

Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki w Krakowie

Wydział Inżynierii Lądowej

Instytut Inżynierii Drogowej i Kolejowej

Katedra Systemów Komunikacyjnych

## **Streszczenie pracy magisterskiej „Wpływ kolei dużych prędkości na warunki ruchu w korytarzu transportowym”.**

**„Influence of high-speed railway on traffic condition in transportation corridor”**

Autor pracy: Wojciech Gawęda

Promotor: dr inż. Andrzej Szarata

### **1. Wstęp**

Pojawienie się kolei parowych całkowicie zrewolucjonizowało sposób przemieszczania się ludzi na całym świecie. Od drugiej połowy XIX wieku rozwój kolei wpisał się w obraz rewolucji przemysłowej. Rozwój ten spowodował zmiany społeczne i urbanistyczne, kolej stała się jednym z symboli zmian technologicznych, jakie nastąpiły przed pierwszą wojną światową. Po pierwszej wojnie światowej pojawił się nowy konkurent, który mimo dalszego postępu technologicznego w dziedzinie kolejnictwa systematycznie przejmował coraz większe ilości pasażerów i stopniowo wypierał kolej. Konkurentem tym był transport indywidualny.

Programy budowy autostrad rozpoczęte w drugiej połowie XX wieku spowodowały drastyczne zmniejszenie środków finansowych przeznaczanych na kolej, co przełożyło się na pogorszenie stanu infrastruktury kolejowej i, w konsekwencji, dalszą marginalizację międzymiastowych kolejowych przewozów pasażerskich. Sytuacja ta dotyczyła w szczególności krajów rozwiniętych.

Transport indywidualny skutecznie konkurował z transportem kolejowym szczególnie w przewozach na krótkie i średnie odległości. Komercjalizacja transportu lotniczego spowodowała, że zamożni pasażerowie podróżujący między dużymi miastami znajdującymi się w dużych odległościach coraz częściej zaczęli wybierać szybką podróż samolotem. Zmiany w podziale modalnym w podróżach do Paryża jakie zachodziły w latach 1963 – 1967 mimo krótkiego okresu były znaczące.

Pierwszego października 1964 roku na linii Tokaido między Tokio i Osaką rozpoczęła działanie pierwsza na świecie kolej dużych prędkości. Linia ta odniosła duży sukces komercyjny i rozpoczęła nowy rozdział w historii dróg żelaznych. Potoki pasażerskie w 2002 na tej linii wynosiły 132 miliony pasażerów. Szybka kolej stała się w Japonii najpopularniejszym sposobem podróżowania między dużymi miastami znajdującymi się w odległościach od 150 do 560 kilometrów.

Tabela 1. Zmiany w podziale zadań przewozowych w podróżach do Paryża<sup>1</sup>

Podział zadań przewozowych [%]		Paryż		
		Lyon	Marsylia	Niza
1963	Kolej	65	70	47
	Samolot	7	15	31
	Samochód	28	15	22
1967	Kolej	48	54	32
	Samolot	20	26	42
	Samochód	32	20	26

W Stanach Zjednoczonych KDP definiowana jest przez Federalny Urząd Kolejowy jako kolej poruszająca się z prędkością powyżej 110 mil/h<sup>2</sup>, w Japonii dolną granicą dla pociągów Shinkansen jest prędkość 210 km/h,<sup>3</sup> w Europie podział określony jest przez specyfikacje TSI oddzielnie dla infrastruktury i taboru dużych prędkości. Jako że definicja kolei dużych prędkości jest różna w zależności od prawodawstwa, należy przyjąć, że najprostszym sposobem zdefiniowania KDP jest konieczność stosowania sygnalizacji kabinowej. Z uwagi na wysokie koszty tego systemu, jego implementacja wiąże się zazwyczaj ze znacznym podniesieniem prędkości, które uzasadnia taki wydatek.

Systemy KDP możemy podzielić z punktu widzenia funkcjonalności (integracji z kolejami konwencjonalnymi) bądź z punktu widzenia technologii systemu. Podziały te częściowo się ze sobą pokrywają. Systemy, w których technologia znacząco różni się od systemów konwencjonalnych najczęściej odseparowane są od siebie. Podział funkcjonalny jest jednocześnie ściśle związany z technologiami stosowanymi w systemach konwencjonalnych danego kraju oraz z charakterystykami demograficznymi, obciążeniem sieci kolejowej i aspektami ekonomicznymi.

