

Sylwester MARKUSIK, Maria CIEŚLA

OPRACOWANIE NOWYCH TECHNOLOGII I KONSTRUKCJI DLA TRANSPORTU REGIONALNEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono najnowsze technologie i konstrukcje w zakresie szybkich kolei, wykorzystywanych w transporcie regionalnym w świecie. Szczególną uwagę zwrócono na dwa rozwiązania kolei unoszonej magnetycznie: japoński MAGLEV i niemiecki TRANSRAPID. Przedstawiono ich zasadę działania, najważniejsze parametry techniczne i niezbędną infrastrukturę.

STUDY ON NEW TECHNOLOGIES AND CONSTRUCTIONS IN REGIONAL TRANSPORT

Summary. The article presents the newest technologies and constructions in the field of high-speed trains used in regional transport all over the world. The two solutions of rail transport that works using magnetic levitation: Japanese MAGLEV and German TRANSRAPID were taken into special consideration. Principles of operation, the most important technical parameters and indispensable infrastructure were presented.

1. WPROWADZENIE

Współczesne problemy systemów transportowych, szczególnie dużych aglomeracji miejskich, związane są przede wszystkim z niską przepustowością istniejącej infrastruktury transportowej, a co za tym idzie - ze zjawiskiem kongestii. Przyczyną jest wysoki stopień zmotoryzowania społeczeństwa i coraz większe wymagania użytkowników transportu co do warunków i komfortu jazdy, których niejednokrotnie nie jest w stanie zaspokoić miejska komunikacja zbiorowa.

Zjawisko to jest niebezpieczne dla funkcjonowania komunikacji autobusowej, trolejbusowej czy tramwajowej, gdyż powoduje nieregularność ich kursowania, co zniechęca kolejnych pasażerów do korzystania z tych usług. Spadek liczby pasażerów powoduje z kolei spadek częstotliwości kursowania, a to powoduje kolejny odpływ pasażerów do takiego stopnia, że utrzymanie komunikacji zbiorowej staje się nieopłacalne.

W związku z tym powstają nowe, przyszłościowe, niekonwencjonalne projekty, mające na celu poprawę sytuacji transportu pasażerów w dużych aglomeracjach. Najbardziej skutecznym środkiem w tym zakresie jest rozwijanie systemów komunikacji zbiorowej i ograniczenie wykorzystywania samochodów osobowych, szczególnie przy dojazdach do pracy czy szkoły, uczelni, zwłaszcza na obszarach silnie zurbanizowanych.

Znaczne usprawnienie komunikacji zbiorowej i zwiększenie jej atrakcyjności można uzyskać dzięki modernizacji i intensywnej rozbudowie istniejących sieci szybkiej komunikacji miejskiej lub przez wprowadzanie w życie nowych systemów transportu pasażerskiego.

Podstawowym założeniem wszystkich nowoczesnych projektów jest, aby w komunikacji regionalnej największe znaczenie miała kolej, głównie w formie nowoczesnych lekkich wagonów, autobusów szynowych oraz w formie kolejek gondolowych, tworząca wielkoobszarowe systemy komunikacyjne o stałej częstotliwości kursowania. Resztę dopełniałyby motoryzacja indywidualna, samochody, rowery umożliwiające pasażerom dojazd na parkingi przy stacjach komunikacji zbiorowej. Komunikację dalekobieżną stanowiłyby głównie sieć szybkich kolei oraz lotnictwo.

2. SZYBKI TRANSPORT KOLEJOWY

Pojęcie kolei dużych prędkości charakteryzuje kolej, która umożliwia jazdę z prędkością przekraczającą 250 km/h, co w przypadku samochodu osobowego i samolotu jest niewykonalne, licząc również czas dojazdu na lotnisko i odprawę.

Najszybsze współczesne pociągi mogą jeździć z prędkością znacznie przekraczającą 300km/h. Pociągi te wykorzystują konwencjonalny sposób prowadzenia pojazdu typu koło – szyna oraz napędzane są energią elektryczną z trakcji napowietrznej lub wysokoprężnymi silnikami Diesla. Superszybkie pociągi kursują m.in. w Japonii, Francji, Niemczech, Hiszpanii i we Włoszech. Pierwszym superszybkim pociągiem był japoński Shinkansen (pociąg-pocisk), który zaczął kursować w latach 60. (rys. 1a), natomiast w Europie pierwszym tego typu pociągiem był i nadal jest francuski TGV (Train a Grande Vitesse), czyli pociąg o dużej szybkości, który zaczął kursować już w 1981 roku (rys. 1b).

