

# Cyfrowy model sieci kolejowej – budowa narzędzia do analiz przewozów pasażerskich

Szymon KLEMB<sup>1</sup>

## Streszczenie

W artykule opisano model sieci kolejowej wykonany w pracy pt. „Cyfrowy model sieci transportowej, Etap 1: Sieć kolejowa”. Zakres projektu obejmował zakodowanie aktualnej sieci kolejowej Polski według wcześniej opracowanych kryteriów klasyfikacji punktów i odcinków sieci kolejowej oraz specyfikację danych niezbędnych do uwzględnienia w modelu, opisujących poszczególne elementy sieci kolejowej. Efektem pracy jest uzyskanie narzędzia przydatnego w realizacji bieżących prac badawczych i komercyjnych Instytutu Kolejnictwa, a także stworzenie możliwości dalszego rozwoju narzędzia.

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

## 1. Wstęp

Projekty dotyczące rozwoju transportu i kształtowania sieci transportowej wymagają stosowania technik symulacji komputerowych, które umożliwiają badanie współzależności pomiędzy poszczególnymi rodzajami transportu. Każda gałąź transportu ma cechy predysponujące ją do zastosowania do przewozów w określonych warunkach, a zasada zrównoważonego rozwoju polega na takim powiązaniu gałęzi transportu, aby system transportowy realizował swoje funkcje z możliwie najmniejszym negatywnym wpływem na środowisko człowieka. Nie powinno się więc rozpatrywać żadnej z gałęzi transportu w oderwaniu od całości systemu transportowego.

Dostępne współcześnie techniki informatyczne umożliwiają wykorzystanie narzędzi w postaci modeli systemów transportowych, na przykład w celu diagnozowania stanu systemu transportowego lub sprawdzania projektowanych rozwiązań przed ich wdrożeniem. Niniejszy artykuł przedstawia zrealizowany w Instytucie Kolejnictwa projekt, w którym utworzono cyfrowy model sieci kolejowej kraju. W założeniu jest to pierwszy etap budowy narzędzia, które będzie pomocne przy prowadzeniu prac z zakresu organizacji przewozów i ruchu kolejowego.

## 2. Cel projektu

Celem projektu [1] o nazwie „Cyfrowy model sieci transportowej, Etap 1: Sieć kolejowa” (nazywany dalej CMST – Etap 1) jest przygotowanie cyfrowego modelu sieci kolejowej Polski, jako pierwszego etapu budowy ogólnopolskie-

go modelu sieci transportowej. Do budowy modelu wykorzystano specjalistyczne oprogramowanie PTV VISUM, przeznaczone do modelowania systemów transportowych. Zakres projektu obejmuje zakodowanie obecnej sieci kolejowej Polski według przygotowanej wcześniej specyfikacji danych. Te dane opisują poszczególne elementy sieci kolejowej i służą do późniejszego ich wykorzystania w kolejnych etapach projektu oraz wykonywanych analizach.

## 3. Elementy modelu

Model jest uproszczonym odwzorowaniem fragmentu rzeczywistości, skupiającym się na wybranych jej elementach, istotnych ze względu na przyjęty punkt widzenia lub cel, któremu ma służyć [3]. Innymi słowy, model stanowi próbę przedstawienia fragmentu rzeczywistości za pomocą zbioru elementów oraz relacji zachodzących pomiędzy nimi. Ponieważ celem opisanego projektu jest odwzorowanie sieci transportowej w części kolejowej, głównymi elementami modelu, które należy odwzorować, są punktowe i liniowe składniki infrastruktury tej gałęzi transportu wraz z wybranymi parametrami. Model CMST utworzony podczas pierwszego etapu prac składa się z następujących elementów:

- systemy transportowe,
- węzły sieci,
- odcinki sieci,
- strefy i miejsca obsługi podróżnych oraz towarów,
- rejony transportowe,
- powiązania rejonów transportowych z siecią transportową.

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

### 3.1. Systemy transportowe

Istnieje wiele różnych definicji pojęcia systemu. System może być definiowany jako:

- układ elementów mający określoną strukturę i stanowiący logicznie uporządkowaną całość [5],
- skoordynowany układ elementów [4],
- zbiór elementów i zachodzących między nimi relacji [2].

