

# Uwarunkowania budowy kolei jednoszynowych w Polsce

## Conditions for the construction of monorails in Poland



**Krzysztof Polak**

Mgr

Instytut Kolejnictwa  
Zakład Dróg Kolejowych i  
Przewozów, Warszawa

kpolak@ikolej.pl

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono przegląd kolei jednoszynowych. Zwrócono uwagę na uwarunkowania technologiczne przy ich budowie. Przeanalizowano uwarunkowania budowy kolei linowych w Polsce. W polskich przepisach prawnych, funkcjonują ogólne zapisy określające i definiujące kolej jednoszynową, jednak, aby umożliwić powstanie tej technologii w Polsce konieczne jest wprowadzenie dodatkowych odrębnych przepisów. Wydaje się rozsądnym, aby kolej jednoszynowa traktowana była na podobnych zasadach jak kolej linowa, z niektórymi rozwiązaniami zapożyczonymi z kolei klasycznej.

**Słowa kluczowe:** Kolej jednoszynowa; Kolej linowa

**Abstract:** The article presents an overview of monorails. The technological conditions for their construction have been taken into account. The conditions for the construction of cableways in Poland were analyzed. In Polish law, there are general provisions specifying and defining monorail, however, to enable the development of this technology in Poland, it is necessary to introduce additional separate regulations. It seems reasonable that a monorail should be treated similarly to a cable car, with some solutions borrowed from the classic.

**Keywords:** Monorail; Cableway

### Wstęp

W ostatnim czasie zainteresowanie rozwiązaniami kolei jednoszynowej znacznie wzrosło – prawie 30 nowych linii kolei jednoszynowej jest w trakcie budowy, testów, w fazie planowania koncepcyjnego lub oczekuje na budowę. Technologia ta występuje na każdym kontynencie na świecie, nie licząc Antarktydy. Obecnie eksploatowanych jest około 56 linii kolei jednoszynowej, z czego aż 26 zlokalizowanych jest w Azji, 13 w Europie, 10 w Ameryce Północnej, 3 w Ameryce Południowej oraz po 2 w Afryce oraz Australii i Oceanii. [14,23]

Kolej jednoszynowa (monorail) to rodzaj środka transportu wykorzystującego do przewozu pasażerów lub towarów pojazdy poruszające się po jednej szynie. Szyna stanowi konstrukcję belkową, wykonaną z betonu sprężonego lub ze stali, która podpar-

ta jest na stosunkowo gęsto rozmieszczonych konstrukcjach wsporczych, tworząc estakadę. Rozwiązanie to umożliwia prowadzenie trasy kolei jednoszynowej nad obszarami silnie zurbanizowanymi, tj. w wielkich miastach i aglomeracjach miejskich. [4]

Najbardziej rozwinięte systemy jednoszynowe występują w dwóch regionach – Azji (Chongqing, Chiny) oraz Ameryce Południowej (Sao Paulo, Brazylia). Obecnie na rynku kolei jednoszynowej występuje minimum 9 firm proponujących swoje rozwiązania. Są to: Bombardier, Scomi, Hitachi, BYD Skyrail, CRRC, FCF SpA, Intamin Transportation Ltd. Mitsubishi oraz Morton [24]

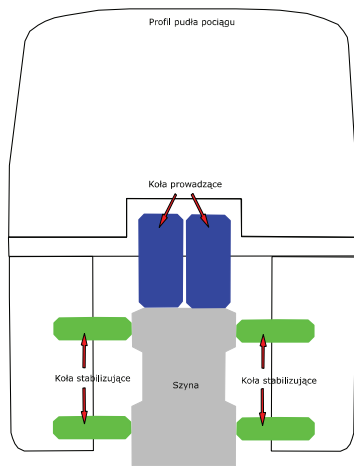
Do kolei jednoszynowej można również zaliczyć kolej magnetyczną, jednakże biorąc pod uwagę brak fizycznego kontaktu pojazdu z szyną (lewitacja magnetyczna), brak zjawiska tarcia koła-szyna oraz oporu to-

czenia, jak również znacznie większe prędkości (400-500 km/h), kolei magnetycznej nie można zakwalifikować jako kolei jednoszynowej.[7] Ponadto, obecnie obowiązujący system prawny w Polsce jednoznacznie rozróżnia kolej jednoszynową, kolej na poduszce powietrznej oraz kolej magnetyczną. [12,16]

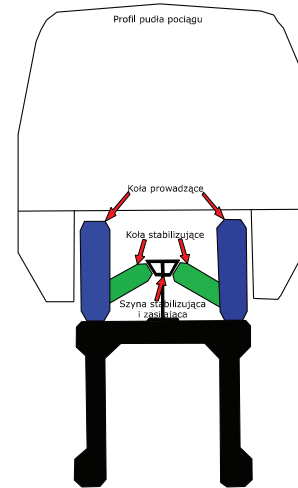
### Technologia budowy kolei jednoszynowej

#### Rozwiązania systemowe

Pojazdy kolei jednoszynowej mogą być podwieszane do szyny (belki) lub oparte na niej siodłowo, stąd wyróżnia się dwa typy kolei: podwieszaną, gdzie pojazd podwieszony jest do szyny jezdnej (belki) oraz siodłową, gdzie pojazd oparty jest na belce siodłowo. Linie kolei jednoszynowej (typu podwieszanego jak i siodłowego) składają



1. Uproszczony schemat systemu „ALWEG” dla kolei jednoszynowej  
Źródło: opracowanie własne na podstawie [7]



2. Uproszczony schemat systemu „Urbanaut” dla kolei jednoszynowej  
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [7]

się najczęściej z dwóch torów (po jednym w każdym kierunku) i są całkowicie bezkolizyjne. [2]

Obecnie najczęściej wykorzystywanym typem kolei jednoszynowej jest typ siodłowy, który charakteryzuje się większą stabilnością na łukach. Nazwa tego rozwiązania związana jest z kształtem wózka jezdny, który z trzech stron obejmuje belkę jezdną. Do najbardziej znanych rozwiązań siodłowej kolei jednoszynowej należy zaliczyć systemy: ALWEG, Steel Box Beam oraz Inverted T. [23]

