

Marek Graff

# Pociągi dużej prędkości KTX w Korei Południowej

**Korea Południowa to jeden z czterech dalekowschodnich tygrysów ekonomicznych. Szybko rozwijająca się gospodarka oraz wzrastający poziom życia spowodowały, że władze tego kraju zdecydowały się wybudować linię dużych prędkości oraz adoptować na niej francuską technologię TGV. Systematycznie rosnąca liczba pasażerów podróżujących południowokoreańskimi superekspresami, nazwanymi KTX, wydaje się potwierdzać słuszność tej inwestycji.**

## Budowa linii dużych prędkości

Pomysł budowy linii kolejowej dużych prędkości w Korei Południowej pojawił się w latach 1983–1984, zaś nowa linia miała połączyć stolicę kraju – Seul z portem morskim Pusan. Początki były trudne. Niechęć kolejnych rządów do finansowania tak dużej inwestycji, dodatkowo koszty, które co najmniej podwoiły się w stosunku do zamierzonych, a także górzysty teren dominujący na obszarze Korei Południowej, wymuszający budowę stosunkowo dużej liczby mostów i tuneli, czy w końcu monsunowy klimat powodowały, że projekt wiele razy znajdował się pod znakiem zapytania. Argumentem przemawiającym za inwestycją był spodziewany dwukrotny wzrost przewozów pasażerskich i towarowych (przewozy kontenerów) w latach 1995–2011. Zwiększający się ruch pasażerski między Seulem a Pusan powodował, że KNR (Korean National Railway, obecnie KORAIL) uruchamiały dodatkowe połączenia – w godzinach szczytu pociągi o nazwie Saemaul i New Mugunghwa odjeżdżały co 15 min.

Odległość Seul – Pusan (445 km) pociągi pokonywały w 4 godz. 10 min, osiągając na trasie prędkość maksymalną 150 km/h. Osadnictwo skupione wzdłuż linii kolejowej Seul – Pusan liczy 33 mln osób (ludność Korei Płd. to 48 mln, Seul – 10,3 mln, Pusan – 3,7 mln), przemysł i usługi z tego regionu wypracowują 75% PKB Korei Płd. W pewnym momencie dodawanie kolejnych pociągów w rozkładzie jazdy stało się niemożliwe bez konieczności kosztownej modernizacji linii (wyczerpanie przepustowości). Wtedy władze centralne Korei Płd. zdecydowały o budowie linii dużych prędkości. Po sporządzeniu projektu linii przedłożono go rządowi Korei Płd., który we wrześniu 1986 r. pozytywnie zaopiniował plan budowy. W lipcu 1989 r. powołano spółkę, która miała nadzorować budowę nowej linii. Od lutego do sierpnia 1991 r. trwały dyskusje o wytyczeniu linii, z uwzględnieniem tak wrażliwej w Korei Płd. kwestii, jak ochrona środowiska, 9,2w sierpniu 1993 r. zdecydowano się na wybór francuskiego koncernu GEC Alstom i pociągów TGV. W marcu 1992 r. powstało konsorcjum Korea High Speed Rail Construction Authority (KHRC), które miało zajmować się nadzorem realizacji projektu. W grudniu 1993 r. parlament Korei Płd. przyjął niezbędne ustawy, w tym zgodził się na finansowanie tej inwestycji z pożyczek zagranicznych. Od kwietnia do czerwca 1994 r. trwało dopracowywanie kontraktu i ostateczne podpisanie umowy pomiędzy

stroną południowokoreańską i francuską. Realizacja tak wielkiej inwestycji znalazła się pod znakiem zapytania po tzw. kryzysie azjatyckim z 1997 r., jednak wybrany rok później prezydent Korei Kim Dze-Dzung zdecydował, że budowa linii dużych prędkości będzie kontynuowana, jednak z powodów ekonomicznych zrezygnowano z budowania linii w jednym etapie, tylko w dwóch.