Jeżeli mowa o systemie transportowym, elementy takiego systemu dotyczą dziedziny jaką jest transport i są to: infrastruktura transportowa, pojazdy, ludzie obsługujący tę infrastrukturę oraz pojazdy, jak również obowiązujące przepisy i reguły funkcjonowania transportu. Ponadto, praktycznie każdy element takiego systemu może stanowić odrębny system.

Pojęcie systemu transportowego, stosowane w projekcie „CMST – Etap 1”, odnosi się do podsystemu systemu transportowego związanego z danym rodzajem środka transportu. Rodzaj środka transportu determinuje bowiem kształt dedykowanej mu infrastruktury, specyfikę pojazdów, sposób eksploatacji lub zakres zastosowań.

Określenie systemów transportowych w modelu ma na celu odwzorowanie grup i rodzajów środków transportu, które mogą korzystać z właściwej im infrastruktury. Określenie tych systemów jest kluczowe na początku procesu modelowania ze względu na to, że każdy z nich może być opisany za pomocą specyficznego dla danego środka transportu zbioru parametrów (niektóre parametry elementów systemów transportowych będą wspólne dla wszystkich systemów).

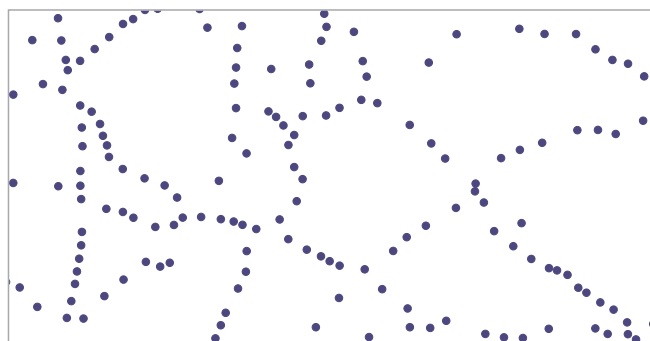
Chociaż projekt „CMST – Etap 1” dotyczył tylko transportu kolejowego, dalszy rozwój modelu będzie wymagał uwzględnienia innych rodzajów transportu, co należy przewidzieć już na początku prac. W punkcie 4.1. opisano sposób implementacji systemów transportowych (w przedstawionym znaczeniu) w wykorzystywanym oprogramowaniu.

### 3.2. Węzły sieci

Węzły sieci są elementami sieci transportowej i stanowią punkt odniesienia przy określeniu połączeń w tej sieci. Według teorii grafów, węzeł sieci jest wierzchołkiem grafu. Wierzchołek grafu, który jest pojęciem abstrakcyjnym, będzie służył odwzorowywaniu poszczególnych punktów sieci transportowej. Określono zbiór typów wierzchołków oraz zbiór parametrów wierzchołków, tak aby każdy z wierzchołków mógł mieć przyporządkowany typ oraz wartości poszczególnych parametrów. W transporcie kolejowym węzły sieci (rys. 1) będą służyć do odwzorowania takich elementów sieci transportowej, jak:

- stacje kolejowe,
- przystanki,
- posterunki odgałęźne,
- pojedyncze rozjazdy kolejowe.

W przypadku rozszerzenia modelu o sieć drogową, węzły stanowiłyby przede wszystkim odwzorowanie skrzyżowań dróg lub przystanki autobusowe.

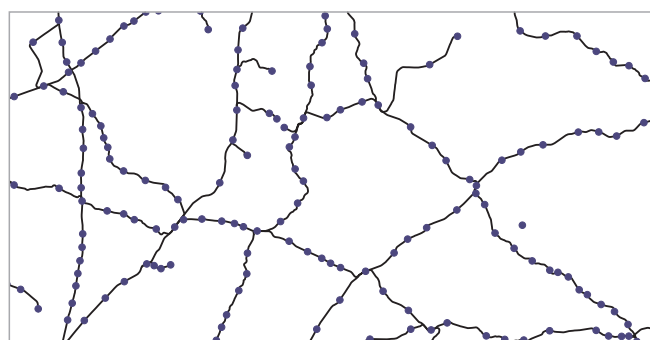


Rys. 1. Zbiór węzłów sieci – wierzchołków grafu sieci (fragment); opracowanie własne na podstawie [1]

### 3.3. Odcinki sieci

W teorii grafów, odcinki sieci (połączenia transportowe) będą odpowiadać krawędziom grafu. Krawędź grafu jest parą uporządkowaną, której elementami są wierzchołki grafu (węzły sieci). Określono też zbiór typów krawędzi oraz zbiór parametrów krawędzi tak, aby każda z nich mogła mieć przyporządkowany typ oraz wartości poszczególnych parametrów. Celem określenia typu krawędzi (odcinka sieci) jest stwierdzenie, które systemy transportowe mogą korzystać z połączenia opisanego daną krawędzią, a dla których systemów jest ona niedostępna. Krawędzie grafu są wykorzystywane do odwzorowania fragmentów linii kolejowej (rys. 2), (lub szerzej: liniowej infrastruktury transportowej).

