

Barbara MACIEJNA

OCENA ŚWIATOWEGO STANU BADAŃ NAD MOŻLIWOŚCIĄ WPROWADZENIA KOLEI  
NIEKONWENCJONALNEJ W PRZEWOZACH PASAŻERSKICH - cz. II

**Streszczenie.** W części II artykułu omówiono najnowsze światowe osiągnięcia w badaniach pojazdów na poduszce magnetycznej z wykorzystaniem trzech systemów unoszenia, a mianowicie z magnesami trwałymi, systemem elektromagnetyczny i elektrodynamiczny. Opisano badania i uzyskiwane efekty w krajach wysoko uprzemysłowionych oraz podano przykłady nielicznych jeszcze zastosowań (np. linia M-Bahn w Berlinie). Przeprowadzono ocenę każdego z tych trzech systemów pod kątem możliwości ich praktycznej realizacji. Dla systemu z magnesami trwałymi ograniczeniami są zbyt mała światowa produkcja materiałów ferromagnetycznych, jakość tego materiału oraz stabilność zawieszenia magnetycznego. W systemie elektromagnetycznym rozwiązaniem wymaga problem doboru szerokości szczeliny. Natomiast w systemie elektrodynamicznym należy skoncentrować prace nad likwidacją tzw. siły naciągu magnetycznego sposobem chłodzenia zwojnic oraz nad określeniem optimum techniczno-ekonomicznego zasilania magnesów.

## 1. Pojazdy na poduszce magnetycznej

### 1.1. Najnowsze badania

#### 1.1.1. Uwagi ogólne

Można przyjąć, że poważniejsze prace nad pojazdami na poduszce magnetycznej rozpoczęto z początkiem lat 70 i w miarę upływu czasu następował znaczny postęp w tej dziedzinie, który trwa po dzień dzisiejszy. W niniejszym artykule przedstawione zostaną najnowsze rozwiązania ostatnich 10 lat.

Badania prowadzone są nad trzema systemami magnetycznego unoszenia. Są nimi:

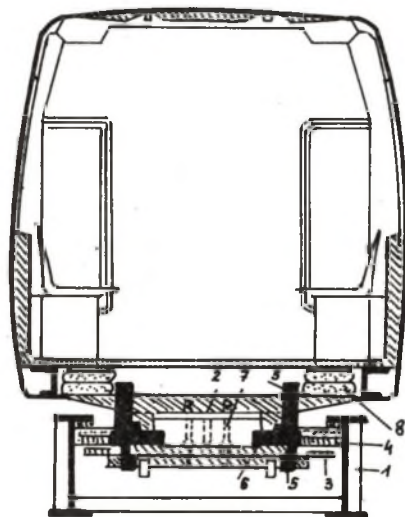
- a) system z magnesami trwałymi (PMS),
- b) system elektromagnetyczny (EMS),
- c) system elektrodynamiczny (EDS).

#### 1.2. System z magnesami trwałymi (PMS)

Z uwagi na jeszcze stosunkowo niewielką światową produkcję materiałów ferromagnetycznych potrzebnych do budowy magnesów trwałych, prowadzone prace koncentrują się nad zastosowaniem tego typu unoszenia w pojazdach poruszających się na stosunkowo niewielkie odległości, np. w transporcie miejskim, wewnętrznym itp.

W wyniku badań prowadzonych w RFN nad środkiem komunikacji miejskiej M-Bahn określono szereg korzystnych cech tego systemu, do których można zaliczyć [14, 15]:

- niskie koszty eksploatacji na skutek stosowania automatyzacji, braku w pojeździe urządzenia napędowego i kół nośnych, stosowania stacjonarnej techniki napędu i sterowania, łatwej dostępności do instalacji,
- niewielki pobór energii, autorzy twierdzą, że pobór energii dla M-Bahn jest dwa razy mniejszy niż dla kolei konwencjonalnej,
- brak szkodliwego oddziaływania na środowisko,
- podniesienie jakości usług (duża częstotliwość kursowania, realywnie tanie bilety),
- krótki czas budowy z uwagi na zastosowanie elementów prefabrykowanych do budowy estakad,
- obniżenie kosztów budowy drogi jezdnej oraz pojazdu; koszt budowy drogi jest niższy o 40% od kosztów drogi dla tradycyjnej kolei, cena pojazdu znacznie niższa z uwagi na zmniejszenie ciężaru pojazdu przypadającego na 1 pasażera.



Rys. 9. Przekrój poprzeczny kolei M-Bahn [21]:

1 - dźwigar jezdny, 2 - wózek skrotny, 3 - magnesy pojazdu, 4 - obwód pierwotny silnika liniowego, 5 - pionowe rolki prowadzące, 6 - boczne rolki prowadzące, 7 - rezor podstawowy, 8 - rezor powietrzny

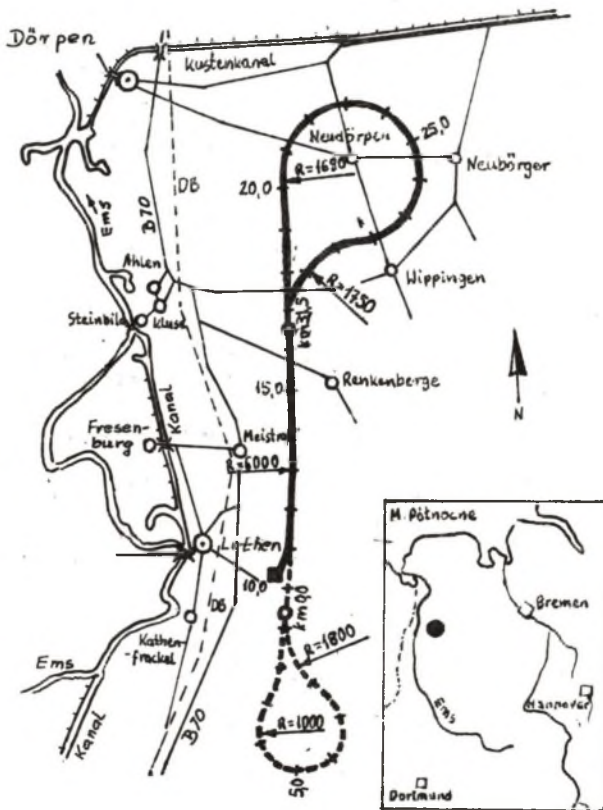
Fig. 9. Cross-section of the train M-Bahn [21]

