

Cyfrowy model sieci transportowej – Etap 2 budowy narzędzia do analiz przewozów pasażerskich

Szymon KLEMBA¹

Streszczenie

W artykule opisano efekty drugiego etapu prac nad modelem sieci transportowej, wykonanym w projekcie pn. „Cyfrowy model sieci transportowej, Etap 2: Siatka połączeń transportu kolejowego”. Projekt dotyczył rozszerzenia modelu sieci kolejowej o model aktualnej sieci połączeń kolejowych w Polsce i obejmował wprowadzenie danych dotyczących tras, czasów przejazdu oraz częstotliwości kursowania pociągów różnych kategorii w poszczególnych relacjach. Efektem pracy jest uzyskanie rozbudowanego narzędzia przydatnego w bieżących pracach badawczych i komercyjnych Instytutu Kolejnictwa, a także przejście do kolejnego etapu w rozwoju tego narzędzia.

Słowa kluczowe: transport kolejowy, modelowanie systemów transportowych, systemy transportowe

1. Wstęp

Szeroka dostępność technik symulacji komputerowych sprawiła, że symulacje są wykorzystywane na dużą skalę we wszystkich dziedzinach życia, w tym w procesie badania i kształtowania systemów transportowych. Projekty, dotyczące rozwoju transportu i kształtowania sieci transportowej, wymagają m.in. badania współzależności pomiędzy poszczególnymi rodzajami transportu, co pociąga za sobą konieczność zebrania i przetwarzania dużej ilości danych.

Dostępne obecnie moce obliczeniowe i specjalistyczne oprogramowanie umożliwiają ich zastosowanie do budowy narzędzi w postaci modeli systemów transportowych, wykorzystywanych na przykład w celu diagnozowania stanu systemu transportowego lub sprawdzania projektowanych rozwiązań przed ich wdrożeniem. Z tego względu autor artykułu podjął pracę nad budową modelu sieci transportowej przyjmując założenie, że ta praca będzie wykorzystywana do wspomagania różnych analiz.

Pierwszy etap prac szczegółowo opisano w artykule pt. „Cyfrowy model sieci kolejowej – budowa narzędzia do analiz przewozów pasażerskich” [3]. W tym etapie wykonano model sieci kolejowej, odwzorowujący węzły i odcinki tej sieci oraz strefy i miejsca obsługi podróżnych i ładunków. Oprócz zakodowania infrastruktury kolejowej, w modelu zawarto również informacje na temat podziału administracyjnego na poziomie gmin i powiatów, służącego do zdefiniowania rejonów komunikacyjnych. Poszczególne

rejon komunikacyjny powiązano z elementami infrastruktury (miejscami obsługi) za pomocą konektorów². Graficzne zobrazowanie sieci kolejowej przedstawiono na rysunku 1.

Celem projektu [1] o nazwie „Cyfrowy model sieci transportowej, Etap 1: Sieć kolejowa” (nazywany dalej: CMST – Etap 1) było przygotowanie cyfrowego modelu sieci kolejowej Polski, jako pierwszego etapu budowy ogólnopolskiego modelu sieci transportowej. Do budowy modelu wykorzystano specjalistyczne oprogramowanie PTV VISUM, przeznaczone do modelowania systemów transportowych. Zakres projektu obejmował zakodowanie aktualnej sieci kolejowej Polski według przygotowanej wcześniej specyfikacji danych, których zadaniem było opisanie poszczególnych elementów sieci kolejowej, w celu wykorzystania ich w kolejnych etapach projektu oraz analizach.

Niniejszy artykuł przedstawia Etap 2 projektu [2], wykonanego przez autora w Zakładzie Dróg Kolejowych i Przewozów Instytutu Kolejnictwa. Na bazie modelu sieci kolejowej, opracowanego w Etapie 1 projektu [1], utworzono cyfrowy model kolejowej oferty przewozowej dla sieci kolejowej Polski, co zwiększyło możliwości zastosowania powstającego w ten sposób narzędzia. Przedstawiono również proponowane kierunki dalszych prac nad jego rozwojem.

2. Elementy modelu

Model jest to uproszczone odwzorowanie fragmentu rzeczywistości, które skupia się na wybranych jej elemen-

¹ Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Zakład Dróg Kolejowych i Przewozów; e-mail: sklemba@ikolej.pl.

² Konektor – połączenie rejonu transportowego z siecią transportową.



Rys. 1. Graficzne zobrazowanie modelu sieci kolejowej utworzonej w Etapie 1 projektu; opracowanie własne na podstawie [1]

tach, istotnych ze względu na przyjęty punkt widzenia lub cel, któremu ma służyć [1]. Ponieważ niniejszy projekt [2] zakładał odwzorowanie sieci połączeń kolejowych w skali całego kraju, do elementów modelu utworzonego w Etapie 1 należało dodać takie elementy, które umożliwiłyby osiągnięcie postawionego celu. Elementami składowymi modelu sieci kolejowej utworzonego w Etapie 1 są:

- systemy transportowe (różnych gałęzi transportu),
- węzły sieci transportowej (kolejowej),
- odcinki sieci (kolejowej),
- strefy i miejsca obsługi podróżnych oraz towarów (kolejowe),
- rejony transportowe,
- konektory.