Krawędzie są określone w taki sposób, że graf sieci transportowej jest grafem skierowanym (digrafem), przy czym para wierzchołków jest połączona za pomocą dwóch gałęzi (krawędzi skierowanych), z których każda odpowiada jednemu z dwóch kierunków przemieszczania się. Oznacza to, że graf sieci transportowej jest multigrafem bez pętli. Graf jest formalnie zapisany jako macierz sąsiedztwa (ang. *adjacency matrix*). Jest to kwadratowa macierz binarna, określająca czy z wierzchołka  $i$  do wierzchołka  $j$  istnieje połączenie za pomocą krawędzi skierowanej. Macierz ta jest dodatkowo symetryczna, czyli jeżeli istnieje krawędź z wierzchołka  $i$  do wierzchołka  $j$  jest to równoważne z tym, że istnieje krawędź z wierzchołka  $j$  do wierzchołka  $i$ .



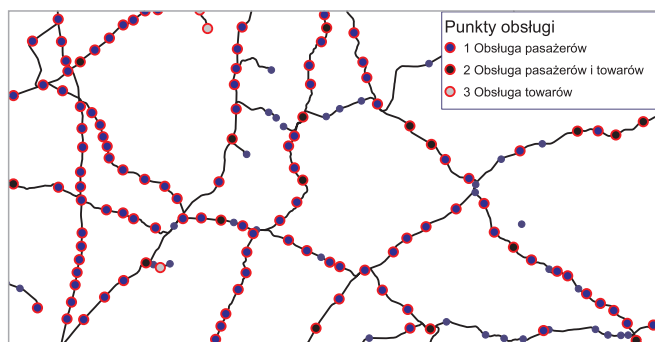
Rys. 2. Zbiór odcinków sieci – krawędzi grafu sieci (fragment); opracowanie własne na podstawie [1]

### 3.4. Punkty, strefy i miejsca obsługi podróżnych oraz towarów

Istotną informacją, dotyczącą celu utworzenia modelu, jest istnienie w poszczególnych miejscach sieci punktów obsługi podróżnych i towarów. W modelu będącym wynikiem projektu „CMST – Etap 1” punkty te są przypisane do węzłów sieci. Formalnie można to określić jako funkcję odwzorowującą zbiór wierzchołków grafu sieci transportowej na zbiór wartości binarnych  $\{0,1\}$ , gdzie 0 oznacza brak punktu obsługi w danym wierzchołku (węźle sieci), a 1 oznacza istnienie takiego punktu. Jeżeli punkt obsługi w danym węźle sieci istnieje, jest opisany za pomocą parametru określającego typ tego punktu oraz przez dalsze parametry zależne od typu danego punktu obsługi.

Za pomocą punktów obsługi są opisywane przystanki kolejowe, punkty ładunkowe (ładownie) oraz pasażerskie i towarowe stacje kolejowe (rys. 3). W większych strefach obsługi podróżnych, takich jak stacje węzłowe, jako punkt obsługi określa się np. pojedynczy peron lub grupę peronów. W dalszych etapach rozwoju modelu dodatkowo będą uwzględniane na przykład przystanki autobusowe.

Tak rozumiane punkty obsługi grupuje się w zbiory zwane strefami obsługi. Na przykład punkty obsługi, określone jako perony danej stacji węzłowej, tworzą zbiór peronów tej stacji, który można określić jako kolejową strefę obsługi pasażerów. Formalnie strefa obsługi będzie podzbiorem wybranych wierzchołków należących do zbioru wierzchołków grafu sieci transportowej. Jeżeli w rozwoju modelu uwzględni się transport autobusowy, „obok” strefy kolejowej będzie mogła istnieć strefa autobusowa. Te dwa podzbiory wierzchołków grafu sieci transportowej, tworzące strefy obsługi, utworzą zbiór zwany miejscem obsługi podróżnych lub towarów.