Poważniejsze badania i testy nad pojazdami M-Bahn rozpoczęto w 1976 r. na trasie próbnej w Brunshwiku [23] długości 1400 m w dwóch zamkniętych i połączonych zwrotnicą pętla z trasą o różnym pochyleniu. Najkorzystniejsze wyniki uzyskano dla wagonika (rys. 9) o pojemności 70 osób z mechanicznym systemem bezpieczeństwa i hamowania.

W 1983 r. rozpoczęto prace projektowe dla realizacji odcinka linii M-Bahn dla Berlina Zachodniego. Przewiduje się budowę trasy o długości 1,6 km, która połączy centrum kultury przy filharmonii na Kemperplatz z istniejącą koleją U-Bahn "Gleisdreieck" przy dworcu Bernburger Strasse [21]. Według najnowszych informacji prace są prowadzone, a oddanie do eksploatacji w pełni zautomatyzowanej linii nastąpi w 1987 r. [22].

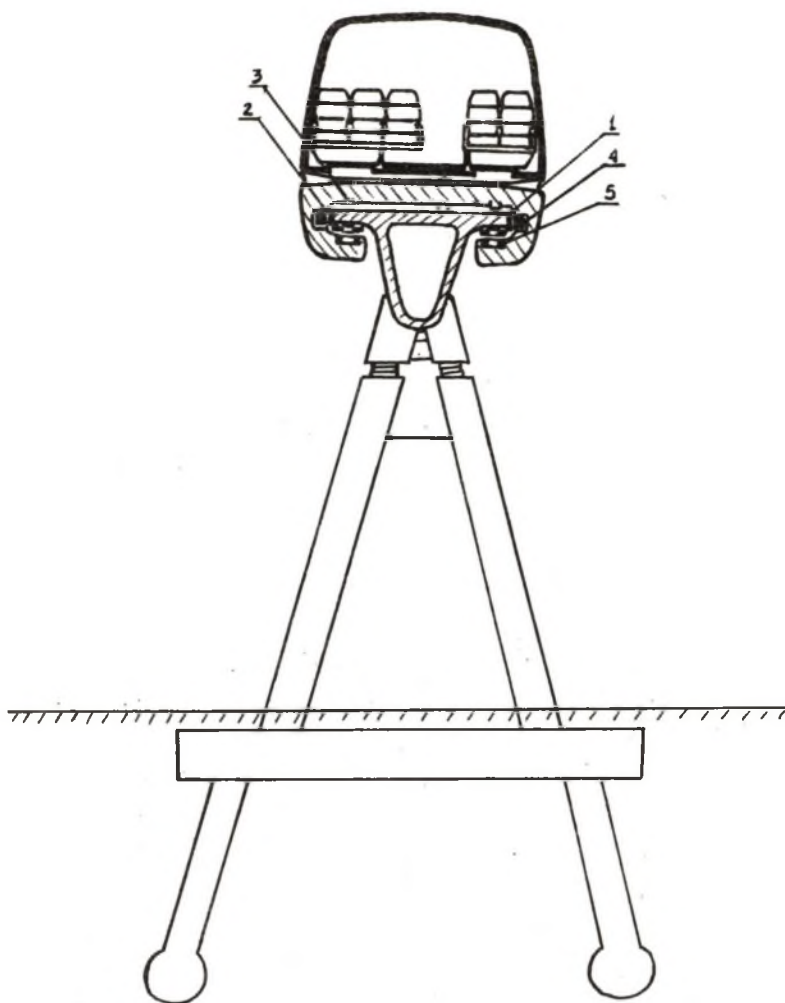
### 1.3. System elektromagnetyczny (EMS)

W 1974 r. szereg firm w RFN utworzyło wspólne przedsiębiorstwo pod nazwą "Transrapid EMS", natomiast w lipcu 1976 r. zorganizowano konferencję, na której przedstawiono plan działań tej firmy. W wyniku badań w 1979 r. pokazano pojazd o nazwie "Transrapid 05" (masa 36 t, prędkość około 80 km/h). Najnowszym osiągnięciem było opracowanie i zbudowanie w 1982 r. pojazdu o nazwie "Transrapid 06". Gabaryty pojazdu: 54,2 x 3,7 x 4,2 m, masa 102 t plus 20 ton (196 pasażerów). Napęd za pomocą synchronicznego silnika liniowego. Na odcinkach prostych toru w Emsland (długości 31,5 km) pojazd uzyskał prędkość 400 km (rys. 10, 11) [4, 7, 14]. Jak podaje literatura, system może funkcjonować w temperaturach  $-25^{\circ}\text{C}$  do  $+40^{\circ}\text{C}$  i przy przeciwnym wietrze 25 m/s. Poziom szum wewnątrz pojazdu nie przekracza 60 dB. Rezultaty badań pojazdu Tr 06 wykazały, że zużycie energii przy  $V = 400 \text{ km/h}$



Rys. 10. Usytuowanie i przebieg trasy próbnej do badań pojazdów typu "Transrapid 06" [14]

Fig. 10. Settlement and run of the test way for studies of the vehicles Transrapid 06



Rys. 11. Przekrój pojazdu "Transrapid 06" na betonowym torze [14]:  
 1 - szyna współpracująca z elektromagnesami stabilizacji bocznej, 2 - obwód wtórny silnika liniowego, 3 - płyty, 4 - elektromagnesy prowadzące, 5 - obwód pierwotny silnika liniowego i magnesy unoszące

Fig. 11. Cross-section of the vehicle Transrapid 06 on the concrete way

(111,1 m/s) jest równe zużyciu energii przez samolot lecący z prędkością  $V = 150 \text{ km/h}$  (41,67 m/s). Przy  $V = 160 \text{ km/h}$  (44,4 m/s) zużycie energii przez Tr 06 jest o 25% niższe niż kolei konwencjonalnej [14].