Budowa linii rozpoczęła się w czerwcu 1992 r. w czterech miejscach jednocześnie. Przyjęto minimalny promień łuku 7000 m i prędkość maksymalną 300 km/h, co pozwoliłoby na osiągnięcie prędkości handlowej 240 km/h. Pierwszy budowany odcinek podzielono na trzy części – jako pierwszą część zbudowano odcinek środkowy, długości 57,2 km, między Chonan i Taejon z zamiarem wykorzystania go jako odcinka testowego. Zainwestowano francuską firmę Systra, mającą duże doświadczenie w projektowaniu linii dużych prędkości we Francji. Ponieważ Korea Płd. znajduje się w obszarze aktywnym sejsmicznie (trzęsienia ziemi), zatem podczas budowy wykonano dodatkowe pomiary i zamontowano specjalne zabezpieczenia przy mostach i tunelach.

Pierwsza oficjalna próba pociągu, między innymi z udziałem prezydenta Korei, odbyła się w grudniu 1999 r. Osiągnięto prędkość 213 km/h na początkowym odcinku 34,4 km. Po ukończeniu budowy tego odcinka i jego elektryfikacji oraz zamontowaniu francuskiego systemu TVM430 przeprowadzono próby z prędkością maksymalną 300 km/h. Odcinek Seul – Chonan (północny, tzw. odcinek A), długości 77,4 km, ukończono pod koniec 2003 r., natomiast Taejon – Taegu (południowy, tzw. odcinek B), długości 89,0 km – pod koniec marca 2004 r. Użyto szyn typu 60 kg/m oraz przytwierdzeń typu Pandrol, a linię zelektryfikowano napięciem 25 kV 60 Hz.

Równocześnie linia konwencjonalna Taegu – Pusan (118,3 km) została zmodernizowana na podstawie porozumienia z września 1999 r., zawartego pomiędzy KNR i SNCF. Pierwsza południowokoreańska linia dużych prędkości została zbudowana do prędko-



Pociąg KTX na linii dużych prędkości w Korei Płd., na tle górzystego krajobrazu, charakterystycznego dla Korei

ści docelowej 350 km/h i jej całkowita długość będzie wynosiła 412 km (obecnie 223,6 km). Ze względu na pagórkowaty i w mniejszym stopniu górzysty teren, na linii znajdują się liczne tunele, zaś duża część linii przebiega na wiaduktach (tab. 1). Wzdłuż szlaku zamontowano czujniki mierzące: temperaturę, wiatr (siłę i kierunek), ilość opadów (pora monsunowa!), w tym śniegu, oraz urządzenia do wykrywania ognia, a przy wjazdach do tuneli wykonano instalacje alarmowe, informujące o wtargnięciu intruza.

Budowa tuneli i wiaduktów nie została objęta kontraktem i wykonywały je wyłącznie firmy z Korei Płd. Czas jazdy między Seulem a Pusan skrócił się z 4 godz. 10 min do 2 godz. 40 min, a odległość – z 445 km do 412 km.

