

NOWOCZESNE ROZWIĄZANIE TRANSPORTU PUBLICZNEGO NA PRZYKŁADZIE SYSTEMU INNOVIA MONORAIL 300¹

Emilia Koper

mgr inż., Ośrodek Certyfikacji Transportu na Wydziale Transportu Politechniki Warszawskiej, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, tel.: +48 22 234 1441, e-mail: eko@wt.pw.edu.pl

Andrzej Kochan

dr inż., Ośrodek Certyfikacji Transportu na Wydziale Transportu Politechniki Warszawskiej, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, tel.: +48 22 234 1441, e-mail: ako@wt.pw.edu.pl

***Streszczenie.** Niniejszy artykuł prezentuje nowoczesne rozwiązanie transportu publicznego na przykładzie systemu INNOVIA Monorail 300. W artykule przedstawiono produkt firmy Bombardier, cechy charakterystyczne systemu, aspekty istotne z punktu widzenia projektowania oraz jego komponenty. Omówiono pokrótce stan prawny przedmiotowej formy transportu oraz wskazano sposób weryfikacji bezpieczeństwa systemu.*

***Słowa kluczowe:** kolej jednoszynowa, INNOVIA Monorail 300, dowód bezpieczeństwa*

1. Wstęp

Transport publiczny odgrywa dużą rolę społeczną, umożliwiającą obywatelom, niezależnie od ich zamożności, uzyskanie dostępu do usług transportowych. W dobie dynamicznego rozwoju technologii na rynku pojawiają się nowe rozwiązania w zakresie transportu publicznego. Dotyczy to zarówno nowatorskich środków transportu, jak również nowoczesnych systemów sterowania ruchem i kontroli jazdy pociągu.

Coraz szerzej spotykanym zjawiskiem jest obecność kołowych oraz szynowych pojazdów autonomicznych i automatycznych. Nowobudowane systemy mają na celu zapewnienie najwyższego poziomu bezpieczeństwa, niezawodności i dostępności, przy zoptymalizowanym zużyciu energii, zminimalizowanych kosztach: budowy, eksploatacji i utrzymania, zapewniających jednocześnie wymagane parametry eksploatacyjne, takie jak przepustowość czy czas następstwa. Przykładem takich rozwiązań jest kolej jednoszynowa (ang. monorail).

Historia kolei jednoszynowej sięga XIX wieku. Szybkie i ekonomiczne w budowie koleje jednoszynowe są aktualnie rozwiązaniem coraz częściej spotykanym na całym świecie, jako atrakcyjne rozwiązanie dla transportu miejskiego. Ogólnie istnieją dwa rodzaje kolei jednoszynowej:

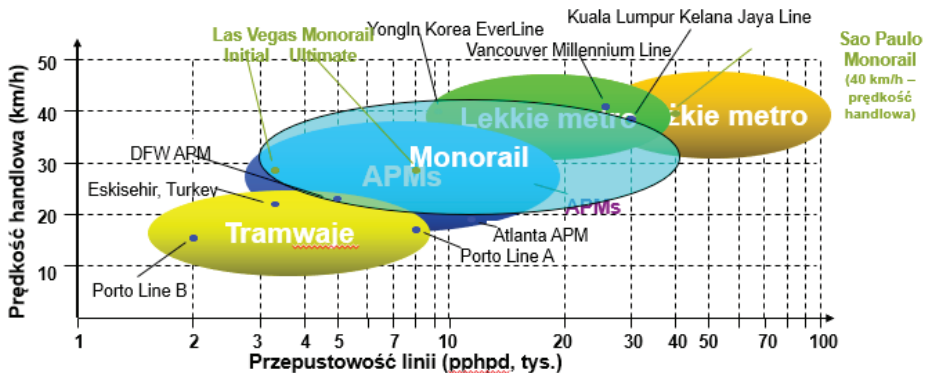
1 Wkład autorów w publikację: Koper E. 50%, Kochan A. 50%

- kolej zawieszona (suspension railway), gdzie pojazd porusza się pod torem zbudowanym na estakadzie,
- kolej, w której pojazd porusza się po torze zbudowanym na estakadzie.

Firma Bombardier Transportation opracowała produkt drugiego z wymienionych typów – system INNOVIA Monorail 300, który potencjalnie może zostać zaimplementowany w Polsce.

2. Koncepcja systemu INNOVIA Monorail 300

System INNOVIA Monorail 300 reprezentuje rozwiązanie oparte na jednej szynie (ang. monorail). Został zaimplementowany w 2014 roku w Sao Paulo (Brazylia) oraz Riyadh (Arabia Saudyjska). W Europie zbliżony system transportu - APM (ang. Automated People Mover) został zainstalowany na linii prowadzącej na lotnisko w Monachium [15,16]. System INNOVIA Monorail 300 jest wynikiem ewolucji systemu INNOVIA pierwszej i drugiej generacji. Może on stanowić doskonały kompromis pomiędzy tramwajami a metrem. Umieszczenie systemu Monorail w systemach transportu publicznego przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Umieszczenie systemu Monorail w systemach transportu publicznego
Źródło: opracowanie własne na podstawie [5]

