

Pociąg w uniesieniu

13 czerwca 2012

O magnetycznej lewitacji (maglevu). Pociąg unoszący się nad torowiskiem i mknący dzięki magnesom nadprzewodzącym, to najbardziej obiecująca technologia, która odmieni światowy transport.



Aby uciec jak najdalej od amoku Euro 2012 i kultowego zgiełku piłki nożnej, której od dziecka nienawidzę, sięgnąłem w stronę ciekawego i przyjemnego tematu, jakim jest maglev – kolej przyszłości. W Polsce nadal traktujemy jeszcze kolej jako konkurencję dla samochodów. Ale jej prawdziwa przyszłość polega na konkutowaniu z lotnictwem. Magnetyczna lewitacja (maglev), to nazwa zupełnie nowego rodzaju transportu, który wkrótce dołączy do statków, pojazdów kołowych i samolotów jako rewolucyjny sposób przewożenia ludzi i towarów na świecie. Najprościej mówiąc maglev to pociąg, którego wagony unoszą się nad torem, bo są odeń magnetycznie odpychane, a jednocześnie mkną po wyniesionej ponad miastami szynie, bo pociągają je inne potężne magnesy umocowane w podwoziu. Pojazd nie styka się z torowiskiem, nie ma żadnych silników, nie spala paliwa, nie wydaje żadnego dźwięku, nie drży i nie wibruje.

Maglev osiąga szybkość samolotu, ale jest tańszy w eksploatacji od dzisiejszej kolei i może przewozić na masową

skale ludzi, samochody, kontenery, a także towary, nawet tak masowe jak wodę do nawadniania pustyń. Koszt eksploatacyjny w tym systemie transportu obliczono w USA jako 3 centy na jedną pasażero-milę i 7 centów za jedną tono-milę ładunku. Większość informacji zaczerpnąłem z opracowań amerykańskich i nie chciało mi się tego przeliczać na złotówki i system metryczny, bo wystarczy porównać z innymi kosztami. Dla samolotów jest to dziś 15 centów za pasażero-milę, a dla pociągów typu intercity 30 centów za tono-milę ładunku. Ogromną zaletą jest też żywotność maglevu. Torowisko jest zaprojektowane na minimum 50 lat praktycznie bez żadnej konserwacji, ponieważ nie ma w nim mechanicznego styku, ścierania ani wibracji. To samo dotyczy wagonów, tym bardziej, że ładunek obciąża w nich podwozie dużo bardziej równomiernie niż przy tradycyjnym nacisku na osie i koła.

Maglev jest także bardzo wydajny i tani energetycznie. W odróżnieniu od samochodów osobowych, ciężarówek, statków, lokomotyw i samolotów niczego sam nie spala, tylko jest napędzany prądem, który zasila elektromagnesy na jego trasie. A prąd, jak wiadomo, można wytwarzać na zewnątrz w stałych elektrowniach węglowych, wodnych, gazowych, biopaliwowych, wiatrowych, słonecznych, jądrowych, fuzyjnych i jakich tam jeszcze. Przy prędkości 300 mil na godzinę na otwartej przestrzeni maglev zużywa tylko 0,4 megadżuła na pasażero-milę, w porównaniu z 4 megadżułami na pasażero-milę w samochodzie spalającym, jak np. w Ameryce 1 galon benzyny na 20 mil, wiozące 1,8 pasażera (średnia w USA) przy szybkości 60 mph. Przy prędkości 150 mph na otwartej przestrzeni maglev potrzebuje tylko 0,1 megadżuła na pasażero-milę, czyli tylko 2% energii, jaką zużywa typowy samochód w USA. Jeśli zaś maglev miałby się poruszać w szczelnych tunelach niskociśnieniowych, co proponują szwajcarscy projektanci metra, zużycie energii na pasażero-milę oblicza się jako równowartość 1 galona na 10 000 mil!

Niemal tak samo ważne jest i to, że maglev nie skaża

środowiska. Nawet jeśli zużywa prąd z elektrowni węglowej, emisja dwutlenku węgla jest zdecydowanie niższa niż z silników spalinowych, z uwagi na wysoką wydajność energetyczną (jak wyżej). Niemal bezszelestny i wyniesiony jako kolej napowietrzna maglev jest też o wiele mniej inwazyjny dla zatłoczonych i hałaśliwych miast. Jest też niemal całkowicie bezpieczny. Wzajemny dystans między pociągami i ich szybkość są automatyczne i stałe, bo wszystkie są zasilane z tej samej szyny i jeden nie może dogonić drugiego ani na niego wpaść. Torowisko jest wyniesione ponad drogi i ulice, a więc nie może dojść do kolizji z innymi środkami transportu.

