).



22. Stacja Oratório w Sao Paulo [5]

Obiekty specjalne

Pomimo tego, że właściwie cała linia kolei jednoszynowej przebiega oparta na podporach nad ziemią, na jej trasie można wyróżnić obiekty specjalne typu mostowego. Obiekty te występują na odcinkach wyróżniających się znaczną długością, których przekroczenie wymaga zastosowania konstrukcji o większej sztywności niż na szlaku. Ponieważ typowe

belki prefabrykowane stanowiące szyny jezdne nie zapewniają wystarczającej sztywności przęsła o zwiększonej rozpiętości, konieczne jest wykorzystanie rozwiązań z zakresu inżynierii mostowej. Najmniej skomplikowanym rozwiązaniem, stosowanym w przypadku kolei siodłowej, jest budowa przęsła stalowego złożonego z dwóch dźwigarów głównych, połączonych poprzecznicami, natomiast na dźwigarach są oparte typowe, belkowe szyny jezdne (rys. 23).

W przypadku dużych rozpiętości, linie kolei jednoszynowej są prowadzone na obiektach o konstrukcji łukowej, podwieszanej a nawet wiszącej. Na rysunku 24 pokazano zdjęcie mostu wiszącego w malezyjskim mieście Putrajaya,



24. Most wiszący w Putrajaya [29]

wykonane w trakcie budowy linii monorail. Budowa została zawieszona w 2004 roku ze względów finansowych. Przewiduje się powrót do projektu, gdy w mieście przybędzie ludności. W maju 2015 roku będzie oddana do użytku linia kolei siodłowej w koreańskim Daegu. Na jej trasie zbudowano kilka podwieszonych obiektów mostowych (rys. 25 i 26). W chińskim mieście Chongqing linia kolei jednoszynowej przekracza największą rzekę Azji



23. Początek stalowego przęsła o zwiększonej sztywności [26]



25. Most podwieszony o łukowym pylonie Manpyeong w Daegu [2]

– Jangcy. W przebiegu linii nr 3 został zbudowany łukowy most Caiyuanba Bridge (rys. 27), którego główne przęsło ma 420 m długości. Most jest dwupoziomowy i zapewnia przepływ dla dwupasmowej autostrady na górnym pomoście i dla dwutorowej linii monorail na pomoście dolnym.



26. Most podwieszony nad rzeką Geunho w Daegu [31]



27. Łukowy most Caiyuanba Bridge [1]

Bezpieczeństwo użytkowania

Kolej jednoszynowa jest obecnie bezpiecznym środkiem transportu. Na współcześnie wybudowanych liniach nie zanotowano wypadków, w których byłyby ofiary śmiertelne. Odnotowano jednak jeden przypadek zderzenia pociągów, na linii w Seattle, w listopadzie 2005 roku. Pasażerowie nie odnieśli poważnych obrażeń. Incydent ten wyniknął z niewystarczającego rozstawu szyn na pewnym odcinku trasy. Błąd konstrukcji linii powstał wskutek przebudowy, którą wykonano pod koniec lat 80-tych (linię wybudowano w 1962 roku), aby doprowadzić linię do stacji położonej wewnątrz budynku galerii handlowej.

Przebieg trasy i konstrukcja linii monorail w zasadzie wyklucza możliwość kolizji z pojazdami innego typu, nie dopuszcza także możliwości potrącenia pieszych. Aby zapobiec przypadkowemu wypadnięciu pasażera poza peron, na krawędziach peronowych są montowane tzw. drzwi peronowe ulokowane w miejscach dopasowanych do położenia drzwi zatrzymanego składu (rys. 28).