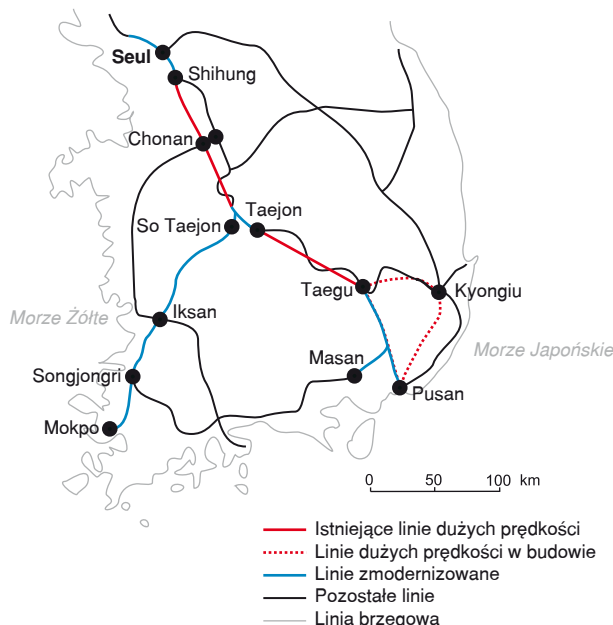
W 1999 r. konsorcjum KHRC zdecydowało, że odcinek Taejo – Pusan zostanie ukończony w latach 2008–2010. Obecnie prace są kontynuowane na 10 odcinkach i uczestniczą w nich wyłącznie firmy krajowe, a koszt prac szacuje się na 4,46 mld euro. Jako ciekawostkę można przytoczyć fakt, że w marcu 2004 r. przerwano prace przy drążeniu tunelu, długości 13,2 km, przebiegającego pod szczytem Chonsong, znajdującego się na północ od Pusan. Stało się tak z powodu protestu ekologów, którzy argumentowali, że linia kolejowa w tym terenie zakłóci spokojny żywot salamander górskich. Po dziewięciomiesięcznych sporach budowniczych z obrońcami przyrody sąd w Pusan oddalił sprzeciw tych ostatnich.

Tabela 1

## Charakterystyka linii, po których poruszają się pociągi KTX

		Linie	
		konwencjonalne	dużych prędkości
Długość linii*	[km]	Ogółem	422,4
		Gyeongbu (do Pusan)	169,9
		Honam (do Mokpo)	252,5
Tunele	liczba		36
	długość ogółem [km]		10,381
Mosty	liczba		150
	długość ogółem [km]		7,608
			104
			89,041

\* Plus 15 km linii dojazdowych.



W przyszłości po ukończeniu drugiej fazy budowy linii dużych prędkości odległość między Seulem a Pusan wydłuży się o 3 km, ale czas przejazdu skróci się z 2 godz. 40 min do 1 godz. 56 min. Równocześnie od 2001 r. prowadzona była elektryfikacja i modernizacja odcinka Taejo – Mokpo o długości 270 km, po której także kursują obecnie pociągi dużych prędkości relacji Seul – Taejon – Mokpo. Zakończenie budowy linii dużych prędkości Taejon – Mokpo planowane jest wstępnie na 2015 r. Budowa kolejnych linii dużych prędkości (np. Seul – Kangneung, 315 km), ze względu na kłopoty finansowe koreańskich kolei KNR, nie wyszła obecnie poza stadium projektowania.

Obecnie każdego dnia kursują 92 pary pociągów dużych prędkości (82 w weekendy), nazwane KTX, z których 60–64 pary kursuje do Pusan, a 22–28 do Mokpo. Plan pracy jest ułożony dla 35 składów równocześnie, spośród wszystkich 46. Rozkład jazdy dotychczas kursujących pociągów *Saeumaul* i *New Mugunghwa* został zmodyfikowany (część pociągów zlikwidowano).

Już po 100 dniach eksploatacji pociągami KTX przewieziono 7 mln pasażerów, z czego 5,93 mln na trasie Seul – Pusan. Bilet na przejazd pociągiem KTX (1 kl./2 kl.) kosztuje na trasie: Seul – Pusan 52/37 euro, a Seul – Mokpo 44/31,5 euro. Jest to ok. 50% więcej, niż przejazd pociągiem konwencjonalnym, jednak 30% mniej niż przelot samolotem. Podróż KTX trwa odpowiednio 2 godz. 40 min i 2 godz. 58 min (tab. 2).

