

## MODELE PRZEWOZOWE KOLEI DUŻYCH PRĘDKOŚCI W SIECI TRANSEUROPEJSKIEJ UNII EUROPEJSKIEJ

---

DATA PRZESŁANIA: 15.12.2017, DATA AKCEPTACJI: 18.06.2018, KODY JEL: L920

**Jolanta Sułek**

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny  
Jolanta.Sulek@zut.edu.pl

### STRESZCZENIE

Jednym z podstawowych czynników integracji europejskiej jest transport, a w nim kolejowy transport pasażerski. Od 1981 roku ulega on w Europie intensywnej modyfikacji polegającej na wprowadzaniu środków transportu o dużych prędkościach. Tworzy to nową jakość w przewozach pasażerskich, przyczyniającą się do możliwości ich realizacji trasami transeuropejskimi. Celem artykułu jest przedstawienie modeli oraz potencjalnych transeuropejskich tras kolei dużych prędkości w Unii Europejskiej.

### SŁOWA KLUCZOWE

Unia Europejska, polityka transportowa, transport kolejowy, koleje dużych prędkości

---

## WSTĘP

Rola kolei dużych prędkości (KDP) jako energooszczędnego, ekologicznego i bezpiecznego środka transportu została wskazana w Białej Księdze opublikowanej w 2011 roku przez Komisję Europejską. W dokumencie tym stwierdzono, że „żadna duża zmiana w sektorze nie będzie możliwa bez wsparcia stosownej sieci i jej inteligentnego wykorzystania”. Wyznaczony został też cel: „Ukończenie szybkiej europejskiej sieci kolejowej do 2050 roku. Trzykrotny wzrost istniejącej sieci szybkich kolei do 2030 roku oraz zachowanie gęstej sieci kolejowej we wszystkich państwach członkowskich. Do 2050 roku większa część ruchu pasażerskiego na średnie odległości powinna odbywać się koleją”.

## KOLEJ DUŻYCH PRĘDKOŚCI W EUROPIE

Zgodnie ze stanowiskiem Parlamentu Europejskiego KDP są tożsame z systemami przeznaczonymi do realizacji przewozów pasażerskich z prędkościami wynoszącymi 250 km/h lub większymi, przemieszczającymi się na specjalnie wybudowanych odcinkach tras kolejowych,

oraz około 200 km/h – na odcinkach modernizowanych. System ten obejmuje infrastrukturę, tabor oraz warunki eksploatacji<sup>1</sup>.

Sformułowanie powyższej definicji KDP dla krajów UE opierało się na doświadczeniach Japonii, która eksploatację szybkiej kolei rozpoczęła w roku 1964, a także krajów europejskich, takich jak Francja (od 1981 roku), Włochy (od 1988 roku), Niemcy (od 1991 roku) czy Hiszpania (od 1992 roku; Rucińska, 2012, s. 233–241).

W 2015 roku system KDP w UE na swoim terytorium utworzyły następujące kraje: Austria, Belgia, Francja, Niemcy, Włochy, Holandia, Hiszpania, Szwecja, Wielka Brytania, Polska, Czechy, Portugalia, Finlandia, Grecja, a spoza UE Szwajcaria, przyjmowana do zbioru ze względu na swoje centralne położenie w Europie. Charakterystykę wymienionych państw w aspekcie KDP prezentuje tabela 1.