Maglev nie jest wcale ideą nową. Marzył o nim już w 1900 roku Francuz Emile Bachelet, któremu się zdawało, że wystarczy na ziemi ułożyć arkusze aluminiowej blachy, a do wagonów przyczepić pierścienie zmiennoprądowe, aby pociągi latały w powietrzu. No, nie udało się. Niepraktyczne okazały się także wszystkie dalsze projekty oparte na konwencjonalnych elektromagnesach i magnesach stałych. Albo zużycie mocy było za duże, albo zawieszenie niestałe, albo waga lewitującego w doświadczeniach obiektu za mała.

Pierwszy praktyczny system maglev opracowali i zaproponowali w 1966 roku dwaj znani amerykańscy fizycy-konstruktorzy – dr James Powell i dr Gordon Danby, z których ten pierwszy to także zasłużony specjalista od napędów rakietowych, a ten drugi to pionier badań nad nadprzewodnictwem i zastosowaniami rezonansu magnetycznego w medycynie (MRI). Ich projekt przewidywał wagony wyposażone w lekkie magnesy nadprzewodzące, które wzbudzały prąd w szeregu zwykłych pierścieni aluminiowych zamontowanych na całej długości prowadnicy. Indukowany prąd współdziałał z magnesami nadprzewodzącymi umieszczonymi w wagonach wypychając je lekko ponad torowisko. Uniesiony pojazd w sposób bierny i nieunikniony pozostaje stabilny wobec sił zewnętrznych, w tym wiatrów bocznych i sił odśrodkowych na krzywiznach toru, zarówno w poziomie jak i w pionie. Każde przyciśnięcie pojazdu to toru automatycznie

zwiększa jego siłę odpychania, co zapobiega zatarciu. I odwrotnie, każda próba oderwania ponad tor osłabia odpychanie, a wtedy wzrasta siła ciężenia i pojazd opada zawsze pozostając w wymaganym przedziale zawieszenia-uniesienia i wzajemnego oddziaływania tych przeciwstawnych sił. Również każda próba zepchnięcia pojazdu z toru przez boczny wiatr uruchamia automatycznie dodatkowe siły magnetyczne, które trzymają go na prowadnicy.

Proces magnetycznej lewitacji jest automatyczny dopóki pojazd pozostaje w ruchu i ma prędkość powyżej granicy oderwania. Poniżej tej granicy, która w zależności od projektu waha się od 50-20 mph, opór elektryczny pierścieni aluminiowych wzdłuż prowadnicy zmniejsza prądy indukowane tak bardzo, że siła magnetyczna staje się za słaba, aby odpychać i unosić pociąg. Dlatego przy małych prędkościach pojawia się potrzeba ruchu na zamocowanych pomocniczo kołach, lub też przez miejscowe zasilanie prowadnicy. Takie odcinki niskiej szybkości występują jednak tylko w pobliżu stacji, gdzie są potrzebne do wygaszania lub nabierania prędkości. Oznacza to, że maglev najlepiej sprawdza się na długich dystansach, gdzie odcinków manewrowych tj. dróg hamowania i rozpędu jest niewiele. Sekret praktycznego powodzenia tego projektu leżał od początku w magnesach nadprzewodzących, niezwykle potężnych, lekkich i trwałych. Ponieważ opór elektryczny jest w nich zerowy, nawet gdy płynie przez nie prąd o natężeniu setek tysięcy amperów, to również zużycie mocy jest zerowe, z wyjątkiem tej, która jest potrzebna dla zasilania zamrażarek utrzymujących nadprzewodniki w temperaturze bliskiej zeru Kelvina.

Praca Powella i Danby'ego (J.R.Powell and G.T.Danby, 1966 „High Speed Transport by Magnetically Suspended Trains” Paper 66-WA/RR-5, ASME meeting, N.Y., oraz “A 300 mph Magnetically Suspended Train” w Mechanical Engineering, vol. 89, pp.30-35) wzbudziła ogromne zainteresowanie na całym świecie. Praktyczne prace nad projektami zaczęto w kilku krajach, jednak w USA zaniechano ich na początku lat 1970., kiedy amerykański

Departament Transportu dał dowód swej głupoty uznając, że samochody i samoloty wystarczą Amerykanom na zawsze i prac nad rozwojem kolei prowadzić się tam nie będzie. Badania przeniosły się wtedy do Japonii i Niemiec, które dziś zdecydowanie przodują w tej technologii.