Zaletami kolei jednoszynowej, w tym systemu INNOVIA Monorail 300 w odniesieniu do znanych systemów transportowych są:

- możliwość implementacji w trudnych warunkach terenowych (duże pochylenia, ciasne luki), uniemożliwiających realizację lub znacząco zwiększających koszty budowy innej formy transportu masowego, np. metra,
- stosunkowo krótki czas wdrożenia systemu związany m.in. z brakiem konieczności drążenia tunelu, typowego dla budowy metra,
- możliwość implementacji przy minimalnych zakłóceniach, w przeciwieństwie do budowy np. metra, wymagającej zazwyczaj występowania kilkuletnich ograniczeń dla pasażerów/mieszkańców, wynikających np. z potrzeby „wyłączenia” z możliwości korzystania z danego terenu,

- rozwiązanie tańsze niż budowa np. linii metra,
- kompletność rozwiązania – oferowany system stanowi integralną całość – w przeciwieństwie do np. metra, gdzie występują różni producenci poszczególnych elementów systemu, tj. taboru, infrastruktury, systemu sterowania, itp., co zwiększa koszt budowy, integracji oraz eksploatacji.

Ponadto przedmiotowe rozwiązanie charakteryzuje się następującymi cechami:

- niski poziom hałasu, związany z wykorzystaniem nowoczesnych materiałów konstrukcyjnych,
- estetyka rozwiązania, umożliwiająca dostosowanie do charakteru otoczenia,
- możliwości przewozowe przekraczające 5000 pphd (ang. pphd – passenger per hour per direction).

Tabela 1 przedstawia podstawowe dane opisujące system INNOVIA Monorail 300.

Tabela 1. Podstawowe dane systemu INNOVIA Monorail 300

Lp.	Charakterystyka systemu	
1.	maksymalna prędkość	80 km/h
2.	minimalny promień łuku poziomego	46 m
3.	minimalny promień łuku pionowego	457 m
4.	zalecany maksymalny gradient	6%
5.	maksymalny gradient	10%
6.	liczba wagonów	2-8
7.	zasilanie	750V (DC)
8.	liczba pasażerów przemieszczających się w ciągu godziny w danym kierunku (PPHPD) dla wariantu: 4 os./m ² / 6 os./m ²	16000/22600
9.	system sterowania i kontroli jazdy (ATC)	CITYFLO 650

Źródło: {5}

System INNOVIA Monorail 300 wyposażony jest w zaawansowane technologie w celu zapewnienia bezpieczeństwa pasażerów. Do rozwiązań tych należą:

- systemy informacji pasażerskiej,
- dwukierunkowa komunikacja pomiędzy pasażerem a centrum sterowania,
- perony wyposażone w drzwi uniemożliwiające przedostaniu się przeskody na tor,
- systemy monitoringu, umożliwiające zatrzymanie pojazdu w przypadku wykrycia zagrożenia.

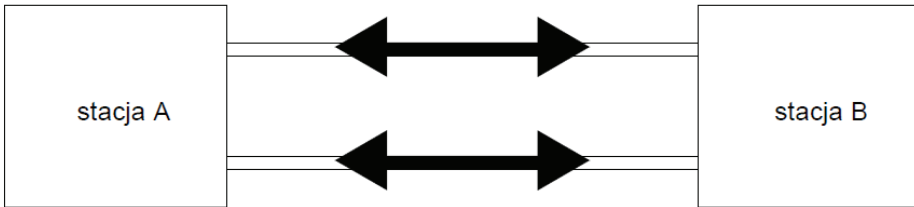
Istotnym aspektem systemu INNOVIA Monorail 300 jest zarządzanie energią. Producent oferuje narzędzie – EnerGplan, które zostało opracowane w celu zminimalizowania zużycia energii oraz wpływu na środowisko.

Istotnym elementem docelowej implementacji systemu INNOVIA Monorail 300 jest projektowanie systemu. Najważniejsze aspekty z punktu widzenia projektowania systemu przedstawiono w punktach 2.1, 2.2, 2.3 artykułu.

2.1. Przebieg trasy i konfiguracja systemu

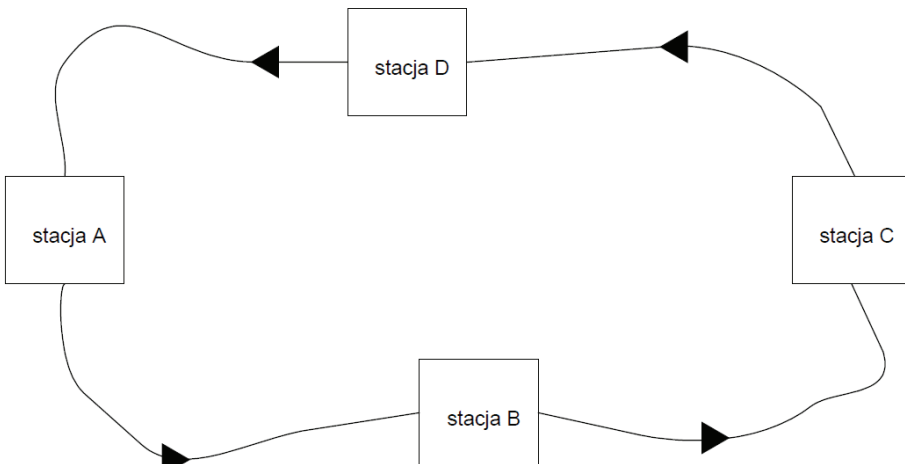
System INNOVIA Monorail 300 może zostać dostosowany do istniejącego wyposażenia, ukształtowania terenu, liczby stacji, przewidywanego natężenia ruchu pasażerskiego oraz budżetu Zamawiającego. Wytyczenie trasy jest krytycznym etapem w projektowaniu systemu. Planujący trasę mają możliwość wyboru następujących konfiguracji:

- wahadło (ang. shuttle),
- pętla (ang. loop),
- pętle z możliwością zmiany toru (ang. pinched loop),
- kombinacja powyższych [4].



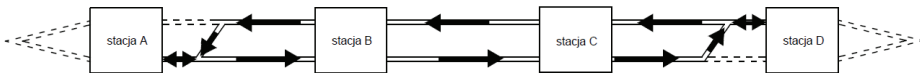
Rys. 2. Konfiguracja trasy – wahadło
Źródło: opracowanie własne na podstawie [4]

Wahadło – stanowi najmniej złożoną konfigurację trasy systemu, w której pociąg operuje na każdym „torze” dwutorowej trasy (szlaku). Po dojechaniu do stacji końcowej i opuszczeniu pociągu przez pasażerów pojazd zawraca i porusza się w przeciwnym kierunku, aż do kolejnej stacji końcowej. Konfiguracja ta sprawdza się w przypadku linii z dwoma lub trzema stacjami, zaś w przypadku występowania większej liczby stacji zauważalny jest spadek przepustowości oraz zwiększenie czasów następstwa.



Rys. 3. Konfiguracja trasy – pętla
Źródło: opracowanie własne na podstawie [4]

Konfiguracja trasy w postaci pętli jest odpowiednia dla obszarów, w których przestrzeń jest mniej ograniczona, co pozwala na „zamknięcie” pętli. Pętle cechują się najlepszymi parametrami eksploatacyjnymi wśród tras, na których wstępują duża liczba stacji. Konfiguracja ta pozwala na elastyczne dostosowanie trasy do wzrastającej liczby pasażerów nie tylko poprzez zwiększenie liczby wagonów w pociągu, lecz także poprzez zaprojektowanie dodatkowych stacji i uwzględnienie ich w pętli. Pętle można projektować w konfiguracji jedno i dwupasmowej. Rozwiązanie dwupasmowe jest droższe, jednak oferuje większą elastyczność i mniejsze zakłócenia w przypadku awarii lub podczas wykonywania prac konserwacyjnych.



Rys. 4. Konfiguracja trasy - pętla z możliwością zmiany toru

Źródło: opracowanie własne na podstawie [4]

W przypadku obszarów o ograniczonej możliwości konfiguracji dostępna jest forma pętli z możliwością zmiany toru, posiadająca cechy zarówno wahadła, jak i pętli. W tej konfiguracji pociągi mogą zmienić tor jazdy dzięki rozjazdom znajdującym się na obu końcach linii, dzięki czemu jazda pociągów odbywa się w dwóch kierunkach na dwóch równoległych torach. W celu zminimalizowania czasów następstwa oraz poprawy przepustowości - rozjazdy (zwrotnice) powinny być umieszczone jak najbliżej stacji, umożliwiając wielu pociągom jazdę w dwóch kierunkach.

2.2. System sterowania ruchem i kontroli pociągu

W systemie INNOVIA Monorail 300 dla sterowania ruchem i kontroli pociągu wykorzystano rozwiązanie z rodziny systemów klasy CBTC (ang. Communication Based Train Control) system CITYFLO 650, umożliwiający realizację funkcji ATC (ang. Automatic Train Control) [2]. System ten realizuje funkcje ATP, ATO oraz ATS, co przedstawiono w tabeli 2. Wykorzystanie rozwiązania CITYFLO 650 zapewnia czas następstwa poniżej 90 s.

System CITYFLO 650 umożliwia minimalizację liczby urządzeń przytorowych i zastępuje je prostą i niezawodną komunikacją pojazd-tor, a co za tym idzie ogranicza potrzebę i koszty wynikające z utrzymania urządzeń przytorowych. Dzięki czujnikom zainstalowanym na pojeździe określana jest prędkość oraz położenie pociągu, dzięki czemu system operuje zgodnie z zasadą „ruchomego odstępu blokowego” (ang. moving block).