Tabela 1. Charakterystyka krajów europejskich w aspekcie KDP

Lp.	Nazwa kraju	Ludność	Długość krajowej sieci kolejowej	Długość sieci KDP			Gęstość zaludnienia	Gęstość krajowej sieci kolejowej	Gęstość Sieci KDP
				całkowita	w tym				
					istniejąca	planowana			
tys. osób	tys. km	tys. km	tys. km	tys. km	tys. km	osób/km <sup>2</sup>	km/km <sup>2</sup> × 10 <sup>-2</sup>	km/km <sup>2</sup> × 10 <sup>-2</sup>	
1.	Austria	8600	5,7	0,25	0,05	0,2	102	6	0,3
2.	Belgia	11 152	3,44	0,21	0,21	–	359	11	0,7
3.	Francja	66 318	31,94	2,8	2,04	0,76	103	5	0,32
4.	Niemcy	81 084	35,8	1,8	1,33	0,47	227	10	0,5
5.	Włochy	60 788	15,99	1,05	0,92	0,13	202	5,3	0,35
6.	Holandia	16 912	2,81	0,12	0,12	–	403	6,7	0,28
7.	Hiszpania	46 465	18,77	3,83	2,52	1,31	92	3,7	0,76
8.	Szwecja	9817	11,9	0,75	0,75	–	22	2,6	0,17
9.	Wielka Brytania	63 182	16,47	0,11	0,11	–	258	6,7	0,05
10.	Polska	38 500	19,34	1,4	–	1,4	123	6,2	0,45
11.	Czechy	10 541	9,6	0,58	–	0,58	133	12	0,73
12.	Finlandia	5475	5,79	0,55	0,55	–	16	1,7	0,16
13.	Portugalia	10 814	0,5	0,31	0,31	–	117	0,55	0,34
14.	Grecja	10 756	2,57	0,35	–	0,35	81	1,9	0,27
15.	Szwajcaria	8280	5,16	0,15	0,04	0,11	202	12,5	0,34
Razem							2440	91,85	0,59
Średnio							162,7	6,1	0,38

Źródło: (Prokopowicz, 2015).

Gęstość zaludnienia wskazuje na potencjał pasażerów mogących korzystać z pociągów obsługujących trasy sieci kolejowej. Gęstość sieci świadczy zaś o dostępności tej gałęzi transportu w odniesieniu do świadczeń usług przewozowych, które są realizowane trasami krajowej sieci kolejowej, jak również sieci KDP.

<sup>1</sup> Dyrektywa (2008, s. 45–46, załącznik 1).

Spośród 15 analizowanych krajów porównywalna średnia gęstość zaludnienia występuje w Polsce (123 osoby/km<sup>2</sup>), Czechach (133) i Portugalii (117). Z kolei najmniejsza gęstość zaludnienia jest w Finlandii (16), a największa w Holandii (403) i Belgii (359).

Najmniejsza gęstość krajowej sieci kolejowej charakteryzuje Portugalię (0,0055), natomiast największa Belgię (0,11) i Szwajcarię (0,125). Zbliżone średnie wartości gęstości sieci KDP występują we Włoszech (0,0035 km/km<sup>2</sup>) oraz w Szwajcarii (0,0046). Najmniejszą gęstość sieci KDP ma Wielka Brytania (0,00046), a największą Hiszpania (0,0076; Mindur, 2015, s. 7–11).

Powyższa analiza oddaje skalę rozpiętości wartości poszczególnych parametrów. Ich wzajemny związek można ocenić, stosując metodę korelacji liniowej, której wyznacznikiem jest współczynnik korelacji Pearsona o następującej postaci (Buda, Jarynowski, 2010, s. 8–10):

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

$$\text{w której: } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i ; \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

Przyjmując, że wartością zmienną niezależną  $x_i$  jest krajowa gęstość zaludnienia, a wartościami zmiennymi zależnymi są gęstości krajowej sieci kolejowej ( $y_{1i}$ ) oraz sieci KDP ( $y_{2i}$ ), można wyznaczyć dwa współczynniki korelacji odniesione do zbioru analizowanych krajów:

- $r_{xy1}$  – wyrażający związek pomiędzy gęstością zaludnienia i gęstością krajowych sieci kolejowych,
- $r_{xy2}$  – wyrażający związek pomiędzy zaludnieniem a gęstością sieci KDP.

Pośrednie obliczenia prowadzące do wyznaczenia wartości współczynników korelacji zawiera tabela 2.