Tabela 2

## Czasy przejazdu pociągu konwencjonalnego i KTX

	KTX	Pociąg konwencjonalny
Seul – Taejon	49 min	1 godz. 31 min
Seul – Taegu	1 godz. 30 min	3 godz. 02 min
Seul – Pusan	2 godz. 40 min	4 godz. 10 min
Seul – Mokpo	2 godz. 58 min	4 godz. 42 min

W budowie pierwszej południowokoreańskiej linii dużych prędkości brały udział następujące firmy: dostawca taboru – Alstom i Rotem (Hyundai, Hanjin and Daewoo), system zabezpieczenia ruchu – CSEE Transport i LG Industrial Systems, sygnalizacja i system sterowania – Alstom, Samsung SDS i LG Industrial Systems, sieć trakcyjna – Alstom, LG Cable i Iljin Electric. System łączności dostarczyła Motorola Inc., a urządzenia do serwisowania sieci trakcyjnej – Windhoff. Cała linia kosztowała 13,5 mld euro (45 mln euro za 1 km), z czego 35% stanowią dotacje rządowe, 10% – pożyczki krajowe, 24% – pożyczki zagraniczne, 29% – obligacje wyemitowane przez spółkę KHRC, oraz kapitał prywatny – 2%. Kredyty pochodziły od dwudziestu banków z całego świata, z czego największe to Credit Agricole-Indosuez, BNP PARIBAS / Société Générale. Francuski koncern Alstom zrealizował zamówienia w wysokości 1,5 mld euro.

Po uruchomieniu połączeń KTX, z pociągów na linii Seul – Pusan korzysta 37 mln pasażerów rocznie (wskaźnik ten, dla najbardziej obciążonej we Francji linii Paryż – Lyon, wynosi 20 mln pasażerów rocznie), a spodziewane jest zwiększenie do 120 mln i jest to druga w świecie pod względem obciążenia linia na świecie po japońskiej Tokio – Osaka, na której w godzinie szczytu odjeżdżają pociągi co 4 min. Potwierdza to słuszność samej budowy linii dużych prędkości w Korei Płd., mimo ogromnych kosztów finansowych.

Modyfikacją w technologii budowy linii dużych prędkości jest zmiana podłoża – kolejne linie dużych prędkości będą budowane nie jak pierwsza linia dużych prędkości w Korei na podłożu pod-



Montaż wagonu silnikowego w fabryce w Korei Płd.

sypkowym, ale na podłożu bezpodsypkowym (betonowym – wzorem Japonii).

## Tabor

Spośród ofert francuskich, niemieckich i japońskich, na przełomie 1993 i 1994 r. konsorcjum KHRC zdecydowało się na wybór koncernu GEC Alstom oraz adaptacji technologii TGV. We wrześniu 1995 r. w zakładach koncernu GEC Alstom we francuskim Aytré rozpoczęły się prace przy pociągu TGV dla Korei Płd. W styczniu 1996 r. fabryka we francuskim Belfort wyprodukowała pierwszy wagon silnikowy dla koreańskiego TGV. W grudniu 1997 r. powstał pierwszy kompletny skład KTX i rozpoczęto jazdy testowe na sieci SNCF. Równocześnie zaproszono do Francji delegację koreańskich kolei KNR na testy pociągów na linii LGV Atlantique.

Kontrakt dotyczący adoptowania francuskiej technologii został przez przedstawicieli KHRC zmodyfikowany tak, że początkowe zamówienie na 46 pociągów, z których wszystkie miały być wyprodukowane we Francji, zmieniono w ten sposób, że część pociągów miała być wyprodukowane we Francji, a część w Korei Płd. W tym celu powołano spółkę Eukorail, w skład której weszły, oprócz Alstoma, 12 firm francuskich, takich jak CSEE Transport, Cogifer, oraz pięć firm południowokoreańskich. Szkolenie personelu odbywało się we Francji (Grenoble), zaś symulator jazdy Simkor, zbudowany przez firmę Cory-Tess, dostarczono dla KNR i zamontowano w Chulto College w południowokoreańskim mieście Pugok. Pierwsze pociągi – 12 pociągów TGV dla Korei, nazywanych Korean Train eXpress (KTX), wyprodukowano w fabrykach Alstoma – La Rochelle i Belfort.