Są dwa systemy maglevu: unoszenie elektrodynamiczne EDS, czyli przez przyciąganie, w którym magnesy nadprzewodzące są zamontowane w torowisku i unoszenie elektromagnetyczne EMS, czyli przez odpychanie, w którym elektromagnesy są w podwoziu wagonów. Z tego wynikają dalsze różnice i wyzwania techniczne. Japończycy skupili się na modelu nadprzewodzącym EDS według oryginalnego pomysłu Powella i Danby'ego i zbudowali pierwszy 20-kilometrowy tor testowy w pobliżu Kofu w prefekturze Yamanashi, gdzie ich pociągi pobiły absolutny rekord szybkości (581 km/h) należący przedtem do francuskiego pociągu kołowego TGV. Japoński maglev jeździ zarówno na otwartej przestrzeni jak i w głębokich tunelach górskich, bądź jako pojedyncze wagony, bądź w jednostkach spiętych nawet z pięciu i więcej wagonów naraz. Wagony mają po 90 wygodnych foteli. W bocznych ścianach betonowej rynny, w której pędzi pociąg mieszczą się bierne dipolowe pierścienie aluminiowe o zerowym przepływie, które unoszą przez podciąganie i z obu stron stabilizują pędzący pojazd bocznie. Napęd zapewnia drugi zestaw aluminiowych pierścieni wzdłuż boków rynny, stanowiących tzw. linearny motor synchroniczny (Linear Synchronous Motor, LSM). Te drugie pierścienie są już aktywne, podłączone do linii energetycznej i kontrolowane przez łącza elektroniczne. Kiedy zostają wzbudzone, prąd zmienny w pierścieniach LSM odpycha pierścienie nadprzewodzące w podwoziu pojazdu i pociąg rozpędza się wzdłuż prowadnicy. Po odwróceniu pola służy też do wyhamowania pociągu. Napęd LSM działa właściwie tak samo jak konwencjonalny synchroniczny silnik obrotowy, tyle, że jest rozwinięty wzdłuż linii, a nie zamknięty w cylindrze. Popycha wagony ze stałą prędkością, która jest zależna od częstotliwości prądu zmiennego w pierścieniach LSM, niezależnie od tego czy wiatr uderza w pociąg z przodu, z tyłu

czy z boku, a także bez względu na to, czy pociąg zjeżdża po szynie w dół, czy się wspina pod górę. Zachowuje też stałą odległość między wszystkimi pojazdami na tej samej trasie. Napęd LSM jest bardzo wydajny – ponad 90% energii elektrycznej, jaką zasila się pierścienie LSM jest przekształcana w siłę, która porusza wagony. Tu warto przypomnieć, że silnik spalinowy w samochodzie wykorzystuje w ten sposób tylko ok. 10% energii spalanej benzyny, a w samochodzie elektrycznym można uzyskać wydajność energetyczną ok. 40%.

Dobre wyobrażenie o zasadach działania maglevu i możliwościach technicznych, jakie się z tym wiążą dają załączone filmy z miniatur i zabaw, łącznie z modelami lego. Używa się w nich magnesów nadprzewodzących schładzanych do -183 st.C za pomocą ciekłego azotu, co daje widoczny efekt kondensacji pary u podwozia wagoników. Aby wprowadzić model w ruch trzeba dać mu pierwszy impuls ręką. Ponieważ nie ma tarcia, wagonik krąży po torze, dopóki magnes nie 'odmrozi się' na tyle, że straci właściwości nadprzewodzące.