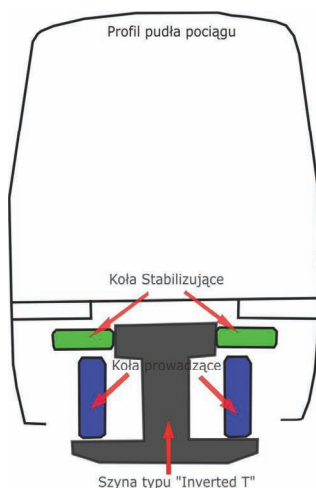
Najbardziej rozpowszechnionym systemem siodłowej kolei jednoszynowej jest rozwiązanie firmy ALWEG. Pojazdy poruszają się po betonowej szynie, na dwóch równoległych kołach znajdujących się w dwóch wózkach, zaś umieszczone poniżej prostopadle po obu stronach szyny koła

pełnią rolę stabilizującą. Firma ALWEG wycofała się z działalności w latach 60-tych XXw., ale ich rozwiązania stale produkowane są przez inne firmy, takie jak: Hitachi, Bombardier czy Scomi. Analiza wymiarów belki w obecnie dostępnych rozwiązaniach systemu ALWEG wykazała, że maksymalna różnica szerokości pomiędzy największą (90 cm) i najmniejszą szyną (66 cm) wynosi 24 cm. [7,23]

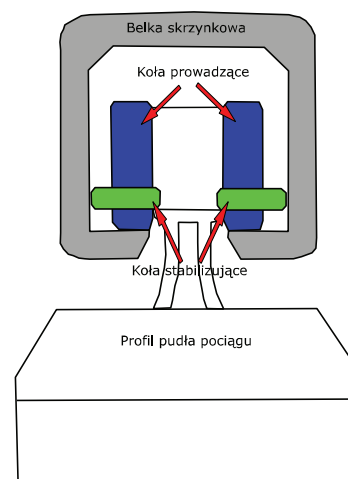
Wszystkie pojazdy jednoszynowe produkowane w tej technologii posiadają takie samo podstawowe zawieszenie – dwa wózki (z przodu i z tyłu pojazdu), składające się z pionowo zamontowanych pneumatycznych opon gumowych, pozwalających na jazdę po szynie, a także przenoszenie obciążeń i napędu. Poziome opony, zazwyczaj znajdujące się w górnej i dolnej części szyny, odpowiedzialne

są za stabilizację pojazdu. Uproszczony schemat systemu ALWEG został przedstawiony poniżej (Rysunek 1). [7,23]

System „Steel Box Beam” wykorzystuje belkę stalową wykonaną z dźwigara skrzynkowego, po której porusza się wózek z dwoma ogumionymi kołami trakcyjnymi, prowadzonymi przez cztery poziome koła stabilizujące. Obecnie rozwiązanie to wykorzystywane jest głównie do obsługi systemów typu „people mover”, obsługujących stosunkowo niewielkie obszary, takie jak lotniska, dzielnice śródmiejskie czy parki rozrywki (np. Savio, Włochy). Wózki są rozmieszczone pomiędzy wagonami i mieszczą jednostkę napędową i wyposażone są w sprężyny pneumatyczne z automatycznym wyrównywaniem obciążenia. [23]



3. Uproszczony schemat systemu „Inverted T” dla kolei jednoszynowej  
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [23]



4. Uproszczony schemat systemu „SAFEGE” dla kolei jednoszynowej  
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [22]

Odmianą powyższego systemu było rozwiązanie o nazwie „Urbanaut”, które wykorzystywało betonową lub stalową belkę skrzynkową z pojedynczą szyną na górze do prowadzenia (stabilizacji) i zasilania. System został wybudowany w Korei Południowej w mieście Incheon, lecz z powodu błędów konstrukcyjnych zrezygnowano z niego. Uproszczony schemat systemu Urbanaut został przedstawiony poniżej (Rysunek 2). [7,23]

Innym rozwiązaniem stosowanym w siodłowej kolej jednoszynowej jest system odwróconego T - „Inverted T”, tj. belki (szyny) przypominająca odwróconą literę T, która może być wykonana z betonu lub stali. Pionowy element przewodnicy służy do podtrzymywania kół stabilizujących wózka, zaś dolne krawędzie przewodnicy podtrzymują koła nośne. Uproszczony schemat systemu „Inverted T” został przedstawiony poniżej (Rysunek 3). [23].

Rzadziej stosowanym rodzajem kolei jednoszynowej jest typ podwieszany, w którym pojazd porusza się podwieszony na szynie, a zespół napędowy umieszczony jest na dachu. Do najbardziej znanych systemów kolei podwieszanej należy zaliczyć systemy: SAFEGE, Double-flanged oraz kolej linową.[23]

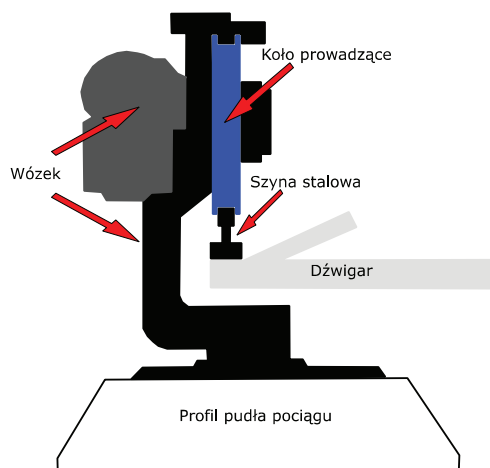
Najbardziej rozpowszechnionym systemem podwieszanej kolei jednoszynowej jest rozwiązanie typu „SAFEGE”. W systemie tym do podwieszenia

