

Bezpieczeństwo kolei jednoszynowych

Dominik Bednarek, Igor Gisterek



mgr inż. Dominik Bednarek

Politechnika Wrocławska
Wydział Budownictwa Lądowego
i Wodnego
Katedra Mostów i Kolei

dominik.bednarek@pwr.edu.pl



dr inż. Igor Gisterek

Politechnika Wrocławska
Wydział Budownictwa Lądowego
i Wodnego
Katedra Mostów i Kolei

igor.gisterek@pwr.edu.pl

Kolej jednoszynowa (ang. monorail) to rodzaj środka transportu aglomeracyjnego, który do przewozu pasażerów lub towarów wykorzystuje pojazdy poruszające się z użyciem jednej szyny. Pojazdy poruszają się podwieszone do belki (szyny) lub są na niej siodłowo oparte, stąd wyróżnia się dwa typy kolei – koleje podwieszone (rysunek 1) i siodłowe (rysunek 2). Linie kolei jednoszynowej mają na ogół dwa tory, są całkowicie bezkolizyjne i mogą służyć zarówno do przewozu pasażerów jak i towarów. Ze względu na większą stabilność jazdy na łukach, bardziej popularny jest obec-

nie system kolei siodłowej. Estakada, po której poruszają się pociągi kolei siodłowej zbudowana jest z prefabrykowanych belek o rozpiętości 20-30 m, które najczęściej wykonane są z kablobetonu. Podpory estakady najczęściej buduje się in situ jako konstrukcja żelbetowa, w specyficznych okolicznościach stosuje się podpory stalowe. Bardziej szczegółowy opis typowych układów konstrukcyjnych kolei jednoszynowych można znaleźć w pracy [3].

Kolej jednoszynowa ze względu na stosunkowo dobre możliwości geometrycznego kształtowania trasy (niewielki promień łuku trasy w planie (50-100 m) oraz zdolność do pokonywania odcinków o dużym pochyleniu (6-10%)) zyskuje coraz większą popularność. Oferowane systemy posiadają zdolność przewozową od 2,5 do 50 tysięcy pasażerów w ciągu godziny w jednym kierunku, co umożliwia optymalne dopasowanie linii do przewidywanego potoku pasażerów. Obecnie najczęściej stosowany jest system kolei jednoszynowej siodłowej, oparty na patencie ALWEG. W ostatnich 10 latach zrealizowano ponad 150 km dwutorowych linii w szybko rozwijających się miastach Azji oraz Ameryki Południowej. Również w Polsce rozważana jest budowa linii tego typu kolei. Pod koniec 2014 roku władze Rzeszowa ogłosiły chęć budowy połączenia dworca PKP z kampusem tamtejszej Politechniki.

Niniejsza publikacja stanowi autorski przegląd sposobów zapewnienia bezpieczeństwa pasażerom korzystającym z kolei jednoszynowej.

Zagrożenia w trakcie eksploatacji i tragiczne zdarzenia

Główną zaletą kolei jednoszynowych jest fakt, że pociągi tego typu poruszają się po torze wydzielonym, niezależnym od innych korytarzy transportowych na całej swojej długości. Pozwala to na zapewnienie szybkiego i niezawodnego transportu w mieście. Jednocześnie, przeprowadzenie trasy w całości na estakadzie o specyficznym przekroju poprzecznym znacząco utrudnia przeprowadzenie ewakuacji, wymaga również zabezpieczenia pasażerów przed upadkiem z wysokości. W trakcie eksploatacji obecnie funkcjonujących linii doszło zaledwie do kilku, może kilkunastu wypadków, z których większość skończyła się co najwyżej nieznacznymi obrażeniami pasażerów, dlatego uzasadnionym wydaje się stwierdzenie, że koleje jednoszynowe stanowią jeden z najbezpieczniejszych środków transportu.

Do jednego z tragiczniejszych wypadków doszło na najstarszej użytkowanej linii podwieszanej kolei jednoszynowej w Wuppertalu. W 1999 roku doszło tam do wykolejenia pociągu, czego skutkiem było 5 ofiar śmiertelnych i 47-miu rannych. Przyczyną tego zdarzenia były



3. Wykolejony pociąg kolei wuppertalskiej [16]



4. Schemat systemu pożarowego w pociągu w Daegu [1]

zaniedbania w nadzorze przeprowadzanych prac remontowych. Wskutek niedostatecznej kontroli, po skończonej pracy pozostał na linii metalowy element, który spowodował wypadnięcie wagonu z szyny (rysunek 3). Pomijając ten jednostkowy wypadek, kolej podwieszona systemu Langena eksploatowana w Wuppertalu uznawana jest za szczególnie bezpieczny środek transportu zbiorowego, przewiozła bowiem w swojej ponad stoletniej historii więcej niż półtora miliarda pasażerów [11].