Od lat 80. wiele krajów europejskich zaczęło rozwijać własne kolejowe połączenia (rys. 1c-f). Do najbardziej znanych należy zaliczyć:

- ICE 3 – InterCity Express – Niemcy,
- PENDOLINO (Wahadello) – Włochy,
- AVE – Alta Velocidad Española (Szybka Kolej Hiszpańska) – Hiszpania,
- EUROSTAR – Anglia.

Z czasem odkryto również, że pole magnetyczne może przejąć wszystkie trzy funkcje spełniane do tej pory przez koła: funkcję podpory, nadawania pojazdowi kierunku jazdy i pośredniczenia w przekazywaniu siły napędowej. Najbardziej zaawansowane badania nad koleją magnetyczną prowadzone są obecnie w Japonii, USA i Niemczech.

3. TECHNOLOGIA MONORAIL

W ostatnich latach bardzo intensywnie rozwijają się prace nad jednoszynową konstrukcją toru kolejowego o nazwie MONORAIL. Jak sama nazwa wskazuje, pojazdy poruszają się po jednej, szerokiej szynie, opierając się na niej lub wisząc i to nie zawsze przy pomocy kół lub innego ciężkiego zawieszenia.

Przez pojęcie „szyna” należy w tym przypadku rozumieć wspartą na słupach, podłużną wąską belkę nośną, po której porusza się szynowy lub częściowy pojazd przypominający pociąg [3].

Najlepszym rozwiązaniem, eliminującym wszelkie wady tradycyjnych systemów napędowych i jezdnych, stało się zastosowanie poduszki magnetycznej (rys. 2). Dzięki niewątpliwym zaletom została ona wykorzystana głównie do napędu specjalnie skonstruowanych pociągów. Pojazdy te unoszą się nad torem. Dzięki temu podczas ruchu pomiędzy pojazdem a podłożem nie występują siły tarcia, co w efekcie daje o wiele większe prędkości.

Obecnie istnieją dwa rozwiązania kolei unoszonej magnetycznie: japoński MAGLEV i niemiecki TRANSRAPID. Zachowując tę samą zasadę działania i napęd w postaci silnika liniowego, oba rozwiązania różnią się. W systemie MAGLEV wykorzystuje się magnesy nadprzewodzące, natomiast w systemie TRANSRAPID użyto konwencjonalnych elektromagnesów działających w zwykłej temperaturze.



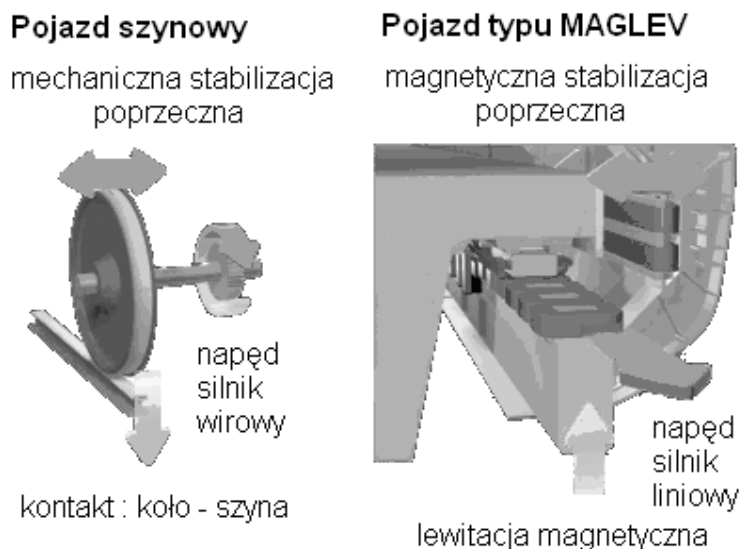
Rys. 1. Szybkie pociągi: a) Shinkansen JR500, b) TGV Atlantique, c) ICE3, d) PENDOLINO, e) AVE, f) EUROSTAR

Fig. 1. High-speed trains: a) Shinkansen JR500, b) TGV Atlantique, c) ICE3, d) PENDOLINO, e) AVE, f) EUROSTAR