wózka jezdnego wykorzystano pusty dźwigar skrzyniowy, w którym w dolnej części znajdowała się szczelina, przez którą przechodziło podwieszenie wagonów. Wprowadzenie wózków do środka dźwigara zapewniało im ochronę przed niekorzystnymi warunkami atmosferycznymi, takimi jak deszcz, mróz czy śnieg. Wykorzystanie gumowych opon gwarantuje dobre parametry hamowania i przyspieszenia oraz niski hałas, natomiast zawieszenie typu wahadłowego ze sprężynami pneumatycznymi pozwala uzyskać stabilność oraz komfort pasażerom. W dźwigarze skrzyniowym znajduje się również dodatkowa szyna, która dostarcza energię elektryczną do pojazdów. Wózki wyposażone są w kilka zestawów kół poruszających się w płaszczyźnie pionowej - koła jezdne, przenoszące głównie obciążenia pionowe, oraz poziomej - koła stabilizujące i prowadzące, zapewniające stateczność pojazdu w płaszczyźnie pionowej i poprzecznej do osi toru oraz ograniczając wychylenia. System „SAFEGE” wykorzystywany jest m.in. przez koleje jednoszynowe w Japonii oraz Chinach. Uproszczony schemat systemu „SAFEGE” został przedstawiony poniżej (Rysunek 4). [23].

Kolejnym systemem podwieszanej kolei jednoszynowej jest rozwiązanie „Double-flanged”, czyli system dwuobrózowy. W każdym pojeździe znajdują się dwa dwukołowe wózki, do których zamontowane są koła sta-

lowe z podwójnymi obręczami. Koła poruszają się na jednej stalowej szynie ułożonej na belce (dźwigarze). Obydwa wózki napędzane są pojedynczym silnikiem z przekładnią ślimakową. Charakterystyczną cechą tego systemu jest swobodne kołysanie się pojazdów pod torami, jednakże przechył nie przekracza 15 stopni. System ten wykorzystywany jest w najstarszej funkcjonującej kolei jednoszynowej na świecie – w Wuppertal w Niemczech. Uproszczony schemat systemu „Double-flanged” został przedstawiony poniżej (Rysunek 5). [23].

W miejskim systemie komunikacyjnym rzadko spotykanym rozwiązaniem podwieszanej kolei jednoszynowej jest kolej linowa, która wykorzystywana jest głównie do połączenia miejsc o dużych różnicach w poziomie. Jednoszynowa kolej linowa składa się z przewodnicy jednoszynowej, która napędzana jest przez jednostki napędowe w stacjach poprzez stalowe liny. Najstarszą istniejącą jednoszynową kolejką linową jest drezdeńska kolejka wisząca w Niemczech, której długość wynosi 274 metry przy nachyleniu 39,2%. Technologia kolei linowej wykorzystana została również w połączeniu miasta Memphis z parkiem rzeczonym na wyspie Mud Island (USA). Pojazdy jednocześnie przemieszczają się pomiędzy stacjami po równoległych torach. [23].



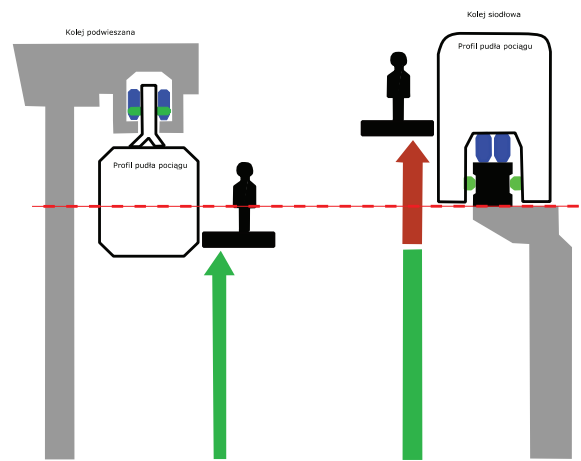
5. Uproszczony schemat systemu „Double-flanged” dla kolei jednoszynowej  
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [22]



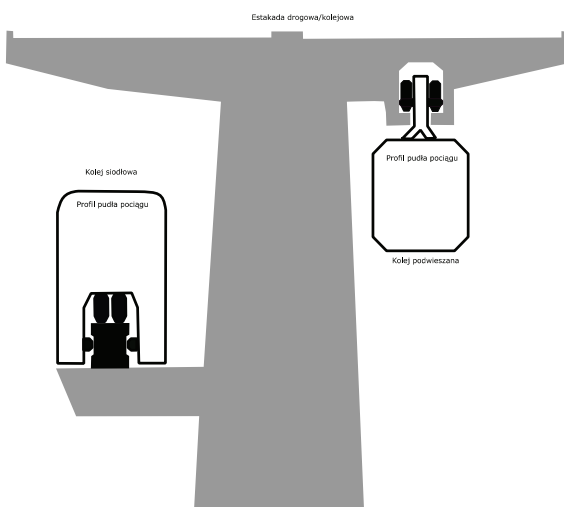
6. Kolej jednoszynowa w Wuppertalu (Niemcy) wykorzystująca system „Double-flanged”. Źródło: strona internetowa [27]



7. Drezdeńska (Niemcy) jednoszynowa kolej linowa  
Źródło: strona internetowa [23]



8. Porównanie wysokości podpór oraz usytuowania peronów dla kolei podwieszanej i siodłowej. Źródło: opracowanie własne na podstawie [4]



9. Wykorzystanie infrastruktury drogowej/kolejowej dla kolei jednoszynowej  
Źródło: opracowanie własne na podstawie [4]



10. Rozjazd systemu SAFEGE w skrajnych położeniach  
Źródło: strona internetowa [20]

## Konstrukcja estakad, podpór oraz stacji

Konstrukcja estakad kolei jednoszynowej wykonana jest najczęściej z prefabrykowanych elementów stalowych lub betonowych. Niezależnie od typu kolei jednoszynowej (podwieszana, siodłowa) oraz zastosowanego systemu budowa linii jest bardzo podobna. Przy budowie linii dwutorowej stosowane są podpory w kształcie litery T, zaś w kształcie litery Γ, gdy linia będzie jednotorowa. W przypadku braku możliwości posadowienia podpór bezpośrednio pod linią stosuje się rozwiązania ramowe (podpory ramowe), które umożliwiają trasowanie linii m.in. nad inną infrastrukturą. Wysokość podpór powinna być dobierana adekwatnie do bezpośredniego otoczenia

linii, niemniej jednak zalecana minimalna wysokość podpory powinna wynosić 5–9 metrów, w zależności od typu kolei jednoszynowej. [4,8]