Rys. 3. Zbiór punktów obsługi podróżnych – podzbiór wierzchołków grafu sieci; opracowanie własne na podstawie [1]

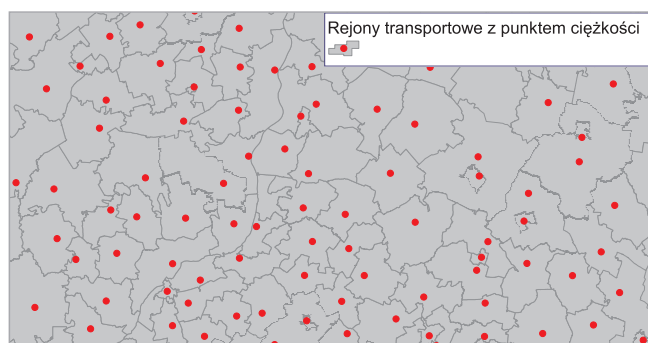
Określona jest zatem hierarchia: punkt obsługi jako wierzchołek grafu sieci transportowej, strefa obsługi jako zbiór punktów obsługi oraz miejsce obsługi jako zbiór stref obsługi. W najprostszym przypadku, punkt obsługi może stanowić strefę obsługi (jednoelementowy podzbiór zbioru wierzchołków) oraz jednocześnie miejsce obsługi (jednoelementowy zbiór stref obsługi). Taka struktura jest związa-

na z narzędziem wykorzystywanym do budowy modelu, co opisano w punkcie 4.4.

### 3.5. Rejony transportowe

Sieć kolejowa odwzorowana w modelu jest położona na określonym obszarze Polski, który jest podzielony na poszczególne jednostki administracyjne (województwa, powiaty, gminy). Podział obszaru objętego przez model na rejony transportowe jest niezbędny z uwagi na późniejszą możliwość budowy modelu popytu na transport, w którym będzie rozważać się przemieszczenia osób (lub ładunków) pomiędzy poszczególnymi gminami w kraju.

Każdemu węzłowi sieci można przyporządkować obszar, w którym jest położony odwzorowywany przez niego element sieci transportowej (w „CMST – Etap 1” – sieci kolejowej), w ten sposób uzyskuje się zbiór rejonów transportowych (rys. 4).



Rys. 4. Zbiór rejonów transportowych – zbiór dodatkowych wierzchołków grafu sieci lub odrębny zbiór obiektów; opracowanie własne na podstawie [1]

Formalnie, zbiór rejonów transportowych można traktować jako zbiór elementów niezależnych od grafu sieci transportowej. Drugi możliwy sposób, to traktowanie zbioru rejonów komunikacyjnych jako dodatkowych elementów zbioru wierzchołków grafu. Należy wówczas nałożyć na strukturę grafu dodatkowe ograniczenie formalne, wykluczające istnienie krawędzi pomiędzy dwoma wierzchołkami grafu, które odwzorowują rejon transportowy.

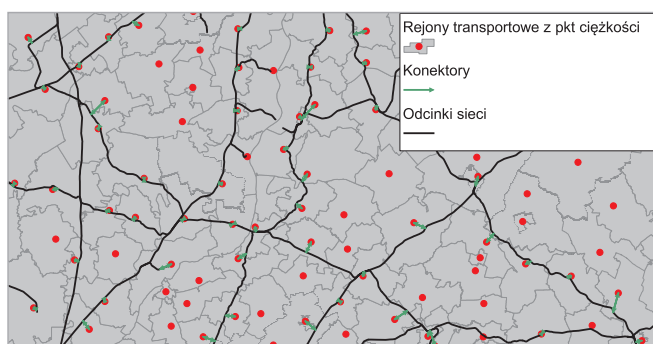
W modelu utworzonym w projekcie „CMST – Etap 1”, rejon transportowy odwzorowuje gminę, zgodnie z podziałem administracyjnym kraju. Zbiór rejonów transportowych, które odwzorowują gminy należące do jednego powiatu, będzie tworzył główny rejon transportowy, co służy odwzorowaniu powiatu. Zbiór głównych rejonów transportowych, odwzorowujących powiaty należące do jednego województwa, będzie stanowił terytorium odwzorowania obszaru województwa.