Pierwsze dwa pociągi KTX w marcu 1998 r. wysłano statkiem do Korei, zaś równolegle trwały dostawy, testy i odbiór pozostałych 10 składów. W lipcu 1998 r. podczas oficjalnych testów na francuskiej linii LGV Nord z prędkością 300 km/h, z udziałem premiera Korei Płd., odbyło się uroczyste przekazanie pociągów stronie południowokoreańskiej. Pozostałe 34 pociągi wyprodukował, już w zakładach południowokoreańskich w Changwon, miejscowy koncern, Rotem (b. Koros) na podstawie umowy licencyj-



KTX w lokomotywni w Seulu



Zawieszanie i regulacja sieci trakcyjnej



Koreańska linia dużych prędkości – zwraca uwagę sieć trakcyjna, zbudowana zgodnie z francuskimi parametrami technicznymi, oraz podsypka tłuczniowa

nej (transfer nowoczesnych technologii z Francji do Korei Płd. zakończył się w grudniu 2003 r.). Pierwszy wyprodukowany w Korei pociąg KTX (KTX 13) zaprezentowano w kwietniu 2002 r. Obawy o bezpieczeństwo podróży nowym pociągiem nasiliły się po katastrofie w metrze w Tauegu (pożar w tunelu, 125 ofiar), dlatego pociągi KTX zostały wyposażone w zabezpieczenia przeciwpożarowe, takie jak: czujniki w wagonach, wykonanie tapicerki siedzeń i podłogi z materiałów ognioodpornych itp.

Spółka KHRC w czerwcu 2000 r. zakończyła ponowne testowanie, już na sieci KNR, dostarczonych pociągów. Co ciekawe, zarówno strona francuska szkoliła u siebie personel południowokoreański (ok. 1000 osób – utrzymanie taboru, nadzór nad sygnalizacją, bezpieczeństwo ruchu), jak i wysyłała własnych pracowników do Korei Płd. (ok. 400 osób). Pierwszy pociąg KTX 4.11.2003 r. pokonał trasę Seul – Pusan, a 11.11.2003 r. – Seul – Mokpo. W marcu 2004 r. zakończył się odbiór komisyjny poszczególnych elementów projektu, a uroczysta inauguracja ruchu,



Kabina maszynisty w pociągu KTX



Wnętrze przedziału pasażerskiego wagonu 1 klasy; zwracają uwagę fotele z możliwością obrotu wokół własnej osi – pasażerowie w Korei Płd. podróżują na ogół twarzą zwróceniem w kierunku jazdy pociągu (podobnie, jak w Japonii)

z udziałem delegacji południowokoreańskiej i francuskiej, miała miejsce 1.04.2004 r.

Obecnie pociągi KTX zatrzymują się na stacjach Seul, Gwangmyeong, Cheonan-Asan, Daejeon, Daegu i Pusan (linia Gyeongbu), oraz Yongsan, Seo Daejeon, Iksan, Songjongri, Gwangju i Mokpo (linia Honam). Ogółem na linii Seul – Pusan jest 10 stacji, a na linii Seul – Mokpo – 11. Dość futurystyczny dworzec w Seulu, prawdziwe dzieło sztuki inżynierskiej, jest budynkiem pięciokondygnacyjnym, przy czym dwie kondygnacje przeznaczone są na stacje metra. Dworzec w Yongsan, analogicznych poziomów ma osiem, z czego cztery dla systemu metra. W pozostałych miastach dworce do przyjmowania pociągów KTX zbudowano z nie mniejszym rozmachem.