## 2. Charakterystyka KDP

Naturalnym przedziałem, w którym KDP ma przewagę konkurencyjną nad innymi środkami transportu, są trasy z przedziału 200 – 800 kilometrów. Na trasach krótszych przewaga czasowa nad transportem indywidualnym i kolejowym konwencjonalnym jest bardzo mała. Natomiast na trasach dłuższych podróż transportem lotniczym jest prawie zawsze bardziej konkurencyjna z uwagi na czas podróży. Przykładem, jak istotny jest przedział odległościowy, jest fakt, że we Francji odległości ośmiu z dziewięciu głównych połączeń leżą w przedziale odległości 400-800, a w Hiszpanii stolica Madryt położona jest w odległości 300- 600 km od wszystkich ośrodków miejskich znajdujących się na wybrzeżu. Poza odległościami kluczowa wydaje się demografia. Kluczowa dla KDP jest wysoka gęstość zaludnienia w miastach przekładająca się na krótki czas dostępu do stacji i w konsekwencji duży popyt. Z drugiej strony niska gęstość zaludnienia poza miastami przekłada się na niskie koszty związane z budową i poprowadzeniem linii na odcinkach między aglomeracjami. Gęstość zaludnienia Paryża to 20 433 osoby/km<sup>2</sup>, dla porównania Berlina to tylko 3 861 os./km<sup>2</sup>. Dlatego też z jednej strony odpowiednie ukształtowanie tkanki miejskiej zwiększa korzyści z budowy LDP, z drugiej natomiast LDP kształtuje tkankę miejską i zwiększa atrakcyjność terenów w jej pobliżu.

<sup>1</sup> "Pendulacion, Basculacion y Construcción de Infraestructuras Ferroviarias" Andres Lopez Pita 1998 ISBN 84-380-0136X

<sup>2</sup> "Vision for High-speed rail in America". Federal Railroad Administration. p. 2. Retrieved February 5, 2010

<sup>3</sup> Hood, Christopher P (2006). Shinkansen: From bullet train to symbol of modern Japan.

Koleje dużych prędkości często postrzegane są jako środek transportu pochłaniający ogromne ilości energii podczas eksploatacji. Liczne badania przeprowadzone na działających liniach wykazują, że to powszechne przekonanie jest mylne. Na liniach KDP w Hiszpanii średnie zużycie energii elektrycznej jest od 8% do 27% mniejsze w porównaniu z liniami konwencjonalnymi, przy średnim wzroście średniej prędkości o 59%. Zjawisko to jest wynikiem między innymi ograniczenia liczby przystanków i dohamowań, lepszej technologii i aerodynamiki taboru czy wydajniejszego systemu zasilania. Fakt ten przekłada się na niską emisję zanieczyszczeń powietrza i niższe koszty eksploatacyjne.

Koleje dużych prędkości są bardzo bezpiecznym środkiem transportu, dlatego też koszty społeczne wynikające z ich eksploatacji są znacznie niższe niż w przypadku np. transportu drogowego. Dużą wadą infrastruktury liniowej jest tworzenie efektu bariery. W przypadku szybkich kolei efekt ten jest dodatkowo niekorzystny z powodu małej ilości stacji. Mała ilość stacji powoduje, że mieszkańcy terenów, przez które przechodzi linia, ponoszą tylko koszty w postaci pogorszenia dostępności, a nie otrzymują żadnych korzyści z jej działania.

### 3. Koleje dużych prędkości w Hiszpanii

Historia kolei dużych prędkości rozpoczęła się w Hiszpanii w roku 1986. Wtedy to podjęta została decyzja o budowie pierwszej linii kolejowej łączącej Madryt i Sewillę. Na decyzję tą składało się kilka czynników: szybki wzrost PKB, duży sukces pierwszej LDP we Francji, wystawa Expo, która miała się odbyć w Sewilli w roku 1993 oraz niewystarczająca przepustowość istniejącej linii konwencjonalnej. Ponadto, przedłużenie tej linii w kierunku Barcelony miało gwarantować stworzenie osi transportowej dla całego kraju. Budowa miała jednocześnie mieć charakter stymulacyjny dla stosunkowo biednego regionu, jakim była Andaluzja.

Należy wspomnieć, że w Hiszpanii stosowany był do tej pory iberyjski rozstaw szyn o szerokości 1668 mm. Mimo to zdecydowano, że nowa linia będzie miała rozstaw normalny 1435 mm. Decyzja ta miała na celu umożliwienie połączenia hiszpańskiej sieci AVE z francuską infrastrukturą KDP oraz umożliwienie finansowania ze środków UE. Również zasilanie linii odbiegało od wcześniej stosowanego na sieci zarządzanej przez ADIF i wynosiło 25 kV prądu zmiennego o częstotliwości 50 Hz. Budowa linii miała skrócić czas przejazdu koleją z 6 godzin do 2 godzin 45 minut.