28. Ekrany na krawędziach peronu w Daegu [34]

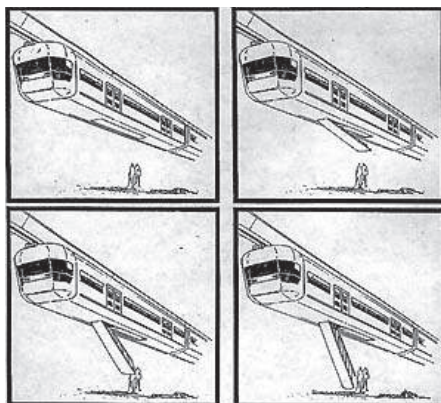
Ewakuacja z uszkodzonego pociągu monorail jest niewątpliwie trudniejsza niż z pojazdów poruszających się na poziomym terenie. Należy jednak zauważyć, że jest to zadanie łatwiejsze niż w przypadku linii zlokalizowanych pod ziemią, ponieważ pożar w tunelu naraża pasażerów nie tylko na działanie ognia i wysokiej temperatury, ale też zabójczych gazów. Elementy umożliwiający opuszczenie uszkodzonego pociągu mogą być częścią konstrukcji lub pojazdu. W tym pierwszym przypadku, wzdłuż linii (równoległe do szyn) biegnie pomost, który ułatwia przeglądy utrzymaniowe oraz ewentualną ewakuację (rys. 29).

Niesprawny pociąg można odholować do najbliższej stacji i tam umożliwić pasażerom opuszczenie pojazdu. Istnieje też możliwość ewakuacji do sprawnego pociągu znajdującego się na tym samym bądź przeciwnym torze. W przypadku, gdy zatrzymanie składu nastąpi w miejscu dostępnym, ewakuacja może zo-



29. Pomosty ewakuacyjne i utrzymaniowe w Las Vegas [33]

stać przeprowadzona z udziałem drabin strażackich czy też specjalnie przewidzianych do tego pojazdów. W wagonach można zastosować urządzenia, które umożliwiają awaryjne opuszczenie pojazdu, niezależnie od pomocy z zewnątrz. W takich przypadkach stosuje się urządzenia podobne do wykorzystywanych w samolotach. W kolejach typu SAFEGE, w podłodze można ulokować schody, bądź nadmuchiwą zjeżdżalnię (rys. 30). W kolejach typu siodłowego można zastosować specjalne rękawy pozwalające na ewakuację. W tego typu zabezpieczenie wyposażone zostały wagony w południowokoreańskim Daegu. Wewnątrz pojazdu wbudowano rękawy ewakuacyjne z ukształtowaną spiralną zjeżdżalnią, umożliwiającą bezpieczne sprowadzenie pasażerów na poziom ziemi (rys. 31).



30. Schody ewakuacyjne z pociągu SAFEGE [24]



31. Próba ewakuacja z pociągu monorail w Daegu [20]

Podsumowanie

Kolej jednoszynowa dawno już wyszła poza fazę budowy prototypów i torów testowych.

Jej historia sięga 1824 roku, w którym zostało opatentowane przez Palmera pierwsze, prototypowe rozwiązanie. Od ponad 100 lat funkcjonuje prawie nieprzerwanie pierwsza publiczna linia kolei podwieszanej w Wuppertalu. Kolej ta, skonstruowana według projektu Eugena Langena przewiozła ponad dwa miliardy pasażerów, licząc od 1903 roku, kiedy została oddana do użytku [23]. Kolej siodłowa, w postaci zbliżonej do systemu Alweg, po raz pierwszy została zaprezentowana w 1914 roku w Genewie. W ciągu ostatnich stu lat to rozwiązanie znacznie udoskonalono, dzięki czemu stało się bezpiecznym środkiem transportu, coraz chętniej i częściej stosowanym w zatłoczonych przestrzeniach miejskich. Obecnie na rynku są dostępne kompleksowe, nowoczesne systemy obejmujące między innymi konstrukcję estakady, dostawę taboru i oprogramowania potrzebnego do obsługi oraz diagnostyki poszczególnych elementów składowych. Oferowane pojazdy kolei jednoszynowej są ciche i ekologiczne – w odróżnieniu od samochodów i autobusów, nie produkują spalin bezpośrednio zanieczyszczających powietrze w mieście. Mogą pokonywać stosunkowo duże pochyleń, nawet do 6-10%. Niewielki rozmiar minimalnego promienia skrętu, rzędu 50 m, pozwala na prowadzenie tras w korytarzach istniejących arterii miejskich. Trasy kolei nadziemnej można łatwo dopasować do istniejącej zabudowy – mogą być prowadzone nad budynkami i poprzez budynki. Wszystkie te zalety stwarzają dobrą perspektywę na kolejne realizacje kolei jednoszynowej w nowych lokalizacjach. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Z. Jiang, M.-C. Tang, G. Ren, „Caiyuanba Bridge, Chongqing, China”, <https://www.arena.org>, z dn. 25.02.2015.
- [2] S. Lee, J. Ha, P. Gwak, S. Han, „Design and Construction of Arch Pylon Steel Cable Stayed Bridge for Monorail”, www.railway.or.kr, z dn. 25.02.2015.
- [3] J. M. G. L. de Larrea, „INNOVIA Monorail 300 System: a mass transport solution for the megacity of São Paulo”, www.cg-la.com, z dn. 25.02.2015.
- [4] Z. Schneigert, „Koleje niekonwencjonalne”, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1971.
- [5] D. Gramani, L. A. R. da Silveira, „Monorail system Sao Paulo metro”, www.monorail-conference.com, z dn. 25.02.2015.
- [6] K. Ishikawa, A. Ohazama, H. Sora, T. Sekitani, „Straddle-type Monorail as a Leading Urban Transport System for the 21st Century”, Hitachi Review Vol. 48 (1999), No. 3.
- [7] V. Kumar, „Mumbai Metropolitan Development”, <http://www.monorailconference.com>, z dn. 25.02.2015.
- [8] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 5 czerwca 2014 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie, Dz. U. Nr 151, poz. 987.

