

Przepustowość kolei dużych prędkości przy różnych prędkościach pociągów na przykładzie projektowanej linii Warszawa – Poznań

Capacity of high speed railway lines with mixed speed traffic analysed on an example of designed Warsaw – Poznan line



Jeremi Rychlewski

Dr inż.

Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Lądowej, Zakład Budowy Mostów i Dróg Kolejowych, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP

jeremi.rychlewski@put.poznan.pl
ORCID: 0000-0002-1712-0039



Konrad Rychlewski

Mgr

Tak dla Rozwoju

konradrychlewski@gmail.com

Streszczenie: W artykule przedstawiono analizę możliwości wykorzystania przepustowości linii dużej prędkości, na przykładzie planowanej, częściowo już realizowanej, linii Warszawa – Poznań. Przedstawiono uzasadnienie dla wykorzystania tej linii przez różne pociągi: dużej prędkości, pociągi ekspresowe, a nawet aglomeracyjne. Na podstawie znanych parametrów pociągów dużej prędkości oraz przepisów dotyczących taboru i sterowania ruchem zbudowano program do obliczania optymalnej intensywności ruchu na linii. Porównując uzyskane wyniki z horyzontalnym rozkładem jazdy uznano, że jedynie dla zakresu prędkości 160-350 km/h istnieje ryzyko ograniczenia płynności ruchu. Analizy mają charakter wstępny, program w nich użyty powinien być rozwijany w celu uwzględnienia dodatkowych parametrów i uzyskania większej precyzji obliczeń.

Słowa kluczowe: Kolej dużych Prędkości; Przepustowość toru kolejowego; Płynność ruchu pociągów; Optymalna intensywność ruchu

Abstract: The article presents an analysis concerning a possibility to utilize capacity of a high speed line, on an example of planned, partially being constructed, railway line from Warsaw to Poznań. In the article a justification of putting mixed speed traffic, from high speed trains through regional expresses to agglomeration trains, on the line is presented. Based on train's parameters and rules governing rolling stock and train control, a program was written to calculate optimal traffic intensity for a high speed line. A comparison of the capacity analysis with planned horizontal timetable shows, that only for pairing speeds of 160 and 350 km/h a deficit of capacity can occur. The analysis are preliminary, the program used should be improved by including additional parameters and for increasing the calculation's precision.

Keywords: High speed railways; Railway track capacity; Free flow; Optimal traffic intensity

Wstęp

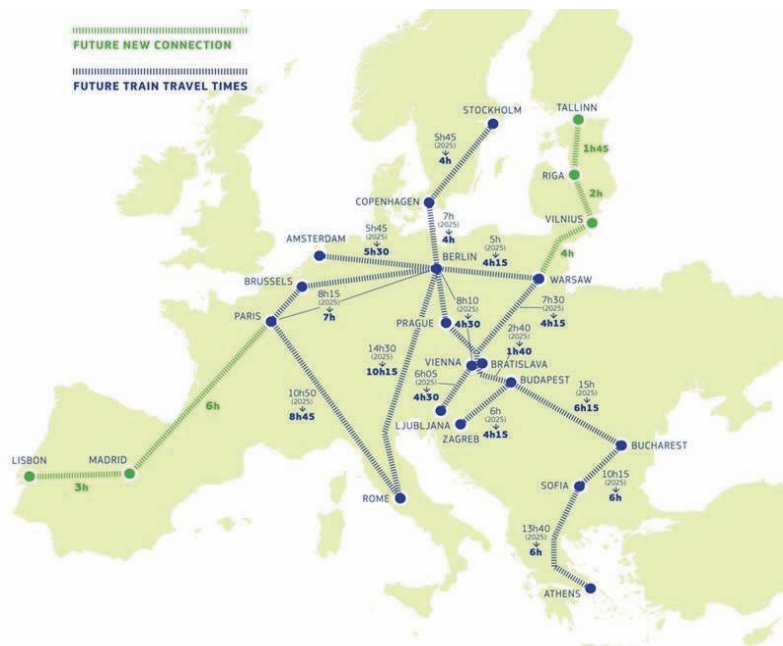
Polska jest krajem odpowiednim dla rozwoju kolei dużych prędkości. Największa w linii prostej odległość z miasta na prawach powiatu do Warszawy wynosi ok. 500 km, czyli mniej niż odległość 600 km, poniżej której pociągi dużej prędkości są uznawane za eliminujące konkurencję ruchu lotniczego [1,2,3,4]. Odległość między miastami na prawach powiatu dla niektórych par miast przekracza 600 km, w skrajnym przypadku między Świnoujściem i Przemyślem wynosząc 750 km, co wymusza na kolei konkurowanie jakością z ruchem lotniczym.

Potencjalni użytkownicy kolei dużej prędkości

Polska jest krajem policentrycznym, czyli o równomiernym rozmieszczeniu miast różnej wielkości [5]. Przy takim układzie osadniczym linia kolejowa powinna łączyć również miejscowości leżące w jej pobliżu, co wydłuża jej przebieg. Obecnie odległość Szczecin – Warszawa, liczona po magistralnych liniach kolejowych, wynosi 630 km, co stanowi wydłużenie o 26% w stosunku do linii prostej, a odległość Świnoujście – Przemyśl: 990 km, z wydłużeniem o 32%. Dla relacji Świnoujście – Warszawa trudno jednak wyobrazić sobie pominięcie linią dużej prędkości Szczecina czy Poznania, choć dla poszczególnych pociągów takie sytuacje występowały:

Szczecin bywał obsługiwany tylko stacją Szczecin Dąbie, a ekspres „Chrobry” omijał Poznań obwodnicą towarową. Przykładem z zagranicy może być francuska sieć TGV, której linii dużej prędkości nie wchodzi do centrum miast [6], np. linia Paryż – Marsylia omija Lyon (drugie największe miasto Francji) w odległości 11 km od centrum, ale posiada wjazdy do miasta z obu stron, w standardzie odpowiadającym pociągom dużej prędkości.

