

Kazimierz Towpik<sup>1</sup>

## KOLEJ MAGNETYCZNA - PERSPEKTYWY ROZWOJU

### Streszczenie

*W artykule omówiono istniejące systemy kolei magnetycznej, niezrealizowane projekty połączeń miast europejskich, studia celowości budowy połączeń międzynarodowych oraz projekty i koncepcje rozwoju kolei magnetycznej na innych kontynentach.*

**Słowa kluczowe:** kolej magnetyczna, Transrapid, JR Maglev

### 1. Wprowadzenie

Obserwowany obecnie na świecie dynamiczny rozwój konwencjonalnych kolei dużych prędkości oraz bliska perspektywa eksploatacji linii z prędkościami co najmniej 360 km/h lub więcej, ograniczyły w ostatnim okresie zainteresowanie rozwojem niekonwencjonalnego transportu, jakim jest kolej magnetyczna.

Warto przypomnieć, że w Europie początki badań, które doprowadziły do praktycznych zastosowań tych kolei sięgają lat 30-tych ubiegłego wieku.

W Niemczech Herman Kemper opatentował szereg rozwiązań dotyczących unoszenia elektromagnetycznego, które wykorzystano później do opracowania koncepcji pojazdu z zawieszeniem magnetycznym i zaprojektowania oraz budowy obecnego systemu *Transrapid*.

Począwszy od 1965 r. w Niemczech rozpoczęto badania wariantów rozwiązań z zawieszeniem elektrodynamicznym oraz z zastosowaniem magnesów trwałych w połączeniu z napędem za pomocą silników liniowych. Dzięki budowie okręgu doświadczalnego w Emsland możli-

---

<sup>1</sup> prof. dr hab. inż. Politechnika Warszawska, Międzynarodowa Wyższa Szkoła Logistyki i Transportu we Wrocławiu, e-mail: kztowpik@poczta.onet.pl

we było wykonywanie jazd doświadczalnych i osiągnięcie przez pojazd z zawieszeniem magnetycznym prędkości 450 km/h.

W Japonii rozpoczęto również badania nad koleją magnetyczną stawiając sobie za cel podwojenie prędkości jazdy osiąganych wówczas przez konwencjonalne koleje. Opracowując pojazd z zawieszeniem elektrodynamicznym wykorzystano zjawisko nadprzewodnictwa (według koncepcji amerykańskich naukowców: Powella i Danby'ego). Dopiero w 1989 roku wybudowano w okręgu Yamanashi odcinek doświadczalny (w 80% przebiegający w tunelach). Zakładano przy tym, że będzie on stanowił fragment nowej linii kolei magnetycznej łączącej Tokio z Osaką. Na odcinku tym osiągnięto prędkość 552 km/h. Dalsze studia i badania nad systemem *JR Maglev* są obecnie kontynuowane przez koleje japońskie i Japoński Instytut Naukowo-Badawczy Kolejnictwa [3].

Obecnie istnieją więc dwa zasadnicze systemy kolei magnetycznej - japoński *Maglev* oraz niemiecki *Transrapid*.

Charakterystycznymi cechami kolei magnetycznej jest zawieszenie pojazdu nad torem bez pośrednictwa kół, a więc również bez współpracy z szynami oraz napęd z indukcyjnym silnikiem liniowym, różniącym się tym od normalnego silnika indukcyjnego, że rozcięty stojan i wirnik są rozwinięte na płaszczyźnie.

W systemie *Transrapid* uzwojenie pierwotne (stojan) jest rozłożone wzdłuż toru, a uzwojenie wtórne (wirnik) umieszczone w pojeździe. Wskutek zasilania uzwojenia pierwotnego prądem zmiennym indukowany jest prąd w uzwojeniu wtórnym i powstaje moment pociągowy powodujący poruszanie się pojazdu wzdłuż toru. Ze względu na przenoszenie bez tarcia siły pociągowej teoretycznie nie ma ograniczeń prędkości jazdy. W systemie tym unoszenie pojazdu na wysokości 10 mm ponad torem zapewniają siły przyciągania pomiędzy elektromagnesami umieszczonymi pod podłogą pojazdu (uzwojenie wtórne), a uzwojeniem pierwotnym umieszczonym pod konstrukcją prowadzącą pojazd. Jego stateczność i utrzymanie w pionie jest możliwe dzięki elektromagnesom umieszczonym na wsporniku pojazdu, obejmującym uzwojenie pierwotne umieszczone na krawędziach konstrukcji toru.