Koleje japońskie, które są właścicielem eksperymentalnego maglevu wraz z torem prób w Yamanashi, już wydały na ten projekt kilkanaście miliardów dolarów i planują zbudowanie całej 500-kilometrowej trasy, która przewoziłaby codziennie 100 000 pasażerów z aglomeracji Tokio do zagłębia przemysłowego Kansai (Osaka) w ciągu jednej godziny. Miasta te łączy już od 1964 roku słynna i bardzo zasłużona superszybka kolej kołowa Shinkansen (dosł. „nowa magistrala” znana jako „pociąg-pocisk”), biegnąca wzdłuż wybrzeża, która jest jednak dość droga w eksploatacji i konserwacji. Ponad 60% projektowanej trasy maglevu, o wiele krótszej od Shinkansenu, miałyby przebiegać w głębokich tunelach pod górami w środkowej części głównej wyspy Honsiu. Przyjęto, że już sama budowa trasy maglevu ożywi gospodarczo słabiej zaludnione rejony wyspy. Ze względu jednak na astronomiczne koszty inwestycji projekt posuwa się bardzo powoli. Infrastrukturalny koszt

budowy całości projektu na trasie Tokio-Osaka ocenia się na sto miliardów dolarów! Mówiąc z grubsza budowa jednego kilometra maglevu jest przynajmniej dwa razy droższa od kilometra trasy Shinkansenu, ale przejazd maglevem miałby być dwukrotnie szybszy. Do tego dochodzi koszt samych pociągów, koszty eksploatacji systemu, no i koszt prawie pół wieku eksperymentowania. Japoński maglev z Yamanashi ma za sobą wiele sprawdzonych eksperymentalnie rozwiązań, jak np. wysuwane pod pociągiem – tak jak w samolocie – koła, na których pociąg podjeżdża do stacji lub porusza się na wolniejszych odcinkach, gdzie może po prostu przejść na normalne tory istniejącej sieci kolejowej. Japoński maglev rozpędza się na torze od 0 do 500 km/h w ciągu zaledwie półtorej minuty. Testuje się na nim ciągle wszystkie skrajne warunki jazdy, a w tym np. krytyczną stabilność w chwili, gdy dwa takie pociągi będą się mijać prawie się o siebie ocierając ze zsumowaną prędkością 1026 km/h. Ogółem w Japonii maglev wyjeździł już na testach pół miliona kilometrów. Ze względu na koszty japoński entuzjazm dla maglevu wydaje się ostatnio słabnąć, a obrońcy Shinkansenu coraz śmielej podnoszą głowę twierdząc, że przewaga maglevu nie jest warta aż takich kosztów. W międzyczasie zresztą Shinkansen odzyskał jakby drugą młodość i zasługuje na osobny artykuł, podobnie jak TGV lub Pendolino.

Od strony technicznej Niemcy podeszli do maglevu inaczej. Zamiast magnesów nadprzewodzących ich system EMS, nazwany Transrapid, używa konwencjonalnych elektromagnesów działających w zwykłej temperaturze. Zużywają one mniej prądu niż wentylacja pociągu konwencjonalnego. Są zamocowane w podwoziu obejmując z obu stron szynę o przekroju w kształcie litery T. Siła magnetyczna, która unosi pojazd pochodzi z tych magnesów w podwoziu, które są zasilane z baterii pokładowych i mogą unosić wagon przez godzinę bez dopływu energii z zewnątrz. Jazda wymaga ładowania z generatorów linearnych. Powoduje to jednak ważny problem niestabilności lewitacji. W rozwiązaniu nadprzewodzącym (japońskim) mamy stabilny

automatyzm: im bardziej pojazd naciska na tor, tym silniej jest odpychany. W rozwiązaniu elektromagnetycznym (niemieckim) im bardziej pojazd „wali się” na tor, tym silniej jest przyciągany. Aby zapobiec wtarcia się podwozia w szynę i przezwyciężyć tę groźną sprzeczność niemiecki Transrapid używa systemu kontroli servo, która bezustannie dostraja prąd w magnesach i to w skali tysięcznych części sekundy, tak, aby na bieżąco utrzymać właściwą odległość czyli dynamikę przyciągania i odpychania pomiędzy elektromagnesami pojazdu i stalową szyną toru. Ponieważ co do zasady elektromagnesy zużywają dużo prądu dla wytworzenia pola magnetycznego, odległość między szyną, a podwoziem musi być możliwie minimalna, rzędu około 8-10 mm. To bardzo duża i niekorzystna różnica w porównaniu z japońskimi magnesami nadprzewodzącymi, które wygodnie unoszą pojazd jakieś 10-12 cm nad torem. Transrapid jest od wielu lat testowany na doświadczalnym torowisku w kształcie koła w Emsland w Niemczech, gdzie już bezpiecznie przewiózł dziesiątki a może i setki tysięcy ciekawskich pasażerów ze średnią prędkością ok. 450 km/h. Rekord pociągu z załogą na tym torze wynosi 501 km/h.