Budowa i utrzymanie linii kolejowej dużej prędkości pochłaniają duże środki finansowe [7], a ponadto większość linii jest dedykowana ruchowi pasażerskiemu, co eliminuje zyski z transportu towarów. Linie te wymagają więc dużych potoków pasażerskich, których zapewnienie w zrównoważonym roz-



1. Broszura Unii Europejskiej pokazująca spodziewane czasy przejazdu z wykorzystaniem kolei dużej prędkości [12]

Trasa i jej parametry	Poznań – Łódź – Warszawa – Suwałki	Poznań – Toruń – Olsztyn – Suwałki	
Odległość	ok. 700 km	ok. 500 km	
Prędkość maksymalna	350 km/h	200 km/h	
Liczba postojów (2 min.)	5	2	
Przyspieszenie	0,5 m/s ²	0,5 m/s ²	
Teoretyczny czas jazdy	2 h 23 min	2 h 37 min	
Różnica czasu jazdy	14 minut		

2. Pobieźne (między innymi pomijające odcinkowe ograniczenia prędkości) porównanie połączenia Litwa – Niemcy linią dużej prędkości $V=350$ km/h przez Warszawę i zmodernizowaną linią $V=200$ km/h przez Toruń. Źródło mapy: Openstreetmap

kładzie sieci osadniczej wymaga obsługi również mniejszych ośrodków miejskich. Pociągi obsługujące te ośrodki kursują z mniejszą prędkością, gdyż przy częstych postojach koszt energetyczny rozpędzania się jest duży, a zysk czasowy mały [6,8]. Oznacza to, że w Polsce linie dużej prędkości będą wykorzystywane przez pociągi z różnymi prędkościami maksymalnymi. Analogię takiego stanu można znaleźć na klasycznych liniach kolejowych, gdzie prędkość handlowa (rozkładowa) pociągów ekspresowych (InterCity) jest większa od pociągów lokalnych i towarowych, co wymusza lokalizację stacji ukierunkowanych na umożliwienie wyprzedzania się pociągów [8,9].

Polska położona jest na szlakach międzynarodowych, w związku z tym rozważania dotyczące kolei dużych prędkości powinny uwzględnić również relacje międzynarodowe [10,11]. Obecnie skryształizowały się 4 kierunki,

z których trzy zawarto w najnowszym opracowaniu o perspektywie kolei dużych prędkości w Unii Europejskiej (rys. 1) [12]:

- przez Białystok do Wilna, Rygi i Tallinna, z wizją budowy tunelu do Helsinek;
- przez Łódź i Poznań do Berlina i dalej na zachód Europy;
- przez Katowice i Bramę Morawską do Wiednia i Bratysławy;
- przez Lublin do Kijowa, przy założeniu zakończenia wojny i integracji gospodarczej Ukrainy z Unią Europejską.

Znaczenie dla ruchu międzynarodowego mogą mieć nie tylko linie o prędkości maksymalnej 250-350 km/h, lecz także linie pozwalające na jazdę z prędkościami 160-200 km/h, ale skracające długość przejazdu. Przykładem może być połączenie Poznań – Toruń – Olsztyn – Suwałki jako alternatywa dla po-

łączenia Poznań – Kalisz – Łódź – CPK – Warszawa – Białystok – Suwałki (rys. 2). Przykładem budowanej obecnie trasy jest połączenie z Krakowa na Słowację przez Podłężę, Piekiełko i Muszynę.

Podsumowując, budowa bądź modernizowana (CMK) sieć polskich kolei dużej prędkości musi uwzględniać zróżnicowane potrzeby przewozowe, wpływające na miejsca zatrzymań i maksymalną prędkość taboru. Wśród typów ruchu można wyróżnić:

- Połączenia międzynarodowe, które docelowo będą potrzebowały prędkości 300-350 km/h i ograniczenia zatrzymań do kilku części Polski. Pociągi takie zatrzymywałyby się w Warszawie, Katowicach, Wrocławiu i Poznaniu, a także na CPK.
- Bardzo szybkie połączenia krajowe, które docelowo powinny osiągać prędkości 300-350 km/h i zatrzymywać się przynajmniej we wszystkich miastach wojewódzkich, a także na CPK.
- Szybkie połączenia krajowe i międzynarodowe, które w zależności od linii powinny osiągać prędkości 160-250 km/h i zatrzymywać się przynajmniej we wszystkich miastach na prawach powiatu, a także na ważniejszych lotniskach.
- Na niektórych odcinkach – połączenia regionalne, korzystające na krótkich odcinkach z torów dużej prędkości, osiągając prędkość 160-200 km/h (analogicznie do rozwiązań niemieckich [6]).

Szybkie połączenie Poznań - Warszawa

Połączenie Poznań – Warszawa jest przykładem dyskursu między dążeniem do skrócenia czasu jazdy i obsługą pośrednich miejscowości. W 1919 r. przejazd w tej relacji był możliwy przez Kalisz lub przez Toruń, ta druga trasa była krótsza i miała długość 378 km. Budowa nowej linii między Kutnem i Strzałkowem skróciła tę odległość do 308 km. Wyprostowanie przebiegu linii kolejowej w rejonie Warszawy pozwoliłoby zredukować odległość jeszcze o około 10 km – taki był pierwotny przebieg planowanego połączenia kolejaj

dużych prędkości.