W systemie *JR Maglev* uzwojenie pierwotne jest umieszczone w pojeździe, a wtórne ułożone wzdłuż toru. W tym przypadku energia elektryczna musi być dostarczana do pojazdu. Uzwojenie pierwotne

w rozwiązaniu japońskim stanowią magnesy nadprzewodzące (cewki) wytwarzające silne pole magnetyczne. Współpracują z nimi umieszczone w torze elektromagnesy napędowe powodujące ruch pociągu oraz elektromagnesy unoszące pojazd na wysokości ok. 100 mm nad torem i stabilizujące jego położenie. Zmiana częstotliwości prądu zasilania umożliwia zmianę prędkości pojazdu. W systemie japońskim niezbędny jest układ jezdny służący do prowadzenia pojazdu w zakresie prędkości do 100 km/h.

Wśród zalet kolei magnetycznej najczęściej wymienia się:

- brak tarcia między kołami pojazdu i szynami,
- bezpieczeństwo poruszania się pojazdu po torze z wyeliminowaniem takich zjawisk jak utrata stateczności;
- ułatwione trasowanie przebiegu linii (mniejsze łuki poziome oraz pochylenia podłużne profilu do 10%);
- osiągnięcie prędkości jazdy rzędu 400 -450 km/h,
- skrócenie czasu oraz drogi potrzebnej do osiągnięcia pełnej prędkości jazdy, bez przekraczania dopuszczalnych przyspieszeń działających na pasażera.

Do niekorzystnych cech kolei magnetycznej zalicza się w większe o ponad 40% koszty infrastruktury w stosunku do tradycyjnej kolei w przypadku prowadzenia trasy w poziomie terenu, oraz o ok. 10% przy trasowaniu w terenie górzystym. Przewidywany jest również wzrost kosztów eksploatacji o 52% oraz utrzymania o ok. 25%. Również koszt pojazdów kolei magnetycznej byłby czterokrotnie wyższy [1], [2].

Złożona konstrukcja rozjazdów wymaga od 8 do 10 razy dłuższego czasu przestawiania pociągu, a tym samym wydłużenia czasów ustawiania i likwidacji drogi przebiegu. Utrudnione będą również operacje łączenia i zmiany składów, wymagające projektowania wydzielonych układów torowych z koniecznością przełączania zasilania.

Liczne porównania kolei magnetycznej z tradycyjną koleją dużych prędkości często trudno oceniać w sposób całkowicie obiektywny i uwzględniający wszystkie warunki eksploatacji tych systemów. Porównania pociągu ICE z pociągiem *Transrapid* wskazują przede wszystkim na wady tego ostatniego, potrzebną znacznie większą moc napędu oraz większe zużycie energii.

## 2. Niezrealizowane europejskie projekty budowy kolei magnetycznej

Największym, dotychczas nie zrealizowanym projektem linii kolei magnetycznej jest połączenie Berlina (dworzec Lehrter) z dworcem głównym w Hamburgu (rys. 1). Na linii długości 292 km przewidziano budowę trzech stacji (Moorfleet na 7 kilometrze, Schwerin na 99 kilometrze oraz Spandau na 278 kilometrze.) Trasa miała przebiegać w poziomie terenie na długości 76 km a na pozostałej części ponad terenem. Przewidywano maksymalny czas przejazdu – 60 min., przy 51 pociągach na dobę prowadzonych w jednym kierunku (do trzech pociągów na godzinę).