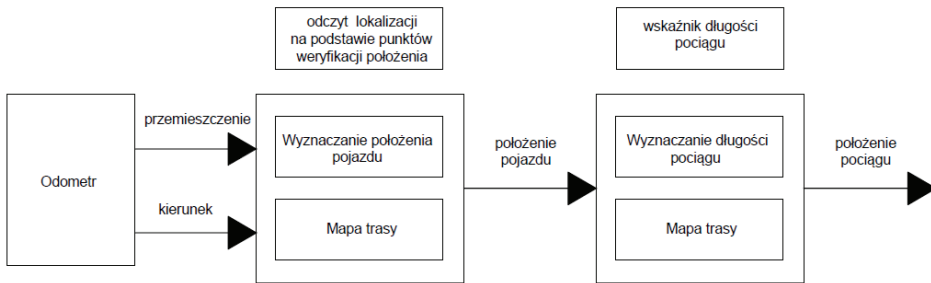
Położenie pociągu wyznaczone jest z wykorzystaniem:

- punktów weryfikacji położenia (ang. norming point tags), instalowanych wzdłuż torowiska, wykorzystujących technologię znaczników RFID,
- odometr,
- radaru Dopplera,
- innych urządzeń pokładowych (wskaźnik długości pociągu).

Tabela 2. Funkcje ATP, ATO, ATS realizowane przez system CITYFLO 650

Bezpieczeństwo	Optymalizacja	Nadzór
ATP	ATO	ATS
<ul style="list-style-type: none"> sterowanie urządzeniami, nastawienie i utwierdzenie drogi przebiegu, wyznaczanie lokalizacji pociągu, ograniczenie prędkości (w tym tymczasowe), bezpieczna separacja pociągów, sterowanie drzwiami – zamykanie/otwieranie, wykrywanie prędkości zerowej, drzwi awaryjne zamknięte i monitorowanie, integralność pociągu, określenie długości pociągu. 	<ul style="list-style-type: none"> profil prędkości / strategię jazdy, precyzyjne zatrzymanie na stacji, automatyczne zawracanie, zdalne włączenie/wyłączenie pociągu, optymalizacja prędkości na pokładzie w celu zminimalizowania zużycia energii, zaawansowana diagnostyka. 	<ul style="list-style-type: none"> monitorowanie położenia pociągu, interfejs MMI, zarządzanie alarmami, aktywacja zobrazowania stacji, automatyczne wyznaczanie tras pociągów, automatyczna regulacja ruchu pociągu – sterowanie zatrzymaniem, automatyczna regulacja ruchu pociągu - strategię jazdy, zatrzymanie na stacji, hamowanie awaryjne, zdalne resetowanie pociągu.

Źródło: {1}



Rys. 5. Wyznaczanie położenia pociągu w systemie INNOVIA Monorail 300

Źródło: opracowanie własne na podstawie {1}

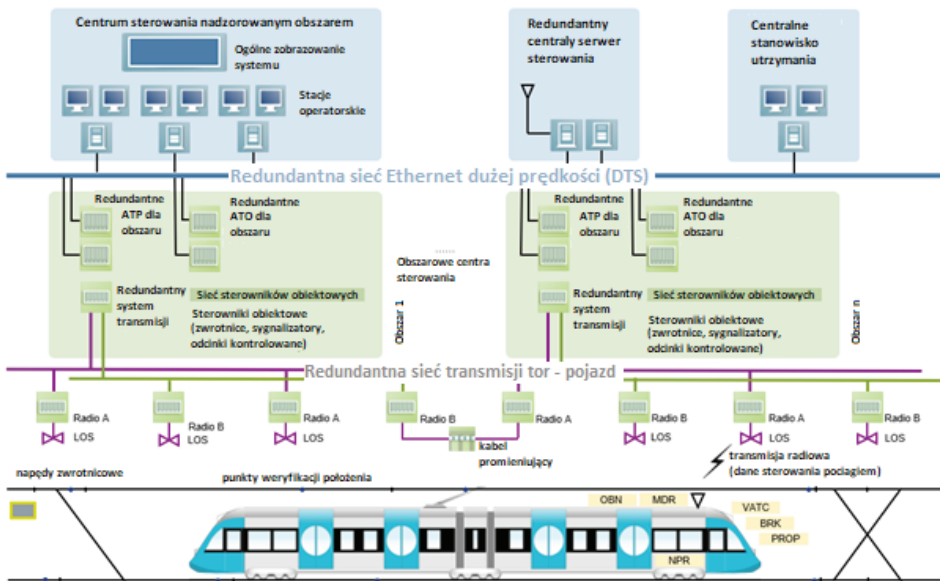
Komputer pokładowy wyznacza także miejsca niebezpieczne (np. tył poprzedzającego pojazdu), zbliżanie się do kozła oporowego, utwierdzoną drogę przebiegu dla innego pojazdu.

Komunikacja pojazd-tor osiągnięta jest przez dwukierunkową, szerokopasmową łączność bezprzewodową, wykorzystującą nielicencjonowane pasmo ISM o częstotliwościach od 2400 MHz do 2483,5 MHz.

System CITYFLO 650 cechuje się najwyższym poziomem nienaruszalności bezpieczeństwa – SIL 4 (ang. safety integrity level) według standardu PN-EN 50129 [9] oraz jest zgodny z normami IEEE 1474.1[2] i 1474.2 [3].