Tabela 2. Obliczenia elementów składowych determinujących wartość współczynników korelacji Pearsona

i	$x_i - \bar{x}$	$y_{1i} - \bar{y}_1$ $\times 10^{-3}$	$(x_i - \bar{x})$ $(y_{1i} - \bar{y}_1)$ $\times 10^{-2}$	$(x_i - \bar{x})^2$ $\times 10^2$	$(y_{1i} - \bar{y}_1)^2$ $\times 10^{-4}$	$y_{2i} - \bar{y}_2$ $\times 10^{-3}$	$(x_i - \bar{x})$ $(y_{2i} - \bar{y}_2)$ $\times 10^{-3}$	$(y_{2i} - \bar{y}_2)^2$ $\times 10^{-6}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-60,7	-1	6,1	36,84	0,1	-0,8	48,56	0,64
2	196,3	4,9	961,9	385,33	24	2,9	568,4	8,41
3	-59,5	-11	65,7	35,64	1,2	-0,6	555,82	0,36
4	64,3	39	250,8	41,34	15,2	1,2	76,8	1,44
5	39,3	-8	-31,4	15,44	0,64	-0,3	-11,79	0,09
6	240,3	6	144	577,44	0,36	-1	-240,3	1
7	-70,7	-24	169,7	49,98	5,76	3,2	-286,66	14,4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	-140,7	-35	494,4	197,96	12,2	-2,1	295,47	4,41
9	95,3	6	57,2	90,82	0,36	-3,34	-318,3	11,16
10	-39,7	1	-4	15,76	0,01	0,7	-27,79	0,49
11	-29,7	59	-175,2	8,82	34,8	3,5	-103,95	12,25
12	-146,7	44	642,4	215,21	19,4	-2,2	322,74	4,84
13	-45,7	55,5	253,6	20,88	30,8	-0,4	18,28	0,16
14	-81,7	42	343,1	66,75	17,6	-1,15	93,96	1,32
15	39,3	64	251,5	15,44	41	-0,34	-13,36	0,12
Suma	-0,5	3,5	3427,7	17773,65	203,3	-0,13	475,87	61,1

Źródło: opracowanie własne.

Wartości współczynników korelacji wynoszą odpowiednio:  $r_{xy1} = 0,577$ , a  $r_{xy2} = 0,145$ . Oceny poziomu korelacji można dokonać, stosując zasadę zawartą w tabeli 3.

Tabela 3. Poziomy korelacji i ich interpretacja

Korelacja	Wartość współczynnika korelacji	
	Korelacja ujemna	Korelacja dodatnia
Słaba	od -0,5 do 0,0	od 0,0 do 0,5
Silna	od -1,0 do -0,5	od 0,5 do 1,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie: (Buda, Jarynowski, 2010, s. 8–10).

Opierając się na zasadzie poziomu korelacji wykazanej w tabeli 3, nasuwają się następujące wnioski:

- w obydwu rozpatrywanych przypadkach korelacja jest dodatnia, co oznacza, że wraz ze wzrostem gęstości zaludnienia rośnie gęstość sieci kolejowych,
- przedstawiona zależność intensywniej występuje w odniesieniu do krajowej sieci kolejowej (korelacja silna) niż w odniesieniu do sieci KDP, którą charakteryzuje korelacja słaba.

Oznacza to, że koleje krajowe pełnią m.in. funkcję dowozowo-odwozową świadczoną na rzecz węzłów przesiadkowych sieci KDP.

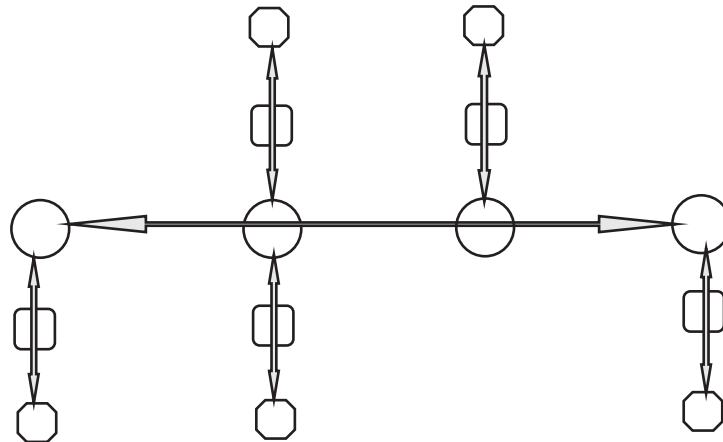
## MODELOWANIE PRZEWOZÓW KDP

W sieciach KDP obejmujących 15 krajów europejskich można wyróżnić 3 rodzaje węzłów (stacji) przesiadkowych:

- główne,
- pośrednie,
- końcowe.