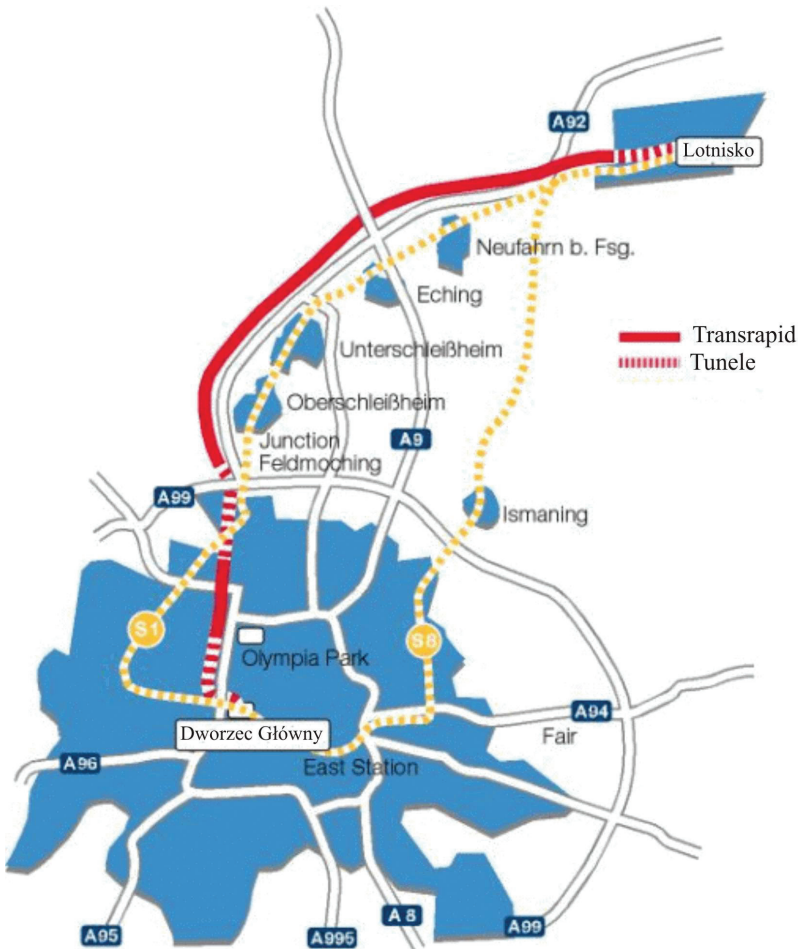


**Rys. 1. Projektowane połączenie koleją magnetyczną Transrapid Berlina z Hamburgiem**

1-trasa kolei magnetycznej, 2-stacje, 3-linie kolejowe, 4-autostrady

Przedmiotem licznych studiów było również zastosowanie kolei magnetycznej do powiązania centrów europejskich miast z lotniskami. Do zaawansowanych projektów zaliczyć należy połączenie dworca głównego w Monachium z lotniskiem (rys. 2). Połączenie to o długości 38,5 km miało przewozić blisko 8 mln pasażerów. Przewidywano eks-

ploatację 5 pociągów, każdy złożony z trzech sekcji zabierających do 320 pasażerów. Czas przejazdu nie przekraczałby 10 min.



**Rys. 2. Połączenie koleją magnetyczną dworca kolejowego w Monachium z lotniskiem**

Rozważano również celowość połączenia Düsseldorfu z Dortmundem (odcinek długości 212 km), a w Holandii połączenie siecią kolei magnetycznej Amsterdamu, Leidy, Hagi, Rotterdamu, Goudy i Utrechtu (rys. 3).