W 1982 r. przedsiębiorstwo "Transrapid EMS" po przyłączeniu kilku firm zachodnioeuropejskich utworzyło międzynarodowe przedsiębiorstwo o nazwie

"Transrapid International" (TRI), które zajęło się udoskonalaniem istniejących prototypów. Od 1983 r. TRI wykorzystuje w tym celu tor doświadczalny w Emsland. W chwili obecnej opracowywany jest tzw. projekt "Europole" oparty na systemie Transrapid. Jest to projekt budowy szybkiego połączenia głównych miast krajów EWG.

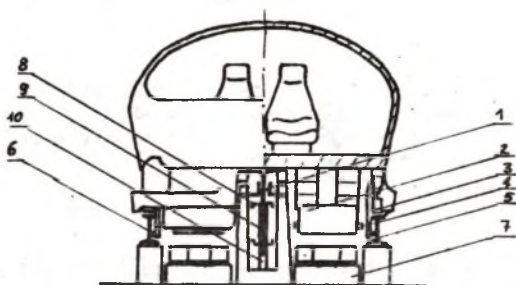
W Japonii intensywne prace nad zastosowaniem systemu unoszenia magnetycznego typu EMS prowadzone są przez Japońskie Linie Lotnicze (IAL) oraz Ministerstwo Transportu.

Projektuje się zbudowanie pociągu magnetycznego pomiędzy lotniskiem a centrum miasta oraz w komunikacji miejskiej [9, 10]. W 1977 r. pierwszy pojazd HSST-01 na torze o długości 400 m osiągnął prędkość  $V = 307,8$  km/h (85,5 m/s) [6]. Od 1979 r. prowadzono badania nad pojazdem HSST-02 (na wydłużonym torze do 1600 m). Ostatnio, na wystawie Expo 85 w mieście Tsukuba przedstawiono pojazd HSST-03.

W Anglii prowadzone są pewne ograniczone badania nad zawieszeniem magnetycznym. Na torze długości 100 m w Derby badany jest pojazd eksperymentalny o długości 3,5 m z siedzeniami dla 12 osób, szybkość 50 km/h (13,9 m/s). Planowano zastosowanie tego systemu w Birmingham dla przewozu pasażerów między lotniskiem a stacją kolejową [12]. W kwietniu 1984 r. kolejka ta została uruchomiona i nazwaną ją "People-Mover". Ponieważ kursuje na dystansie 620 m, jej prędkość jazdy ograniczono do 25 km/h (6,9 m/s). Kolejka jest w pełni zautomatyzowana [16].

#### 1.4. System elektrodynamiczny (EDS)

Najintensywniejsze badania nad systemami EDS prowadzone są w Japonii. W 1972 r. zbudowano pojazd ML-100 (rys. 11), a w 1975 zakończono badania pojazdu ML-100A na torze o długości 480 m, na którym osiągnięto prędkość

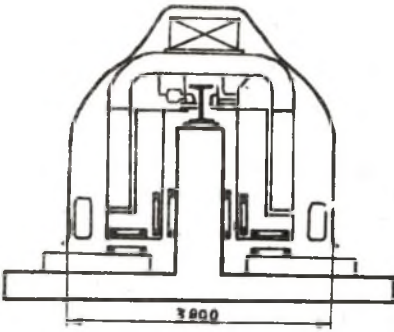


Rys. 12. Przekrój poprzeczny pojazdu "ML-100" na torze próbnym [17]:

1 i 10 - prowadnice obwodu wtórnego silnika liniowego, 2 - kriostat, 3 - górny klocek hamulcowy, 4 - zwojnica nadprzewodząca, 5 - szyna stalowa do hamowania, 6 - boczny klocek hamulcowy, 7 - cewki torowe, 8 - cewka wzbudzenia dla silnika liniowego, 9 - obwód wtórny silnika liniowego

Fig. 12. Cross-section of the vehicle ML-100 on the test railway

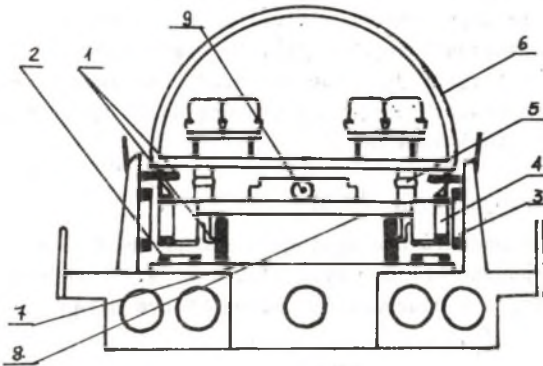




Rys. 13. Schemat pojazdu "ML-500" na torze próbnym [10]

Fig. 13. Scheme of the vehicle M-500 on the test railway

50 km/h [3]. W latach 1977-1979 prowadzono badania pojazdu ML-500 na torze o długości 7 km w Migazaki [17]. Pojazd był zdalnie sterowany, jego wymiary 13,5 m x 3,8 m x 2,7 m, masa 10 t. Pojazd ten przejechał ogółem 11 tys. km i osiągnął rekordową prędkość 517 km/h (143,6 m/s). Równocześnie trwały doświadczenia z pojazdami serii ML-500 [8, 10] (rys. 13). W marcu 1980 r. zmieniono kształt toru i zbudowano pojazd MLU-00I-I (rys. 14) o wymiarach 12,0 x 3,0 x 3,3 m i masie 9 t. Pojazd ten do prędkości 140 km/h (38,8 m/s) poruszał się na kołach, unoszenie magnetyczne uzyskiwał przy prędkościach ok. 150 km/h (41,6 m/s).