Duże zagrożenie dla pasażerów i wyzwania dla służb ratunkowych stanowią awaryjne zatrzymanie pociągu pomiędzy stacjami. Przyczyną takiego zatrzymania może być awaria zasilania, jak również wybuch pożaru. W 1985 roku, w wyniku zapalenia się opony, doszło do spalenia kolei jednoszynowej w Disneylandzie na Florydzie. Dzięki szybkiej ewakuacji udało się uratować wszystkich pasażerów, nikt nie odniósł poważnych obrażeń. Do podobnej sytuacji doszło także w 2004 roku w Seattle oraz w 2015 roku w Kuala Lumpur [9]. Obecnie, nowoczesne pociągi kolei jednoszynowej mogą być wyposażone w zaawansowany system pożarowy, pozwalający nie tylko na wykrycie pożaru, ale również na zapobiegnięcie rozprzestrzenianiu się ognia i dymu. Tego typu system został zaimplementowany na przykład na linii w Daegu, w Korei Południowej (rysunek 4). W pociągu znajdują się zbiorniki ze środkiem gaśniczym pozwalającym na kilkuminutowe gaszenie pożaru. Dodatkowo w pociągu znajdują się wentylatory usuwające z wnętrza pociągu toksyczne gazy, które stanowią największe zagrożenie dla zdrowia w trakcie pożaru [1].

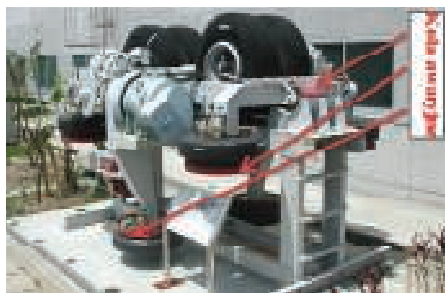
Mimo regularnych przeglądów, które przeprowadza się przed każdym wyjazdem na trasę, w historii użytkowania kolei jednoszynowej



1. Kolej podwieszona typu SAFEGE [15]



2. Kolej siodłowa typu ALWEG [12]



5. Czerwone obręcze kół awaryjnych [13]



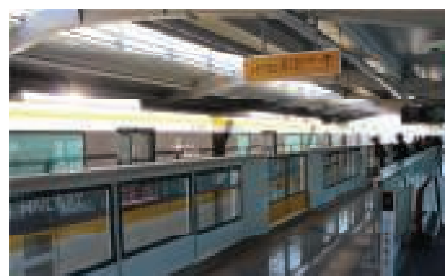
6. Koło w systemie run-flat [16]



7. Stacja Oratório w São Paulo [12]



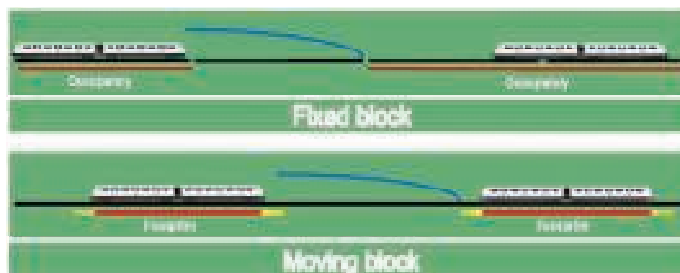
8. Stacja Sahara w Las Vegas [8]



9. Zabezpieczenie krawędzi peronowej w Daegu [6]

dochodzi do awarii pojazdów. Kilukrotnie zdarzało się urwanie jednego z kół, stwarzające zagrożenie dla ruchu odbywającego się poniżej estakady. Tego typu sytuacje miały m. in. miejsce na liniach w Las Vegas i Kuala Lumpur. W tym ostatnim mieście odpadający element uderzył w głowę przechodnia [13].