Wymienione elementy składowe były szczegółowo opisane w artykule [3], a nowymi elementami, dodanymi w Etapie 2 projektu są:

- operatorzy transportu,
- linie komunikacyjne i trasy komunikacyjne w linii,

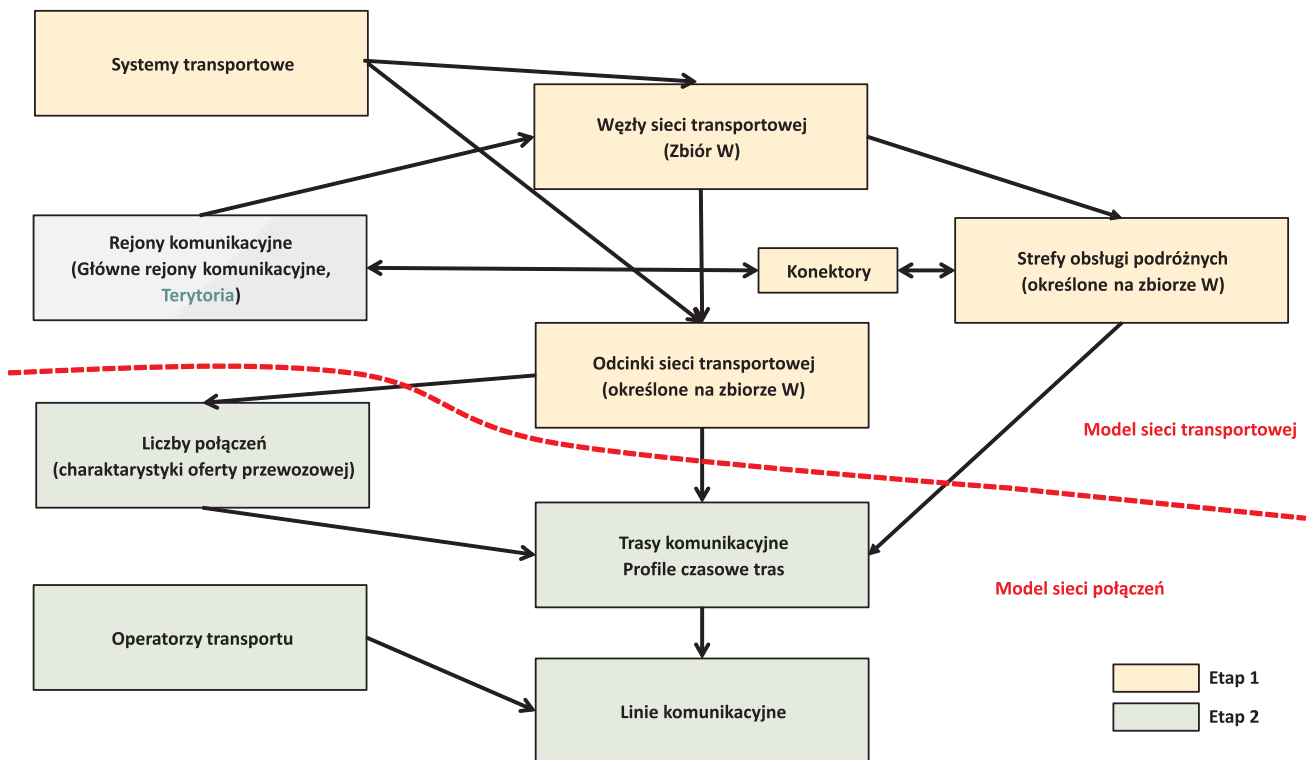
- profile czasowe tras komunikacyjnych,
- parametry określające liczbę połączeń dla poszczególnych tras,
- terytoria.

Schemat ideowy modelu, przedstawiający grupy jego elementów (ze wskazaniem poszczególnych etapów prac nad projektem) i powiązania między nimi, przedstawiono na rysunku 2.

2.1. Operatorzy

W modelu, operator³ oznacza pewną klasę, której będą przyporządkowane inne elementy związane z siecią połączeń (np. każda linia komunikacyjna, patrz: 2.2., ma przyporządkowanego operatora). Zdefiniowani operatorzy utworzą zbiór operatorów transportu zbiorowego. W modelu jest to zbiór kolejowych firm (przewoźników), prowadzących przewozy pasażerskie. W przypadku rozbudowy modelu, zbiór może być poszerzony o przewoźników innych rodzajów transportu.

³ Termin „operator” zdefiniowano, np. w Ustawie o publicznym transporcie zbiorowym [4]. Na potrzeby artykułu stosuje się jednak inne jego rozumienie (zbliżone do definicji terminu „przewoźnik” z tejże ustawy), wynikające ze słownictwa stosowanego w praktyce modelowania transportu i nazewnictwa stosowanego w oprogramowaniu.

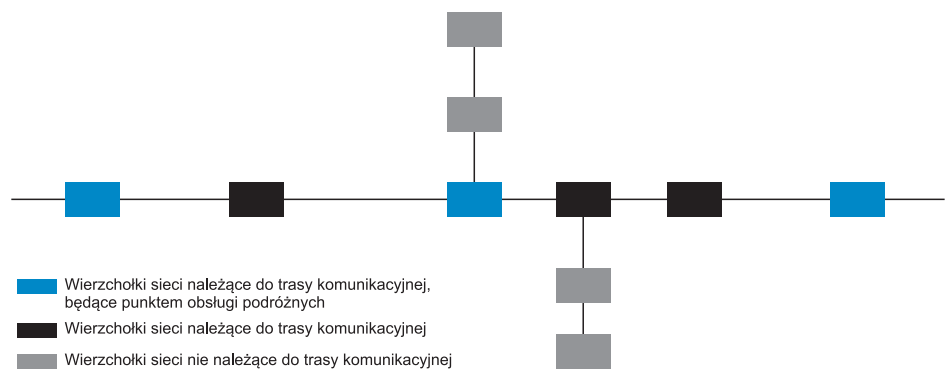


Rys. 2. Schemat ideowy modelu utworzonego w ramach Etapu 1 i 2 [opracowanie własne]

2.2. Linie komunikacyjne i trasy komunikacyjne

Linia komunikacyjna⁴ jest rozumiana jako zbiór tras komunikacyjnych. Do zbioru tworzącego daną linię komunikacyjną zaliczają się trasy komunikacyjne o podobnym przebiegu, biegnące wspólnymi odcinkami sieci kolejowej lub o jednakowym punkcie początkowym i końcowym. Definicja linii służy grupowaniu poszczególnych relacji pociągów w logicznie uporządkowane zbiory, w szczególności pod względem geograficznego przebiegu tych tras.