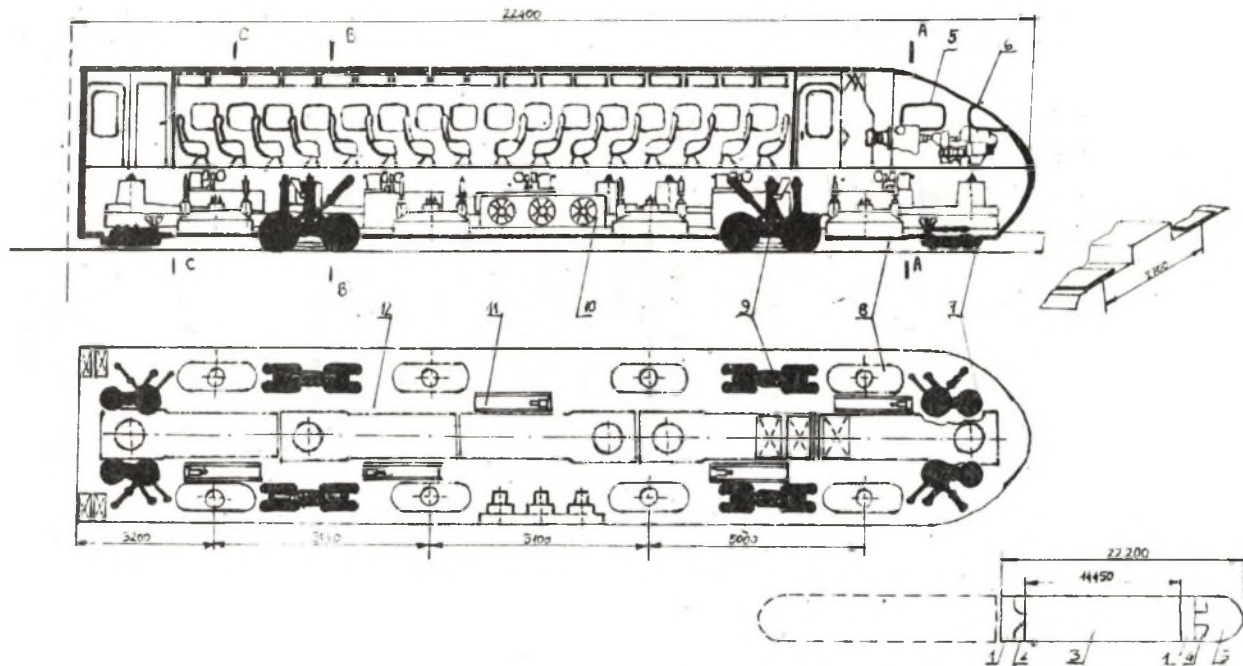
Rys. 14. Schemat pojazdu "MLU 00I-I" na torze próbnym [10]:

1 - dodatkowe podwozie nośne i prowadzące, 2 - torowa cewka unosząca, 3 - torowa cewka stabilizująca, 4 - zwojnica nadprzewodząca pojazdu, 5 - reesor pneumatyczny, 6 - pudło wagonu, 7 - bieżnia dla podwozia nośnego, 8 - belka pojazdu

Fig. 14. Scheme of vehicle MLU 00I-I on the test railway

W końcu 1982 r. skład dwupojazdowy osiągnął prędkość  $V = 262$  km/h (72,7 m/s).

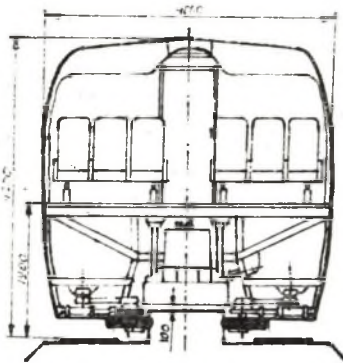
System elektrodynamiczny jest przedmiotem badań również w RFN, należy jednak stwierdzić, że firmy zachodniemieckie więcej uwagi poświęcają systemowi elektromagnetycznemu [18], który według nich jest mniej energochłonny. Sporo badań prowadzono z początkiem lat 70 przez firmę Siemens na torze w Erlangen. Efektem tych prac było zbudowanie kilku pojazdów doświadczalnych (rys. 15 ÷ 18) [14].



Rys. 15. Eksperymentalny pojazd firmy Siemens [14]:

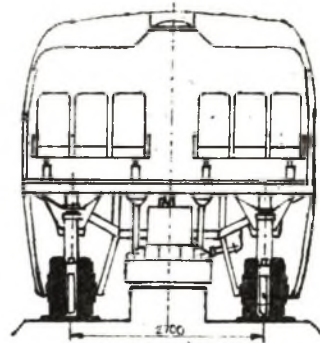
1 - wejście, 2 - toalety, 3 - część dla pasażerów, 4, 5 - pomieszczenia dla obsługi i urządzeń pokładowych, 6 - kompresor helowy, 7 - koła boczne prowadzące, 8 - magnes unoszący, 9 - podwozie wysuwane, 10 - chłodnica helowa, 11 - zbiornik, 12 - magnesy wzbudzenia dla silnika liniowego

Fig. Experimental vehicle by Siemens



Rys. 16. Sposób bocznej stabilizacji pojazdu firmy Siemens podczas jazdy z niewielką prędkością [14]

Fig. 16. A way of side stabilization of the vehicle made by Siemens during its trip with small velocity



Rys. 17. Wysuwane podwozie konwencjonalne w pojeździe firmy Siemens [14]

Fig. 17. Outgoing conventional frame in the vehicle made by Siemens

W RFN badania nad systemem EDS poszły jeszcze w innym kierunku, a mianowicie - wykorzystując stosunkowo duże siły unoszenia magnesów nadprzewodzących - podjęto próbę zastosowania tego systemu w pociągach konwencjonalnych, aby umożliwić im jazdę z dużymi prędkościami (rys. 19) [14]. Tor dla takiego pojazdu podobny jest do toru tradycyjnego, z tym że dodatkowo wyłożony jest płytami przewodzącymi. W materiałach reklamowych brak jest jednak dokładniejszych danych o prowadzonych badaniach.