Zaletą kolei jednoszynowej jest możliwość pokonywania dużych pochyleń, nawet do 10% (w praktyce maksymalne stosowane pochYLENIE to 6%). Natomiast niewielki minimalny promień skrętu, wynoszący 50 m, znacznie ułatwia prowadzenie tras w obszarach gęstej zabudowy miast. [6,16]

Różnica pomiędzy dwoma typami kolei jednoszynowej (siodłowym i podwieszanym) związana jest z wysokością podpór. Podpory dla kolei podwieszanej są znacznie wyższe niż dla kolei siodłowej, co wynika z zastosowanych rozwiązań technicznych. Wysokość położenia stacji również jest

elementem różnicującym te dwa typy kolei jednoszynowej. W przypadku kolei siodłowej perony muszą być usytuowane wyżej niż dla kolei podwieszanej. Różnice w wysokości podpór oraz peronów zostały przedstawione na poniższym schemacie (Rysunek 8). Dodatkowo do budowy kolei jednoszynowej możliwe jest wykorzystanie istniejącej infrastruktury drogowej lub kolejowej (Rysunek 9). [4]

Stacje kolei jednoszynowej rozmieszczone są zazwyczaj w odległości między od 0,5 km do 3,5 km. Położone są najczęściej nad terenem, na wysokości linii kolei, z wykorzystaniem podobnych podpór jak na szlaku. W szczególnych wypadkach mogą być zlokalizowane również na poziomie terenu lub pod powierzchnią. [4]

W zależności od przewidywanego



11. Zwrotnica segmentowa systemu ALWEG (Kuala Lumpur, Malezja)  
Źródło: strona internetowa [23]



12. Rozjazd wykorzystujący mechanizm przesuwny  
Źródło: strona internetowa [28]



13. Wykolejenie pociągu kolei jednoszynowej w Wuppertal (Niemcy)  
Źródło: strona internetowa [21]



14. Chodnik ewakuacyjny wzdłuż linii kolei jednoszynowej w Saõ Paulo (Brazylia). Źródło: strona internetowa [25]

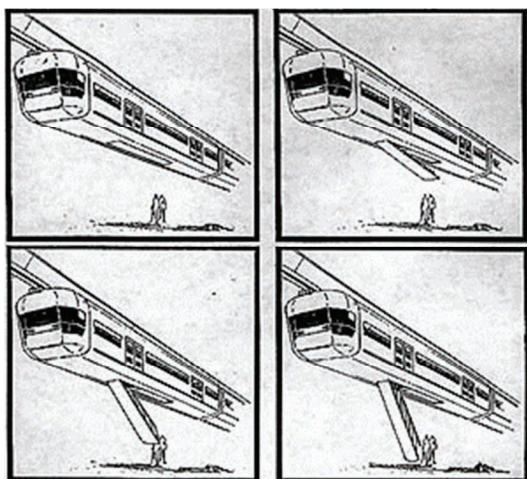
typu kolei oraz taboru stosowane są różne kształty i rodzaje belki jezdnej (szyny). W przypadku kolei podwieszanej najczęściej stosowane są belki stalowe lub zespolone. Producenci kolei siodłowej najczęściej wykorzystują prefabrykowaną belkę z betonu sprężonego, o stałej lub zmiennej wysokości. Zmienna wysokość belki

umożliwia efektywniejsze wykorzystanie przekroju konstrukcji. Wysokość belkowej konstrukcji wsporczej (szyny) wynosi średnio 1,5 m. Szerokość szyny, w zależności od wybranego systemu, może wahać się od 0,6 do 0,9 m, zaś jej długość waha się od 20 do 30 m. Wykorzystanie długich elementów umożliwia stworzenie układu

wieloprzęsłowego, zapewniającego ciągłość odkształcenia się belki oraz minimalizującego drgania. [4,7,11]

## Rozjazdy

Najważniejszym elementem infrastruktury kolei jednoszynowej są rozjazdy umożliwiające zmianę kierunku



15. Pochylnia ewakuacyjny w systemie SAFEGE kolei podwieszanej  
Źródło: strona internetowa [23]



16. Pół-drzwi peronowe na stacji kolei jednoszynowej w Daegu (Korea Płd.)  
Źródło: strona internetowa [65]

jazdy. Najstarsze rozwiązania kolei jednoszynowej nie przewidywały możliwości zmiany kierunku ruchu, dlatego też pojazdy poruszają się na tych liniach w pętli (Wuppertal, Niemcy) lub między dwoma stałymi stacjami (Seattle, USA). [4,23] Obecne rozwiązania kolei jednoszynowej umożliwiają płynną zmianę toru i kierunku jazdy.