Mając zbiór węzłów (punktów) sieci transportowej i zdefiniowane na niej zbiory odcinków linii kolejowych oraz punktów obsługi podróżnych, definiuje się trasę komunikacyjną⁵, określaną jako ciąg węzłów sieci transportowej. Poszczególne węzły z tego ciągu mogą być również punktami obsługi podróżnych. Wymagane jest, aby przynajmniej pierwszy i ostatni węzeł miał przypisany do siebie punkt obsługi (punkt początkowy i końcowy trasy). Z charakterystyk wierzchołków oraz odcinków sieci transportowej może wynikać część charakterystyk trasy komunikacyjnej. Ideowy schemat trasy komunikacyjnej przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat ideowy trasy komunikacyjnej [opracowanie własne]

⁴ Termin „linia komunikacyjna” zdefiniowano np. w Ustawie o publicznym transporcie zbiorowym [4], jednakże nie jest on tożsamy z przyjętym w praktyce modelowania z wykorzystaniem środowiska PTV VISUM.

⁵ Pojęcie „trasy komunikacyjnej” jest w modelu zbliżone do ustawowej definicji linii komunikacyjnej [4].

2.3. Profile czasowe tras komunikacyjnych

Profiem czasowym trasy komunikacyjnej są następujące odwzorowania:

- zbioru odcinków sieci transportowej na zbiór liczb rzeczywistych dodatnich, określających czas przejazdu danego odcinka,
- zbioru punktów obsługi podróży (zdefiniowanego na wierzchołkach należących do ciągu tworzącego daną trasę komunikacyjną) na zbiór liczb rzeczywistych nieujemnych, określających czas obsługi danego punktu postoju.

Profil czasowy trasy komunikacyjnej jest zatem rozkładem jazdy pociągu lub grupy pociągów, charakteryzujących się tymi samymi czasami przejazdu i czasami postojów. Każda trasa komunikacyjna może być scharakteryzowana w zależności od potrzeb przez dowolną liczbę profili czasowych. Profil czasowy trasy komunikacyjnej jest ściśle powiązany ze zdefiniowaną trasą komunikacyjną i linią komunikacyjną, do której jest ona przyporządkowana.

2.4. Liczba połączeń na trasach komunikacyjnych

Parametry związane z liczbą połączeń służą do odwzorowania dostępnej oferty przewozowej i określenia natężenia ruchu kolejowego na poszczególnych odcinkach sieci kolejowej. Parametry te są określone na zbiorze liczb całkowitych (nieujemnych), a ich wartość musi być określona dla każdego profilu czasowego danej trasy komunikacyjnej. W modelu zdefiniowano kilka parametrów trasy komunikacyjnej, odwzorowujących liczbę połączeń w poszczególnych dniach tygodnia, z podziałem na okres „w sezonie” i „poza sezonem”. Rozumienie pojęcia „sezonu” zależy od korzystającego z modelu. Na obecnym etapie sezon określono jako okres równy 2 miesiącom w ciągu roku, abstrahując od okresu kalendarzowego.

Formalnie, każdy parametr określający liczbę połączeń można rozumieć jako odwzorowanie zbioru odcinków należących do danej trasy komunikacyjnej na zbiór liczb całkowitych nieujemnych.

2.5. Terytoria

Po rejonach i głównych rejonach transportowych, zdefiniowanych w Etapie 1 [3], terytoria są trzecim poziomem podziału odwzorowanego obszaru sieci transportowej. Podział obszaru objętego przez model na rejon transportowe jest niezbędny ze względu na późniejszą możliwość budowy modelu popytu na transport, w którym rozważa się przemieszczenia osób (lub ładunków) pomiędzy poszczególnymi gminami w kraju.

Terytorium jest zbiorem głównych rejonów transportowych. Jeżeli przez \mathbf{T} oznaczymy zbiór wszystkich terytoriów \mathbf{T}_j , gdzie j jest numerem terytorium, a łączna liczba terytoriów wynosi J , to $\mathbf{T} = \{\mathbf{T}_1, \mathbf{T}_2, \dots, \mathbf{T}_j, \dots, \mathbf{T}_J\}$, $j \in N^+$. Zbiory $\mathbf{T}_j \subset \mathbf{T}$ są zbiorami rozłącznymi. Jeżeli przez G oznaczymy liczbę ele-

mentów zbioru rejonów transportowych \mathbf{GRT} , a przez \mathbf{GRT}_g kolejne elementy tego zbioru, to zbiór ten można zapisać następująco: $\mathbf{GRT} = \{\mathbf{GRT}_1, \dots, \mathbf{GRT}_g, \dots, \mathbf{GRT}_G\}$, $g \in N^+$.

Formalnie, każde terytorium \mathbf{T}_j jest zatem niepustym podzbiorem zbioru \mathbf{GRT} głównych rejonów transportowych, przy czym zbiory \mathbf{T}_j są rozłączne. Można to zapisać następująco:

$$\bigwedge_{a,b \in \{1, \dots, G\}} \mathbf{GRT}_a \cap \mathbf{GRT}_b = \emptyset \quad (1)$$

Główny rejon transportowy \mathbf{GRT}_g jest z kolei podzbiorem zbioru rejonów transportowych \mathbf{RT} , którego elementy oznaczono jako \mathbf{RT}_s . Jeżeli istnieje S rejonów transportowych, to zbiór rejonów zapiszemy w sposób: $\mathbf{RT} = \{\mathbf{RT}_1, \dots, \mathbf{RT}_s, \dots, \mathbf{RT}_S\}$, $s \in N^+$. Oznacza to, że żaden rejon transportowy nie należy do więcej niż jednego głównego rejonu transportowego:

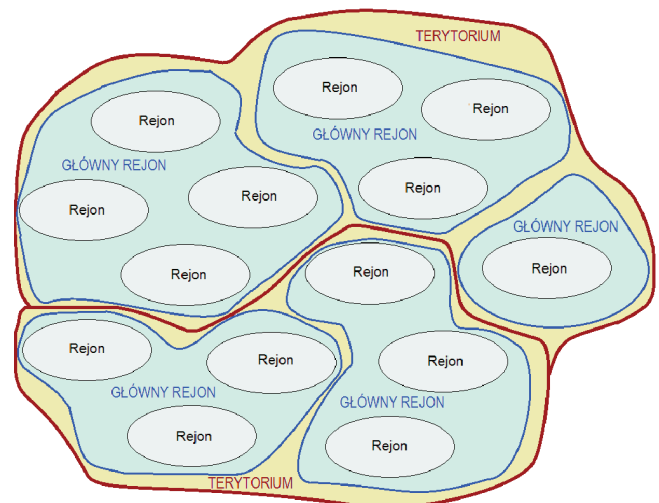
$$\bigwedge_{a,b \in \{1, \dots, S\}} \mathbf{RT}_a \cap \mathbf{RT}_b = \emptyset \quad (2)$$

Jeżeli \mathbf{W} będzie zbiorem wierzchołków \mathbf{w}_k sieci transportowej, to rejon transportowy \mathbf{RT}_s rozumie się jako podzbiór zbioru węzłów sieci transportowej \mathbf{W} :

$$\mathbf{RT}_s = \{\mathbf{w}_k\} : \mathbf{w}_k \in \mathbf{W}, \mathbf{RT}_s \subset \mathbf{RT}, \bigwedge_{a,b \in \{1, \dots, S\}} \mathbf{RT}_a \cap \mathbf{RT}_b = \emptyset \quad (3)$$

Każdy element zbioru węzłów \mathbf{W} musi być przypisany do dokładnie jednego rejonu transportowego \mathbf{RT}_s . Wynika stąd, że każdy wierzchołek \mathbf{w}_k nie może należeć do więcej niż jednego rejonu transportowego, a wszystkie zbiory $\mathbf{RT}_s \subset \mathbf{RT}$ są parami rozłączne.

Rejony transportowe są odwzorowaniem gmin, natomiast główne rejony transportowe odwzorowują powiaty. W Etapie 2 terytoria odpowiadają województwom. W ten sposób w Etapie 2 odwzorowano w pełni trzy stopnie podziału terytorialnego kraju. Na rysunku 4 w sposób obrazowy pokazano związek pomiędzy zbiorami rejonów, głównych rejonów i terytoriów.



Rys. 4. Ilustracja związku pomiędzy zbiorami rejonów, głównych rejonów i terytoriów [opracowanie własne]

3. Implementacja nowych elementów modelu

Poszczególne nowe elementy modelu, które opisano w rozdziale 2, uwzględniono w cyfrowym modelu utworzonym w oprogramowaniu PTV VISUM i opracowano sposób ich implementacji. W celu łatwiejszego skojarzenia elementów modelu z ich reprezentacją, w nawiasach podano nazwy zastosowane w oprogramowaniu.

3.1. Operatorzy (PuT Operators)

Do modelu wprowadzono 13 operatorów (PuT Operators) prowadzących przewozy pasażerskie na obszarze sieci kolejowej Polski. Każdemu operatorowi przyporządkowano parametr *No* – numer operatora, oraz *Name* – nazwę operatora. Na obecnym etapie nie definiowano innych parametrów operatorów. Zestawienie operatorów przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Zestawienie operatorów (PuT Operators)

Numer (No)	Nazwa operatora (Name)
1	PKP Intercity
2	Przewozy Regionalne
3	Koleje Mazowieckie
4	SKM Trójmiasto
5	Koleje Śląskie
6	Koleje Dolnośląskie
7	Koleje Wielkopolskie
8	Łódzka Kolej Aglomeracyjna
9	Koleje Małopolskie
10	SKM Warszawa
11	Arriva RP
12	WKD
13	SKPL

[Opracowanie własne].

3.2. Linie komunikacyjne (Lines) i trasy komunikacyjne (Line Routes)

W modelu zakodowano 227 linii komunikacyjnych (Lines), w tym 42 linie dalekobieżne oraz 185 regionalne i aglomeracyjne. Każdej linii komunikacyjnej przyporządkowano odpowiedniego operatora (Operator) oraz system transportowy (TSys). Linia komunikacyjna jest scharakteryzowana przez parametry wymienione w tablicy 2.

W ramach każdej linii zawarto odpowiednie trasy komunikacyjne (Line Routes) – łącznie 1256 tras, w tym 256 tras dalekobieżnych oraz 1000 tras regionalnych i aglomeracyjnych. Dla każdej trasy komunikacyjnej wskazano węzły, które jednoznacznie wyznaczają jej przebieg na sieci kolejowej. Przyjęło się, że linię wyznacza się tylko na zbiorze punktów obsługi (Stop Points). Węzły nie będące punktami obsługi dodaje się jedynie w przypadku, gdy nie można jednoznacznie wyznaczyć trasy bez tych punktów. Mając określony zbiór punktów obsługi (Stop Points), każdemu z jego elementów przypisano wartość zmiennej binarnej *Profile point*, która określa, czy dany punkt wyznacza profil czasu przejazdu dla trasy komunikacyjnej (Line Route). Przykładowy fragment wykazu linii komunikacyjnych przedstawiono na rysunku 5.