**Rys. 3. Projektowane połączenie koleją magnetyczną kilku miast holenderskich z lotniskiem Schiphol**

### 3. Europejskie studia nad rozwojem kolei magnetycznej

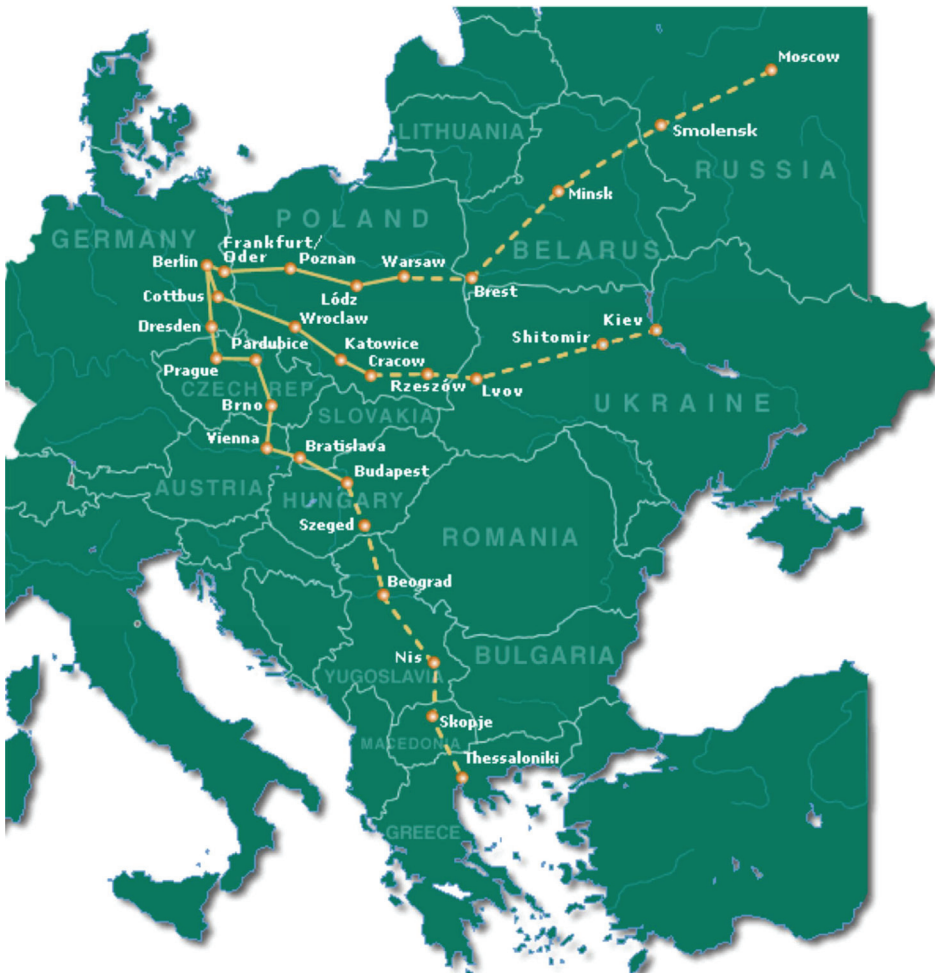
Przeciwnicy budowy oddzielnego systemu kolei magnetycznej wyrażają opinie, że przy większych kosztach budowy i eksploatacji skrócenie czasu podróży o ok. 20% przy zwiększonych opłatach za przejazd nie uzasadniają ekonomicznie wprowadzenie nowego systemu, szczególnie w przypadku obsługi ruchu regionalnego. Może to być uzasadnione jedynie przy połączeniach dalekobieżnych, gdzie można oczekiwać większego skrócenia czasu przejazdu. Podobnie nie przewidywano w większym stopniu przejęcia przez kolej magnetyczną przewozów towarowych.

Uwzględniając trudności powiązania z istniejącą siecią kolei tradycyjnych wyrażane są niekiedy opinie o marginalnym znaczeniu kolei magnetycznej i o potrzebie ograniczenia jej zastosowań do połączenia znacznie oddalonych od siebie aglomeracji.

Studia nad celowością wprowadzenia kolei magnetycznej systemu *Transrapid* w Niemczech prowadzono od 1984 r. Dotyczyły one, zarówno przewozów pasażerskich, jak i towarowych. Celowość wprowadzenia kolei magnetycznej rozpatrywano analizując istniejący w kraju

system transportu lądowego i lotniczego uznając za niezwykle istotne potrzebę zintegrowania nowego systemu z istniejącymi systemami transportowymi, ponieważ według opinii części specjalistów nie powinien być to system wyodrębniony. Szczególną uwagę zwracano na wybór miejsc dostępu do kolei magnetycznej (zwłaszcza w centralnych dzielnicach miast) i sposobów powiązania z innymi systemami w punktach mających znaczenie zarówno dla przewozów pasażerskich, jak i towarowych.