### 3.6. Konektory (łączniki rejonów transportowych i węzłów sieci)

Jeżeli rejon transportowy traktuje się jako element niezależny od struktury grafu sieci transportowej, konektor formalnie stanowi uporządkowaną parę, której elementami są rejon

transportowy i węzeł sieci, w którym istnieje punkt obsługi. Jeżeli założy się, że rejon transportowy będzie elementem zbioru wierzchołków sieci transportowej, to będzie on krawędzią grafu sieci transportowej (a w zasadzie parą krawędzi skierowanych), która łączy jeden wierzchołek grafu sieci transportowej odwzorowujący rejon transportowy z jednym wierzchołkiem grafu sieci transportowej nie odwzorowującym rejonu transportowego (lecz punkt sieci transportowej).

Każdy rejon transportowy ma charakterystyczny punkt, który można nazwać punktem ciężkości rejonu transportowego. Jest to punkt, w którym „jest przyłożony” potencjał transportowy danego rejonu. Wierzchołek grafu sieci transportowej, odwzorowujący dany rejon transportowy, będzie miał współrzędne związane z tym punktem ciężkości. W projekcie „CMST – Etap 1” przyjęto, że potencjał transportowy rejonu będzie równoważny potencjałowi demograficznemu gminy. Rolą konektorów (rys. 5) jest odwzorowanie powiązań obszaru kraju z infrastrukturą transportową (punktami obsługi).



Rys. 5. Zbiór konektorów jako dodatkowych krawędzi grafu sieci transportowej; opracowanie własne na podstawie [1]

## 4. Implementacja modelu

Poszczególne elementy modelu, które opisano w rozdziale 3, uwzględniono w cyfrowym modelu utworzonym w oprogramowaniu PTV VISUM. W kolejnych punktach przedstawiono sposób ich implementacji. W celu łatwiejszego skojarzenia elementów modelu z ich reprezentacją w oprogramowaniu, w nawiasach podano nazwy stosowane w oprogramowaniu.

### 4.1. Systemy transportowe (TSys) i ich typy

Z uwagi na to, iż parametry elementów modelu, takich jak np. węzły i odcinki sieci, mogą przyjmować różne wartości dla różnych środków transportu, istotne jest zidentyfikowanie wszystkich, potrzebnych do uwzględnienia w modelu systemów transportowych. Dodawanie systemów transportu w trakcie prac nad kolejnymi etapami, choć możliwe, jest niepożądane, gdyż może komplikować prace nad parametryzacją sieci transportowej. Z tego względu systemy transportowe z kodowano z myślą o przyszłym rozwoju modelu, zatem oprócz środków transportu kolejowego wyodrębniono środki transportu drogowego, jak również typowo miejskiego. Oprogramowanie VISUM przewiduje 4 typy systemów transportowych:

1. PuT – transport publiczny,
2. PrT – transport prywatny,
3. PuTWalk – transport pieszy zasilający transport publiczny oraz ruch pieszy docelowy,
4. PuT-Aux – transport zasilający transport publiczny.

Każdemu systemowi transportowemu uwzględnionemu w modelu musi być przyporządkowany typ systemu transportowego (tablica 1).

Tablica 1

Systemy transportowe w CMST

Oznaczenie	Nazwa systemu	Opis	Typ
B	Autobus regionalny	Regionalny system przewozów autobusowych	PuT
C	Samochód	System przewozów transportem drogowym indywidualnym	PrT
D	Autobus dalekobieżny	System autobusowych przewozów	PuT
MA	Autobus miejski	System miejskiej komunikacji autobusowej	PuT
MB	Trolejbus	System miejskiej komunikacji trolejbusowej	PuT
MM	Metro	System metra	PuT
MT	Tramwaj	System komunikacji tramwajowej	PuT
PA	Pociąg aglomeracyjny	System kolejowych przewozów aglomeracyjnych	PuT
PEX	Pociąg ekspresowy	System kolejowych przewozów ekspresowych i dużych prędkości	PuT
PIC	Pociąg międzyaglomeracyjny	System kolejowych przewozów międzyaglomeracyjnych	PuT
PIR	Pociąg międzyregionalny	System kolejowych przewozów międzyregionalnych	PuT
PR	Pociąg regionalny	System kolejowych przewozów regionalnych	PuT
R	Rower	System transportu rowerowego	PuT-Aux
TA	Pociąg towarowy całopociągowy	System przewozów towarowych całopociągowych (masowych)	PuT
TC	Pociąg towarowy intermodalny	System przewozów towarowych intermodalnych	PuT
TG	Pociąg towarowy grupowy	System przewozów towarowych grupowych	PuT
TK	Pociąg zdawczy	System przewozów towarowych pociągami zdawczymi	PuT
TL	Pociąg towarowy liniowy	System przewozów towarowych pociągami liniowymi	PuT
W	Ruch pieszy	System transportu pieszego	PuTWalk