W przypadku systemu SAFAGE podwieszanej kolei jednoszynowej, konstrukcja belki umożliwia wykorzystanie ruchomej iglicy, podobnej jak w rozjazdach klasycznej kolei. Rozjazd wyposażony jest w ruchome płyty poziome, które działają jako powierzchnie suwne w obu kierunkach rozjazdu. Rozjazd systemu SAFAGE w skrajnych położeniach został przedstawiony poniżej (Rysunek 10). [4,23]

Rozjazdy kolei siodłowej wykorzystują bardziej skomplikowane rozwiązania. Najczęściej stosowanym rozwiązaniem w Japonii jest jednoszynowy łącznik segmentowy (pasmowy). Rozwiązanie wynalezione zostało przez firmę ALWEG w latach 50-tych XX wieku. Zwrotnica segmentowa, wykonana ze stalowego odcinka szyny zbudowanego z ruchomych segmentów, pozwala na zmianę krzywizny, a tym samym zmianę kierunku jazdy w czasie około 7 sekund. Rozjazd wykorzystujący łącznik segmentowy w systemie ALWEG został przedstawiony poniżej. [4,23]

Innym stosowanym rozwiązaniem zmiany kierunku jazdy kolei siodłowej jest wykorzystanie mechanizmu przesuwne, którego ruch odchyła na bok prosty odcinek belki, a na jego miejsce przesuwa się odcinek zakrzywiony (i odwrotnie). W systemie tym pełne przestawienie rozjazdu trwa 12 sekund. Rozjazd wykorzystujący mechanizm przesuwany został przedstawiony poniżej (Rysunek 12). [7,23]

Rozwiązaniem wykorzystywanym w kolei jednoszynowej do zmiany kierunku jazdy jest również zwrotnica obrotowa, która obracając się wokół własnej osi poziomej zastępuje odcinek prosty szyny odcinkiem zakrzy-

wionym (łukiem). Technologia ta została wykorzystana m.in. linii kolejowej łączącej lotnisko w Newark. [23]

### Pojazdy

Pojazdy kolei jednoszynowej charakteryzują się stosunkowo dużą masą w porównaniu do masy belki jezdnej (szyny), co powoduje znaczny wpływ oddziaływań dynamicznych obciążenia na stan wyężenia szyny. Ponadto, pojazdy kolei jednoszynowej charakteryzują się większą szerokością w porównaniu do toru, po którym się poruszają, co powoduje, że narażone są na poprzeczne wychylenia podczas jazdy (głównie na łukach). [4]

W najnowszych pojazdach, zarówno dla typu kolei podwieszanej jak i siodłowej, w celu zapobiegania wychyleniom poprzecznym, wózki jezdne zostały wyposażone w zestawy kół poruszających się w płaszczyźnie pionowej (koła jezdne) oraz poziomej (koła stabilizujące). W systemie ALWEG wózek jezdny najczęściej składa się z czterech pionowych kół jezdnych (po dwie opony na każdej osi) oraz sześciu dodatkowych kół (po trzy na każdej stronie belki), które odpowiadają za stabilizację oraz prowadzenie boczne. Dwa koła stykają się z górną częścią belki jezdnej, zaś pozostałe koła z dolną częścią, gwarantując stabilność. Wózki jezdne w systemie SAFAGE (kolej podwieszana), posiadają cztery koła jezdne (po dwie opony na każdej osi) oraz cztery opony (po dwie na każdej stronie belki) służące do stabilizacji pojazdu. [9]

Większość pojazdów kolei jednoszynowej napędzana jest przez silniki elektryczne, które umożliwiają osiągnięcie prędkości do 80 km/h (prędkość handlowa wynosi od 30 do 50 km/h). Prędkość przyspieszania i hamowania waha się w granicach: odpowiednio 3,5 m/s<sup>2</sup> oraz 4 m/s<sup>2</sup>. Energia elektryczna dostarczana jest z szyn biegnących po obu stronach belki jezdnej. Szyny te zasilane są prądem stałym. [4,9]

Większość pojazdów kolei jednoszynowej wyposażona jest w dwa niezależne układy hamulcowe, tj. hamulec mechaniczny oraz elektryczny, który pełni rolę hamulca bezpieczeństwa, uruchamianego przez maszynistę lub z centrum sterowania pociągiem. [11]

### Bezpieczeństwo budowy kolei jednoszynowej

Kolej jednoszynowa uznawana jest obecnie za jeden z najbezpieczniejszych środków transportu. Konstrukcja oraz przebieg trasy w zasadzie uniemożliwiają kolizję z innymi środkami transportu. Na obecnie funkcjonujących liniach doszło jednak do kilku groźnych wypadków. W 2009 r. nastąpiło zderzenie dwóch pojazdów w parku rozrywki Walt Disney World, w którym zginął jeden z maszynistów pojazdu. Przyczyną wypadku było zaniedbanie, jakiego dopuścili się pracownicy odpowiedzialni za kontrolę ruchu, a także braki w procedurach bezpieczeństwa, związanych z cofaniem pojazdów. W 2005 r. w Seattle (USA) odnotowano jedno zderzenie pociągów, które było wynikiem błędu konstrukcyjnego wskutek przebudowy linii w latach 80-tych (niewystarczający rozstaw pomiędzy szynami). Podczas incydentu pasażerowie nie odnieśli poważnych obrażeń. Do najbardziej tragicznego wypadku doszło w 1999 r. na najstarszej linii kolei jednoszynowej - w Wuppertal (Niemcy). W wyniku wykolejenia się pociągu zginęło 5 osób, a 47 zostało rannych. Przyczyną tego zdarzenia były zaniedbania ze strony zespołu nadzorującego prace remontowe. W wyniku pozostawienia na szynie jezdnej metalowego elementu pociąg wypadł z szyny i wpadł do rzeki (Rysunek 13). [3,4,6,15,19]

Zlokalizowanie infrastruktury kolei jednoszynowej na podporach niesie za sobą większe zagrożenia, w szczególności kiedy zajdzie konieczność ewakuacji lub udzielenia pomocy pa-

sażerom uwięzionym pomiędzy stacjami. Opuszczenie pojazdu kolei jednoszynowej w sytuacji zagrożenia jest utrudnione ze względu na znaczną odległość od powierzchni ziemi. Przyczyną takiego awaryjnego zatrzymania może być awaria pojazdu, awaria zasilania lub pożar. [3,4,15]

Mając na uwadze powyższe, każdy system kolei jednoszynowej powinien posiadać bezpieczny i skuteczny sposób ewakuacji pasażerów w dowolnym punkcji wzdłuż linii kolejowej.