Konfiguracja modeli przewozowych determinowana jest sposobem połączenia tych węzłów pasażerskimi trasami przewozowymi; obejmuje ona modele proste i złożone.

Podstawowym założeniem modelu prostego jest to, że tranzytowa trasa przewozów przebiega przez główne węzły przesiadkowe (rys. 1).



Węzły przesiadkowe: główny ○ pośredni □ końcowy ⬡

Rysunek 1. Przebieg tranzytowej trasy przewozowej i tras lokalnych.

Źródło: opracowanie własne.

Początek i koniec trasy tranzytowej mają miejsce w głównych węzłach przesiadkowych. Natomiast węzły główne z węzłami końcowymi łączą lokalne trasy przewozowe. Warunkiem realizacji przewozów według tego modelu jest techniczna kompatybilność odcinków tranzytowej trasy przewozowej usytuowanej pomiędzy dwoma sąsiednimi głównymi węzłami przesiadkowymi.

Obsługa lokalnych tras przewozowych może być realizowana zróżnicowanymi środkami mobilnymi (pociągami) adekwatnie do technicznych uwarunkowań poszczególnych tras. Z punktu widzenia organizacji zaletą tego rozwiązania jest ciągłość podróży (realizowana jednym środkiem transportu) pomiędzy głównymi węzłami przesiadkowymi. Wadą – konieczność zmiany środka transportu w celu dotarcia do węzła końcowego.

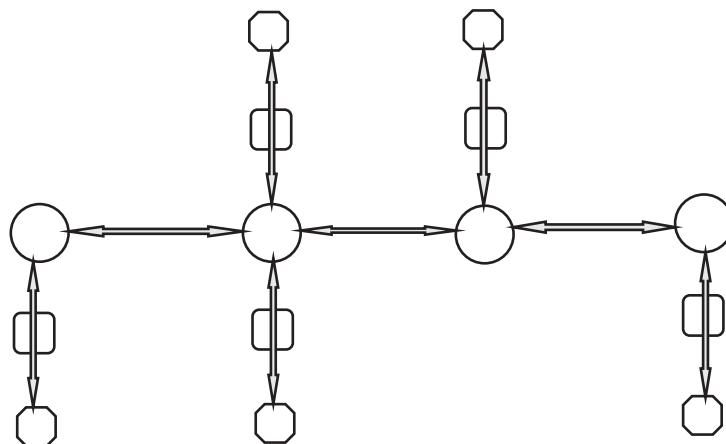
Ilość potencjalnych tras przewozowych w tym modelu ( $Itl$ ) wynika z zależności:

$$Itl = 1 + Wk \quad (2)$$

gdzie:

$Wk$  – oznacza sumę węzłów końcowych sieci KDP.

Model drugi (rys. 2) charakteryzuje się tym, że każdy odcinek sieci KDP pomiędzy dwoma głównymi węzłami przesiadkowymi oraz głównymi węzłami przesiadkowymi a węzłami końcowymi stanowi oddzielną trasę przewozową.



Rysunek 2. Przebieg odcinkowych tras przewozowych.

Źródło: opracowanie własne.

Odcinki sieci tych tras mogą być zróżnicowane pod względem technicznym, a ich obsługa zróżnicowana wymogami odniesionymi do parametrów taboru. Niewątpliwą wadą tego modelu jest nieciągłość przewozów na potencjalnych trasach obejmujących więcej niż jeden odcinek sieci, a tym samym konieczność częstej zmiany środka transportu.