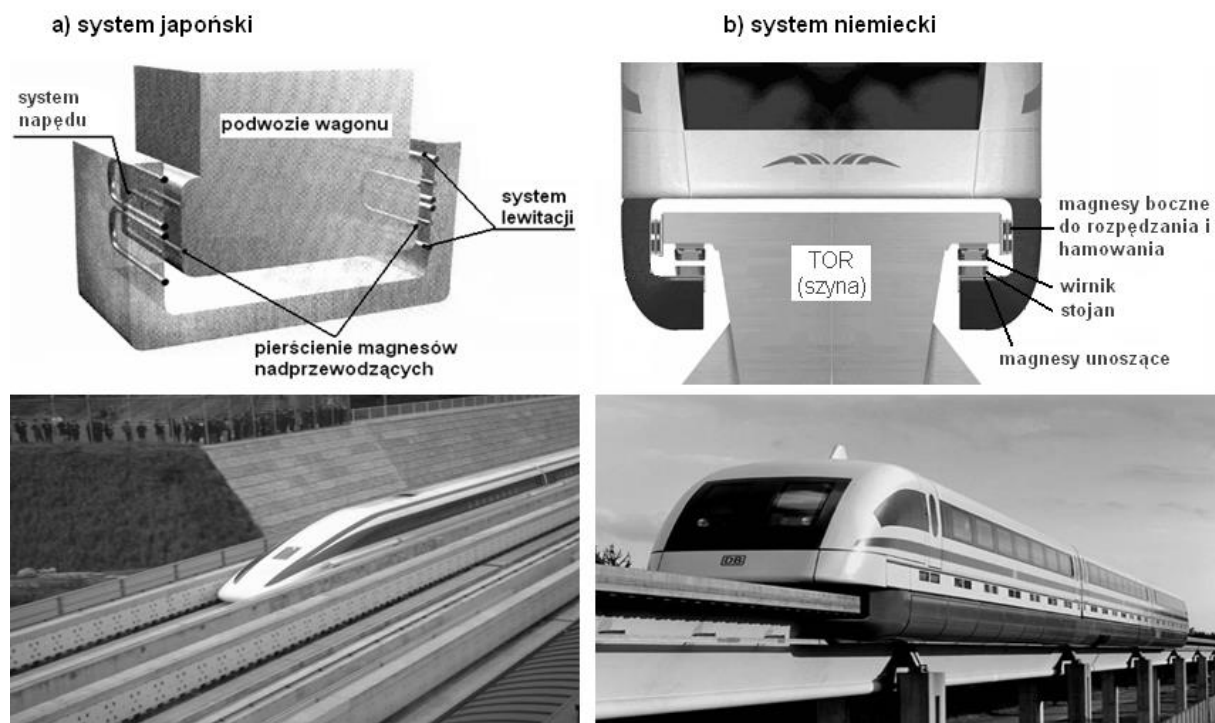
Konsekwencjami przyjętych koncepcji są różne wzajemne usytuowania toru i pojazdu oraz wielkość szczeliny między drogą jezdnią a pojazdem. Japoński pociąg porusza się w rynnie o kształcie litery U a uzwojenia torowe, wypychające pociąg, znajdują się w ścianach bocznych torowiska (rys. 3a). Szczeliny między ścianami a pociągiem są znaczne i wynoszą 8-10 cm. Niemiecki pociąg obejmuje szynę prowadzącą o kształcie litery T z obu stron, a uzwojenia torowe, przyciągające pociąg, umieszczone są pod drogą jezdnią (rys. 3b). Dzięki

przyciąganiu pociąg unosi się nad torowiskiem, a szczelina jest mała i wynosi 8-10 mm.

System lewitacji w celu utrzymania w powietrzu i prowadzenia pojazdu opiera się na zasadzie przyciągających się sił między elektromagnesami w pojeździe i pakietami stojanów (jak w silnikach elektrycznych) oraz bocznymi liniami prowadzącymi. W celu spowodowania lewitacji pojazdu, magnesy pojazdu przyciągają stojany, a w celu utrzymania na drodze magnesy boczne pojazdu są przyciągane do magnesów linii prowadzących.