Wyróżnić można dwa kierunki ewakuacji: poziomy oraz pionowy. Najszybszą i najbardziej skuteczną metodą ewakuacji z pojazdu kolei jednoszynowej jest wykorzystanie zamontowanego po zewnętrznej stronie toru lub pomiędzy belkami torowymi chodnika awaryjnego. W przypadku sytuacji awaryjnej chodnik umożliwia bardzo szybkie opuszczenie pojazdu oraz dotarcie do najbliższej stacji.

Podczas zwykłej eksploatacji linii chodniki te mogą służyć do przeprowadzania przeglądów oraz remontów. Przykładowe rozwiązanie z wykorzystaniem chodnika ewakuacyjnego przedstawiono poniżej (Rysunek 14). [2,3,4,15]

Innym sposobem ewakuacji poziomej jest wykorzystanie platformy jako przejścia do sprawnego pojazdu, który znajduje się na tym samym torze lub torze sąsiednim. Konieczność odpowiedniego dopasowania platformy z drugiego pojazdu sprawia, że rozwiązanie to nie sprawdza się w przypadku wystąpienia awarii na łuku linii (Rysunek 13). [1,3]

Zastosowanie odpowiedniej metody ewakuacji pionowej uzależnione jest w dużej mierze od zagospodarowania terenu, znajdującego się pod linią kolejową, na której zatrzymał się pojazd. Najczęściej stosowanymi rozwiązaniami ewakuacji pionowej są: spirala ewakuacyjna, wykorzystanie pojazdów z drabiną, sprowadzenie pasażerów przy użyciu uprząży. Natomiast w kolejach podwieszanych (system SAFEGE) możliwe jest zasto-

sowanie rozwiązań konstrukcyjnych w postaci pochylni (trap), stanowiącej część podłogi pojazdu. W przypadku awarii pochylnia znajdująca się w przejściu pomiędzy siedzeniami, zostaje rozłożona umożliwiając bezpieczną ewakuację pojazdu (Rysunek 15). [1,3,10]

W przypadku wystąpienia niesprawnej jednostki na szlaku możliwe jest jej odholowanie lub przepchnięcie do najbliższej stacji/zajezdni z wykorzystaniem innych pojazdów eksploatowanych na danej linii kolejowej. Rozwiązanie to umożliwia szybkie odblokowanie torowiska i powrót normalnego kursowania pociągów. [1] Stacje kolei jednoszynowej, ze względu na swoją lokalizację, powinny być wyposażone w drzwi (lub pół-drzwi) peronowe, które zapobiegają nieumyślnym upadkom z krawędzi peronu. Drzwi całkowicie zamykają krawędź peronu i są zsynchronizowane z otwieraniem i zamykaniem drzwi pojazdu, aby umożliwić wsiadanie i wysiadanie. [13]

Dodatkowo, stacje kolejowe powinny być wyposażone w schematy ułatwiające orientację, oznakowanie wskazujące drogę ewakuacji oraz wyposażone materiałami o odpowiedniej odporności ogniowej. [5]

Pojazdy kolei jednoszynowej muszą być wykonane z ognioodpornych materiałów wewnętrznych, wyposażone w urządzenia zraszające o wysokim ciśnieniu oraz systemy gaśnicze. Wózki jezdne pojazdów wyposażone zostały w dodatkowe zestawy kół lub opony o wzmocnionej i usztywnionej konstrukcji ścianek bocznych (tzw. run flat), które umożliwiają bezpieczne dotarcie pojazdu do najbliższej stacji. Ponadto, pojazdy kolei jednoszynowej wyposażone są w zaawansowane systemy sterowania ruchem, w tym umożliwiające całkowicie bezobsługową eksploatację systemu (CBTC – Communication Based Train Control). Urządzenia pokładowe oraz przytorowe pozwalają na dokładne określenie w czasie rzeczywistym położenie po-

ciągów oraz ich kluczowych parametrów. [3,5,10,13]

## Możliwości zastosowania technologii kolei jednoszynowej w Polsce

Ważnym aspektem wprowadzania nowego środka transportu do istniejącego systemu transportowego miast i całych aglomeracji jest analiza potrzeb komunikacyjnych. Analiza ta powinna obejmować odpowiednią identyfikację obszarów pod kątem możliwości budowy całej infrastruktury kolejowej w odpowiedzi na istniejące, niezaspokojone obecnie, jak również możliwe do przewidzenia w przyszłości potrzeby przewozowe. Powinna również udzielić odpowiedzi, w jaki sposób wprowadzenie nowego podsystemu transportowego rozwiąże istniejące problemy komunikacyjne i zapobiegnie przejściu pasażerów transportu zbiorowego przez indywidualny transport samochodowy, ze szczególnym uwzględnieniem alternatywy w postaci modernizacji lub rozbudowy już istniejących systemów transportu zbiorowego w analizowanej lokalizacji.

Prowadzenie trasy kolei jednoszynowej na podporach powyżej poziomu ulic jest obwarowane szeregiem uwarunkowań urbanistycznych – przestrzennych. Najlepszym terenem pod kolej jednoszynową jest szeroki bulwar lub droga z pasem rozdzielającym jezdnie, dzięki którym ogranicza się wystąpienie wywłaszczeń czy rozbiórrek. Dodatkowo, proponowana trasa powinna przebiegać przez gęsto zaludnione obszary, tj. obszary handlowe, mieszkaniowe, które będą gwarantować odpowiedni popyt, a także zapewniać intermodalny charakter systemu transportowego, tzn. obejmować swoim zakresem połączenia z innymi środkami transportu (kolej konwencjonalna, lotnisko, autobus, metro, tramwaj).

Kluczową kwestią w procesie wprowadzania nowej technologii jest od-

powiednie umiejscowienie wymagań i rozwiązań w obowiązującym systemie prawnym. Analiza dostępnych rozwiązań prawnych na świecie wykazała, że podejście do kolei jednoszynowej jest różne. Kolej jednoszynowa traktowana jest niekiedy jako kolej lekka (Włochy), na równi z transportem tramwajowym (Niemcy), czy jak tradycyjna kolej (Japonia).