Tablica 2

Parametry linii komunikacyjnych (Lines)

Nazwa (Name)	Typ danych (Text)	Opis Nazwa linii	Uwagi według opisu pod tablicą
Transport system	Text (lista wyboru)	System transportowy	Wybór jednego z systemów PuT zdefiniowanych w modelu
Standard operator	Text (lista wyboru)	Operator (przewoźnik)	Przewoźnik realizujący przewozy na danej linii komunikacyjnej

[Opracowanie własne].

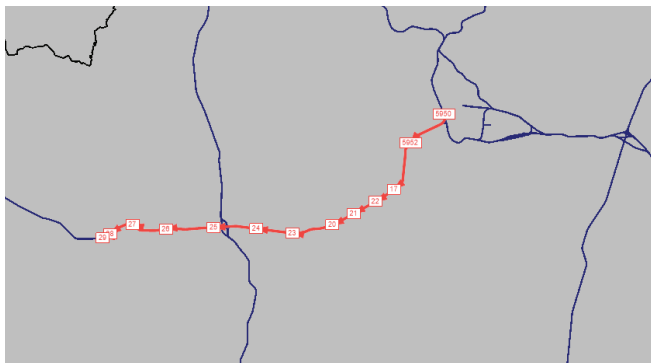
Rys. 5. Linie komunikacyjne zakodowane w modelu (fragment) [zrzut ekranowy z programu PTV VISUM, opracowanie własne]

Count: 227	Name	TSysCode	Operator\Name
1	AR Bydgoszcz - Chełmża	PR	Arriva RP
2	AR Bydgoszcz Gł. - Chojnice	PR	Arriva RP
3	AR Grudziądz - Brodnica	PR	Arriva RP
4	AR Grudziądz - Laskowice Pom.	PR	Arriva RP
5	AR Laskowice Pom. - Czersk	PR	Arriva RP
6	AR Laskowice Pom. - Wierzchucin	PR	Arriva RP
7	AR Toruń Gł. - Grudziądz	PR	Arriva RP
8	AR Toruń Gł. - Sierpc	PR	Arriva RP
9	AR Wierzchucin - Szlachta - Czersk	PR	Arriva RP
10	EIC Gdynia - Warszawa - Katowice - Gliwice/Bohumin	PEX	PKP Intercity
11	EIC Warszawa - Poznań - Szczecin / Berlin	PEX	PKP Intercity
12	EIC Warszawa - Wrocław - J.G. - Sz.P.	PEX	PKP Intercity
13	EIP Kołobrzeg / Gdynia - Kraków / Rzeszów	PEX	PKP Intercity
14	EIP Warszawa - Wrocław - J.G.	PEX	PKP Intercity
15	IC Berlin - Poznań - Bydgoszcz - Gdynia	PIR	PKP Intercity
16	IC Bielsko B. - Wrocław - Bydgoszcz/Szczecin	PIR	PKP Intercity
17	IC Chełm - Ukraina	PIR	PKP Intercity
18	IC Gdynia - Warszawa - Kraków (Bohumin)	PIR	PKP Intercity
19	IC J.G. - Poznań - Bydgoszcz - Gdynia	PIR	PKP Intercity
20	IC J.G. - Węglińc - Wrocław - Łódź - W-wa - Białystok	PIR	PKP Intercity

Count: 1256	LineName	Name	Length
352	IC Łódź Fabr. - W-wa - Olsztyn p.Nidzicę	IC Kołobrzeg - Łódź Fabr.	712.565km
353	IC Łódź Fabr. - W-wa - Olsztyn p.Nidzicę	IC Olsztyn - Łódź Fabr.	375.231km
354	IC Łódź Fabr. - W-wa - Olsztyn p.Nidzicę	IC Łódź Fabr. - Gdynia	492.824km
355	IC Łódź Fabr. - W-wa - Olsztyn p.Nidzicę	IC Łódź Fabr. - Kołobrzeg	712.565km
356	IC Łódź Fabr. - W-wa - Olsztyn p.Nidzicę	IC Łódź Fabr. - Olsztyn	375.231km
357	IC Łódź Fabr. - Warszawa - Kołobrzeg	IC Wa-wa Wsch. - Łódź Fabr	137.486km
358	IC Łódź Fabr. - Warszawa - Kołobrzeg	IC Łódź Fabr - Wa-wa Wsch.	137.486km
359	IC Łódź Fabr. - W-wa - Elk	IC Białystok - Łódź Fabr.	317.341km
360	IC Łódź Fabr. - W-wa - Elk	IC Elk- Łódź Fabr	421.469km
361	IC Łódź Fabr. - W-wa - Elk	IC Łódź Fabr - Białystok	317.341km
362	IC Łódź Fabr. - W-wa - Elk	IC Łódź Fabr - Elk	421.469km
363	KD D1 Wrocław-Legnica-Lubań	KD D1 Lubań - Wrocław	158.064km
364	KD D1 Wrocław-Legnica-Lubań	KD D1 Lubań - Węglińiec	21.801km
365	KD D1 Wrocław-Legnica-Lubań	KD D1 Wrocław - Lubań	158.064km
366	KD D1 Wrocław-Legnica-Lubań	KD D1 Węglińiec - Lubań	21.801km
367	KD D10 Wrocław-Gorlitz	KD D10 Gorlitz(Dresden) - Węglińiec	28.606km
368	KD D10 Wrocław-Gorlitz	KD D10 Legnica - Zgorzelec	97.682km
369	KD D10 Wrocław-Gorlitz	KD D10 Węglińiec - Gorlitz(Dresden)	28.606km
370	KD D10 Wrocław-Gorlitz	KD D10 Węglińiec - Zgorzelec	26.532km
371	KD D10 Wrocław-Gorlitz	KD D10 Zgorzelec - Legnica	97.682km
372	KD D10 Wrocław-Gorlitz	KD D10 Zgorzelec - Węglińiec	26.532km
373	KD D11 Wrocław - Legnica - Lubin	KD D11 Legnica - Lubin	22.329km