Kanadyjski Państwowy Związek Badawczy przeprowadził szczegółową analizę rezultatów prac prowadzonych w różnych krajach świata w dziedzinie szybkiego transportu naziemnego i postanowił skupić swe badania nad systemem EDS. Instytut Transportu w Kanadzie od 1977 r. opracowuje projekt 100-miejscowego pojazdu przewidzianego do kursowania pomiędzy Toronto a Montrealem z prędkością 500 km/h (138,8 m/s) [5]. Badania prowadzone są jednak jedynie na małogabarytowych modelach.

## 2. Ocena systemów magnetycznego unoszenia pod kątem możliwości ich praktycznej realizacji

### 2.1. System z magnesami trwałymi

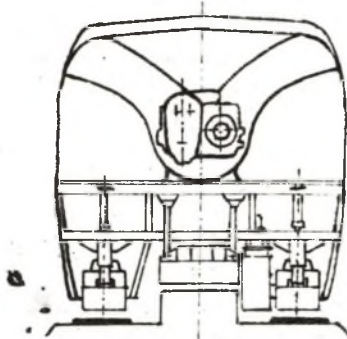
W chwili obecnej (1985 r.) występują wyraźnie trzy problemy, których rozwiązanie będzie miało decydujący wpływ na możliwość wdrożenia tego systemu do eksploatacji. Są nimi:

- Zbyt mała, wspomniana już, produkcja materiałów ferromagnetycznych, głównie stopów aluminium - nikiel - kobalt. Podstawową barierą w zwiększeniu



produkcji jest czynnik technologiczny (uzyskanie powtarzalności własności przy masowej produkcji) oraz w pewnym również stopniu czynnik surowcowy (nikiel i kobalt są materiałami strategicznymi i drogimi).

- b) Jakość materiału ferromagnetycznego. Co prawda osiągnięto już znaczny postęp w zakresie jakości, jest on jeszcze jednak niewystarczający.
- c) Niestabilność zawieszenia magnetycznego. W warunkach laboratoryjnych nie osiągnięto pełnej stabilności zawieszenia. Stabilizację pojazdu uzyskuje się:
- przez zastosowanie dodatkowych rolek bocznych współpracujących ze specjalną pionową bieżnią,
  - przez zastosowanie bocznych elektromagnesów prowadzących.



Rys. 18. Sposób unoszenia pojazdu firmy Siemens za pomocą magnesów nadprzewodzących [14]

Fig. 18. A way of convection of the vehicle made by Siemens usins superconductive magnets

Wydaje się więc, że zastosowanie poduszkowców magnetycznych z magnesami stałymi będzie miało miejsce w środkach transportowych o niewielkim zasięgu, np. w transporcie miejskim. Uwarunkowane to jest realną możliwością stosowania materiałów magnetycznych o bardzo wysokiej jakości oraz koniecznością budowy lekkich i pojemnych wagonów. Pojazdy te prawdopodobnie już w niedalekiej przyszłości będą konkurencyjne w stosunku do konwencjonalnych środków transportu miejskiego dzięki takim cechom, jak:

- możliwość pełnej automatyzacji, duża niezawodność i bezpieczeństwo ruchu,
- niewielki pobór energii,
- osiągnięcie dużej zdolności przewozowej linii,
- łatwość wkomponowania w istniejącą zabudowę miejską, łatwy montaż prefabrykowanego torowiska, niewielkie nakłady na konserwację i naprawę,
- nieuciążliwość dla otoczenia.

## 2.2. System elektromagnetyczny

O rozwoju poduszkowców opartych na zasadzie elektromagnesów będzie prawdopodobnie decydować duża uniwersalność tych środków w różnych warunkach. System ten stwarza możliwość budowy pojazdów z przeznaczeniem dla transportu miejskiego i miejsko-lotniskowego, jak również dla transportu na znaczne odległości, gdzie pierwszoplanową rolę odgrywa uzyskanie jak największych prędkości jazdy pojazdu przy relatywnie niskim poborze energii.

W chwili obecnej rozwiązaniu wymaga problem doboru szerokości szczeliny (pionowy odstęp między pojazdem i torem), gdyż zbyt mała szczelina wymaga przy dużych prędkościach absolutnej dokładności wykonania toru, zbyt duża szczelina wymaga wzrostu mocy elektromagnesów. Tak więc wybór szerokości szczeliny jest kwestią optymalizacji mocy elektromagnesów oraz kosztów budowy i eksploatacji toru. Wyeliminowana już została całkowicie trudność w utrzymaniu stałej szerokości szczeliny dzięki zastosowaniu w najnowszych modelach specjalnych układów elektronicznych z czujnikami regulującymi odstęp. Istnieje w pełni możliwość utrzymania stałej szerokości szczeliny nawet przy znacznych zmianach obciążenia pojazdu. Wadą systemu regulacji szerokości szczeliny jest pewna inercja działania układów regulujących. Jest to jednak zależne od jakości tych układów, a postęp w elektronice już obecnie umożliwia zmniejszenie tej inercji w zadowalającym stopniu. Względny bezpieczeństwa ruchu nakazują, aby pojazdy posiadały zapasowy system regulacji szczeliny. Wpływa to na wzrost kosztów pojazdu.