Wykorzystując doświadczenie zdobyte podczas produkcji pociągów KTX, koncern Rotem na bazie pociągów KTX zbudował prototypowy pociąg dużej prędkości serii G7. Jednostka ta w listopadzie 2003 r. osiągnęła na torze testowym prędkość 300 km/h. W grudniu 2004 r., wyruszając ze stacji Gwangmyeong pod Seulem, ten sam pociąg osiągnął prędkość 352,4 km/h między stacjami Cheonan i Shintanjin. Pociąg G7 to jednostka sześciowagonowa (cztery wagony pasażerskie i dwa silnikowe) z pudłem wykonanym ze stopu aluminium, przy czym 87% technologii opracowano w Korei. Nakłady na badania nad pociągami dużej prędkości poniesione w latach 1996–2004 w Korei oscylują w granicach 160 mln euro, a począwszy od 2007 r. planowany jest eksport pociągów G7.

Dla nowych pociągów KTX wybudowano lokomotywownię w Seulu i Pusan. Pierwsza mieści się w Goyang, 20 km na północ od głównego dworca w Seulu, i ma łącznie 32 km torów, w tym 2,2 km torów testowych (te ostatnie zbudowane przez stronę francuską). W lokomotywowni znajduje się podnośnik przystosowany do obsługi 20-wagonowego pociągu, a także urządzenia do mycia pociągu z zewnątrz (z elementem czyszczącym w kształcie koła). Podobne urządzenia znajdują się w lokomotywowni w Pusan.

Od 2000 r. rząd Korei Płd. zdecydował hojniej finansować własny program rozwoju pociągów dużej prędkości – gdy dekadę wcześniej przeznaczano na to 15 mln USD rocznie, to obecnie nakłady zwiększono do 100 mln USD w skali rocznej. Zaproszono także inwestorów prywatnych, których wkłady własne wynosiłyby 20–30%, a idealnie 50%. Znaczące zwiększenie budżetu inwestycji umożliwiło między innymi rozpoczęcie koreańskiego programu Maglev, czyli pociągu na poduszce magnetycznej (obecnie powstaje odcinek testowy). Ponadto, w czerwcu 2006 r. zawarto porozumienie pomiędzy krajowym koncernem Rotem i koreańskimi kolejami KNR na dostawę 10 jednostek serii KTX II (tab. 3), których projekt opracowano na podstawie doświadczeń z prototypowym pociągiem HSR350. Pociągi KTX II zostaną przeznaczone do obsługi linii Seul – Mokpo. Obecnie przechodzą one niezbędne testy (kwiecień 2008 r.), ich dostawy powinny być zrealizowane do czerwca 2009 r. oraz wprowadzone do eksploatacji w czerwcu 2010 r. Aneks do kontraktu przewiduje dostawę w późniejszym terminie kolejnych 19 pociągów KTX II. Różnicą między pociągami KTX I i KTX II jest wyposażenie tego ostatniego w sprzęg automatyczny Scharfenberga (Voith Turbo Scharfenberg). Projekt pociągu (zewnątrzny i wewnętrzny design) został zamówiony we francuskiej agencji MBD, przy czym uwzględniono koreańskie wzorce kulturowe. Zastosowano między innymi światło odbite, drewniane elementy pokrywające ściany wagonów



ków tyrystorowych GTO i mają wentylację powietrzną (1,25 m<sup>3</sup>/s). Masa silnika to 1555 kg, a wymiary 660×660×900 mm, maksymalny moment obr. 6900 Nm, maksymalna liczba obrotów – 4000 obr./min. Silniki te (12 szt. w każdym pociągu) umożliwiają jednostkom KTX osiągnięcie prędkości 300 km/h w czasie 6 min 8 s. Hamowanie pociągu (300 km/h – 0 km/h) odbywa się w czasie 2 min 32 s i na odcinku 6,4 km.