Rys. 6. Trasy komunikacyjne zakodowane w modelu (fragment) [zrzut ekranowy z programu PTV VISUM, opracowanie własne]

Przykładowy fragment wykazu tras komunikacyjnych zakodowanych w modelu, przedstawiono na rysunku 6. W kolumnach pokazano numer trasy, nazwę linii komunikacyjnej (*LineName*), nazwę trasy komunikacyjnej (*Name*) i długość trasy komunikacyjnej (*Length*). Przykładowe zobrazowanie trasy komunikacyjnej przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Przykładowe zobrazowanie trasy komunikacyjnej z numerami węzłów sieci [opracowanie własne]

3.3. Profile czasowe tras komunikacyjnych (Time Profiles)

Dla każdej trasy komunikacyjnej (*Line Route*) utworzono co najmniej jeden profil czasowy (*Time Profile*). Następnie wskazano punkty, w których występuje rozkładowy postój pociągu na danej trasie. Dla każdego punktu obsługi (*Stop Point*) dla którego zmienna *Profile point* ma wartość 1, określono wartości zmiennych binarnych *Board* oraz *Alight*. Zmienne te przyjmują wartość 1, jeżeli w danym punkcie jest dozwolone wsiadanie lub wysiadanie podróżnych (pierwszy punkt trasy komunikacyjnej ma wartość domyśl-

ną zmiennej *Alight* równą 0, a ostatni punkt trasy ma wartość domyślną zmiennej *Board* równą 0).

Ostatnim krokiem było wprowadzenie rozkładowego czasu przejazdu przez wpisanie czasów przejazdu poszczególnych odcinków pomiędzy postojami oraz czasów postojów w poszczególnych punktach. Każdy punkt obsługi (*Stop Point*), dla którego wartość zmiennej binarnej *Profile Point* jest równa 1, ma przypisaną wartość zmiennej *StopTime* (wyrażoną w jednostce czasu) oznaczającej czas postoju pociągu w punkcie obsługi. Dla początkowego i końcowego punktu trasy wartość ta wynosi 0.

Dla każdej bezpośrednio po sobie następującej pary punktów obsługi *Stop Point*, dla której wartość zmiennej binarnej *Profile Point* jest równa 1, określa się wartość zmiennej *Run Time*, określającej czas przejazdu pociągu pomiędzy tymi dwoma punktami. Przykładowy profil czasowy w środowisku roboczym PTV VISUM przedstawiono na rysunku 8.

Profile czasowe zgodne z rzeczywistym rozkładem jazdy (stan na 10 czerwca 2018 r.) zostały wprowadzone dla wszystkich tras komunikacyjnych zawartych w modelu. Łącznie zakodowano 1302 profile.

3.4. Parametry liczby połączeń na trasach komunikacyjnych

Dla każdej trasy komunikacyjnej (*Line Route*) określono wartości wielu parametrów określających realizowaną liczbę połączeń. W tym celu wykorzystano następujące parametry profilu czasowego trasy komunikacyjnej *Line Route Time Profile* (patrz: tablica 3). Jako okres sezonu w obliczeniach średniej liczby połączeń przyjęto 20% dni w roku. Wartość tę można w razie potrzeby dowolnie zmienić. Zmienne charakteryzujące liczbę połączeń pokazano w tablicy 3. Typ *Float* oznacza liczbę zmiennoprzecinkową, natomiast typ *Integer* – liczbę całkowitą.

Index	NodeNo	StopPointNo	StopPointName	IsRoutePoint	AccumLength	Length	Profile point	<>	Board	Alight	StopTime	Run time	AccumRunTime
1	5950	5950	Łódź Kaliska	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000km	7.140km	<input checked="" type="checkbox"/>	=	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0min	7min 30s	0h
5	1	5952	Lubliniek	<input checked="" type="checkbox"/>	7.140km	7.350km	<input checked="" type="checkbox"/>	=	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	30s	8min	7min 30s
6	17	17	Pabianice	<input checked="" type="checkbox"/>	14.490km	3.202km	<input checked="" type="checkbox"/>	=	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	30s	3min 30s	16min
7	22	22	Chechów	<input checked="" type="checkbox"/>	17.692km	3.478km	<input checked="" type="checkbox"/>	=	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	30s	4min 30s	20min
8	21	21	Dobroń	<input checked="" type="checkbox"/>	21.170km	3.694km	<input checked="" type="checkbox"/>	=	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	30s	4min 30s	25min
10	20	20	Kolumna	<input checked="" type="checkbox"/>	24.864km	5.985km	<input checked="" type="checkbox"/>	=	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	30s	6min 30s	30min
12	22	22	Łódź	<input checked="" type="checkbox"/>	30.849km		<input checked="" type="checkbox"/>	=	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	30s		27min

Rys. 8. Przykładowy profil czasowy trasy komunikacyjnej [zrzut ekranowy z programu PTV VISUM, opracowanie własne]

Tablica 3

Zmienne w ramach *Line Route Time Profile* charakteryzujące liczbę połączeń

Nazwa	Typ	Opis
L_POL_D_PSEZ_2018	Integer	Liczba połączeń w dni powszednie poza sezonem
L_POL_D_SEZ_2018	Integer	Liczba połączeń w dni powszednie w sezonie
L_POL_6_PSEZ_2018	Integer	Liczba połączeń w soboty poza sezonem
L_POL_6_SEZ_2018	Integer	Liczba połączeń w soboty w sezonie
L_POL_7_PSEZ_2018	Integer	Liczba połączeń w niedziele poza sezonem
L_POL_7_SEZ_2018	Integer	Liczba połączeń w niedziele w sezonie
L_POL_ŚR_2018 (*)	Float	Średniodobowa liczba połączeń

(*) $L_POL_ŚR_2018 = 0.8 * \{5 * [L_POL_D_PSEZ_2018] + [L_POL_6_PSEZ_2018] + [L_POL_7_PSEZ_2018]\} + 0.2 * \{5 * [L_POL_D_SEZ_2018] + [L_POL_6_SEZ_2018] + [L_POL_7_SEZ_2018]\} / 7$

[Opracowanie własne].