Trasa (szlak) w systemie podzielona jest programowo na obszary (ang. regions) oraz segmenty (ang. segments). Obszar steruje odcinkiem toru i podzielony jest na segmenty, zaś dane te są przechowywane w mapie trasy. Rozmiar obszaru uzależniony jest od liczby obiektów, długości i krzywizn układu torowego oraz liczby pociągów operujących w danym czasie [1].

Każdy obszar cechuje się redundancją w postaci gorącej rezerwy ATP oraz redundantną siecią radiokomunikacyjną.



Rys. 6. Architektura systemu CITYFLO 650

Źródło: {1}

Do komponentów systemu CITYFLO 650 należą m.in:

- urządzenia przytorowe i pokładowe ATP (ang. automatic train protection) oraz ATO (ang. automatic train operation),
- komunikacja pojazd-tor - TWC (ang. Train-to-wayside communications),
- sieć przytorowa do komunikacji pomiędzy komputerami w poszczególnych obszarach oraz opcjonalnie pomiędzy komputerami centrum sterowania.

Ponadto rozwiązanie CITYFLO 650, wykorzystywane w systemie INNOVIA Monorail 300 cechuje się:

- zweryfikowaną pod kątem bezpieczeństwa realizacją funkcji ATC,
- niezawodną i bezpieczną łącznością bezprzewodową,
- w pełni redundantną konfiguracją,
- zastosowaniem standardowych interfejsów dla przemysłu,
- rozproszoną i skalowalną architekturą,
- niskimi kosztami cyklu życia.

Systemy, które obsługują funkcję ATC rozwiązania CITYFLO 650 mogą być eksploatowane w trybie automatycznym i w trybie ręcznym bez kontroli ATP. Dla systemu CITYFLO 650 zdefiniowano następujący tryby pracy:

- ręczny (ang. manual)/jazda na widoczność,
- ciągły nadzór ATP (ATP - GoA1),
- półautomatyczny ruch pociągu (STO – GoA2),
- ruch pociągu bez maszynisty (DTO – GoA3),
- automatyczny (nieobsługiwany) ruch pociągu (UTO – GoA4) [1].

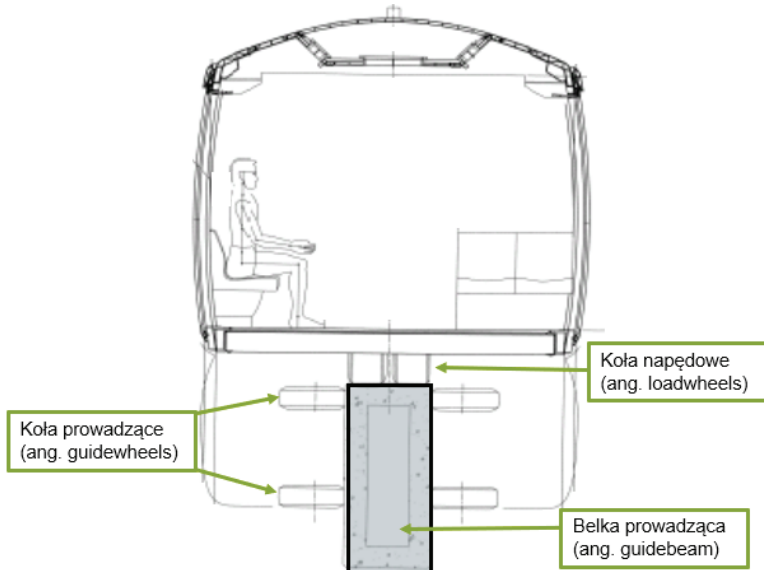
Stopnie automatyzacji (ang. Grades of Automation) oraz ich charakterystyki omówiono w [7,11,12].

Rozwiązanie CITYFLO 650 mimo, iż opracowane zostało do jazdy bez maszynisty, funkcja ATC pozwala na interwencję człowieka na różnych poziomach, w zależności od zastosowania. W trybie automatycznym operator pociągu może na przykład inicjować odjazdy i zamykać drzwi stacji. W trybie ręcznym działania maszynisty są nadrzędne względem ATP, jednakże w trybie ręcznym prędkość pojazdu jest znacząco ograniczona (zazwyczaj 8-12 km/h). Ruch pociągu w trybie ręcznym jest możliwy za pośrednictwem stanowiska manualnej obsługi w pociągu lub w trybie zdalnego sterowania przez personel centrum sterowania.

2.3. Tabor i infrastruktura

System INNOVIA Monorail 300 wymaga zastosowania odpowiedniej infrastruktury, typowej dla systemu. Torowisko zbudowane jest na specjalnej estakadzie, po której poruszają się pociągi systemu „obejmujące” szynę. Wyniesienie torowiska na estakadę pozwala na stosowanie rozwiązania w obszarach zatłoczonych oraz o ograniczonych zasobach przestrzennych. Zaprojektowane pojazdy INNOVIA Monorail 300 łączą w sobie estetykę z komfortem jazdy. Trzecia generacja pociągów systemu INNOVIA Monorail to elegancki i nowoczesny pojazd wyposażony w energooszczędne technologie.