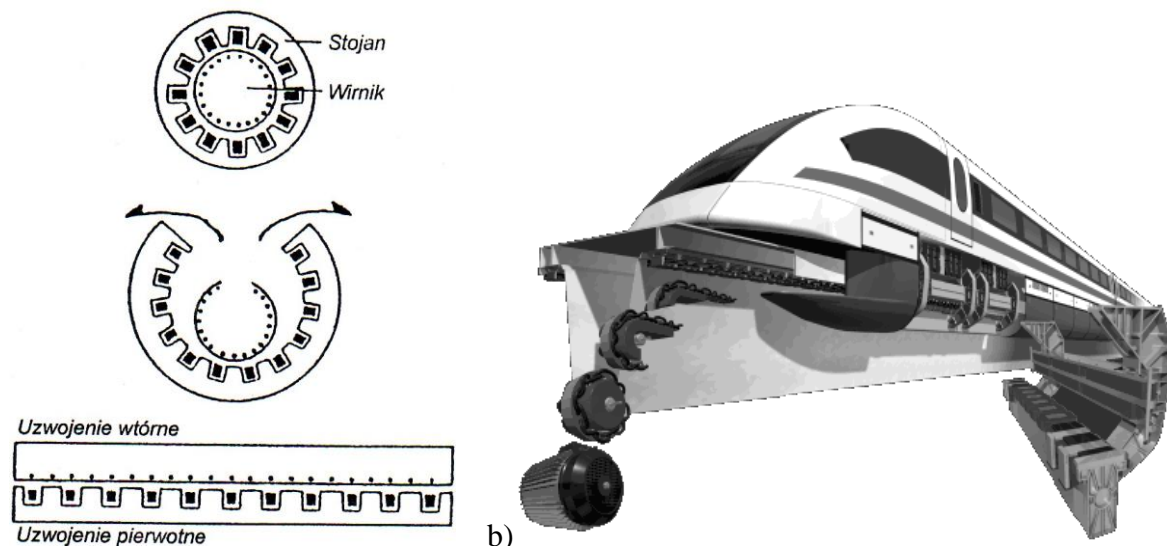


Rys. 2. Zastosowanie tradycyjnego układu koło - szyna i poduszki magnetycznej w kolei
Fig. 2. Utilization of conventional wheel-on-rail system and magnetic field in rail



Rys. 3. Systemy kolei magnetycznej: a) japoński (MAGLEV), b) niemiecki (TRANSRAPID)
Fig. 3. High-speed monorail train systems: a) japanese (MAGLEV), b) german (TRANSRAPID)

Silnik liniowy, odpowiedzialny za rozpędzanie i hamowanie pojazdów, jest przekształceniem normalnego silnika indukcyjnego, polegającym na rozcięciu stojana i wirnika oraz rozwinięciu ich na płaszczyźnie (rys. 4). Stojan ulega znacznemu wydłużeniu. Jeżeli uzwojenie pierwotne zostanie rozłożone na torze, a uzwojenie wtórne umieszczone na pojeździe, to przy zasilaniu uzwojenia pierwotnego prądem zmiennym w uzwojeniu wtórnym będzie indukowany prąd. Wskutek tego zostanie wytworzony moment pociągowy (analogiczny do momentu obrotowego w zwykłym silniku) i pojazd będzie się poruszał wzdłuż toru [1]. Siła pociągowa jest przenoszona bez tarcia. Poprzez zmianę natężenia prądu, ciąg i prędkość pojazdu mogą być płynnie zmieniane. W ten sam sposób można wykorzystać uzwojenia, aby wyhamować pociąg.



Rys. 4. Zasada działania silnika liniowego: a) przekształcenie silnika indukcyjnego w silnik liniowy, b) silnik liniowy rozciągnięty na linii trakcyjnej

Fig. 4. Principle of operation of linear induction motor: a) transformation of induction motor into linear induction motor, b) linear induction motor stretched on train line