Pierwszy i jak dotąd w pełni komercyjny system Transrapid na świecie zbudowano w Szanghaju w Chinach w roku 2003, na 31-kilometrowym odcinku między lotniskiem, a dzielnicą Pudong. Podróż trwa tylko 7 minut i 20 sekund, a maksymalna szybkość pociągu wynosi 430 km/h. Bilet kosztuje ok. 5 euro (2 razy drożej niż autobus) ale jest to linia nadal silnie dotowana przez państwo, traktowana jako techniczna ciekawostka i wizytówka Chin dla imponowania „długonosym” (tzn. cudzoziemcom). Niemcy (Siemens) budują także w Chinach drugą, dłuższą linię komercyjną. Ma ona wydłużyć istniejącą linię Pudong o ponad 200 km i połączyć Szanghaj z historycznym i przepięknie położonym na jeziorze miastem Hangczou, zwanym „stolicą poetów”, w prowincji Zhejiang, które ma szansę stać się światowym hitem turystycznym. Budowa nowego odcinka jest już właściwie ukończona, a podróż z Szanghaju do Hangczou, dziś obsługiwana przez ekspres i trwająca ponad 2 godziny,

zostanie skrócona do około 25 minut. Za częściowo komercyjną można też uznać nadal czynną Linimo, o długości 8900 m, jaka po wystawie Expo 2005 pozostała w pobliżu Nagoi w Japonii. Wcześniej próbowano też budować maglev komercyjny w Europie: w Birmingham (1984-1995) i w Berlinie (1989-1991). Wszędzie sprawa potyka się głównie o zwrot z inwestycji. Same koszty operacyjne, jak już pisałem wcześniej, są zaskakująco małe, aczkolwiek w praktyce nadal wyższe od oczekiwanych.

Japoński maglev nadprzewodzący wydaje się technicznie rozwiązaniem lepszym od niemieckiego, elektromagnetycznego. Dużo większy prześwit między torem a podwoziem zapewnia bezpieczeństwo i łagodzi problem ewentualnych zaśnieżeń lub oblodzeń otwartej trasy w warunkach zimnego klimatu. Pozwala też na dużo większą tolerancję w dokładności wyprofilowania torowiska, co zmniejsza koszt jego budowy i utrzymania. Ponadto pozwala na przewożenie ciężkich naczep i pojemników, a więc towarów, a nie tylko pasażerów, przez co jego komercyjna wydajność może być dużo większa. Najważniejsze jednak, że w prostszy, automatyczny sposób zapewnia pełne bezpieczeństwo działania.

Budowa pierwszej generacji torowisk i infrastruktury maglevu w systemie japońskim i niemieckim pochłoneła średnio 25-40 mln \$ na jeden kilometr. Dziś jest to koszt rzędu 18 mln\$/km. Zakładając przewozy dzienne rzędu 30.000 pasażerów dziennie i przychód z jednego biletu po odjęciu bieżących kosztów operacyjnych na 10 centów, koszt takiej budowy zwraca się dopiero po 50 latach. I w tym tkwi największa trudność. Tradycyjne autostrady i linie lotnicze są na ogół bardzo silnie dotowane z publicznej kasy, także w USA, ale dla zupełnie nowego środka transportu, jakim jest maglev, trudno oczekiwać takiej łaskawości, o ile inwestycja nie będzie zwracała się już po kilku latach. Wtedy zresztą bez trudu przyciągnie także prywatnych inwestorów. Dlatego pierwsze linie maglevu powstały w Chinach, w gospodarce centralnie i dalekosiężnie planowanej, za państwowe pieniądze i przez

państwo objęte gwarancjami. Także w Niemczech i Japonii maglev popchnęły rządy, wydając na początek po 2 mld \$ każdy. Jednocześnie właśnie z tego samego względu na Zachodzie, a zwłaszcza w USA, gdzie w końcu zrewidowano jednak stosunek do kolei, trwają prace nad maglevem drugiej generacji, o nazwie Maglev-2000, którego pierwsze testy zaczęły się w 2003 roku na Florydzie. Ostatecznie wybrano system oparty na magnesach nadprzewodzących, a uwaga konstruktorów skupia się obecnie na czterech głównych celach, które mają go usprawnić w porównaniu z systemami z Japonii i Niemiec: (1) obniżyć koszt budowy jednej mili torowiska z 50 mln do 12 mln dolarów; (2) obniżyć okres zwrotu inwestycji z 50 do 5 lat, poprzez dodanie możliwości załadunku ciężarówek; (3) umożliwić elektroniczne odłączanie i przyłączanie wagonów w pełnym biegu z głównej trasy na bocznice; (4) umożliwić wykorzystanie istniejących torowisk kolei żelaznych dla pojazdów systemu maglev.