Tabor cechuje się także smukłym kształtem – minimalizującym opory powietrza oraz gumowymi oponami, zapewniającymi niski poziom emisji hałasu. Ze względu na konstrukcję wózka oraz torowiska, pojazdy tego systemu posiadają naturalną niezdolność do wykołowania, ponieważ koła toczące się po bokach prowadnicy stabilizują pojazd, wywierając nacisk na belkę prowadzącą (ang. guidebeam). Sposób prowadzenia kół pojazdu po szynie (belce prowadzącej) przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Sposób prowadzenia kół pojazdu po szynie (belce prowadzącej)

Źródło: opracowanie własne na podstawie [5]

3. Stan prawny systemu kolei jednoszynowej

Według [17] kolej jednoszynowa zaklasyfikowana jest jako „transport inny szynowy”, zdefiniowany 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 liniowo-terenowy” [17]. Z kolei transport kolejowy zdefiniowany jest jako „przewóz osób środkiem transportu poruszającym się po torach kolejowych, z wyłączeniem środków, które służą do przewozu osób w transporcie innym szynowym” [18].

Należy zaznaczyć, że dla tak zdefiniowanej kategorii tego typu transportu, nie zostały opracowane w prawie polskim wymagania. Po wykonaniu odpowiednich analiz należy znaleźć odpowiedź na pytanie: w jakim trybie i na podstawie jakich wymagań powinny być dopuszczane do eksploatacji systemy i środki transportu poruszające się po jednej szynie. Z drugiej strony zauważalne są liczne podobieństwa kolei jednoszynowej do tradycyjnego transportu kolejowego oraz metra, podlegające w myśl [19] procesowi dopuszczenia do eksploatacji typu zgodnie z rozporządzeniem [14]. Niezależnie od wybranej ścieżki certyfikacji niezaprzeczalnym wymaganiem, jakie powinno zostać zagwarantowane przez system jest bezpieczeństwo.

7. Weryfikacja bezpieczeństwa systemu INNOVIA Monorail 300

Innovia Monorail 300 to innowacyjny środek transportu. Rozwiązania techniczne w nim stosowane umożliwiają automatyczne poruszanie się pojazdów po torze (pojedyncza szyna) wyznaczającym trasę pomiędzy kolejnymi stacjami. W związku z tak zaawansowaną funkcjonalnością wymaga się, aby cały system został zaprojektowany jako bezpieczny środek transportu o wysokiej dostępności.

Obecnie w Polsce nie ma określonych wytycznych dla oceny bezpieczeństwa tego typu transportu szynowego (przypomnijmy, że w świetle ustawy o publicznym transporcie zbiorowym należy mówić o „transporcie innym szynowym”) w zakresie oceny bezpieczeństwa. Intuicyjnie należy szukać rozwiązań w normach CENELEC, a przede wszystkim w EN 50126 [10] i EN 50129 [9], która skupia się na dowodzie bezpieczeństwa typu urządzenia, wyrobu i jego aplikacji. Biorąc pod uwagę złożoność systemu, należy zwrócić uwagę, że zgodnie z [6] wysokie wymagania formułowane we wspomnianych normach (poziom nienaruszalności bezpieczeństwa SIL-4) powinny dotyczyć funkcji systemu, które są odpowiedzialne za bezpieczeństwo osób biorących udział w procesie transportowym, natomiast nie powinny być nadużywane w stosunku do innych.

Identyfikując te funkcje można odwołać się do normy [11] określającej poziom automatyzacji systemów transportu szynowego. Rozwiązanie w postaci Innovia Monorail 300 wprowadza najwyższy poziom automatyzacji GoA4, gdzie zakładana

jest automatyczna jazda pojazdu bez udziału personelu. Według normy [11] funkcje odpowiedzialne za bezpieczeństwo umożliwiające realizację takiej jazdy to:

- zapewnienie bezpiecznej drogi jazdy,
- zapewnienie bezpiecznej separacji pociągów,
- zapewnienie bezpiecznej prędkości,
- sterowanie przyspieszeniem i hamowaniem z zachowaniem bezpieczeństwa i komfortu podróży pasażerów,
- zapobieganie kolizjom z przeszkodami,
- zapobieganie kolizjom z osobami na torach,
- kontrola zamknięcia drzwi dla pasażerów,
- zapobieganie zranieniom osób między wagonami lub między peronem a pociągiem,
- zapewnienie bezpiecznych warunków rozpoczęcia jazdy,
- uruchomienie i unieruchomienie (wyłączenie) pociągu,
- nadzór nad statusem pociągu,
- wykrywanie ognia/dymu, wykolejenia, ciągłości pociągu, zgłoszeń pasażerów np. ewakuacji, pomocy.

Kompleksowe podejście do bezpieczeństwa w ramach procesu RAMS, określonego w normie PN-EN 50126 [10] wymaga sporządzenia dowodów bezpieczeństwa i dowodów dostępności oraz odpowiedniej dokumentacji wszystkich faz RAMS. Zgromadzone w ten sposób dokumenty są wystarczającym i odpowiednim potwierdzeniem zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa dla uzyskania zezwolenia na eksploatację, jak również dla kolejnych faz cyklu życia, tj. użytkowania, utrzymania i wycofania produktu z eksploatacji.