Pominięcie przez kolej dużych prędkości drugiego wówczas największego miasta Polski było ewidentnie nieefektywnym rozwiązaniem, stąd w 1993 r. pojawiła się koncepcja linii Warszawa – Łódź – Poznań – Berlin w modelu zbliżonym do francuskiego, a więc omijającej główne stacje Łodzi i Poznania, z możliwością zatrzymania na peryferiach tych miast bądź wjazdu do centrum [13,14,15]. Tak planowana linia nie zapewniała dobrego połączenia do Wrocławia, stąd w kolejnym podejściu linia dużej prędkości została skierowana przez Kalisz, przy czym rozważano wariant przebiegu na północ od Kalisza i zalewu Jezioro, bądź na południe [8,16,17] – w tym drugim wariantcie zdecydowano aby stację dla aglomeracji kalisko-ostrowskiej zlokalizować pomiędzy tymi miastami w Nowych Skalmierzycach [8,13,14,16]. Obecnie realizowany wariant zakłada rozdzielanie linii na Poznań i Wrocław w Sieradzu oraz ominięcie Kalisza z możliwością wjazdu do miasta klasyczną linią kolejową.

W tabeli **1** zestawiono długość tras w omawianych wariantach i prędkość handlową potrzebną do pokonania tych długości w ciągu 90 minut. Podany w niej procent wskazuje jaki może być koszt prowadzenia linii w celu obsługi miast – np. konieczność budowy linii na 250 km/h zamiast budowy linii na 200 km/h w celu osiągnięcia tego samego czasu przejazdu.

Podsumowując, obecnie realizowany projekt linii dużej prędkości Warszawa – Poznań zakłada:

- wjazd linii do centrum Warszawy, Łodzi, Poznania i CPK;
- możliwość zjazdu z linii, a następnie powrotu, dla obsługi takich miast jak Sieradz, Kalisz, Jarocin, Środa Wlkp.;
- możliwość zatrzymania się na linii w Brzezinach i Nowym Mieście nad Wartą;
- wydłużenie trasy o prawie $\frac{1}{4}$ w stosunku do najprostszego przebiegu i o 6% względem obsługi Kalisza i Łodzi od strony północnej.

Z tab. 1 wynika, że jeżeli nowa linia dużej prędkości ma być nie tylko al-

Tab. 1. Zrealizowane i analizowane trasy kolejowe między Poznaniem i Warszawą

Trasa linii Poznań-Warszawa (przyjęto rzeczywiste długości tras zrealizowanych i orientacyjne pozostałych)	Długość [km]	Prędkość handlowa potrzebna dla przejechania trasy w ciągu 1,5 h [km/h]	
Zrealizowana – przez Toruń	378	252	126,0%
Zrealizowana – przez Konin (obecna linia nr 3)	308	205	102,7%
Analizowana – „wyprostowanie” koło Warszawy	300	200	100,0%
Analizowana – na północ od Łodzi, na południe od Poznania	320	214	106,7%
Analizowana – na północ od Kalisza	345	230	115,0%
Analizowana – przez Nowe Skalmierzyce	370	247	123,3%
Realizowana – przez Sieradz	370	247	123,3%

ternatywą wobec obecnej linii przez Konin, ale być wobec niej konkurencyjna, prędkość na tej linii powinna być o 25% większa od progu konkurencyjności dla porównywalnych długości linii.

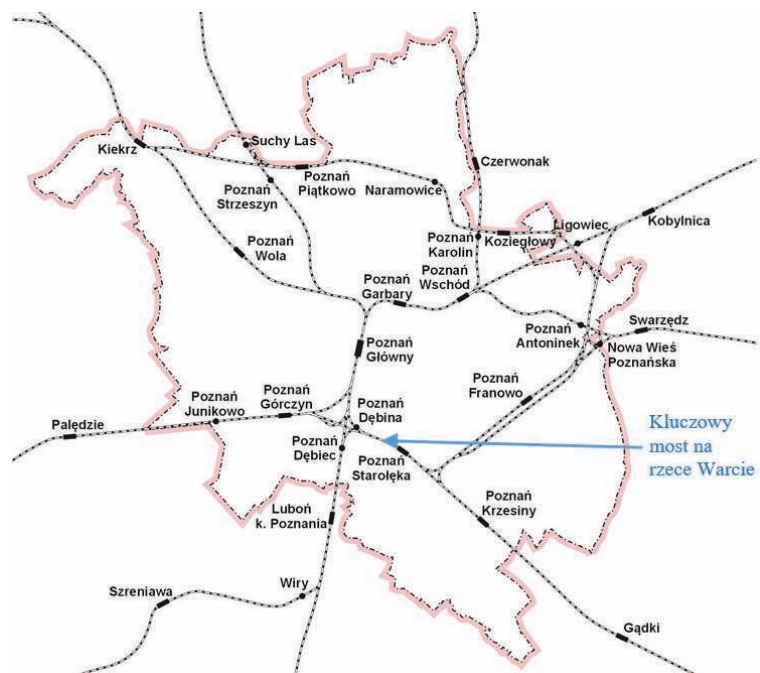
Wjazd do Poznania od strony stacji Poznań Starołęka