3.5. Terytoria (*Territories*)

W modelu zdefiniowano 16 terytoriów (*Territories*) odpowiadających poszczególnym województwom, określonych w modelu jako podzbiory zbioru głównych rejonów transportowych (*Main Zones*), odpowiadających powiatom nale-

żącym do danego województwa. W praktyce terytoria nie są powiązane bezpośrednio ani z rejonami transportowymi, ani z głównymi rejonami transportowymi, jednak w przypadku opisywanego projektu umożliwiają późniejszą prezentację danych na poziomie agregacji do województw. Podział obszaru modelu na terytoria przedstawiono na rysunku 9.



Rys. 9. Zobrazowanie podziału obszaru modelu na główne rejonu transportowe i terytoria [opracowanie własne]

4. Podsumowanie

W stosunku do Etapu 1, model opracowywany w Etapie 2 rozbudowano przez:

- określenie 13 operatorów kolejowych przewozów pasażerskich,
- zakodowanie 227 linii komunikacyjnych i przyporządkowanie do nich operatorów,
- zakodowanie 1256 tras komunikacyjnych,
- zakodowanie 1302 profili czasowych tras komunikacyjnych (trasa może mieć więcej niż 1 profil czasowy),
- odwzorowanie 16 województw jako terytoria.

Model na obecnym etapie może służyć jako wsparcie w analizach dotyczących:

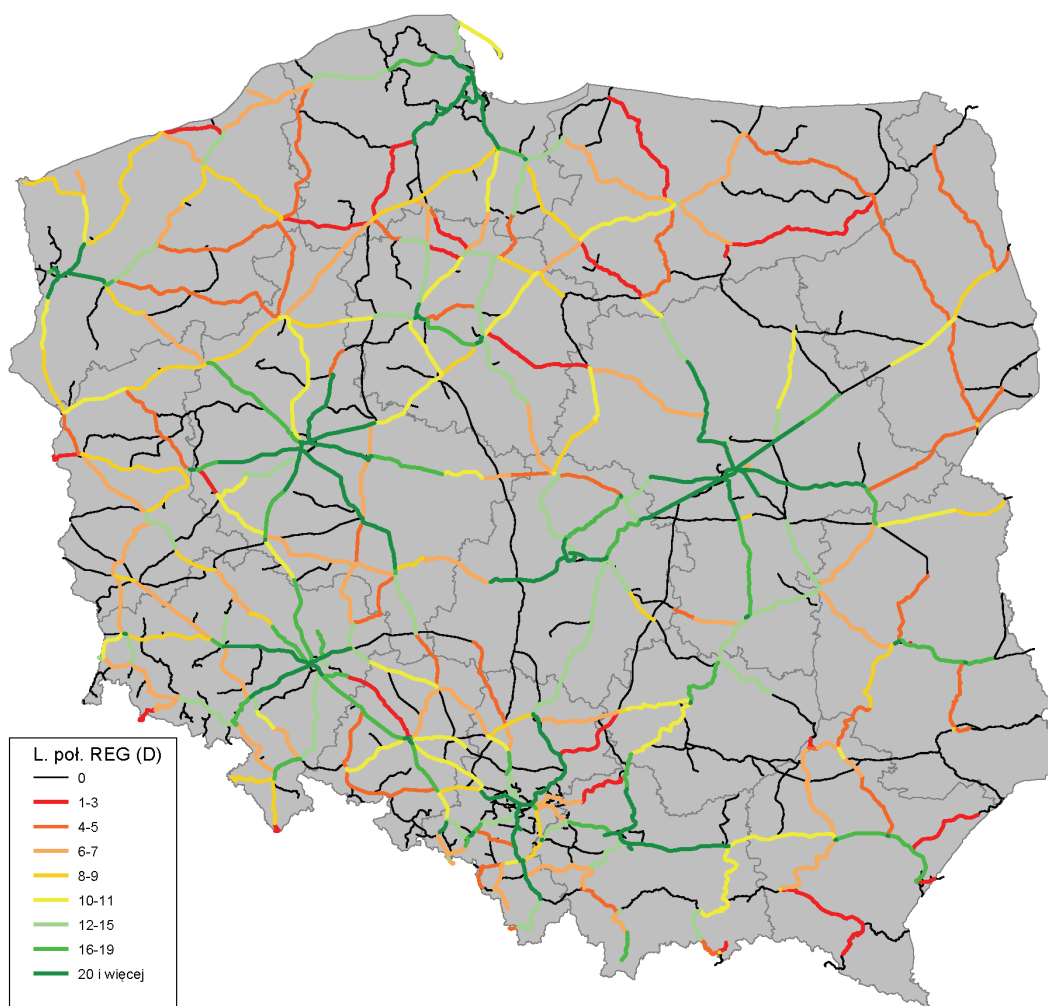
- kształtu oferty przewozowej na sieci kolejowej Polski,
- obciążenia ruchem pociągów pasażerskich poszczególnych odcinków sieci kolejowej,
- czasu jazdy i prędkości handlowych pociągów pasażerskich na obszarze sieci kolejowej,

- dostępności czasowej transportem kolejowym do poszczególnych gmin / powiatów,
- prognoz przewozów pasażerskich w transporcie kolejowym (w przypadku posiadania na wejściu gotowej, bazowej macierzy przemieszczeń kolejją),
- analiz poziomu obsługi kolejją w relacji do gęstości zaludnienia lub liczby mieszkańców danego obszaru.