Awaria ogumienia i związane z nią zatrzymanie pociągu pomiędzy stacjami wiąże się



10. Schemat funkcjonowania systemu CBTC [16]

z koniecznością przeprowadzenia akcji ewakuacyjnej i wyłączeniem linii na dłuższy czas. Aby ograniczyć ryzyko takiego zdarzenia wózki jezdne wyposażone są w dodatkowy zestaw kół (rysunek 5), bądź też system run-flat (rysunek 6), pozwalający na bezpieczne dowiezienie pasażerów do najbliższej stacji oraz dotarcie do serwisu w zajezdni mimo spadku ciśnienia w kołach.

Wyposażenie stacji

Stacje kolei jednoszynowej podobnie jak cała estakada są zlokalizowane nad ulicami. Często znajdują się w pasie rozdziału pomiędzy jezdni. Taka lokalizacja wymusza przesunięcie wind i schodów na sąsiednie chodniki. Dojście do stacji odbywa się z użyciem kładki (rysunki 7 i 8). W budowie stacji tego typu kolei zauważyć można wiele analogii do budowy stacji metra, z tą różnicą, że dojście nie prowadzi do stacji podziemnej, lecz nadziemnej.

Stacje muszą być wyposażone w urządzenia ograniczające prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia zarówno na samej stacji, jak również w pociągu. W celu przeciwdziałania atakom terrorystycznym czy zwykłym kradzieżom i rozbojom stacje wyposażone są w system CCTV (system kamer przemysłowych) z oprogramowaniem umożliwiającym rozpoznawanie twarzy. Dodatkowo, tak jak w przypadku kolei w Mumbaju, stacje wyposaża się w bramki do wykrywania metalu i urządzenia do prześwietlania bagażu [2].

Wypadnięcie poza krawędź peronu w przypadku stacji kolei jednoszynowej wiąże się z upadkiem z wysokości kilku - kilkunastu metrów. Dlatego, na krawędzi peronu stosowane są pół-ściany wyposażone w rozsuwane drzwi (rysunek 9). Odległości między kolejnymi otworami dopasowane są do odległości między drzwiami w pociągu. Pozwala to na zsynchronizowanie obu drzwi i zwiększenie bezpieczeństwa procesu wymiany pasażerów. W przypadku całkowitego zamknięcia krawędzi peronu możliwe jest efektywne klimatyzowanie kubatury stacji. Dodatkową zaletą ekranów stosowanych na krawędziach peronów jest ograniczanie poziomu hałasu dochodzącego z ulicy.

Wyposażenie pociągu

W celu minimalizacji kosztów obsługi, najnowsze pociągi kolei jednoszynowej są obsługiwane w pełni automatycznie. Nie oznacza to całkowitego braku obsługi w pociągu. Ze względów bezpieczeństwa w każdym pociągu znajduje się jedna osoba z obsługi. Do

systemów zwiększających bezpieczeństwo w kolejach jednoszynowych należą również urządzenia służące do pozycjonowania pociągów na trasie. Najnowsze realizacje linii kolei jednoszynowej wyposażone są w system CBTC (system sterowania ruchem oparty na komunikacji radiowej). Urządzenia rozlokowane wzdłuż linii oraz te, w które wyposażony jest pociąg pozwalają na określenie w czasie rzeczywistym położenia pociągów oraz istotnych parametrów ich ruchu. Na bieżąco określana jest prędkość pociągów, droga hamowania oraz konieczna długość odstępu pomiędzy pociągami. Położenie odcinków chronionych jak i odstępu jest zmienne i ustalane na podstawie bieżących obliczeń – rysunek 10. System sterowania ruchem pozwala na dokładne wyliczenie drogi hamowania i umożliwia dokładne zsynchronizowanie drzwi pociągu z drzwiami na krawędzi peronu, zarówno w czasie, jak również w przestrzeni [4].

Czasami do nieszczęśliwych wypadków dochodzi mimo wyposażenia pojazdów w urządzenia elektroniczne, mające poprawiać bezpieczeństwo. Przykładowo, w lutym 2010 roku na linii kolei jednoszynowej w Sydney, na pociąg stojący na stacji najechał następny skład, mimo wyposażenia w system ACES [10]. Na szczęście, podczas tej kolizji niewielkie obrażenia odniosły zaledwie cztery osoby.