Przykład odcinka Poznań Starołęka – Poznań Główny pokazuje, że potrzebne może być nawet wspólne prowadzenie ruchu pociągów dużej prędkości i pociągów aglomeracyjnych. Problem dotyczy mostu na Warcie po zachodniej stronie stacji Poznań Starołęka (rys. **3**), gdzie obecnie ruch pociągów metropolitalnych (w tym segmencie zawarto łącznie pociągi aglomeracyjne i regionalne) i pociągów TLK, IC krzyżuje się z ruchem pociągów towarowych ze Zbąszczyń i Wrocławia na stację towarową Poznań Franowo. Spodziewane docelowe natężenie pociągów w go-

dzinie szczytu wyniesie [18,19]:

- 3 pary pociągów dużej prędkości oraz 1 para pociągów pospiesznych wjeżdżających z linii dużej prędkości;
- 2 pary pociągów pospiesznych jadących od strony stacji Poznań Franowo;
- 7-14 par pociągów metropolitalnych (w zależności od przyjętego wariantu obciążenia ruchem Poznańskiego Węzła Kolejowego), w tym 3-4 par pociągów jadących od strony stacji Poznań Franowo;
- nieznana liczbę pociągów towarowych.

Widać wyraźnie, że dobudowa torów dedykowanych pociągom dużej prędkości i pospiesznych spowoduje dużą nierównomierność obciążenia istniejącej i nowej pary torów, szczególnie, że we wstępnych planach układu torowego pociągi pospieszne jadące od



3. Schemat Poznański i jego Węzła Kolejowego. Źródło: autor: Poznaniak, licencja: CC-BY strona: https://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Pozna%C5%84ski_W%C4%99ze%C5%82_Kolejowy.png

Tab. 2. Wykorzystanie poszczególnych torów mostu na Warcie w godzinie szczytu w zależności od liczby torów

Wariant	Tor A	Tor B	Tor C	Tor D	Tor E	Tor F	Tor G
Stan obecny: 2-torowy	2P+2M+T	2P+2M+T					
Linia KDP omija stację Poznań Główny	T	T	3P+10M	3P+10M	2D+2D	1D	1D
Wariant proponowany przez CPK (4-torowy)	2P+10M+T	2P+10M+T	3D+1P	3D+1P			
Wariant 4-torowy alternatywny [22]	T	2P+4M+T	3D+1P+6M	3D+3P+10M			
Wariant 5-torowy	T	2P+4M+T	3D+1P+6M	3D+1P	2P+10M+B		
Wariant 6-torowy	T	T	2P+10M	3D+1P	3D+1P	2P+10M+B	
xD – liczba pociągów dużej prędkości xP – liczba pociągów pospiesznych xM – liczba pociągów metropolitalnych (przyjęto wartość pośrednią) T – tor dla pociągów towarowych B – tor wykorzystywany w porze nocnej dla ruchu manewrowego zakładów HCP i FPS							

strony stacji Poznań Franowo nie miały na nową linię wjeżdżać [20]. Problem będzie zwiększony kolizyjnością pociągów kursujących po bardziej obciążonej parze torów na posterunku odgałęźnym Poznań Dębina (formalnie PSk2). Ociążenie istniejących torów z ruchu pasażerskiego jest istotne, gdyż budowa sieci linii dużej prędkości ma „zwołnić przepustowość” dla ruchu towarowego [21], stacja Poznań Starołęka nie powinna więc być „wąskim gardłem”. Dodatkowo należy wspomnieć, że odcinek między stacją Poznań Starołęka i stacją Poznań Główny nie będzie odcinkiem dużej prędkości, zarówno ze względu na bliskość stacji Poznań Główny i długą drogę hamowania pociągów z dużych prędkości, jak też z racji ograniczenia układu geometrycznego – w pierwotnej, już nieaktualnej, koncepcji linia dużej prędkości nr 85 kończyła się na stacji Poznań Starołęka.

W tabeli 2 zestawiono obciążenie poszczególnych torów na kluczowym dla przepustowości moście na Warcie – obecnie i w różnych koncepcjach rozbudowy. Obecnie most ma 2 tory, jest też zgoda związana z oddziaływaniem na środowisko do rozbudowy do 4 torów, ale w najbardziej rozbudowanym wariantcie potrzeba nawet 7 torów. Budowa większej niż 3 liczby torów na dojeździe do stacji Poznań Główny spotyka się z dużymi protestami społecznymi. Analizy układu geometrycznego wykazały duże trudności w kształtowaniu dwupoziomowych rozwiązań torów kolejowych na zachód od mostu na Warcie [22]. Te wszystkie ogranicze-

nia wskazują na potrzebę pozostawienia istniejących torów wyłącznie lub prawie wyłącznie dla ruchu towarowego, co przy mniejszej niż 6 liczbie torów przez Wartę oznacza konieczność wspólnego kursowania pociągów dużej prędkości i przynajmniej niektórych pociągów aglomeracyjnych. Alternatywą jest powstanie „wąskiego gardła” dla ruchu metropolitalnego i towarowego.

Zasady sterowanie ruchem

Zasady sterowania ruchem przyjęto według Instrukcji Ir-1 [23], do której w praktyce odwołują się instrukcje Ir-1a i Ir-1b opisujące prowadzenie pociągów w systemie ETCS. Kluczowym elementem jest zasada, że o ile na szlaku odstępy między semaforami czterostawnej samoczynnej blokady liniowej mogą wynosić połowę drogi hamowania najgorszego pod tym względem pociągu, o tyle ostatni odstęp przed semaforem stacyjnym musi mieć długość drogi hamowania. Stąd odstęp między pociągami, który nie wymaga regulacji ruchu, nie powinien być mniejszy niż suma:

- długości pociągu poprzedzającego L_p ,
- długości obszaru detekcji przy semaforze L_{dr} ,
- długości drogi hamowania do zera pociągu następującego L_{hr} ,
- długości widoczności semafora lub, przy II poziomie ETCS, reakcji na wskazania urządzeń pokładowych L_{wid} .