Ilość tras odcinkowych ( $It_2$ ) w tym modelu można określić z zależności:

$$It_2 = (W_g - 1) + W_k \quad (3)$$

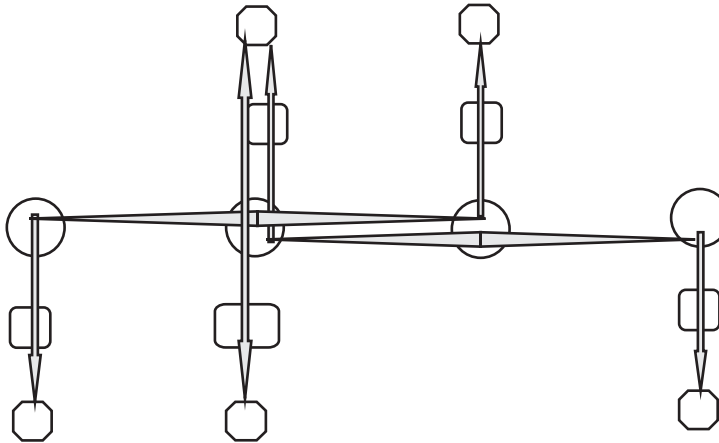
gdzie:

$W_g$  – ilość głównych węzłów przesiadkowych sieci KDP,

$W_k$  – ilość końcowych węzłów przesiadkowych sieci KDP.

W trzecim modelu przewozowym (rys. 3) trasy przewozowe tworzone są przez sekwencje odcinków tras tranzytowych i/lub tras lokalnych.

## Ilość tras



Rysunek 3. Przebieg sekwencyjnych tras przewozowych

Źródło: opracowanie własne.

Trasy przewozowe w tym modelu rozpoczynają się i kończą w końcowych węzłach przesiadkowych sieci KDP. Warunkiem realizacji przewozów według tego modelu jest techniczna kompatybilność odcinków trasy usytuowanej pomiędzy jej skrajnymi węzłami.

Zaletą tego rozwiązania jest możliwość przemieszczania się w sposób ciągły (bez przesiadek) pomiędzy wybranymi węzłami końcowymi sieci KDP. Wada wynika z ewentualnej konieczności jednorazowej lub wielokrotnej zmiany środka transportu w przypadku braku bezpośredniego połączenia określonych węzłów przesiadkowych. Może nią również być konieczność technicznej kompatybilności odcinków tras pokonywanych przez określony środek transportu.

Ilość potencjalnych tras ( $It_3$ ) w trzecim modelu może się wahać w przedziale:

$$1 < It_3 \leq \frac{W_k!}{2 (W_k - 2)!} \quad (4)$$

gdzie:

$W_k$  – ilość węzłów końcowych sieci KDP.

Modele proste nie wyczerpują konfiguracji tras charakteryzujących rzeczywiste sieci KDP. Można je opisać modelami złożonymi, których składowymi są modele proste. W takich rozwiązaniach elementem wiążącym są z reguły główne węzły przesiadkowe.

Zarówno w modelach prostych, jak i złożonych istotnym czynnikiem warunkującym przewozy jest techniczna kompatybilność tras determinowana dwoma podstawowymi parametrami infrastruktury, tj. szerokością torów oraz napięciem prądu w trakcji elektrycznej. W pierwszym przypadku zróżnicowanie szerokości torów praktycznie eliminuje możliwość użytkowania takiej trasy jednym zestawem pociągów stosowanych w systemach KDP, a tym samym możliwość jej pokonywania w sposób ciągły. Natomiast różnice napięć trakcji elektrycznych nie stanowią znaczącej przeszkody użytkowania trasy przewozowej w sposób ciągły, co wynika z możliwości doboru środków transportu z odpowiednimi głowicami napędowymi, czyli lokomotywami. Możliwości doboru środków transportu w europejskich systemach KDP ilustruje tabela 4.