Przed uruchomieniem LDP Madryt – Sewilla udział kolei w podziale zadań przewozowych wynosił zaledwie 16%. Tabele poniżej przedstawiają wpływ inwestycji na podział modalny oraz zmiany tego podziału w czasie. Jak widać, zachowań podróży zmieniały się przez prawie 10 lat.

Tabela 2. Zmiany w podziale zadań przewozowych w korytarzu Madryt - Sewilla

Rodzaj transport	AVE, linia Madryt - Sevilla			Środek transport	Podział zadań przewozowych: Madryt - Sewilla					
	Przed (1994)	Po (1994)	Zmiana (%)		1992	1994	1996	1998	2000	2003
Lotniczy	40	13	-27	Samolot	71	20,1	18,4	17,9	16,6	15,9
Kolejowy	16	51	35	Kolej	29	79,9	81,6	82,1	83,4	84,1
Drogowy	44	36	-8							
Całkowity	100	100	35							

Nowo wybudowana linia miała największy wpływ na rynek lotniczy. Przewoźnik Iberia utracił 50% swojego udziału w rynku. Zaobserwowano znaczne obniżenie kongestii w transporcie drogowym, a także znaczącą zmianę cen na rynku nieruchomości (w szczególności w małych miastach, w których zlokalizowane były stacje). W pierwszych latach funkcjonowania linii przychody finansowe były niższe niż całkowite koszty

eksploatacji. Po pięciu latach od rozpoczęcia eksploatacji przychody pierwszy raz przekroczyły koszty eksploatacji.

Drugą linią KDP, jaka powstała w Hiszpanii, była linia Madryt – Barcelona. Miasta te położone są w odległości 600 kilometrów od siebie. Łączna liczba mieszkańców obszarów metropolitalnych tych miast wynosi około 9 milionów. Należy pamiętać, że miasta te to po Kraju Basków dwa najbogatsze regiony Hiszpanii. Liczba mieszkańców i stopień ich zamożności (zamożność powiązana jest ściśle ze współczynnikami ruchliwości społeczeństwa) powodują, że ruch między tymi miastami jest bardzo duży. Istotne jest również to, że połączenie lotnicze między Madrytem a Barceloną przed budową linii dużej prędkości było najbardziej ruchliwym połączeniem na świecie. W 2004 roku w dwóch kierunkach transportem lotniczym przewieziono łącznie około 11,5 mln pasażerów<sup>4</sup>.

Częstotliwość połączeń lotniczych na tej trasie była tak duża, że przewoźnicy lotniczy zdecydowali się zastosować innowacyjną usługę „most lotniczy”. Polegała ona na braku konieczności zakupu biletu lotniczego wcześniej. W związku z tym, że samoloty Iberii odlatywały średnio co 15 minut, pasażer przychodzący na lotnisko kupował bilet i wsiadał do pierwszego samolotu, w którym były wolne miejsca. Udział lotnictwa w podziale zadań przewozowych wynosił 70%.

Wykonanych zostało wiele prognoz dotyczących wpływu, jaki będzie miało uruchomienie przewozów linią kolei dużych prędkości w tym korytarzu. Zgodnie z prognozami udział KDP w podziale zadań przewozowych w korytarzu miał wynosić od 42,1% do 48,9%, W pierwszym roku po otwarciu linii ruch na niej wynosił około 40%. Należy pamiętać, że w przypadku wszystkich nowych inwestycji transportowych występuje tak zwany efekt „rump up”. Polega on na powolnej zmianie zachowań podróżnych. Skutkuje to mniejszym ruchem w pierwszych latach działania nowego połączenia. Ponadto, prognozy wykonane były przy założeniu, że prędkość maksymalna na linii wynosić będzie 350km/h. Z przyczyn technicznych prędkość na linii została ograniczona w pierwszych latach eksploatacji do 300 km/h. Otwarcie linii poprzez zmianę w podziale modalnym w korytarzu znacząco obniżyło kongestię w transporcie lotniczym. Dotyczy to w szczególności lotniska Madryt Barajas, które od lat charakteryzuje się niewystarczającą przepustowością. Ponadto, znacząco obniżyły się ceny biletów w transporcie lotniczym. Budowa II linii AVE miała również duży wpływ na ruch na pierwszej linii, który wzrósł o około 100 000 pasażerów rocznie, co stanowi 11% w całym rynku na trasie Barcelona – Sewilla.