Dodatkowo, dla wyeliminowania przerwy w zasilaniu, pojazd powinien posiadać baterie akumulatorów dla podtrzymania unoszenia pojazdu i włączenia automatycznego hamowania. Zwiększa to z kolei ciężar pojazdu.

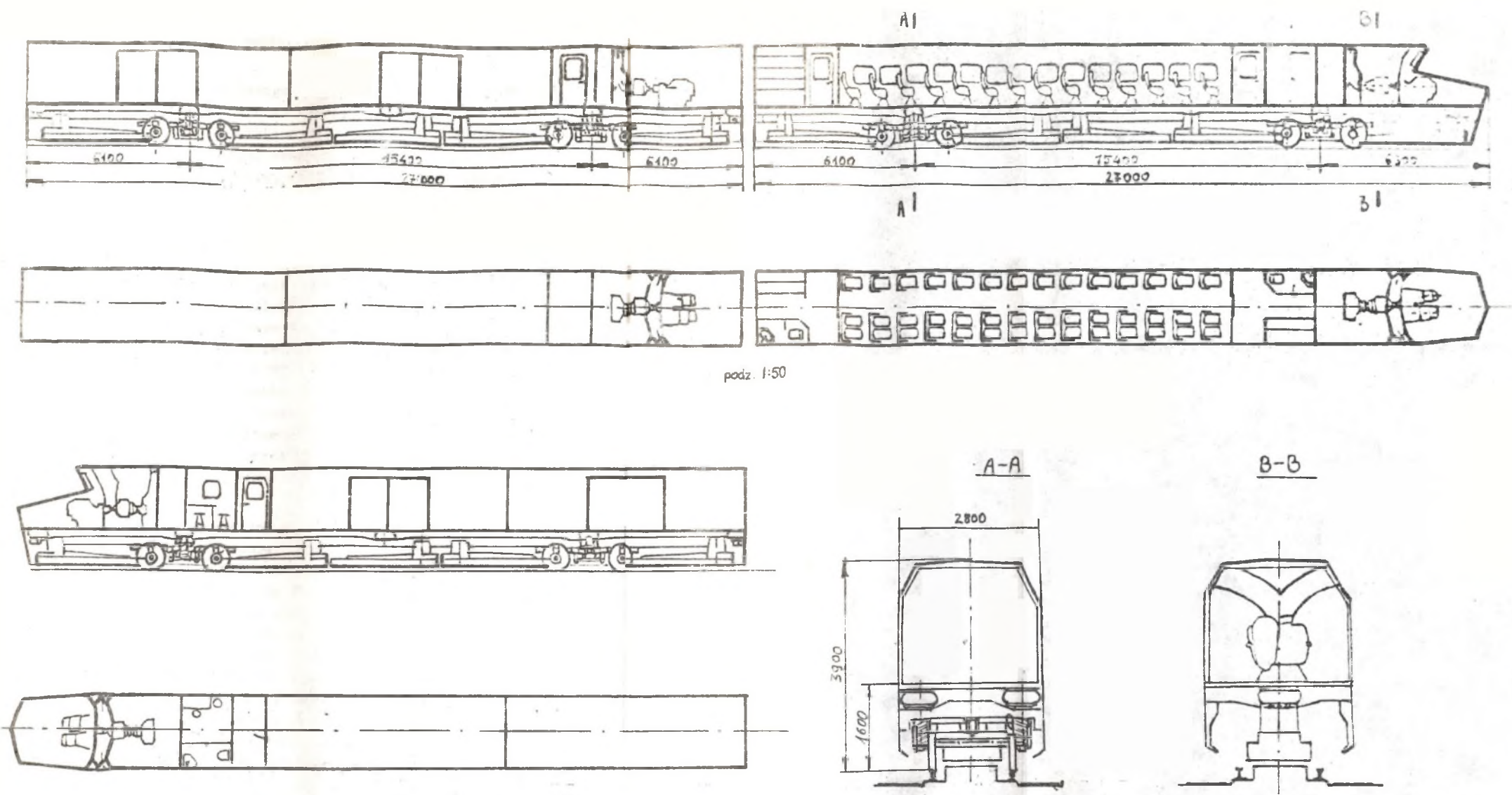
Są to jednak problemy, których zminimalizowanie nastąpi prawdopodobnie w niedalekiej przyszłości.

## 2.3. System elektrodynamiczny

Rozwój poduszkowców działających na zasadzie nadprzewodnictwa będzie zmierzał w kierunku zastosowania ich w transporcie na duże odległości ze względu na możliwość uzyskania dużych prędkości jazdy z jednoczesną nieefektywnością tego rozwiązania przy zbyt niskich prędkościach. Głównym zadaniem jest stworzenie realnej możliwości osiągnięcia prędkości rzędu 500 km/h (138,8 m/s), zwiększenie pojemności pojazdu oraz uzyskanie relatywnie niewielkiego poboru energii.

Do najtrudniejszych problemów w rozwoju poduszkowców wymagających rozwiązania należą:

- likwidacja tzw. siły naciągu magnetycznego,
- sposób chłodzenia zwojnic nadprzewodzących,
- określenie optimum techniczno-ekonomicznego zasilania magnesów.



podz. 1:50

Rys. 19. Zastosowanie magnesów nadprzewodzących do unoszenia pociągów typu konwencjonalnego [14]  
 Fig. 9. Application of the superconductive magnets to convect conventional trains



Siła naciągu magnetycznego ma charakter oporów ruchu (siła pozioma skierowana przeciwnie do kierunku ruchu zwojnic, proporcjonalna do szybkości ruchu pojazdu) i jest zjawiskiem niepożądanym. Konstruktorzy pojazdów starają się zredukować jej wartość stosując różnego rodzaju zabiegi konstrukcyjne, np. specjalny układ zwojnic, różne kierunki nawinięcia cewki górnej i dolnej itd.