Dla RAMS bezwzględnie wymagana jest dobrze ustrukturyzowana, przejrzysta, kompletna i zrozumiała dokumentacja całego systemu, aby zapewnić pozbawioną luk, hierarchiczną strukturę dowodów.

Przeprowadzenie dowodu następuje zgodnie z wymaganiami normatywnymi. Między innymi należy prowadzić i na bieżąco aktualizować poniższe dokumenty w trakcie cyklu życia RAMS. Należy sporządzić i na bieżąco aktualizować dokumentację dla programu RAM i planu bezpieczeństwa oraz rejestru zagrożeń (ang. Hazard Log).

Najważniejszymi dokumentami wynikowymi dla każdej fazy są między innymi:

- Faza 1 – koncepcji: Struktura zarządzania pozwalająca spełnić wymagania RAMS fazy 2, 3 i 4.
- Faza 2 – definicji systemu: Plan bezpieczeństwa.
- Faza 3 – analizy ryzyka: Rejestr zagrożeń (ang. Hazard Log).
- Faza 4 – wymagań systemowych: Plan walidacji RAMS / Program RAM.
- Faza 5 – przyporządkowania wymagań systemowych: Zaktualizowany plan bezpieczeństwa i walidacji.
- Faza 6 – konstrukcji i implementacji: Zasadniczy dowód bezpieczeństwa systemowego, w razie potrzeby dowód bezpieczeństwa zastosowania.
- Faza 7 – produkcji: Dowód nadrzędnego bezpieczeństwa.
- Faza 8 – instalacji i montażu: Dokumentacja procesu montażowego
Kontrola i optymalizacja planu bezpieczeństwa (po montażu).

Faza 9 – walidacji, uruchomienia, odbioru bezpieczeństwa: Dokumentacja procesu walidacji, dowodu bezpieczeństwa zastosowania, jeśli nie został już wykonany w fazie 6.

Faza 10 – eksploatacji: Aktualizacja rejestru zagrożeń (zapis każdego pozostałego zagrożenia).

Dalsze znaczące dokumenty określa norma EN 50126 [10] i inne mające zastosowanie normy CENELEC.

Dla dowodu bezpieczeństwa, do którego prowadzenia zobowiązany jest producent systemu, musi zostać zdefiniowane kryterium akceptacji ryzyka. Na podstawie porównywalnych systemów transportu dla implementacji na rynku niemieckim ustalono wartość rzędu $2,3 \times 10^{-9}$ przypadków śmiertelnych na jedną osobę w każdej godzinie i przy każdym przejeździe. Dla tej aplikacji, w wyniku ogólnej oceny ryzyka, z naciskiem na bezpieczeństwo systemu, zidentyfikowano m.in. poniższe systemy funkcjonalne jako znaczące dla bezpieczeństwa:

- interfejs pomiędzy peronem i pojazdem (np. drzwi peronu, szczelina między peronem i pojazdem, drzwi pojazdu, otwarcie awaryjne, urządzenia ostrzegawcze),
- technika sterowania pojazdem (m.in. napęd, hamulec, sygnalizacja, zasilanie i akumulacja energii),
- urządzenia bezpieczeństwa pociągu,
- sygnalizacja pożarowa i gaszenie pożaru,
- sprzęg pojazdów (jeśli występuje między pojazdami),
- system czujników na trasie przejazdu i na peronie (m.in. rozpoznawanie pozycji),
- ruchome elementy układu torowego (np. rozjazdy),
- komunikacja między pasażerem i centralą sterowania (m.in. interkomy awaryjne, głośniki).

W procesie aplikacji systemu wszyscy interesariusze muszą wykazywać kompetencje w zakresie bezpieczeństwa w różnych fazach cyklu życia systemu. W tabeli 3 przedstawiono potrzeby w tym zakresie określane przez normę EN 50126 [10].

Tabela 3. Kompetencje w procesie RAMS

Faza	Koncepcja	Definicja	Analiza ryzyka	Wymagania	Podział	Konstrukcja	Produkcja	Montaż	Walidacja	Odbiór	Eksploatacja	Monitoring	Zmiany	Wyłączenie
Klient / Operator	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X
Zezwolenie urzędowe				X					X	X				
Główny wykonawca			X		X	X	X	X	X		X	X	X	X
Podwykonawca						X	X	X	X		X	X	X	
Dostawcy							X							

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [10]

Jak można zauważyć nie mniejszą rolę niż wykonawca odgrywa tutaj operator. Jeżeli odpowiedzialność producenta leży głównie po stronie rozwiązań technicznych, to operator odgrywa główną rolę w projektowaniu integracji systemu z jego otoczeniem, definiowaniu parametrów wydajnościowych, projektowaniu i realizacji procesów operacyjnych i utrzymaniowych.

Analogiczny proces przeprowadzono dla rozwiązania stosowanego w Monachium [13,15,16].

5. Podsumowanie

System INNOVIA Monorail 300 firmy Bombardier Transportation, jako rozwiązanie innowacyjne, stanowiące uzupełnienie dotychczas stosowanych form transportu jest doskonałym rozwiązaniem w przypadku występowania trudnych warunków terenowych w postaci dużych gradientów nachylenia i ciasnych łuków. Może być zrealizowane zarówno na estakadach jak i w tunelach.