Przy zastosowaniu III poziomu ETCS, nieobjętego instrukcjami, minimalny odstęp między pociągami byłby determinowany przez drogę hamowania awaryjnego. Drogę hamowania L_h obliczano ze wzoru:

$$L_h = \sum_i \frac{v_{i+1}^2 - v_i^2}{2 \cdot a_i}$$

gdzie:

i – przedział prędkości od v_i do v_{i+1} ,
 v_i – prędkość graniczna przedziału [m/s],
 a_i – opóźnienie hamowania w przedziale i [m/s²] według [30].

Po linii KDP pociągi będą jeździć z różnymi prędkościami – wtedy miejscem krytycznym będzie przy doganianiu pociągu odcinek przed semaforem posterunku zapowiadawczego, a gdy pociąg szybszy poprzedza pociąg wolniejszy – miejsce wjazdu pociągu wolniejszego na tor po którym jedzie pociąg szybszy. Różnica prędkości różniłowej między tymi miejscami ograniczy przepustowość teoretyczną.

W analizie przepustowości przyjęto zasadę, że pociągi nie powinny hamować ze względu na zajętość toru przed nimi. Uwzględniono też losowe rozproszenie trajektorii pociągów – przy tych założeniach dla ruchu mieszanego spodziewana optymalna intensywność ruchu wynosi 60% teoretycznej przepustowości [24,25,26], co stanowi iloczyn:

- współczynnika losowości ruchu pociągów 70%,
- współczynnika związanego ze strukturą rodzajową 85% (dla ruchu wyłącznie pasażerskiego, ale zróżnicowanej funkcją).

Aby więc uzyskać ten efekt obliczeniowo założono zwiększenie czasów zajętości o współczynnik $n = 1 / 0,6 = 0,67 = 67\%$.

Na podstawie tych danych można oszacować optymalną intensywność ruchu OI [poc./h] ze wzoru:

$$OI = \frac{3600}{t_{sr}} \cdot n$$

gdzie:

t – średni czas zajętości odcinka przez pociąg.

Czas zajętości odcinka przez poszczególne pociągi obliczano na podstawie wzoru:

$$T = \frac{L_p + L_d + L_h + L_{wid}}{V_{sr}}$$

gdzie:

długości L [m] opisano wyżej, V_{sr} – prędkość średnia na analizowanej długości, przy czym program dla znaczących różnic prędkości przeprowadza obliczenia dla poszczególnych przedziałów prędkości.

Parametry pociągów

W Tabeli 3 zestawiono przyjęte parametry pociągów, konieczne do analizy przepustowości. Parametry te przyjęto wykorzystując dane z artykułów [27,28,29,30]. Wartości przyspieszeń są uproszczone, w obliczeniach stosowano wartości określone dla konkretnych przedziałów prędkości. Dla hamowania awaryjnego w razie stosowania ECTS poziomu III przyjęto opóźnienie $1,0 \text{ m/s}^2$ jako największe bezpieczne dla pasażerów będących poza miejscami siedzącymi.

Wyniki analiz przepustowości

Obecne plany CPK zakładają kursowanie po nowo budowanych liniach do Poznania i Wrocławia, tworzących tzw. „Y”, 3 różnych kategorii pociągów:

- ekspresów o prędkości maksymalnej ponad 300 km/h ,
- ekspresów lotniskowych o przewidywanej prędkości maksymalnej na poziomie 200 km/h ,
- ekspresów regionalnych o przewidywanej prędkości maksymalnej na poziomie 200 km/h .

Taka koncepcja budzi uzasadnione obawy co do wpływu współdzielenia linii przez pojazdy o tak różnej charakterystyce. Przykładem problemów mogą być:

- Wprowadzenie na CMK pociągów Pendolino z prędkością 200 km/h , co skróciło czas przejazdu tymi pociągami, ale wydłużyło czas przejazdu pozostałymi, gdyż konieczne stały się postoje techniczne w celu

Tab. 3. Parametry pociągów wykorzystane w analizie przepustowości

Typ pociągu	Prędkość maksymalna [km/h]	Przyspieszenie rozruchu [m/s^2]	Opóźnienie hamowania [m/s^2]	Czas reakcji [s]	Długość pociągu [m]
Szybszy dużej prędkości	350, 300, 250	0,3	0,4	5	300
Wolniejszy dużej prędk.	250, 220, 200	0,4	0,5	5	300
Pospieszny	160, 200	0,5	0,6	7	300
Metropolitalny	160	1,0	1,0	7	200

wyprzedzenia. Jest to problem zróżnicowanej prędkości.

- Obecne obawy przewoźników regionalnych związane z dostępem do sieci kolejowej konkurencyjnych przewoźników czeskich. Przewoźnicy regionalni obawiają się, że dodatkowe pociągi zajmą sloty czasowe przewidziane dla nich, bądź wymuszą niekorzystne zmiany w rozkładach jazdy, zwiększające koszty operacyjne i zmniejszające atrakcyjność dla pasażerów [31]. Jest to problem priorytetowy przy organizowaniu ruchu na linii.