Ewakuacja z pociągów

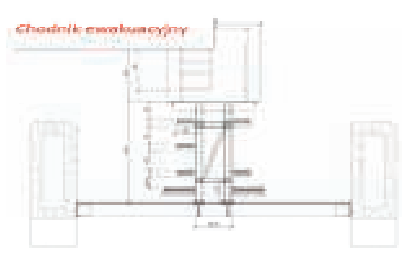
W trakcie eksploatacji linii kolei jednoszynowej może wystąpić wiele czynników, które zmuszają pasażerów i załogę do ewakuacji z zagrożonego pociągu, analogicznie jak ma to miejsce w przypadku kolei konwencjonalnych.

Opuszczenie pociągu kolei jednoszynowej w sytuacji zagrożenia jest utrudnione ze względu na to, że poruszają się one po estakadzie kilka metrów nad ziemią (rysunek 11). Ewakuacja pasażerów może odbywać się zarówno w kierunku poziomym jak i pionowym. Najszybszą drogę ucieczki zapewniają chodniki zamontowane wzdłuż linii (rysunek 12). W trakcie normalnej eksploatacji służą one do przeprowadzania przeglądów oraz prowadzenia instalacji, a w sytuacji zagrożenia pozwalają na szybkie dotarcie do najbliższej stacji. Nie wszystkie zrealizowane linie posiadają tego typu pomosty, wynika to m. in. ze względów finansowych.

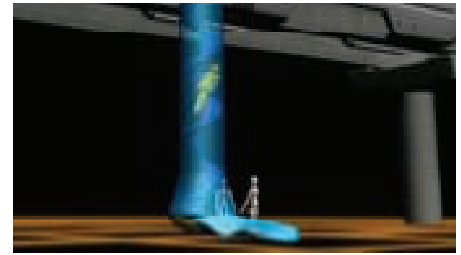
Kolejnym sposobem na ewakuację pasażerów w poziomie jest możliwość przejścia pasażerów z uszkodzonego pojazdu do sprawnego pociągu. Ruch ten może się odbywać wzdłuż toru (rysunek 13) lub też do pojazdu poruszającego się na drugim torze (rysunek 14). Pociąg



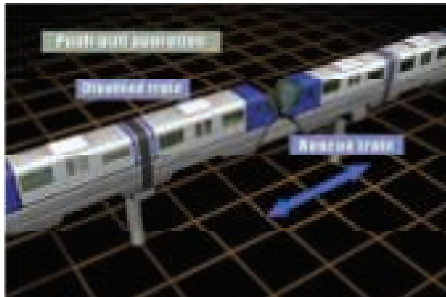
11. Linia monorail w Mumbaju [7]



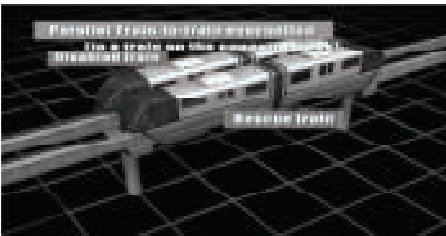
12. Przekrój przez estakadę linii Sao Paulo [5]



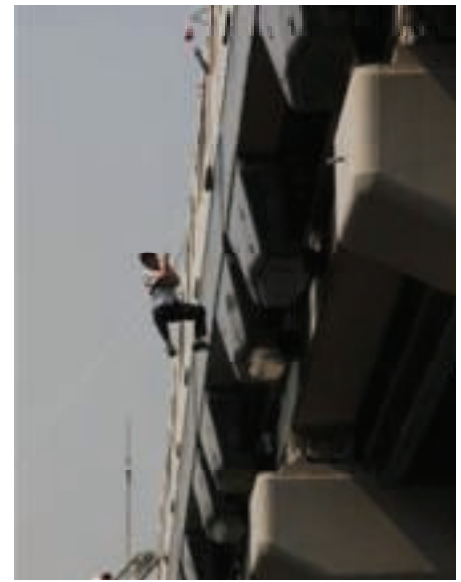
15. Spirala ewakuacyjna [1]



13. Sposób ewakuacji lub holowania/pchania na jednym torze [1]



14. Sposób ewakuacji do pociągu na sąsiednim torze [1]



16. Ewakuacja z użyciem uprząży [14]

gi wyposażone są w kładki, które opierają się wtedy o sąsiedni pociąg. Rozwiązanie tego typu może okazać się zawodne w przypadku, kiedy do awarii dojdzie na łukowym odcinku trasy. W takiej sytuacji trudne jest bowiem właściwe dopasowanie kładki ewakuacyjnej. Innym rozwiązaniem pozwalającym na poziomy transport pasażerów z uszkodzonego pojazdu jest możliwość odholowania lub przepchnięcia uszkodzonej jednostki do najbliższej stacji, a następnie do zajezdni. Ten sposób zapewnia możliwość szybkiego usunięcia zatoru na linii oraz powrót do normalnego kursowania pojazdów.