Tabela 4. Środki transportu stosowane w europejskich systemach KDP

Typ środka transportu	Napięcie prądu zasilania	
	prąd stały DC	prąd zmienny AC
	kV	kV
Pendolino	1,5; 3,0	15; 25
ICE (Intercity Ekspres)	1,5; 3,0	15; 25
TGV (Train à Grande Vitesse)	1,5	25
AVE (Alta Velocidad Española)		25

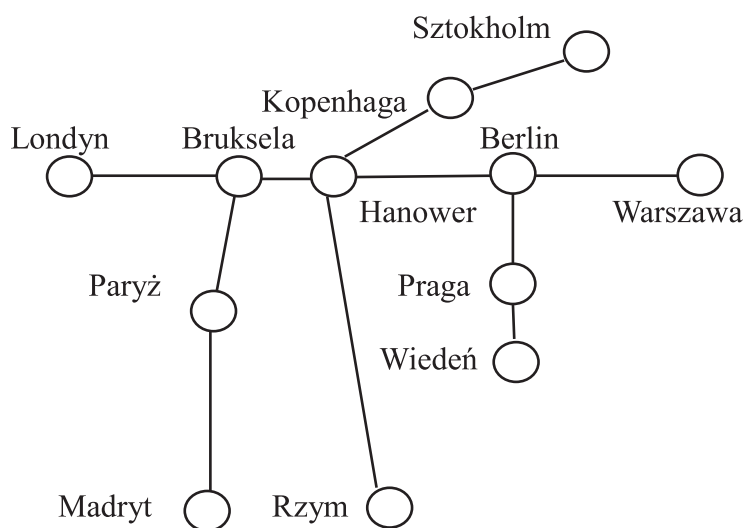
Źródło: (Vinck, 2013).

Według danych zawartych w tabeli 4 najbardziej elastyczne ze względu na wartości napięć prądu zasilania są środki transportu typu Pendolino i ICE; brak elastyczności charakteryzuje zaś typ AVE.

## TRANSEUROPEJSKIE TRASY SIECI KDP

Tworzenie transeuropejskiego systemu oznacza zaspokojenie potrzeb komunikacyjnych ludności w sposób bezpieczny i ekonomicznie efektywny. System KDP pozwoli spełnić oczekiwania mieszkańców poszczególnych krajów poprzez dążenia do wzrostu poziomu życia oraz osiągnięcie zrównoważonego systemu transportowego pod kątem ekologicznym.

W sieci ogólnoeuropejskiej można (zgodnie z zasadami modelu 1) utworzyć trasy transeuropejskie, które przebiegają przez główne węzły przesiadkowe występujące z reguły w stolicach krajów. Proponowaną sieć tras transeuropejskich zaprezentowano na rysunku 4.



Rysunek 4. Proponowana sieć tras transeuropejskich.

Źródło: opracowanie własne.



W sieci tej można przykładowo wyróżnić następujące trasy transeuropejskie: Warszawa–Madryt, Londyn–Wiedeń czy Sztokholm–Rzym. Parametryczny opis zaproponowanych tras zawierają tabele 5–7.

Tabela 5. Trasa Warszawa–Madryt

Nr odcinka trasy	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Główny węzeł przesiadkowy	Warszawa Poznań	Poznań Berlin	Berlin Hanower	Hanower Kolonia	Kolonia Bruksela	Bruksela Paryż	Paryż Lyon	Lyon Marsylia	Marsylia Barcelona	Barcelona Madryt
Napięcie trakcji elektrycznej kV	3 DC	3 DC 15 AC	15 AC	15 AC	15 AC 25 AC	25 AC	25 AC	25 AC	25 AC	25 AC
Prędkość ruchu km/h	< 250	< 180	> 250	180–250	> 250	> 250	> 250	> 250	> 250	> 250
Preferowany środek transportu	Pendolino, ICE									