W dalszych latach analizy dotyczyły m.in. wariantów połączeń Hamburga z Hanowerem i Monachium, Essen z Bonn, Saarbrücken z Mannheim oraz Hamburga i Berlina z Budapesztem i Salonikami (rys. 4).



**Rys. 4. Analizowane kierunki przebiegu linii kolei magnetycznej w Europie**

Analizy połączeń Hamburga z Moskwą i Kijowem doprowadziły do wniosku, że brak jest wystarczająco wiarogodnych danych umożliwiających uzasadnienie celowości projektowania wymienionych połączeń, jakkolwiek uznano za korzystne prognozy rozwoju krajów Europy Wschodniej. Wskutek tego, do dalszych analiz wybrano kierunek Hamburg - Berlin - Budapeszt.

Podstawą tych analiz była ocena prognostyczna ruchu pasażerskiego i towarowego na podstawie danych o zaludnieniu, produkcji krajowym brutto oraz stopniu motoryzacji dla okresu 1995-2015. W przypadku przewozów pasażerskich uwzględniano wskaźniki ruchliwości, odległości przejazdów, wybór środka transportu itp. W ocenach ewentualnych przewozów towarowych uwzględniano również aktywność gospodarczą regionów, strukturę towarów, logistykę oraz aspekty współpracy międzynarodowej.

Obok oceny możliwości powiązania z istniejącymi układami komunikacyjnymi oszacowano również efekt odciążenia istniejących linii komunikacyjnych przy równoległym do nich prowadzeniu trasy kolei magnetycznej.

Jako podstawowy wariant wybrano połączenie: Hamburg - Berlin - Drezno - Praga - Wiedeń - Budapeszt z dostępem do lotnisk w Berlinie i Wiedniu. Przejazd koleją magnetyczną na tej trasie trwałby od 4 do 5 godzin, wobec obecnego czasu jazdy 10 - 13 godzin. Oceniono, że kolej magnetyczna przejmie, przede wszystkim podróże służbowe oraz wyjazdy prywatne związane z urlopami. Za racjonalne odległości przewozu dla kolei magnetycznej uznano odległości mieszczące się w przedziale 400 - 1700 km.