Tabela 3

## Dane techniczne KTX II

Zestawienie pociągu		S+8D+S
Poszycie pudła		aluminiowe
Prędkość maksymalna	[km/h]	330
Długość pociągu	[mm]	201 000
Długość wagonu silnikowego	[mm]	22 700
Długość wagonu pasażerskiego nr 1 i 8	[mm]	21 800
Długość wagonu pasażerskiego nr 2-7	[mm]	18 700
Szerokość wagonu	[mm]	2970
Systemy sygnalizacyjne		ATC, ATP (TVM430), ATS
Siła pociągowa	[kN]	210
Silniki trakcyjne	[kW]	8 x 1100
Przekształtniki		IGBT chłodzone wodą
Hamulce		odzyskowy i tarczowy
Liczba miejsc 2 kl./1 kl. + niepełnosprawni		333/30 + 3

W Korei Płd. używa się alfabetu niełacińskiego (tj. koreańskiego), stąd różne nazwy tych samych miast spotykane w literaturze anglojęzycznej, np. Pusan – Busan, Taegu – Daegu itp. □

Wszystkie zdjęcia<sup>©</sup> zostały udostępnione przez koncern Alstom

## Literatura

- [1] Harassek A., Rabsztyń M., Raczyński J.: *Pociągi dużych prędkości TGV*. EmiPress, Łódź 1996.
- [2] International Railway Journal 12/2001, 4/2002, 8/2003, 10/2003, 3/2004, 7/2004, 11/2004, 2/2006. Simons–Boardman Publ. Corp.
- [3] Japan Railway & Transport Review, March 2005, East Japan Railway & Culture Foundation, Tokyo 2005.
- [4] Materiały reklamowe koncernu Alstom.
- [5] Railvolution 4/2006 Modelbahnpresse s. r. o. Praha.
- [6] Railway Gazette Int, Reed Press Publishing, Sutton; roczniki 1989–2006.



## Prenumerata 2008

Krajowa za 1 egz. ● kwartalna – 60,00 zł ● półroczna – 120,00 zł  
● roczna – 240,00 zł

Ze zleceniem wysyłki za granicę\*

Europa (poczta zwykła) ● roczna – 87,00 euro/egz.  
(poczta lotnicza) ● roczna – 96,00 euro/egz.  
poza Europę (poczta lotnicza) ● roczna – 132,00 USD/egz.

\* W przypadku innych walut obowiązują kursy przeliczeniowe w dniu dokonania wpłaty.

Prenumeratę z wysyłką za granicę można opłacić także w Polsce w złotych, według aktualnego przelicznika walut.

Konto bankowe PKO BP I O/Łódź 08 1020 3352 0000 1802 0012 8074  
EMI-PRESS, 91-360 Łódź, ul. Motylowa 3/25

Korespondencja EMI-PRESS 90-955 Łódź 8, skrytka pocztowa 103  
tel./fax 042 633 37 51, e-mail: swiatkolei@emipress.com.pl

➤ Dokończenie ze s. 16

Korzyści dla pasażerów kolei, oprócz omówionych, obejmować będą poprawę dostępności transportu kolejowego (w tym także dla osób z ograniczoną zdolnością poruszania się) oraz poprawę standardów obsługi między innymi pod względem zwiększenia komfortu podróży, punktualności i niezawodności.

## Konsultacje społeczne

18 sierpnia 2008 r. Minister Infrastruktury skierował do konsultacji społecznych projekt *Master Plan dla transportu kolejowego w Polsce do 2030 r.* i *Prognozy oddziaływania na środowisko projektu Master Planu dla transportu kolejowego w Polsce do*

2030 r. Pełen tekst dokumentu jest dostępny na stronach internetowych Ministerstwa.

Po przeprowadzonych konsultacjach społecznych, Master Plan zostanie zatwierdzony w drodze uchwały przez Radę Ministrów.

Dokumenty związane z Master Planem dostępne są na [www.mi.gov.pl](http://www.mi.gov.pl)

Autor  
dr inż. Andrzej Massel  
Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa w Warszawie