Podstawową zaletą magnesów nadprzewodzących jest ich stosunkowo mała waga i gabaryty przy jednoczesnej możliwości wytworzenia bardzo silnych pól magnetycznych.

Podstawowym problemem jest jednak zapewnienie właściwego chłodzenia zwojnic nadprzewodzących i utrzymania ich w bardzo niskich temperaturach. Obecnie uważa się, że najlepszym czynnikiem chłodzącym jest ciekły hel, zapewniający pracę zwojnic w temperaturze około 4 K.

W obecnej fazie badań (1985 r.) nie określono jeszcze całkowicie, gdzie znajduje się optimum techniczno-ekonomiczne wynikające z czasu przerw między zasilaniem magnesów. Dłuższe przerwy wymagają stosowania coraz niższych temperatur, a więc i kosztownej aparatury. Krótkie przerwy wymagają instalowania urządzeń zasilających na większej liczbie stacji i wydłużenia na nich czasu postoju pociągów. Dalsze badania przyczynią się do rozwiązania tego problemu.

System elektrodynamiczny posiada również inne wady wymagające ich likwidacji bądź zminimalizowania. Jedną z nich jest zależność wysokości poduszki magnetycznej (wysokość unoszenia) od prędkości poruszania się pojazdu. Przy szybkościach niewielkich (do 50 km/h) gęstość prądów wirowych w torze jest zbyt mała, co powoduje, że pionowa siła unosząca jest mniejsza od ciężaru pojazdu. Dlatego też pojazdy należy zaopatrzyć w specjalne podwozia dla jazdy z małymi prędkościami. Z kolei przy znacznych prędkościach duża wysokość unoszenia (ok. 30 cm) powoduje ujemne skutki z punktu widzenia konstrukcji pojazdu i pociąga za sobą konieczność zwiększenia siły magnesów nośnych, co z kolei zwiększa ciężar pojazdu. Problem sprowadza się do optymalizacji wielkości szczeliny.

Znaczną zaletą systemu elektrodynamicznego jest możliwość połączenia efektu unoszenia z siłą napędową, nie zachodzi więc potrzeba dodatkowego wytwarzania i dostarczania energii elektrycznej. Również z uwagi na fakt, że siła odpychająca staje się większa z chwilą opuszczania się pojazdu i zbliżania się do toru, system ten pracuje na zasadzie ciągłej stabilności i nie wymaga stosowania czujników regulujących odstęp.

Jest to system bezpieczny. Jednoczesne uszkodzenie wszystkich elementów magnesów jest praktycznie niemożliwe. Nawet przy hipotetycznym założeniu wystąpienia takiej awarii pojazd nie opadnie gwałtownie na torowisko, lecz będzie się opuszczał stopniowo, dzięki zjawisku magnetyczmu szczałkowego i powolnemu zanikowi pola nośnego; czas tego zaniku wystarczy na wysunięcie podwozia.



W odniesieniu do tego systemu można wyrazić nadzieję, że ciągły postęp w nauce i technice, a także dalsze prace doświadczalne pozwolą w niedalekiej przyszłości rozwiązać najtrudniejsze problemy w takim stopniu, że będzie możliwe wprowadzenie tego systemu do eksploatacji. Mimo wszystko będzie to już prawdopodobnie XXI wiek.

### 3. Wnioski

1. Największy postęp w badaniach nad pojazdami typu niekonwencjonalnego został osiągnięty w krajach wysoko rozwiniętych gospodarczo. Jest to spowodowane tym, że:
  - badania wymagają znacznych nakładów finansowych,
  - badania wymagają zastosowania najnowszych osiągnięć naukowych,
  - poziom uprzemysłowienia i technologii musi stwarzać możliwość produkcji niezbędnych części i elementów z zastosowaniem najlepszych materiałów i najnowocześniejszych technik wytwarzania,
  - w krajach wysoko rozwiniętych już obecnie najwyraźniej rysuje się konieczność zastosowania wysoko sprawnych systemów transportowych.
2. Badania przeszły szereg etapów rozwojowych, których kolejność w ogólnym zarysie przedstawia się następująco:
  - stworzenie podstaw teoretycznych związanych z zasadą działania pojazdu, dokonanie wstępnych obliczeń teoretycznych i opracowanie ogólnej koncepcji pojazdu,
  - testowanie uproszczonego małoskalowego pojazdu, próby poprawy osiągnięć pojazdów,
  - wykonanie projektu pojazdu próbnego normalnoskalowego, badania i doskonalenie pojazdów eksperymentalnych,
  - stopniowe powiększanie pojemności pojazdu, dostosowywanie go do normalnej eksploatacji, poprawianie charakterystyk ruchowych, rozwiązywanie problemów optymalizacji kosztów wytwarzania i eksploatacji,
  - obecnie, tzn. w latach 1986 i 1987 (w odniesieniu do niektórych typów pojazdów), rozpoczynają się badania pojazdu w warunkach normalnej eksploatacji.
3. Terenowe poduszki powietrzne, pomimo wielu projektów i prototypów pojazdów, nie doczekały się praktycznej realizacji z uwagi na:
  - nieekonomiczność pod względem energetycznym,
  - niezyskanie odpowiednio dużej zdolności przewozowej i w związku z tym nie spełniony warunek rentowności,
  - uciążliwość dla środowiska,
  - niedostateczną konkurencyjność w stosunku do postępów kolei konwencjonalnej,
  - wzrost wymagań stawianych przyszłościowym środkom transportowym.

Przerwanie prac badawczych świadczy o tym, że uznano ten rodzaj środków transportu za mało perspektywiczny.