Celem zglebienia tego zagadnienia stworzyliśmy autorski program komputerowy służący symulacji ruchu kolejowego w zależności od parametrów linii kolejowej, osiągnięć pojazdu i planowanych postojów handlowych. W szczególności program oblicza czas przejazdu po podaniu:

- parametrów pojazdu takich jak długość, maksymalne przyspieszenie dla różnych przedziałów prędkości, maksymalne opóźnienie hamowania i prędkość maksymalna;
- charakterystyki sieci kolejowej: długość odcinków i przypisane im prędkości maksymalne, umiejscowienie rozjazdów;
- dodatkowych zmiennych niewynikających bezpośrednio z warunków technicznych: długość postojów handlowych i technicznych (ten aspekt nie stanowił jednak elementu przedstawionych tutaj analiz).

W dowolnym momencie symulacji brano również pod uwagę zbliżające się ograniczenia prędkości wynikające np. ze zbliżania się do punktu zatrzymania i tak kształtowano prędkość pociągu, żeby zawsze pozostawał poniżej teoretycznie możliwej, dopuszczalnej

prędkości maksymalnej. Uzyskiwany w ten sposób czas przejazdu był najkrótszym, teoretycznie osiągalnym czasem przejazdu, który stanowił podstawę dalszych obliczeń.

Przy wykorzystaniu ECTS poziomu III i dla jednolitej obsługi przez tabor KDP jednego producenta poruszający się z jednolitą prędkością maksymalną 350 km/h , minimalne odstępy między pociągami byłyby determinowane przez drogę hamowania awaryjnego. Przy założeniu maksymalnego opóźnienia hamowania $1,0 \text{ m/s}^2$ minimalny odstęp wyniósłby 4800 m plus 400 m długość pociągów, czyli 5.200 m . Zastosowanie minimalnych odstępów nie mniejszych niż 5.500 m przekładałoby się na minimalny odstęp czasowy 57 s , czyli przepustowość teoretyczną 1 pociągu KDP co minutę. Uwzględniając przebieg na optymalną intensywność ruchu zwiększając czas przy ruchu równomiernym o 50% [9] uzyskuje się odstęp 86 s , czyli optymalną intensywność ruchu 42 poc./h .

W polskich warunkach znacznie większe znaczenie praktyczne będzie miała maksymalna przepustowość przy zastosowaniu ETCS poziomu II ze stałymi odstępami blokowymi. Przy założeniu parametrów z tabeli 3 uzyskuje się długość krytycznego odstępu blokowego 11.500 m – co po dodaniu długości pociągu daje odstęp między pociągami 11.900 m . Przy tych parametrach minimalny odstęp między pociągami wynosi 123 s , a po uwzględnieniu przebiegu na optymalną intensywność ruchu – 185 s i 19 poc./h . Widać więc wyraźne zyski z uruchomienia ETSC poziomu III, o ile taka przepustowość byłaby potrzebna.

W ruchu mieszanym przepustowość znacząco zmniejsza się, gdyż pociągi szybsze doganiają wolniejsze. Sposobem na zwiększenie przepustowości jest wówczas zatrzymanie wolniejszego pociągu na torze dodatkowym

stacji lub opuszczanie linii przez wolniejsze pociągi. W tabeli 4 zestawiono czasy przejazdu poszczególnych odcinków linii KDP Warszawa – Poznań według obecnego projektu [20,32] oraz wynikające z nich optymalne intensywności ruchu. Odcinki te wynikają z miejsc zatrzymywania pociągów mniejszej prędkości w postaci stacji na linii dużej prędkości (CPK, Brzeziny), bądź stacji na które przewidziano zjazd z linii dużej prędkości (Sieradz, Kalisz, Jarocin). Pominęto ostatni odcinek do Poznania ze względu na brak docelowych rozwiązań w obrębie samego Poznania. Tabela 4 podaje czas zajętości odcinka przez pociągi poruszające się z prędkością maksymalną 160, 200, 250 i 350 km/h, uwzględniając ich 400-metrową długość, a następnie w oparciu o różnice czasu podaje obliczone przepustowości dla par pociągów różnych prędkości. Założono stosowanie II poziomu ETCS. Dla celów obliczeniowych założono, że pociąg szybszy i wolniejszy następują po sobie, obciążając linię w proporcji 1:1. z czasem przejazdu pociągu poruszającego się z prędkością 350 km/h. Przykładowo dla odcinka CPK – Brzeziny różnica czasu następstwa między pociągami tej samej prędkości wyniesie 2 minuty, a między pociągiem jadącym 200 km/h i pociągiem jadącym 350 km/h – 9:37 minut. Dla tych wartości optymalna intensywność ruchu będzie osiągnięta dla 6 par pociągów w godzinie. Biorąc pod uwagę że w horyzontalnym rozkładzie jazdy [18] obciążenie badanej linii wynosi 4-5 par pociągów na godzinę, za ryzykowne należy uznać jedynie zestawienie pociągów o maksymalnej prędkości 350 i 160 km/h.

Celem wyznaczenia optymalnej intensywności ruchu założono, że wol-

niejszy pociąg poprzedzający pociąg szybszy zdąży zjechać na przeznaczony dla niego tor w miejscu zatrzymania, np. CPK, na tyle wcześniej, żeby w momencie osiągnięcia przez następujący po nim szybszy pociąg „punktu decyzji” – położonego w odstępnie 11900 m przed zjazdem na stację (dla ETCS poziomu 2) – tor zasadniczy lub szlakowy nie był już zajęty. Dla przystanków nie należących bezpośrednio do linii „Y” do celów obliczeń wzięto pod uwagę odcinek do zjazdu wydłużony o 400 m.