Hiszpania kontynuuje rozwój sieci kolei dużych prędkości. W grudniu 2011 otwarta została linia kolejowa łącząca Madryt z Walencją. Aktualnie budowana jest linia do Figueres (granica francuska) oraz baskijski „Y”. Hiszpania w 2011 roku posiadać będzie najdłuższą sieć KDP w Europie.

#### **4. Koleje dużych prędkości w Hiszpanii**

Pierwszą linią KDP w Polsce będzie zmodernizowana linia CMK (E65 południe). Prędkość maksymalna na tej linii nie przekroczy jednak w najbliższym czasie 250 km/h. Najważniejszym projektem z zakresu kolei dużych prędkości w Polsce jest projekt budowy linii „Y” łączącej Warszawę z Poznaniem i Wrocławiem przez Łódź. Aktualnie wykonywane jest studium wykonalności dla tego projektu, które ma się zakończyć na początku 2013 roku.

---

<sup>4</sup> Anuario de estadístico del Transporte aéreo 2004: España. INSE 2005

Linia zgodnie z planem ma być uruchomiona na początku 2019 roku, jednak prace studialne rozpoczęły się z prawie rocznym opóźnieniem w stosunku do zakładanego harmonogramu, dlatego też można się spodziewać przesunięcia tej daty.

W celu oszacowania wielkość przyszłego popytu na linii autor wykonał analizę stanu istniejącego wraz z logitowym modelem ruchu i prognozą przejęcia na 2020 rok. Danymi wejściowymi do modelu były aktualne udziały w rynku poszczególnych gałęzi transportu. Stworzony został model wzrostu rynku w oparciu o prognozę PKB. Model uwzględniał zmiany, jakie będą zachodzić w infrastrukturze transportowej. Zmienną w modelu był iloraz uogólnionych kosztów podróży w poszczególnych gałęziach transportu. Kalibracja modelu nastąpiła w oparciu o dane na temat wyborów środka transportu w relacjach z Warszawy do Poznania, Wrocławia, Katowic, Krakowa i Gdańska.

Kalibracja modelu została wykonana za pomocą dodatku Solver do programu MS Excel. Wykonano minimalizację sumy błędów kwadratowych. Kalibrowana funkcja miała postać:

$$U_{KDP} = \frac{1}{1 + \alpha * e^{-\beta C_{iu}}}$$

Po otrzymaniu wyników wykonana została również analiza wrażliwości na zmianę ceny biletu i zmianę wartości czasu pasażerów. Wyniki otrzymane na podstawie modelu wskazują, że udział w podziale zadań przewozowych na trasie Warszawa – Poznań powinien znajdować się w przedziale 26,6, do 37,8% przy cenie biletu na poziomie 200 PLN i w przedziale 52% - 57% przy cenie biletu na poziomie 150 PLN. Udział ten zmienia się w zależności od przyjętej wartości czasu podróży pasażerów.

Dla połączenia Warszawa – Wrocław udział w podziale zadań przewozowych powinien być nieznacznie wyższy i zgodnie z prognozami wnosi 32% – 45% przy cenie biletu na poziomie 200 PLN i 61% - 65% przy cenie biletu na poziomie 150 PLN. Analogiczna analiza wykonana została dla połączenia Wrocław – Poznań. Połączenie to mogłoby mieć znacznie niższy udział w podziale modalnym odpowiednio na poziomach 13,5 – 20% i 36 – 37% przy cenach biletów na poziomie 150 i 100 PLN.

W analizie nie uwzględniono połączeń regionalnych KDP ponieważ mają one inną charakterystykę niż połączenia dalekobieżne. Suma potoków pasażerskich dla tras dalekobieżnych na LDP powinna wynosić około 3,2 mln pasażerów w jednym kierunku rocznie. Tak więc całkowity potok powinien wynosić około 8 mln pasażerów w pierwszym roku funkcjonowania linii.

## 5. Podsumowanie

W ostatnich latach możemy zaobserwować dynamiczny rozwój systemów kolei dużych prędkości na całym świecie. Rozwój ten wynika z faktu, że generalnie koleje dużych prędkości charakteryzują się znacznie wyższą rentownością niż koleje konwencjonalne. Koszty budowy i eksploatacji nowych linii są nieznacznie wyższe niż w przypadku kolei konwencjonalnych. KDP jest najbardziej konkurencyjna na trasach od 400 do 600 km i w przedziale tym jest jednocześnie najbardziej wydajna. Analiza budowy linii „Y” w Polsce wykazała, że linia wydaje się być na granicy opłacalności, dlatego konieczne jest opracowanie dokładnych prognoz uzasadniających, czy inwestowanie w kosztowną infrastrukturę jest uzasadnione ekonomicznie.