Analiza obecnie obowiązujących regulacji prawnych w Polsce wykazała, że istnieją przepisy obejmujące swoim zakresem kolej jednoszynową. Są to:

- Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym, [16]
- Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie (Dz.U. 1998 nr 151 poz. 987 z późn. zmianami). [12]

Według [16] kolej jednoszynowa zaklasyfikowana jest do transportu innego szynowego, który określany jest jako „przewóz osób środkiem transportu poruszającym się po szynach lub torach kolejowych, w tym tramwajem lub metrem, lub przewóz osób środkiem transportu poruszającym się po jednej szynie lub na poduszkach powietrznych lub magnetycznych, inny niż transport kolejowy i transport linowo-terenowy”.

Zgodnie z [16] transport inny szynowy, a tym samym kolej jednoszynowa, zaliczany jest do publicznego transportu zbiorowego, jako powszechnie dostępny regularny przewóz osób wykonywany w określonych odstępach czasu i po określonej linii komunikacyjnej (liniach komunikacyjnych lub sieci komunikacyjnej), tj. po połączeniach komunikacyjnych po sieci dróg publicznych, liniach: kolejowych, innych szynowych, linowych, linowo-terenowych; akwenach morskich, lub wodach śródlądowych, wraz ze wskazanymi miejscami do wsiadania i wy-

siadania pasażerów.

Rozporządzenie [12] definiuje kolej jednoszynową jako kolej niekonwencjonalną, która definiowana jest jako:

- pojazd kolejowy poruszający się po nawierzchni nieszynowej, przy równoczesnym zachowaniu warunków powiązania drogi z pojazdem poprzez specjalną konstrukcję zespołu jezdnego pojazdu oraz drogi, lub
- pojazd kolejowy, który nie posiada kół napędowych wykorzystujących przyczepność i tarcie dla zmiany momentu obrotowego wytworzonego przez silnik trakcyjny w ruch postępowy.

Należy stwierdzić, że w polskim systemie prawnym funkcjonują już ogólne zapisy określające i definiujące kolej jednoszynową. Jednak aby umożliwić powstanie tej technologii w Polsce konieczne jest wprowadzenie przepisów wykonawczych, określających podstawowe wymagania, zasady budowy, bezpieczeństwa oraz inne niezbędne rozwiązania konieczne do uruchomienia tego środka transportu w Polsce. Mając na uwadze rozwiązania techniczne stosowane w kolei jednoszynowej oraz dotychczasowe regulacje prawne w polskich przepisach, rozsądnym wydaje się, aby nowa technologia traktowana była na podobnych zasadach jak kolej linowa, z niektórymi rozwiązaniami zapożyczonymi z kolei tradycyjnej (m.in. dotyczących bezpieczeństwa czy oceny ryzyka).

Traktowanie kolei jednoszynowej na podobnych zasadach jak kolej linową będzie wiązało się z koniecznością wprowadzenia zmian organizacyjnych, wynikających z rozszerzenia kompetencji niektórych organów i podmiotów odpowiedzialnych za transport kolejowy w Polsce, w tym przede wszystkim Urzędu Transportu Kolejowego (UTK) oraz Transportowego Dozoru Technicznego (TDT),

Zgodnie z ustawą o dozorze technicznym [17], do zakresu działania

Transportowego Dozoru Technicznego należy wykonywanie nadzoru technicznego m.in. nad urządzeniami technicznymi zainstalowanymi na obszarze kolejowym, w kolejowych pojazdach szynowych, na bocznicach kolejowych oraz nad osobowymi i towarowymi kolejami linowymi. Dozrowi podlegają urządzenia techniczne w toku ich projektowania, wytwarzania, w tym wytwarzania materiałów i elementów, naprawy i modernizacji, obrotu oraz eksploatacji.

Zgodnie z [18] Urząd Transportu Kolejowego, w zakresie transportu linowego odpowiedzialny jest za bezpieczeństwo, interoperacyjność i spójność techniczną transportu kolejowego a także wydawanie licencji i świadectw maszynistom. W zakresie kolei linowych przeznaczonych do przewozu osób, UTK jest organem wyspecjalizowanym do oceny zgodności, autoryzacji i notyfikacji, a także kontroli spełniania przez owe koleje zasadniczych i szczegółowych wymagań.

Analiza obecnych obowiązków oraz kompetencji w/w podmiotów odpowiedzialnych za nadzór kolei linowych wykazała, że w przypadku wprowadzenia nowego systemu transportu, jakim jest kolej jednoszynowa, konieczne będzie rozszerzenie kwalifikacji oraz powiększenie kadry.

## Podsumowanie

Kolej jednoszynową można uznać za jeden z najbezpieczniejszych środków transportu na świecie. Konstrukcja oraz przebieg trasy pozwalają na trawienie linii o dużych pochyleniach podłużnych (do 6-10%), małych promieniach łuków (minimalny promień skrętu 50 m), dodatkowo w zasadzie uniemożliwiają kolizję z innymi środkami transportu, dlatego też często kolej jednoszynowa wybierana jest w gęstych aglomeracjach, centrach biznesowych i terenach mieszkalnych. Najbardziej rozpowszechnionym systemem kolei jednoszynowej stos-

wanym na całym świecie jest system siodłowy - ALWEG, zaś system SAFEGE (typ podwieszany) wykorzystywany jest najczęściej w lokalizacjach, w których występują mniej korzystne warunki atmosferyczne. Oferowane rozwiązania kolei jednoszynowej są w całości kompletne, tzn. obejmują wszystkie elementy niezbędne do funkcjonowania systemu tj. pojazdy, infrastrukturę, stacje, systemy zasilania i sterowania ruchem.