- [9] www.autodesk.in/adsk/servlet/item?siteID=5967151&id=16190167, z dn. 4.03.2015.
- [10] www.archieobject.wordpress.com/2011/04/06/shonan-monorail/, z dn. 04.03.2015.
- [11] www.cimexchange.com/topic/1124-another-form-of-transport/page-2, z dn. 04.03.2015.
- [12] www.chinasmack.com/2014/pictures/chongqing-metro-monorail-passes-through-residential-building.html, z dn. 25.02.2015.
- [13] www.freemalaysiatoday.com/category/business/2012/11/22/scomi-to-bid-for-12-monorail-projects-in-brazil/, z dn. 04.03.2015.
- [14] www.google.pl/maps, z dn. 25.02.2015.
- [15] www.hitachi-rail.com/products/rolling-stock/monorail/feature02.html, z dn. 25.02.2015.
- [16] www.legag.com/safege/, z dn. 04.03.2015.
- [17] www.legag.com/safege/voie/posedunlimentdevoie.html, z dn. 25.02.2015.
- [18] www.monorails.org/tmspages/CnstLV20b.html
- [19] www.msrmilano.forumfree.it/?t=3972013, z dn. 04.03.2015.
- [20] www.m.yeongnam.com/jsp/view.jsp?nkey=20141003.010060723230001, z dn. 04.03.2015.
- [21] www.polskieradio.pl/5/3/Artykul/384371, z dn. 04.03.2015.
- [22] www.pl.wikinews.org/wiki/InnoTrans_2014, z dn. 25.02.2015.
- [23] www.pl.wikipedia.org/wiki/Wuppertaler_Schwebebahn, z dn. 25.02.2015.
- [24] www.raccordi.blogspot.com/2014/05/safege.html, z dn. 04.03.2015.
- [25] www.rynek-kolejowy.pl/52494/rzeszow_jak_sao_paulo_szuka_pieniedzy_na_monorail.htm, z dn. 25.02.2015.
- [26] www.skyscrapercity.com/showthread.php?p=62222085, z dn. 04.03.2015.
- [27] www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=131473&page=10, z dn. 04.03.2015.
- [28] www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=551820&page=2, z dn. 04.03.2015.
- [29] www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=551820&page=4, z dn. 04.03.2015.
- [30] www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=916732&page=338, z dn. 25.02.2015.
- [31] www.transport.cat/viewtopic.php?p=241071, z dn. 04.03.2015.
- [32] www.urbanmsp.com/viewtopic.php?p=13654, z dn. 04.03.2015.
- [33] www.viatrolebus.com.br/2013/10/governo-quer-levar-monotrilho-para-diadema/, z dn. 04.03.2015.
- [34] www.visitdaegu2011.blogspot.com/2014/04/experiencing-daegu-city-rail-line-3.html, z dn. 25.02.2015.