Naprzeciw tej koncepcji wychodzą prefabrykowane (a więc produkowane tanio i masowo) filary, przęsła (mające do 62 m długości), łączy i zwrotnice torowiska, umożliwiające postulowaną łatwość rozłączeń i dołączeń wagonów w biegu. Byłyby one dowożone na miejsce budowy, gdzie jedyną wznoszoną konstrukcją byłaby betonowa stopa pod każdy filar, solidnie zamocowana w podłożu. Technologia montażu torowiska przewiduje, że kolejne segmenty będą dowożone na czoło budowy odcinkiem trasy już zbudowanej, a więc nie wymagałyby budowy dróg dojazdowych. Obniżony koszt budowy nie obejmuje jednak zakupu gruntów i modyfikacji istniejącej infrastruktury.

Maglev był dotąd projektowany jako superszybki pasażerski dalekobieżny pociąg intercity, albo jako wolniejszy, ale też pasażerski system tranzytu miejskiego (Szanghaj). Tymczasem jego najważniejszą funkcją może stać się ...przewożenie samochodów, co jest marzeniem specjalistów od tzw. transportu kombinowanego. Biznes przewozów międzymiastowych ciężarówkami w USA ocenia się rocznie na 300 mld dolarów, a tamtejsze krajowe lotnicze przewozy pasażerskie tylko na 65 mld dolarów.

Po najważniejszej trasie lotniczej, Nowy Jork – Los Angeles lata tylko 10.000 pasażerów dziennie, a po wielu autostradach przejeżdża nawet 25 000 ciężarówek dziennie. Średni rejs ciężarówki w USA wynosi 400 mil. Gdyby na podwozia maglevu wtoczyło się tylko 20% ciężarówek (nazywa się to „piggyback”, czyli przewożeniem na świńskim grzbiecie), zwłaszcza po to, by sobie skrócić czas rejsów dalekobieżnych, rentowność maglevu poprawiłaby się tak, że można by oczekiwać zwrotu inwestycji w ciągu 3-5 lat.

Aby o takim modelu móc mówić, maglev musi jednak zapewnić łatwy dostęp w biegu i zintegrowanie z istniejącymi środkami transportu. Ważnym wynalazkiem stają się tu nadprzewodzące magnesy czterobiegunowe, tj. mające po dwie pary biegunów NS pod kątem prostym wobec siebie, które pozwolą na szybkie przeskakiwanie wagonów z wąskiej szyny pionowej na płaski tor. Biegąc okrakiem po wąskiej szynie głównej wagon trzyma się jej boków, czyli paneli z pierścieniami aluminiowymi i porusza dzięki działaniu magnesów o biegunach ustawionych w pionie. Wchodząc na zwrotnicę, magnes uczynnia parę biegunów w poziomie i wtedy wagon może poruszać się po torach dwuszynowych. Zależnie od tego, która szyna zwrotnicy zostanie wyłączona elektrycznie wagon albo zjedzie na bocznicę, albo popędzi dalej prosto, za chwilę znów siadając okrakiem na tańszej, wąskiej szynie i mknąc po głównej magistrali. Wagon, który zjeżdża na bocznicę, wytraca szybkość i dociera do małych stacji docelowych, gdzie wypuszcza pasażerów lub dokonuje rozładunku, np. zjazdu ciężarówek z kontenerami, po czym zabiera następnych i znów nabierając szybkości może na kolejnej zwrotnicy dołączyć w pełnym biegu do pociągu na magistrali. W ten sposób maglev nie traci zasadniczej szybkości, a zyskuje możliwość obsługi wielu stacji w regionie. Podłączenie maglevu do istniejącej sieci kolei żelaznych jest też możliwe poprzez system MERRI (Maglev Emplacement on Rail Road Infrastructure), który polega na zamontowaniu płaskich paneli zawierających pierścienie aluminiowe na drewnianych lub betonowych podkładach obecnych

torowisk kolejowych. Co ważne, po torze takim nadal mogłyby jeździć zwyczajne pociągi.