Podsumowanie

Koszty budowy kolei dużej prędkości wymagają aby linia ta była wykorzystywana – co w warunkach polskich oznacza prowadzenie ruchu pociągów o różnej prędkości maksymalnej. Analizy z wykorzystaniem autorskiego programu badającego następstwa ruchu pociągów wskazały, że przy zastosowaniu intensywności ruchu przewidzianej horyzontalnym rozkładem jazdy przepustowość dla obsługi tak mieszanego ruchu jest zapewniona: jednie dla łączenia ruchu pociągów o maksymalnej prędkości od 160 do 350 km/h przepustowość może być niewystarczająca dla prowadzenia płynnego ruchu, szanse na taką kombinację prędkości na liniach dużej prędkości są jednak małe. Kombinacja taka może wystąpić na obszarach aglomeracji, gdzie jednak pociągi dużej prędkości będą jechać wolniej ze względu na bliskość stacji na której będą się zatrzymywać.

Linia z Warszawy do Poznania będzie pod względem wyprzedzania wolniejszych pociągów niejednorodna: między Warszawą a Sieradzem pociągi wolniejsze będą zatrzymywane

na torach dodatkowych, a w Sieradzu i na dalszych odcinkach będą zjeżdżać z linii dużej prędkości, przy czym dla Kalisza, Jarocina i Środy Wielkopolskiej długość tego zjazdu będzie zauważalnie wydłużała przejazd. Przedmiotem kolejnej analizy powinny być czasy oczekiwania na wyprzedzenie na stacjach w ramach linii dużej prędkości i koordynacja trajektorii pociągów zjeżdżających na stacje z pociągami pozostającymi na linii dużej prędkości.

Obecna koncepcja zakłada przy największych miastach zmniejszenie maksymalnej prędkości do klasycznego poziomu. W takich warunkach optymalne wykorzystanie linii może wiązać się z wprowadzeniem nawet pociągów aglomeracyjnych.

Wydłużenie linii dużej prędkości Warszawa – Poznań w stosunku do długości w linii prostej, a także długości przy wykorzystaniu istniejących klasycznych linii kolejowych, będzie wymagało dobrej prędkości pociągów. Jednocześnie nawet dla prędkości 350 km/h inne połączenia, w tym z Niemiec na Litwę przez Toruń, będą stanowić czasowo gorszą, ale jednak realną alternatywę.

Już na tym wstępnym etapie naszych analiz można wskazać na zauważalną poprawę przepustowości przy zastosowaniu ETCS poziomu III w stosunku do bardziej rozpowszechnionego poziomu II. Zasadne jest oczywiście pytanie czy większa przepustowość będzie potrzebna: o ile na odcinkach pomiędzy miastami prawdopodobnie nie, o tyle może się przydać w obrębie aglomeracji. Będąc krajem budującym swoją sieć KDP niemal od podstaw, mamy niepowtarzalną szansę sięgnięcia do najnowszych rozwiązań technologicznych, unikając konieczności modernizowania rozwiązań w przyszłości. Budowa sieci KDP może być dźwignią dla szybszego rozwoju rodzimego sektora wysokich technologii.

Przedstawione w tym artykule wstępne badania należałoby rozszerzyć na różne konfiguracje ETCS, wszystkie stacje kolejowe planowane na liniach dużej prędkości i różne rodziny pojazdów kolejowych. Posiadanie własnego modelu symulacyjnego niewątpliwie przyspieszy analizy opty-

Tab. 4. Czasy następstwa i wynikająca z nich optymalna intensywność ruchu dla par typów pociągów różnej prędkości v [km/h] na linii dużej prędkości Warszawa – Poznań

Odcinek	Czas następstwa [min]				Optymalna intensywność ruchu [par poc./h]					
	T v160	T v200	T v250	T v350	OI v160 v250	OI v160 v350	OI v200 v250	OI v200 v350	OI v250 v350	
Warszawa	CPK	15:35	12:57	11:21	8:08	11	7	19	10	14
CPK	Brzeziny	24:50	20:07	16:28	10:36	6	4	12	6	9
Brzeziny	Łódź	7:42	6:36	5:56	2:37	19	10	27	12	13
Łódź	Sieradz	36:18	32:11	29:04	24:03	7	4	14	7	10
Sieradz	Kalisz	15:00	12:16	10:10	6:03	10	6	17	8	11
Kalisz	Jarocin	19:12	15:37	12:52	7:57	8	5	15	7	10