Przeprowadzenie ewakuacji w kierunku pionowym uzależnione jest od zagospodarowania terenu pod miejscem zatrzymania pociągu. Linie kolei jednoszynowej przebiegają najczęściej nad drogami i innymi miejscami dostępnymi dla ruchu kołowego. Pozwala

to na wykorzystanie w akcjach ratunkowych drabin i podnośników strażackich. Część pociągów wyposażona jest w urządzenia, które pozwalają na przeprowadzenie ewakuacji pasażerów niezależnie od pomocy z zewnątrz. Na przykład w pociągach kolei w Daegu zamontowane są spiralne zjeżdżalnie (rysunek 15), a wyposażenie pociągów w Chongqing pozwala na sprowadzenie pasażerów z użyciem uprząży i liny (rysunek 16).

W systemach kolei podwieszonych możliwe jest zastosowanie systemów ułatwiających ewakuację, których ze względów konstrukcyjnych nie można użyć w kolejach siodłowych. Przykładowo, w kolei SAFEGE zaproponowano opuszczany trap, normalnie stanowiący część podłogi wagonu w przejściu pomiędzy siedzeniami. W sytuacji awaryjnej trap jest rozkładany w kierunku ziemi podobnie jak drzwi w niektórych samolotach – rysunek 17.

czynników ryzyka, takich jak na przykład wyeliminowanie skrzyżowań w poziomie toru, inną skalę natężenia ruchu i całkowitego wolumenu przewozów oraz ograniczoną ilość dostępnych danych, porównywanie pod względem bezpieczeństwa kolei jednoszynowej i klasycznej wydaje się obecnie nieuzasadnione. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Yong-Mo A., Daegu metropolitan line 3 monorail is built like this, Monorailex'13 7-8. października Daegu 2013, Brisk Events, Leusden.
- [2] Das A.K., Safety in mass rapid transit system, Monorailex'13 7-8. października Daegu 2013, Brisk Events, Leusden.
- [3] Bednarek D., Bryja D.: Układy konstrukcyjne kolei jednoszynowych, Przegląd Komunikacyjny. 2015, R. 70, nr 6, s. 28-32.
- [4] Timan P., Why Monorail Systems Provide a Great Solution for Metropolitan Areas, Urban Rail Transit 2015, 1(1) s.13–25.
- [5] www.abece.com.br, z dn. 15.09.2015.
- [6] www.army.mil, z dn. 15.09.2015.
- [7] www.businesstoday.in, z dn. 15.09.2015.
- [8] www.mobilize.org.br, z dn. 15.09.2015.
- [9] www.monorails.org, z dn. 15.09.2015.
- [10] www.otsi.nsw.gov.au, z dn. 15.09.2015.
- [11] www.schwebebahn-in-wuppertal.de, z dn. 15.09.2015.
- [12] www.skyscrapercity.com, z dn. 15.09.2015.
- [13] www.thestar.com.my, z dn. 15.09.2015.
- [14] www.transportation.gov, z dn. 15.09.2015.
- [15] www.viatrolebus.com.br, z dn. 15.09.2015.
- [16] www.wikipedia.org, z dn. 15.09.2015.



17. Trap ewakuacyjny kolei podwieszanej [9]

Podsumowanie

Na prawidłowo zaprojektowanej i utrzymanej linii kolei jednoszynowej ryzyko powstania zagrożenia jest minimalne, dlatego też ważne jest prowadzenie regularnych przeglądów zarówno pojazdów, jak również konstrukcji estakad. Czynności utrzymaniowe na współcześnie realizowanych liniach ułatwia zastosowanie elektronicznych systemów pozwalających na monitorowanie stanu urządzeń w czasie rzeczywistym. Wykorzystanie czujników dymu czy monitoringu pozwala na zredukowanie czasu reakcji obsługi na powstałe zagrożenia. Ze względu na ograniczenie niektórych