Ma to zasadnicze znaczenie przy konkutowaniu z samolotami. Maglev ma być nie tylko dużo tańszy, ale też dużo bardziej bezpieczny i wygodny. Pasażerów nie trzeba tłoczyć jak w puszce, możliwe jest nawet kilkadziesiąt połączeń na tej samej trasie na dobę, w wagonach można swobodnie chodzić i podziwiać widoki, pociąg bezszelestnie sunie, bez turbulencji i drgań. Aby przekonać Amerykanów do maglevu, na Florydzie zbudowano eksperymentalną linię 20-milową, która łączy port Canaveral z lotniskiem w Titusville poprzez Kennedy Space Center. Najbardziej śmiałe plany międzynarodowe mówią o budowie linii transsyberyjskiej, a właściwie euroazjatyckiej (Paryż-Seul, i to przez Warszawę!), gdzie szczególne zastosowanie mógłby znaleźć system MERRI, lepiej nadający się do rozstawu osi w kolejach rosyjskich, szerszego od naszych w stosunku 1524:1435 mm, a także o linii panamerykańskiej. W Australii dyskutuje się także o linii Melbourne-Perth nazwanej Ring Rail.

Ponieważ maglev nie mając mechanicznego styku z podłożem nie powoduje tarcia, jego szybkość wydaje się nieograniczona. W praktyce jednak na otwartej przestrzeni występuje opór powietrza rosnący wraz z sześcianną prędkości co także powoduje nieznośny świst, narastający wraz z prędkością do potęgi siedemnastej. Tworzy to barierę komfortu i ogranicza prędkość do ok. 550 km/h. Co innego jednak, gdy pojazd mknie w tunelu niskociśnieniowym, czyli prawie opróżnionym z powietrza i innych gazów. Wtedy jedynym ograniczeniem staje się zakrzywienie torowiska, czyli w praktyce efekt odśrodkowy, który jednak zaczyna być ważny dopiero przy prędkości zbliżonej do orbitalnej tzn. przy 8 km/sek (180 000 mph). Na hipotetycznej trasie z Nowego Jorku do Los Angeles maglev przeleciałby takim tunelem w niecałą godzinę, a wydatek energetyczny na pasażera byłby równoważny najwyżej litrowi benzyny. (Samolot na tej trasie spala 100 galonów paliwa lotniczego na pasażera). W takim tunelu można by wtedy

zastosować wspomniany system LSM, który u końca drogi, gdy pojazd wytracałby prędkość, odzyskiwałby z niego energię wydaną na początku na rozpędzenie.

Projekty maglevu w tunelach okołopróżniowych są przedmiotem badań już od 40 lat. Szwajcarzy przymierzają się w swych planach do ogólnokrajowego systemu metra maglevowego niemal w całości w tunelach przewierconych pod Alpami, i z góry zaplanowanych jako niskociśnieniowe. Trasa Tokio-Osaka też obejmuje długie odcinki takich tuneli. Koszt budowy tuneli w litej skale wciąż wynosi średnio 20-30 mln \$ na milę, ale ciągły postęp techniczny w tym zakresie i coraz większa liczba drążonych tuneli na świecie stale go obniża i to znacząco. Dla wielu odcinków mówi się jednak o tunelu powierzchniowym, czyli o wielkiej rurze położonej na ziemi lub na wodzie, z odessanym w środku powietrzem, a to już jest tylko ułamek kosztów drążenia skały. Nie można wtedy oglądać trasy przez okno, ale rozwiązanie to ma dużo więcej zalet. Puszczanie maglevu takim tunelem prostuje, a więc skraca trasę, likwiduje problem wiatru, opadów i przypadkowych przeszkód na trasie, a może nawet i znosi samą potrzebę stosowania systemu LSM, bowiem przy rakietowej szybkości nawet tzw. opór magnetyczny, powodowany przez śladowe drobiny z pierścieni aluminiowych jest właściwie niezauważalny. To właściwie tak, jakby pocisk przemknął przez lufę. Techniczną przyszłością maglevu kolejnych generacji będą więc z pewnością tunele.

Autor: Bogusław Jeznach

Zdjęcie: [kanegen](#)

Źródło: [Nowy Ekran](#)