4. Ciągły postęp techniczny miał wpływ na to, że już w połowie lat 70 okazało się, że poduszkowce magnetyczne charakteryzują się lepszymi parametrami technicznymi aniżeli poduszkowce powietrzne i że ten kierunek rozwoju poduszkowców zadecyduje o jakości przyszłych środków transportowych.
5. Badania prowadzone w różnych krajach osiągnęły różny poziom. Obecnie (1986 r.) prace nad pojazdami na poduszce magnetycznej i badania na torach próbnych pozwoliły na poprawne rozwiązanie środka transportu miejskiego konkurencyjnego w stosunku do pojazdów konwencjonalnych (M-Bahn). W Japonii osiągnięto bardzo dobre rezultaty w dziedzinie nadprzewodnictwa z myślą o kolei XXI wieku.
6. Kolei przyszłości stawiane są bardzo wysokie wymagania, konieczne są więc dalsze prace badawczo-rozwojowe. Projekty budowy linii kolei niekonwencjonalnej nie są liczne. Obecnie na świecie, poza nielicznymi wyjątkami, nie zaistniały jeszcze tak wielkie potrzeby przewozowe, które wymagałyby natychmiastowego zastosowania rozwiązań niekonwencjonalnych. Wprowadzanie kolei magnetycznej musi rozpocząć się jednak wcześniej, począwszy od krótkich odcinków linii, aby być przygotowanym na przyjęcie przyszłościowych dużych zadań w zakresie przewozów pasażerskich.

#### LITERATURA

- [1] Bahke E.: Systemy transportowe, WKŁ, Warszawa 1979.
- [2] Bień L.: Modele i pojazdy amatorskie na poduszce powietrznej, WKŁ, Warszawa 1979.
- [3] Cybulski S.: Stan światowego postępu w dziedzinie pojazdów z unoszeniem magnetycznym, Zeszyt COBiRTK, Warszawa 1975.
- [4] Eitlhuber E.: Die Transrapid Versuchsanlage im Emsland. Eisenbahntechnische Rundschau 6/1980.
- [5] Fontajne F.: Project de Magler au Canada, Vie du rail, 1761/1980.
- [6] Heitz E.: Hochgeschwindigkeits-Transport mit HSST-System. Techn. heute, 2/1981.
- [7] Kłębek I.: Magnetyczna strzała. Horyzonty Techniki, 2/1984.
- [8] Kyotani Yoshihiro: Research on linear motor magnetic levitation system in the Japanese National Railways. Żelaznyje drogi mira, 5/1982.
- [9] Kyotani Yoshihiro: Test vehicle MLU-001, Japanese Railway Engineering, 4/1983.
- [10] La sustentation magnetique au Japan. Vie du rail, 1582/1977.
- [11] Magnetbahnentwicklung in Japan. Eisenbahntechnische Rundschau, 2/1981.
- [12] Magnetic levitation - BR floats warwick sinks for lack of cash. Chartered mech. eng., II/1978.
- [13] Mayer W.: Der Energieverbrauch der Magnetbahn. Eisenbahntechnische Rundschau 2/1981.
- [14] Materiały reklamowe firm zachodnioniemieckich.

- [15] M-Bahn Angetot für den öffentlichen Nahverkehr. Magnetbahn GmbH, Starnberg (odbitki kserograficzne).
- [16] Memrot I.: Szybka kolej w RFN. Horyzonty Techniki, 12/1984.
- [17] Nakashima Nobuyuki, Nagaoka Hitosh, Tereda Katsuyuki, Fukase Shigeo: Maglev test vehicle Running on Inverted T-Shape Guideay. Hitachi Rev., 2/1981.
- [18] Rogg D., Schultz H.: Systementscheidung bei der Magnetoschwebetechnik, Eisenbahntechnische Praxis, II/1978.
- [19] Roszko K.: Komunikacja niekonwencjonalna w konurbacji górnośląskiej. IKS, Katowice 1976.
- [20] Schneigert Z.: Aktualne problemy związane z kolejami niekonwencjonalnymi. Problemy Kolejnictwa, 77/1978.
- [21] Schultz T., Von Götz H.: Das Magnetbahn-Projekt Berlin. Sonderdruck aus Elektrische Bahnen, 3/1984.
- [22] Stahlbaustrasse für Berliner Magnetbahn. Verkehr und Technik, 1/1986.
- [23] Von Götz H.: Dauermagnetische Fahrzeugsuspension und Antrieb durch Fahrwegwanderfeld, Sonderdruck ZEV-Glasers Annalen, 12/1983.

Recenzent:

Doc. dr hab. Alfred Hornig

Wpłynęło do Redakcji 8.09.1986

ОЦЕНКА МИРОВОГО СОСТОЯНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ВОЗМОЖНОСТЯМ  
ВВЕДЕНИЯ ОДНОРЕЛЬСОВЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ В ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗКАХ  
ЧАСТЬ II

Р е з ю м е

Во второй части статьи оговорены новейшие мировые достижения по исследованиям поездов на магнитной подвеске с использованием трёх систем подвешивания: с постоянным магнитом, электромагнитной и электродинамической системой. Представлены исследования и получаемые эффекты в высокоразвитых странах. Даны примеры, пока что, немногих применений, например линия М-Ван в Берлине. Дана оценка каждой из трёх представленных систем с точки зрения возможности их практической реализации.

EVALUATION OF THE WORLD STATE OF TESTS WITH THE NONCONVENTIONAL TRAINS IN  
THE PASSENGERS TRANSPORTATION-PART II

S u m m a r y

The newest achievements in the tests of vehicle with the magnetic cushion are discussed. Three levitation systems are considered: the first one with permanent magnets, the second one electromagnetic and the third one electrodynamic. Tests and effects obtained in the countries of high industry are described and examples of few known applications are presented (eg. M-Bahn in Berlin). Evaluation of all these systems is made taking possi-

bilities of practical realisation into account. Small production of ferromagnetic materials, quality of the material and unstability of magnetic suspension are constraints for the systems with permanent magnets. Electromagnetic systems need development of tests with the choice of breadth of the gap. In the electrodynamic systems the main problem is how the magnetic tightening may be annihilated, how the coils may be cooled and what is technical and economical optimum of magnets supply.