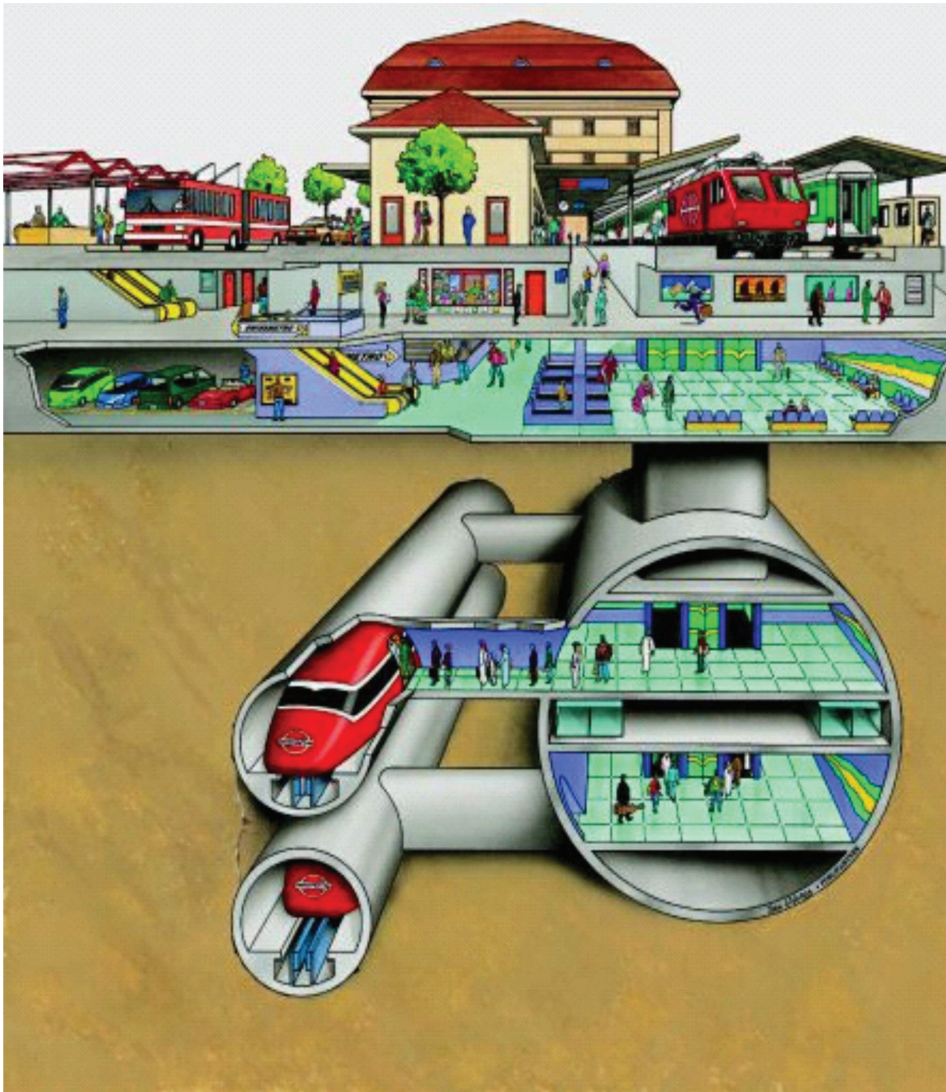
W wyniku studiów stwierdzono, że w przewozach pasażerskich główną korzyścią będzie skrócenie czasu jazdy. Uwzględniając jednakże czasy dojścia oraz przesiadki, przy wyższych kosztach podróży można dojść do wniosku, że kolej magnetyczna stanowi rozwiązanie porównywalne z pociągami ICE.

Analiza przewozów towarowych wskazuje, że szczególnie korzystny będzie przewóz drobnicy, ładunków o dużej wartości oraz łatwo psujących, to znaczy przejęcie usług wykonywanych obecnie przez szybkie pociągi towarowe (np. Overnight-Express, Parcel-Intercity, TGV-Postal).

Obecnie opracowuje się również koncepcje budowy kolei z zawieszeniem magnetycznym pojazdami poruszającymi się tunelem, w wa-



runkach podciśnienia z prędkościami znacznie większymi od obecnie osiągniętych. Mają to być połączenia Zurichu z Lozanną (Swissmetro) oraz Lyonu z Monachium i Wiedniem (Eurometro) (rys. 5).



**Rys. 5. Wizja budowy „Eurometra” łączącego Lyon z Monachium i Wiedniem**

Koleje rosyjskie w kooperacji z firmą Siemens i firmami południowokoreańskimi przystępują już obecnie do budowy pojazdów mogących się poruszać się z prędkością 1000 km/h. Pojazdy te będą wykorzystane, zarówno w przewozach pasażerskich, jak i towarowych. Również

rozważana jest budowa linii stanowiącej połączenie Moskwy z Berlinem przez Kijów i Warszawę. Inwestycja ta współfinansowana przez Gazprom byłaby powiązana z budową gazociągu układanego zgodnie z przebiegiem trasy, pod konstrukcją toru kolei magnetycznej.

Dla odległej perspektywy czasowej rozważana jest również koncepcja połączenia Wielkiej Brytanii ze Stanami Zjednoczonymi koleją magnetyczną poruszającą się w rurze, warunkach podciśnienia (tzw. tunelem transatlantyckim) z prędkościami blisko 9000 km/h.