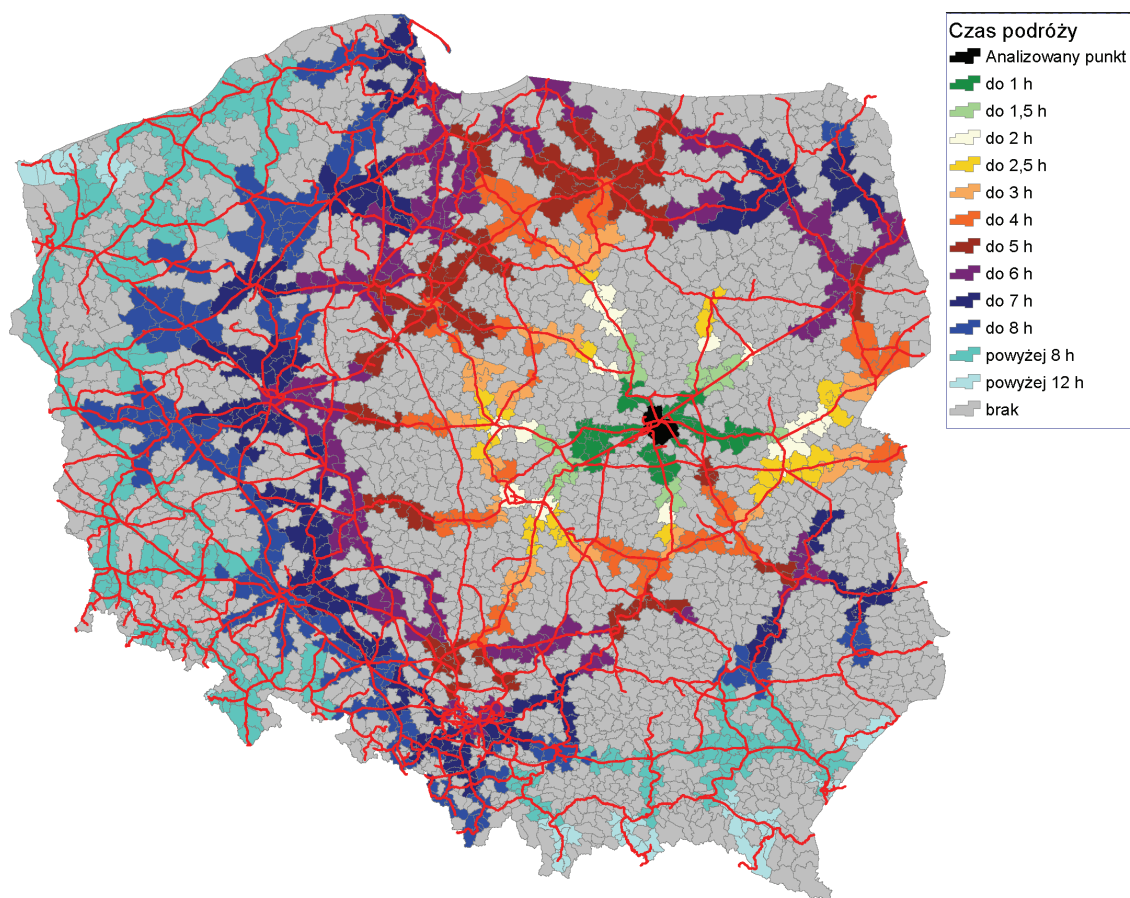
Ponadto, dzięki opracowaniu Etapu 2 jest możliwe przygotowywanie różnych grafik, przedstawiających opisaną analizę (rys. 10 i 11).

W kolejnym etapie prac nad opisanym modelem, kluczowym elementem powinno być uwzględnienie sieci drogowej, przynajmniej na poziomie dróg krajowych, wojewódzkich i wybranych dróg powiatowych. Rozbudowa modelu powinna obejmować przede wszystkim działania związane z:

- zakodowaniem grafu sieci drogowej (również z wykorzystaniem istniejących baz danych),
- powiązaniem grafu sieci drogowej z grafem sieci kolejowej oraz z rejonami komunikacyjnymi,



Rys. 10. Zobrazowanie dobowej liczby połączeń regionalnych w dzień powszedni na podstawie danych wprowadzonych do modelu w Etapie 2 [opracowanie własne]



Rys. 11. Zobrazowanie dostępności czasowej kolej regionalnej do wszystkich gmin w Polsce (przykład Warszawy na podstawie danych wprowadzonych do modelu w Etapie 2); [opracowanie własne]

- parametryzacją węzłów i odcinków sieci drogowej, szczególnie w zakresie przepustowości i czasu przejazdu.

Model zawierający sieć drogową oraz sieć kolejową (wraz z siatką połączeń) umożliwi prowadzenie analiz konkurencyjności poszczególnych środków transportu oraz prowadzenie analiz zmian dostępności transportowej w zależności od infrastruktury.

W dalszej kolejności, model sieci drogowej powinien być uzupełniony o definicję (co najmniej ogólną), siatki połączeń autobusowych. Realizacja tego etapu byłaby konieczna dla prac nad modelem popytowym, który powiązałby parametry infrastruktury transportowej oraz siatkę połączeń z liczbą i strukturą kierunkową podróży.

Bibliografia

1. Cyfrowy model sieci transportowej Etap 1: Sieć kolejowa, Instytut Kolejnictwa, Praca nr 8814/11, czerwiec 2018.
2. Cyfrowy model sieci transportowej Etap 2: Siatka połączeń kolejowych, Instytut Kolejnictwa, Praca nr 8732/11, sierpień 2019.
3. Klemba S.: *Cyfrowy model sieci kolejowej – budowa narzędzia do analiz przewozów pasażerskich*, Prace Instytutu Kolejnictwa, 2018, z. 159.
4. Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym, Dz.U. 2011, Nr 5, poz. 13.