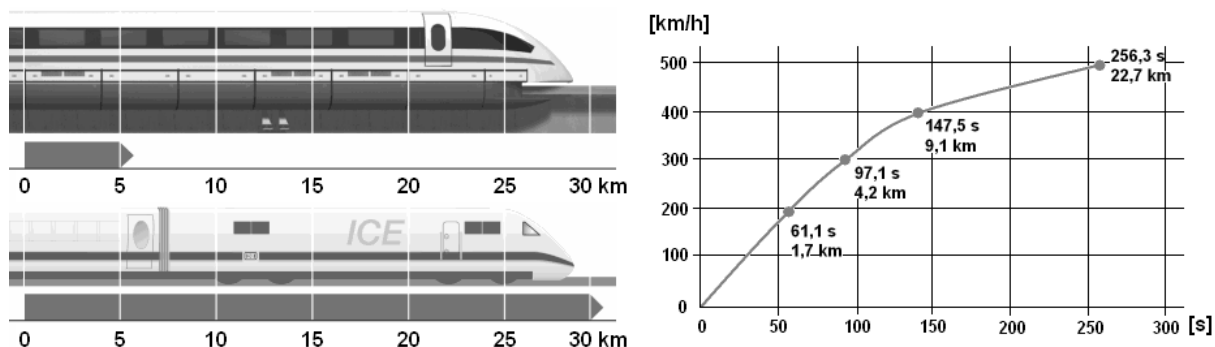
Uzwojenia silnika liniowego mogą być dokładnie dobrane do profilu drogi. Na wzniesieniu wykorzystuje się silnik o znacznie większej mocy niż na odcinkach płaskich. Dzięki temu rozwiązaniu pociągi napędzane silnikiem liniowym będą w stanie pokonać wzniesienia o pochyleniu nawet do 10%, łuki o małym promieniu i pochyleniu poprzecznym do 16°.

Kolej magnetyczna charakteryzuje się nie tylko dużą szybkością, ale także dużym przyspieszeniem. Jest w stanie osiągnąć 300 km/h po przejechaniu zaledwie 5 km. Obecne szybkie pociągi szynowe potrzebują ponad 28 km, aby osiągnąć to przyspieszenie i to w co najmniej czterokrotnie dłuższym czasie (rys. 5). Dlatego też system ten może być z powodzeniem stosowany nie tylko na dłuższych odcinkach, ale także na krótkich i średnich dystansach w obszarach miejskich, gdzie przerwy między przystankami są krótsze.

Kolejną zaletą stosowania tego rodzaju kolei jest duża elastyczność w konfiguracji pociągów, które mogą być dostosowane do zapotrzebowania. Podstawowe dane techniczne modułów pociągu:

- długość sekcji końcowych: 27000 mm,
- długość sekcji środkowych: 24800 mm,
- szerokość: 3700 mm,
- wysokość: 4200 mm,
- liczba miejsc siedzących:
 - sekcja końcowa: max 92,
 - sekcja środkowa: max 126,

- masa pustego wagonu pasażerskiego: ok. 53 t,
- maksymalna prędkość użytkowa: 500 km/h,
- rekord prędkości: 581 km/h.



Rys. 5. Długość toru potrzebna do uzyskania prędkości 300 km/h przez pociąg typu MAGLEV oraz ICE-3 oraz wykres przyspieszenia 6-sekcyjnego pociągu magnetycznego

Fig. 5. Length of the track necessary to reach speed of 300 km/h by MAGLEV train and ICE-3 and the graph of acceleration of 6-section magnetic train

Sekcje pojazdu są zbudowane z lekkich, modułowych części i mogą być łączone w pociągi od dwóch do dziesięciu sekcji w zależności od zastosowania i obciążenia ruchem (tabl. 1).