#### 4. Koleje magnetyczne w krajach pozaeuropejskich

Pierwszy odcinek kolei magnetycznej oddany do normalnej eksploatacji zbudowano w Chinach. Jest nim połączenie stacji metra Longyang w Szanghaju z lotniskiem Pudong (rys. 6). Odcinek ten, na którym pociąg magnetyczny może rozwijać prędkość do 430 km/h został oddany do eksploatacji w 2003 r. Na linii kursują trzy pociągi, każdy złożony z 6 sekcji, przy czym odstępy czasu między pociągami wynoszą ok. 10 min. Zgodnie z prognozami przewozy osiągnęły 10 mln pasażerów.



**Rys. 6. Eksploatowana linia kolei magnetycznej łącząca stację metra w Szanghaju z lotniskiem**

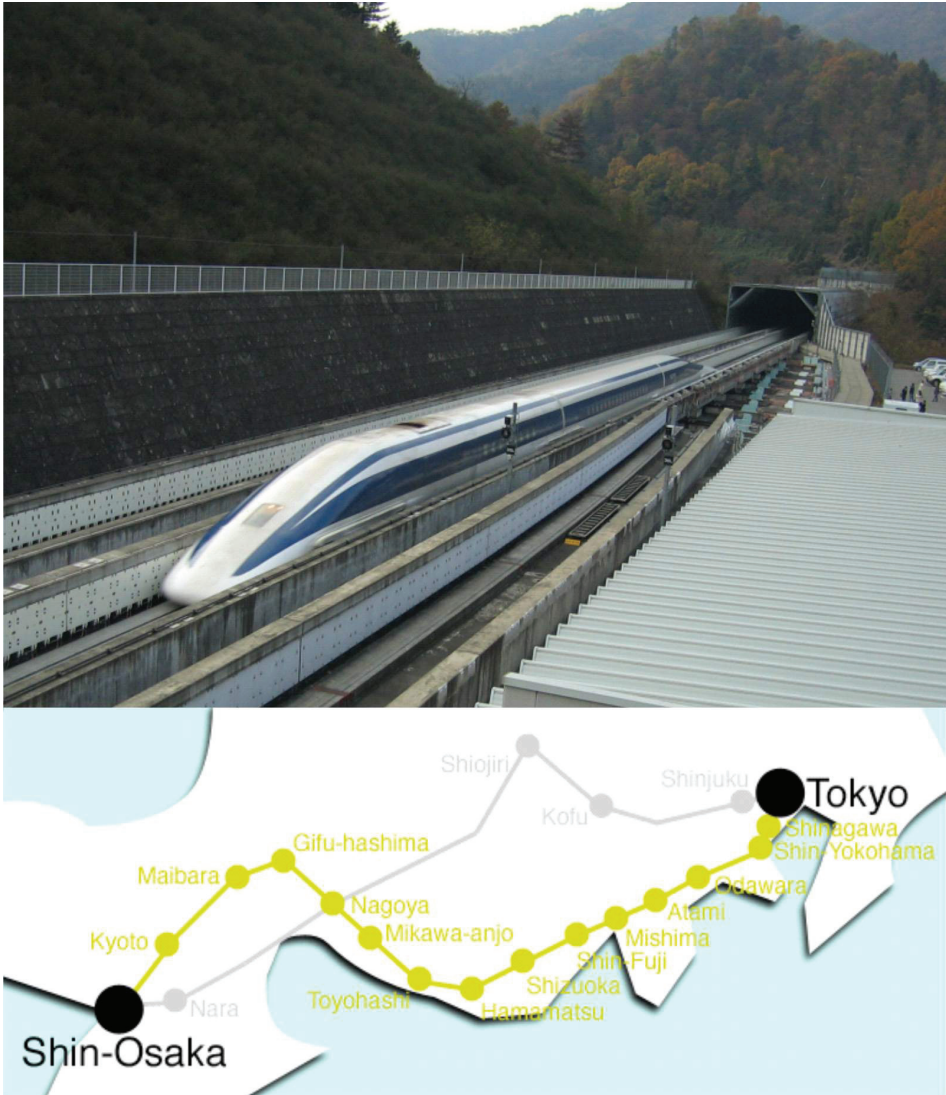
W przyszłości rozpatruje się możliwość budowy linii kolei magnetycznej łączącej Pekin z Szanghajem (rys. 7).