malnego kształtowania i wykorzystania potencjału sieci kolei dużych prędkości w Polsce. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Clewlow R. R., Sussman J. R., Balakrishnan H.: The impact of high-speed rail and low-cost carriers on European air passenger traffic; *Transport Policy* 2014/33, str.136-143
- [2] Dyr T.: Koleje dużych prędkości jako czynnik poprawy konkurencyjności kolei na rynku transportowym; *Technika Transportu Szynowego* 2010/11-12, str.33-43
- [3] Pomykała A.: Kolej dużych prędkości we Francji – korzyści i plany dalszego rozwoju; *Technika Transportu Szynowego* 2011/12, str.41-50
- [4] Rydzkowski W., Wojewódzka-Król K.: Współczesne problemy polityki transportowej, PWE, Warszawa 1997
- [5] Śleszyński P.: Dlaczego i do czego potrzebny jest w Polsce szczebel subregionalny?; Kongres Obywatelski, <https://www.kongresobywatelski.pl/wp-content/uploads/2024/07/ptl17-przemyslaw-sleszynski-dlaczego-i-do-czego-potrzebny-jest-w-polsce-szczebel-subregionalny.pdf> (dostęp: 26.11.2025)
- [6] Massel A., Malepszak P.: Koleje dużych prędkości a obsługa regionów; *Technika Transportu Szynowego* 2009/10, str.23-28
- [7] Sanches-Borras M., Lopez-Pita A.: Rail infrastructure charging systems for high-speed lines in Europe; *Transport Reviews* 2011/31, str. 49-68
- [8] Rychlewski J.: Obsługa transportowa rejonu Kalisza linią kolejową dużych prędkości; *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport* 2006/62-1721, str.417-424
- [9] Rychlewski J., Plucińska E., Bednarek W., Pawłowski M.: Organizacyjne metody zwiększenia przepustowości sieci kolejowych w aglomeracjach; *Drogi kolejowe 2023: Jubileuszowa XX Konferencja Naukowo-Techniczna* : materiały konferencyjne - Kraków, Polska : Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczypospolitej. Oddział w Krakowie 2023, str.297-313
- [10] Majewski J., Malepszak P.: Polska droga do kolei dużych prędkości – analiza wyzwań i perspektyw rozwoju; *Przegląd Komunikacyjny* 2025/3-4, str.16-19
- [11] Massel A., Omówienie koncepcji linii KDP w kontekście międzynarodowym; Prezentacja na konferencji „Rozwój polskiej kolei z wykorzystaniem środków UE – analiza możliwości budowy Kolei Dużych Prędkości w Polsce”; Warszawa 2017
- [12] broszura Unii Europejskiej https://transport.ec.europa.eu/document/download/bce4578a-0fb6-48f7-a879-56134d4ea56d_en?filename=Factsheet-High-speed%20rail%0plan.pdf (dostęp 27.11.2025)
- [13] Raczyński J.: Rządowy program budowy linii dużych prędkości w Polsce; *Technika Transportu Szynowego* 2008/9, str.17-26
- [14] Bresch B.: Modernizacje linii kolejowych w Polsce a budowa linii dużych prędkości; *Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej* 2017/25, str.51-60
- [15] Studium Trasy dla prędkości 300 km/h na odcinku Warszawa – Łódź – Poznań – granica Państwa, Centralne Biuro Studiów i Projektów „Kolprojekt”, Warszawa 1993
- [16] Wstępne studium wykonalności budowy linii dużych prędkości Wrocław/Poznań – Łódź – Warszawa, CNTK, Warszawa 2005 r. na zlecenie PKP PLK S.A.
- [17] Szafrński Z.: Projekt CPK szansą rozwoju regionu łódzkiego; *Przegląd Komunikacyjny* 2025/3-4, str.34-39
- [18] Horyzontalny rozkład jazdy <https://hrj.gov.pl/rozpoczynamy-konsultacje-horyzontalnego-rozkladu-jazdy/> (dostęp 28.11.2025)
- [19] Bul R., Gadziński J., Rychlewski J.: Sieć kolejowa i kolej metropolitalna; *Koncepcja kierunków rozwoju przestrzennego Metropolii Poznań: Centrum Badań Metropolitalnych UAM Poznań*, 2016, str.124-131
- [20] Materiały ze strony Centralnego Portu Komunikacyjnego www.cpk.pl (dostęp 1.06.2023)
- [21] Zapisy posiedzeń Sejmowych z 8 czerwca 2021 r. i 25 kwietnia 2024 r. opublikowane na stronie www.sejm.gov.pl
- [22] Rychlewski J.: Przebieg linii kolejowej dużej prędkości nr 85 przez Poznań w: *Nowe środki transportu i nowe formy mobilności*, SITK, Poznań 2023, str.293-304
- [23] Instrukcja o prowadzeniu ruchu pociągów Ir-1 – tekst ujednolicony. Załącznik do uchwały nr 752/2025 Zarządu PKP PLK S.A.
- [24] Woch J.: Narzędzia analizy efektywności i optymalizacji sieci kolejowej, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2001
- [25] Cieślakowski J.: Stacje kolejowe, WKiŁ, Warszawa 1992
- [26] Gajda, B.: *Technika transportu szynowego*, WKiŁ, Warszawa 1990
- [27] Standardy techniczne: Szczegółowe warunki techniczne dla budowy infrastruktury kolejowej Centralnego Portu Komunikacyjnego – wytyczne projektowania. Tom XVI Tabor kolejowy wersja 2.0.0, Instytut Kolejnictwa i Centralny Port Komunikacyjny
- [28] Rozporządzenie Komisji UE nr 1302/2014 Rozporządzenie Komisji (UE) nr 1302/2014 z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie technicznej specyfikacji interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu „Tabor – lokomotywy i tabor pasażerski” systemu kolei w Unii Europejskiej
- [29] Raczyński J.: Pociągi dużych prędkości – kierunki rozwoju; *Technika Transportu Szynowego* 2005/5-6, str.61-72
- [30] <https://www.ice-treff.de/index.php?id=104110> (dostęp 27.11.2025)
- [31] <https://www.rynek-kolejowy.pl/wiadomosci/przewoznicy-regionalnie-niezadowoleni-z-regiojet-125596.html> (dostęp 27.11.2025)
- [32] <https://www.rynek-kolejowy.pl/wiadomosci/cpk-tak-dojedziesz-pociagiem-na-lotnisko-zarzadzajnia-szczegoly-122387.html> (dostęp 27.11.2025)