Tablica 1

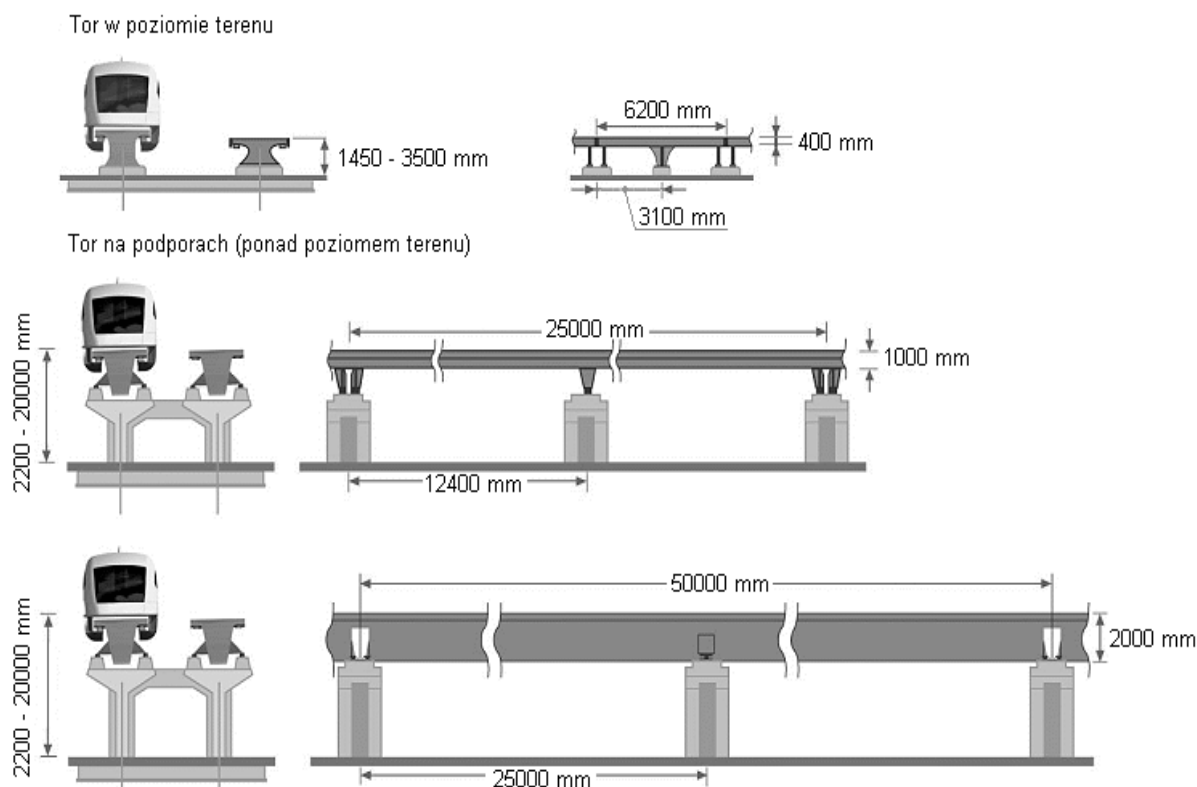
Parametry zestawu pociągu dwu-, pięcio- i dziesięciosekcyjnego

Liczba sekcji	Długość [m]	Masa pustego składu [t]	Liczba miejsc siedzących
2 (min)	54	105	184
5	128,4	265	562
10 (max)	252,4	530	1192

4. INFRASTRUKTURA TRANSPORTOWA KOLEI MAGNETYCZNEJ

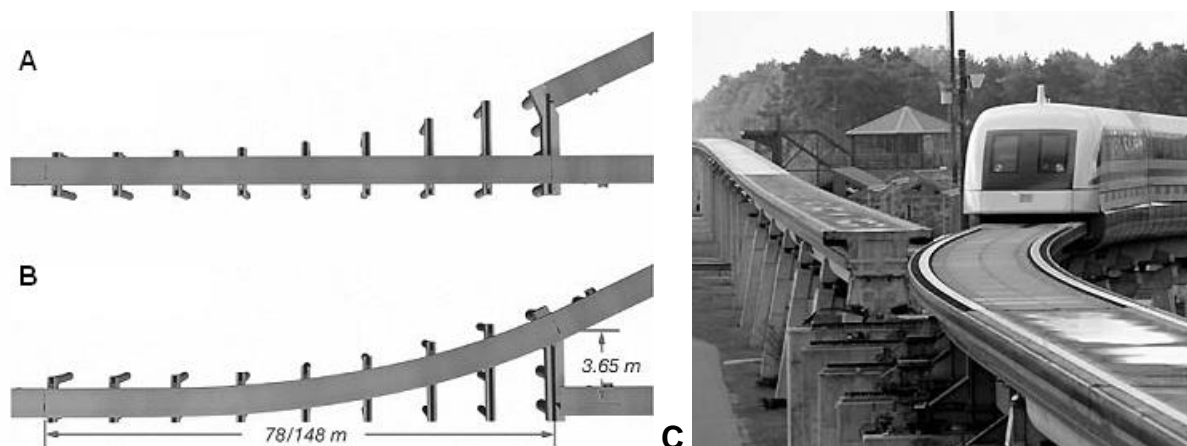
Droga dla niekonwencjonalnego systemu kolei magnetycznej może być jedno- lub dwutorowa (tor pojedynczy lub podwójny). Składa się ona z indywidualnych stalowych lub struno-betonowych belek (długości max 50 m), tworzących tor, usytuowanych na podporach wysokich (ponad poziomem terenu) lub niskich (w poziomie terenu), co przedstawiono na rysunku 6, lub też na mostach czy w tunelach [3].