Jest to kompletny system transportowy obejmujący pojazdy oraz infrastrukturę, po której przemieszczają się te pojazdy, na którą składają się tory, stacje, systemy zasilania i sterowania.

System umożliwia jazdę pojazdów w różnych trybach, lecz najatrakcyjniejszym wydaje się tryb w pełni automatyczny z możliwością nadzoru z centrum sterowania. W związku z tak zaawansowaną funkcjonalnością wymaga się, aby cały system został zaprojektowany i wdrożony jako bezpieczny środek transportu o wysokiej dostępności.

Wymagane jest kompleksowe podejście do bezpieczeństwa, które we wszystkich przypadkach zastosowań kolejowych ma swoje źródło w normie PN-EN 50126 [10] i innych normach CENELEC.

Należy zaznaczyć, że dla tak zdefiniowanej kategorii transportu nie zostały opracowane w prawie polskim wymagania. Po wykonaniu odpowiednich analiz należy znaleźć odpowiedź na pytanie: w jakim trybie i na podstawie jakich wymagań powinny być dopuszczane do eksploatacji systemy i środki transportu poruszające się po jednej szynie.

Bibliografia

- [1] Cityflo 650 Signalling for high density mass transit, vers.08 – 2018, Bombardier, plik: BOMBARDIER CITYFLO 650_Polit_Wa-wa.pdf.
- [2] IEEE Std 1474.1 - IEEE Standard for Communication Based Train Control Performance Requirements and Functional Requirements.
- [3] IEEE Std 1474.2 - IEEE Standard for User Interface Requirements in Communications Based Train Control (CBTC) Systems.

- [4] INNOVIA Monorail 300 Planning Guide, Introduction to driverless Monorail Systems, Bombardier, plik: Monorail_Planning_Guide_SYS_04_2014_low_rez_en.pdf.
- [5] INNOVIA Monorail 300 System, prezentacja, Bombardier, luty 2018, plik: Monorail Presentation v2_Pol_Wa-wa_v02pp.pdf.
- [6] IRSE, International Technical Comitee, Muttram R., Kessell Report on topic 38, Understanding SIL, 2015
- [7] Kochan A., Koper E, Wontorski P. „Automatyczne prowadzenie pociągu – analiza wymagań, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport (Zeszyt 121), ISSN 1230-9265, s.161-170.
- [8] Monorail/APM, Bombardier Transportation (ZWUS) Polska sp. z o.o., K. Olszówka, plik: Prezentacja Monorail_APM_PolWska_v02pp.pdf.
- [9] PN-EN 50129:2007 Zastosowania kolejowe -- Systemy łączności, przetwarzania danych i sterowania ruchem - Elektroniczne systemy sterowania ruchem związane z bezpieczeństwem.
- [10] PN-EN 50126 Zastosowania kolejowe -- Specyfikacja niezawodności, dostępności, podatności utrzymaniowej i bezpieczeństwa.
- [11] PN-EN 62290-1 Zastosowania kolejowe -- Systemy zarządzania i kontroli jazdy pojazdu dla nadzorowanego transportu miejskiego -- Część 1: Zasady systemu i pojęcia podstawowe.
- [12] PN-EN 62290-2 Zastosowania kolejowe -- Systemy zarządzania i kontroli jazdy pojazdu dla nadzorowanego transportu miejskiego -- Część 2: Specyfikacja wymagań funkcjonalnych.
- [13] Raport badawczy systemu bezpieczeństwa pojazdu CITYFLO 650 (specjalna aplikacja) – wybór. Projekt: PTS Flughafen München, tłumaczenie, plik: Raport badawczy_wybór.pdf.
- [14] Rozporządzenie MIiR z dnia 13 maja 2014 r. w sprawie dopuszczania do eksploatacji określonych rodzajów budowli, urządzeń i pojazdów kolejowych, 30 maja 2014 r. Poz.720.
- [15] Specyfikacja istotnych warunków zamówienia. Specyfikacje techniczne. Wymagania dla automatycznego systemu transportu (PTS). Lotnisko Monachium, tłumaczenie, plik: LV_1_RS100146O_PTS_System_Technische_Anforderungen PL 25.09.pdf.
- [16] Tymczasowe przepisy eksploatacji bez maszynisty zgodnie z rozporządzeniem o budowie i eksploatacji tramwajów (Przepisy BOStrab dla eksploatacji bez maszynisty), Stan: 15 stycznia 1997 r., tłumaczenie, plik: BOStrab - Richtlinien für den Fahrbetrieb ohne Fahrzeugführer_1997-01-15.pdf.
- [17] Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym (Dz.U 2017 poz. 2136).
- [18] Ustawa z dnia 22 marca 2018 r. o zmianie ustawy o publicznym transporcie zbiorowym (Dz.U 2018 poz.907).
- [19] Ustawa z dnia 28 marca 2003 r. o transporcie kolejowym. (Dz. U. 2003 Nr 86 poz. 789 z póź. zm).