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 6. Trasa Londyn–Wiedeń

Nr odcinka trasy	1	2	3	4	5	6
Główny węzeł przesiadkowy	Londyn Bruksela	Bruksela Kolonia	Kolonia Hanower	Hanower Berlin	Berlin Praga	Praga Wiedeń
Napięcie trakcji elektrycznej kV	25	25 15	15	15	15 25 AC 3 DC	3 DC 25 AC 15 AC
Prędkość ruchu km/h	> 250	> 250	180–250	> 250	180–250	180–250
Preferowany środek transportu	Pendolino, ICE					

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 7. Trasa Sztokholm–Rzym

Nr odcinka trasy	1	2	3	4	5	6	7	8
Główny węzeł przesiadkowy	Sztokholm Kopenhaga	Kopenhaga Hamburg	Hamburg Hanower	Hanower Frankfurt	Frankfurt Zurych	Zurych Mediolan	Mediolan Bolonia	Bolonia Rzym
Napięcie trakcji elektrycznej kV	15 AC 25 AC	15AC	15 AC	15 AC	15 AC 25 AC 1,5 DC	15 AC 25 AC 1,5 DC	25 AC	25 AC
Prędkość ruchu km/h	180–250	< 180	180–250	> 250	> 250 180–250	180–250 > 250	> 250	> 250
Preferowany środek transportu	Pendolino, ICE							

Źródło: opracowanie własne.

Przedstawione trasy nie wyczerpują wszystkich możliwości wynikających z liczby kombinacji wymienionych par głównych węzłów przesiadkowych usytuowanych na krańcach sieci. W konfiguracjach tych potencjalnie może wystąpić 15 tras transeuropejskich. Ich wybór uzależniony jest od dwóch podstawowych czynników – popytu pasażerów i logistycznej oceny przewoźników.

## PODSUMOWANIE

Rozwój systemu KDP jest jednym z ważnych założeń europejskiej polityki transportowej. Zgodnie z zasadami modeli umożliwi on tworzenie pewnych i terminowych połączeń w sieci tras transeuropejskich. W zależności od potrzeb koleje konwencjonalne w stosunku do KDP mogą pełnić funkcję dowozowo-odwozową. Transeuropejski system może się przyczynić do dynamicznego wzrostu potoków pasażerskich przemieszczających się między krajami europejskimi. Sieć KDP można traktować jako podstawę do tworzenia spójnego systemu transportowego.

## LITERATURA

- Biała Księga (2011). Biała Księga. Plan utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu. Bruksela: Komisja Europejska. COM 144.
- Buda, A., Jarynowski, A. (2010). *Life-time Of Correlations and Its Applications (Vol 1)*. Głogów: Wydawnictwo Niezależne.
- Dyrektywa (2008). Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/57/WE z dnia 17 czerwca 2008 w sprawie interoperacyjności systemu kolei we Wspólnocie. Dz.U. L 191.
- Mindur, M. (2015). Rozwój transportu w Hiszpanii z uwzględnieniem kolei dużych prędkości. *Logistyka*, 4, 7–11.
- Prokopowicz, A.K. (2015). Perspektywy Kolei Dużych Prędkości w Polsce – Marzenia i Rzeczywistość. *Transport i Komunikacja*, 3, 45–48.
- Rucińska, D. (red). (2012). *Polski rynek usług transportowych*. Warszawa: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
- Vinck, K. (2013). *Roczne sprawozdanie z działalności za lata 2012–2013 w sprawie ERTMS*. Bruksela: Komisja Europejska.

---

## TRANSPORT MODELS OF LARGE SPEEDS IN THE TRANS-EUROPEAN NETWORK OF THE EUROPEAN UNION

- |          |  |
|----------|--|
| SUMMARY  | Transport models of high speed rail in the trans – European network of the European Union. Ever since 1981 this transport was subject to intensive modification in form of introduction of high speed rail transport. This creates a new quality in passenger transport and may potentially contribute to the possibility of transport with use of trans-European routes. The aim of the article is to present the models and potential trans-European high speed rail routes in the European Union. |
| KEYWORDS | European Union, transport policy, rail transport, high speed rail  |

*Translated by Jolanta Sułek*