Zmiana kierunku jazdy jest możliwa dzięki zastosowaniu stalowych zwrotnic, tzw. rozjazdów (rys. 7). Składają się one z ciągłych stalowych elementów skrzyniowych o długości między 78-148 m, które mogą być elastycznie zginane poprzez ustawcze sterowniki elektromagnetyczne i bezpiecznie zablokowane w ich końcowych pozycjach. W pozycji „na wprost” pojazd może pokonać zwrotnicę bez ograniczeń prędkości. W pozycji przy zmianie toru prędkość jest redukowana do 200 km/h (zwrotnica wysokich prędkości) lub do 100 km/h (zwrotnica niższych prędkości).



Rys. 6. Wymiary konstrukcji toru na wysokich i niskich podporach

Fig. 6. Construction dimensions of track on high and low bearers



Rys. 7. Schemat rozgałęzienia toru (rozjazd): a) przy jeździe po torze zasadniczym, b) przy jeździe po torze zwrotnym, c) rozjazd – widok ogólny

Fig. 7. Bifurcate of track (turnout) scheme: a) while travelling on the fundamental track, b) while travelling on manoeuvrable track, c) turnout – main view

Budowa odcinka kolei magnetycznej w trudnym topograficznie terenie jest łatwa dzięki możliwości zastosowania łuków o mniejszych promieniach i możliwości pokonywania wzniesień o maksymalnym nachyleniu do 10%. Jednak mniejsze koszty budowy niweczy bardzo kosztowna konstrukcja toru ze zintegrowanym silnikiem liniowym. Oznacza to, że nie tylko w terenie płaskim, ale także w górzystym zarówno koszty budowy toru, jak i koszt całkowity (pojazdy, budynki, stacje) kolei magnetycznej są większe niż kolei konwencjonalnej (tabl. 2).

Tablica 2

Koszt budowy infrastruktury kolejowej

	Długość odcinka [km]	Ukształtowanie terenu	Koszt budowy toru [mld euro]	Koszt całkowity [mld euro]
Kolej magnetyczna	200	płaskie	1,1	2,6
		górzyste	1,2	2,7
Kolej konwencjonalna	200	płaskie	0,2	2,0
		górzyste	0,5	2,5

Zródło: [2]

5. PODSUMOWANIE

Nowoczesne technologie i konstrukcje w zakresie komunikacji regionalnej bazują na rozwijaniu infrastruktury kolejowej i środków transportu szynowego, głównie w formie nowoczesnych lekkich wagonów, autobusów szynowych oraz w formie kolejek gondolowych, tworzących wielkoobszarowe systemy komunikacyjne o stałej częstotliwości kursowania.

W porównaniu z innymi systemami transportu, pociągi kolei magnetycznej MAGLEV wymagają najmniejszej ilości przestrzeni i terenu dla potrzeb torowiska i obsługującej go infrastruktury. Z uwagi na wyjątkowo korzystne parametry przebiegu trasy (pochylenia pionowe do 10% i łuki poziome o małych promieniach – 2250 m - i pochylenia poprzeczne do 16°) linia może być elastycznie wpasowana w krajobraz bez konieczności wykonywania dużych robót ziemnych. Ponadto, przy takiej samej mocy wyjściowej pociągi typu MAGLEV zużywają od 20 do 30% mniej energii niż obecne najnowocześniejsze systemy pociągów elektrycznych.

W porównaniu z innymi środkami transportu pociągi „magnetyczne” są wyjątkowo ciche. Nie występuje hałas związany z tarciem ani z pracą napędu. Przy prędkościach powyżej wartości 250 km/h emisja hałasu jest głównie powodowana względami aerodynamicznymi.

Pomimo wysokich nakładów związanych z budową infrastruktury należy pamiętać, że zastosowanie nowoczesnych rozwiązań i technologii otwiera drogę do coraz efektywniejszego wykorzystania istniejących środków transportu w sposób zdecydowany usprawniając mobilność mieszkańców w dużych aglomeracjach miejskich.

Bibliografia

1. Basiewicz T., Gołaszewski A., Rudziński L.: Infrastruktura transportu, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002.
2. Breimeier R.: Transrapid - Aufbruch in ein neues Bahnzeitalter? Transrapid - wejście w nowy wiek kolei? Internationales Verkehrswesen.-2003, nr 5, s. 203-211.
3. Dmochowski E.: Udoskonalona kolej jednoszynowa (MONORAIL). Transport Miejski i Regionalny nr 4, Wrocław 2006, s. 19-22.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jerzy ANTONIAK