**Rys. 7. Planowany przebieg linii kolei magnetycznej łączącej Pekin z Szanghajem**

Istnieją również plany budowy linii kolei magnetycznych w Stanach Zjednoczonych (np. połączenie Waszyngtonu z Baltimore, centrum Pittsburga z lotniskiem, Los Angeles z San Francisco i San Diego itp.)

W Japonii podjęto decyzję o budowie 550 km linii kolei magnetycznej w systemie *RJ Maglev* łączącej Tokio z Osaką (rys. 8) kosztem 180 mld euro. Początek realizacji inwestycji nastąpi za trzy lata. Przewiduje się, że pierwszy 290 km odcinek z Tokio do Nagoyi otwarty będzie w 2027 r. Częścią trasy w 68% przebiegającej w tunelach będzie istniejący obecnie 18 km odcinek doświadczalny, który zostanie przedłużony o 24 km. Przy maksymalnej prędkości 500 km/h czas przejazdu z Tokio do Nagoyi wyniesie 40 minut, a do Osaki 67 minut. Obecnie wykonywane są analizy środowiskowe oraz konstruowane pojazdy serii *Maglev 1.0*. Nowy pociąg złożony będzie z dwóch wagonów czołowych, o przedniej części wydłużonej do 15 m, w celu ograniczenia hałasu podczas wjazdu do tunelu, oraz 3 wagonów środkowych.



**Rys. 8. Kolej magnetyczna w Japonii**

*a. Widok pociągu JR Maglev, b. projektowany przebieg trasy łączącej Tokio z Osaką*

Również w Australii opracowuje się projekty połączeń dużych miast liniami kolei magnetycznej.

## 5. Podsumowanie

Wobec szybkiej rozbudowy linii kolei dużych prędkości w Europie i na świecie koleje magnetyczne pozostają na razie w sferze projektów i nowych koncepcji często znacznie wyprzedzających obecny poziom techniki transportowej.

Wydaje się, że w Europie niemiecki system kolei magnetycznej *Transrapid* może w przyszłości znaleźć zastosowanie na terenach dużych aglomeracji, między innymi do połączenia centrów miejskich z lotniskami lub terenami wystawowymi, a w przyszłości być może również w połączeniach międzynarodowych.

W znacznej mierze będzie to zależec od możliwości obniżenia kosztów budowy, eksploatacji i utrzymania kolei magnetycznej.

Program budowy nowej linii kolei magnetycznej w systemie *JR Maglev* przyjęty już obecnie do realizacji w Japonii oraz podobne zamierzenia rozpatrywane w Chinach, Australii i Stanach Zjednoczonych stanowią dobra prognozę dla przyszłego rozwoju tego rodzaju transportu. Być może rozwój ten nastąpi w długim okresie czasu, zależnie od dalszego rozwoju techniki oraz możliwości powiązania systemów tradycyjnej kolei z liniami kolei magnetycznej.

## Bibliografia

- [1] Breimeier R.: *Der Transrapid - das Spurfürunssystem der Zukunft*. Materiały konferencyjne. 3 Dresdner Fachtagung Transrapid, Dresden 2003.
- [2] Machefert-Tassin Y.: *Maglev - Transrapid et voies ferrées à grande vitesse*. Rev. Générale de Chemins de Fer nr 3/2001.
- [3] Towpik K.: *Kolej magnetyczna*. Problemy Kolejnictwa, zeszyt 139, CNTK, Warszawa, 2004.

## **MAGLEV TRANSPORT – PERSPECTIVE FOR DEVELOPMENT**

### ***Summary***

*The existing maglev transport systems, the projects of connections between European cities that have not been executed, feasibility studies for international connections as well as projects and conceptions of maglev transport development at other continents have been described in the paper.*

**Keywords:** *maglev transport, Transrapid, JR Maglev*