W polskich przepisach prawnych, funkcjonują już ogólne zapisy określające i definiujące kolej jednoszynową. Jednak, aby umożliwić powstanie tej technologii w Polsce konieczne jest wprowadzenie przepisów wykonawczych, określających podstawowe wymagania, zasady budowy, bezpieczeństwa oraz inne niezbędne rozwiązania konieczne do uruchomienia tego środka transportu w Polsce. Uruchomienie kolei jednoszynowej w Polsce będzie wiązało się również z wprowadzeniem przepisów rozszerzających kompetencje organów odpowiedzialnych za bezpieczeństwo w transporcie kolejowym (TDT, UTK). Wydaje się rozsądnym, aby kolej jednoszynowa traktowana była na podobnych zasadach jak kolej linowa, z niektórymi rozwiązaniami zapożyczonymi z kolei klasycznej (kwestie bezpieczeństwa, oceny ryzyka, czy palności materiałów). ◀

## Materiały źródłowe

- [1] Atkins, Monorail assessment report for the i-24 southeast corridor, 2015, [https://www.tn.gov/content/dam/tn/tdot/documents/government-how-do-i-documents/Studies/I-24/SE\\_Corridor\\_Monorail\\_Revised\\_Final\\_Report\\_020215.pdf](https://www.tn.gov/content/dam/tn/tdot/documents/government-how-do-i-documents/Studies/I-24/SE_Corridor_Monorail_Revised_Final_Report_020215.pdf), dostęp: 05.09.2020 r.
- [2] Brackett Q., Biswas M., Lucy S.H., Monorail Technologi Study. Task I: A review of monorail system, <https://static.tti.tamu.edu/tti.tamu.edu/documents/TTI-1982-ID19187.pdf>, dostęp 07.09.2020 r.
- [3] Bednarek D., Gisterek I., Bezpieczeństwo kolei jednoszynowych, Przegląd Komunikacyjny, 2015, nr 9, s. 87-89.
- [4] Bednarek D., Bryja D., Układy konstrukcyjne kolei jednoszynowych, Przegląd Komunikacyjny, 2015, nr 6, s. 28-32.
- [5] Dohwa, Light Railway & Subway, [http://www.dohwa.co.kr/pr/pr03.do?languageChk=E\\_File-Down'Light\\_Railwy.pdf](http://www.dohwa.co.kr/pr/pr03.do?languageChk=E_File-Down'Light_Railwy.pdf), dostęp: 05.09.2020 r.
- [6] Garcia J., Investigators: lack of safety protocols at Disney contributed to 2009 monorail accident, Orlando Sentinel, 31 październik, 2011.
- [7] Graff M., Nakamura A., Kolej jednoszynowa w Tokio, Technika Transportu Szynowego, 2018; nr 288(4), s. 39-42.
- [8] Kennedy R., Considering monorail rapid transit for North American cities; <http://citeseerx.ist.psu.edu/>; dostęp: 04.09.2020.
- [9] Kikuchi S., Onuka A., Monorail Development and Application In Japan, Journal of Advanced Transportation 1988 r., Vol. 22.
- [10] Kimijima N., Kim S.J., Furuta K., Sakatsume T., Daegu Urban Railway Line 3 Monorail System in South Korea, Hitachi Review, 2017, Vol. 66, No. 2, p. 125-132.
- [11] Naemi M., Tatari M., Esmaeilzadeh A., Dynamics of the monorail train subjected to the braking on a straight guideway bridge, Archive of Mechanical Engineering, 2015, vol. 62, no 3.
- [12] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie (Dz.U. 1998 nr 151 poz. 987 z późn. zmianami).
- [13] Timan P., Why Monorail Systems Provide a Great Solution for Metropolitan Areas, Urban Rail Transit, 2015, vol. 1, p.13–25.
- [14] The Maryland Department of Transportation, Monorail Global ScanMay, [http://www.mdot.maryland.gov/newMDOT/Planning/Monorail\\_Feasibility/Images%20and%20Documents/Monorail\\_Global\\_Scan\\_May\\_2020.pdf](http://www.mdot.maryland.gov/newMDOT/Planning/Monorail_Feasibility/Images%20and%20Documents/Monorail_Global_Scan_May_2020.pdf), dostęp: 06.09.2020 r.
- [15] The Mass Rapid Transit Authority of Thailand, Environmental Impact Assessment. THA: Bangkok Mass Rapid Transit (Pink Line), 2017, part 2.
- [16] Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym (tekst jednolity: Dz.U. 2019 poz. 2475).
- [17] Ustawa z dnia 21 grudnia 2000 r. o dozorze technicznym (tekst jednolity Dz.U. 2019 poz. 667).
- [18] Ustawa z dnia 28 marca 2003 r. o transporcie kolejowym (tekst jednolity: Dz.U. 2020 poz. 1043).
- [19] Wuppertal, Suspension Railway, [https://www.kiepe.knorr-bremse.com/Rail%20Vehicles/light-rail-vehicles-and-tramways/references/vkprodukt.2014-01-21.0528641766/vkprodukt\\_download](https://www.kiepe.knorr-bremse.com/Rail%20Vehicles/light-rail-vehicles-and-tramways/references/vkprodukt.2014-01-21.0528641766/vkprodukt_download), dostęp: 07.09.2020 r.
- [20] <http://citytransport.info>, dostęp: 05.09.2020 r.
- [21] [www.i.redd.it](http://www.i.redd.it), dostęp: 05.09.2020 r.
- [22] [www.kamakura-enoshima-monorail.jp/fun/index.html](http://www.kamakura-enoshima-monorail.jp/fun/index.html), dostęp: 05.09.2020 r.
- [23] <http://www.monorails.org>, dostęp: 05.09.2020 r.
- [24] <https://www.monorailsaustralia.com.au>, dostęp: 05.09.2020 r.
- [25] [www.railjournal.com](http://www.railjournal.com), dostęp: 05.09.2020 r.
- [26] <http://www.urbanrail.net>, dostęp: 05.09.2020 r.
- [27] <https://www.urban-transport-magazine.com/>, dostęp: 05.09.2020 r.
- [28] [www.youtube.com](http://www.youtube.com), dostęp: 05.09.2020 r.