Opracowanie własne na podstawie [2]

Typu PrT użyto wyłącznie w odniesieniu do transportu samochodowego pasażerskiego (C), PuT-Aux w odniesieniu do ruchu rowerowego (R), wprowadzono również jeden rodzaj transportu pieszego (W). Pozostałym systemom, w tym służącym przewozom towarowym, na obecnym etapie przyporządkowano typ PuT (jeżeli uwzględnia się drogowy ruch towarowy, zostałby on sklasyfikowany jako typ PrT).

#### 4.2. Węzły sieci (Nodes)

W obecnej wersji modelu określono jeden typ węzła sieci – węzeł sieci kolejowej, zapisany w postaci parametru *Type No* danego węzła. Wartość parametru *Type No* dla sieci kolejowej przyjęto jako 0. W przypadku dalszych prac nad modelem, gdy np. będzie uwzględniona sieć drogową, węzłom tych sieci będzie można przypisać inne wartości parametru *Type No* (np. 1 – dla węzłów sieci drogowej). Poszczególne węzły sieci kolejowej opisano za pomocą następujących parametrów:

- *No* – numer węzła, będący jego niepowtarzalnym identyfikatorem,
- *Code* – typ punktu według wykazu posterunków ruchu PKP PLK S.A.,
- *Name* – nazwa punktu,
- *NR\_LINII* – numer linii kolejowej,
- *NR\_LINII2* – numer linii odgałęziającej się, jeżeli dotyczy tego punktu,
- *KM* – kilometrąz punktu,
- *KM2* – kilometrąz dla linii odgałęziającej się, jeżeli dotyczy tego punktu,
- *PHP* – istnienie punktu handlowego pasażerskiego (wartość binarna 0 lub 1),
- *PHT* – istnienie punktu handlowego towarowego (wartość binarna 0 lub 1).

Przykładowy fragment zapisu węzłów transportowych w bazie danych przedstawiono w tablicy 2. Puste komórki oznaczają niewykorzystanie danego parametru.

Każdy węzeł sieci ma również domyślnie przypisane współrzędne X, Y, Z w wybranym układzie współrzędnych geograficznych.

#### 4.3. Odcinki sieci (Links)

W dotychczas prowadzonych pracach przewidziano 9 typów (parametr: *TypeNo*) odcinków sieci kolejowej (numery 51–59, w tym dla nie istniejących dotychczas rozwiązań technicznych takich, jak ruch dwusystemowy oraz dla metra), 3 typy odcinków dla sieci tramwajowej (numery 41–43) oraz 2 typy odcinków technicznych (numery 90 i 99). Odwzorowanie sieci metra lub fragmentów sieci tramwajowych może mieć znaczenie z punktu widzenia ruchu pomiędzy stacjami kolejowymi położonymi w jednym mieście lub gminie. Pozostałe zakresy liczbowe typów odcinków tworzą rezerwę na przyszłą rozbudowę modelu. Przewidziane w modelu typy odcinków oraz ich wykorzystanie w modelu przedstawiono w tablicy 3.

Z tablicy 3 wynika, że w pierwszym etapie prac nad CMST odwzorowano całą krajową normalno- i szerokotorową sieć kolejową, zachowano ślady zlikwidowanych linii kolejowych oraz sieć warszawskiego metra. W przypadku typu nr 57 (linie wąskotorowe) w modelu zakodowano jedynie przykładowe odcinki tego typu infrastruktury, stąd oznaczenie „+/-”. Pozostałe typy odcinków mogą być wykorzystane w następnych etapach prac. Poszczególne odcinki sieci kolejowej opisano za pomocą następujących parametrów takich:

- *No* – numer odcinka, będący jego niepowtarzalnym identyfikatorem,
- *TypeNo* – numer typu odcinka,
- *NR\_LINII* – numer linii kolejowej,

Tablica 2

Węzły sieci transportowej – fragment zapisu

Code	Name	TypeNo	NR_LINII	KM	NR_LINII2	KM2	PHP	PHT
ST	Łódź Kaliska R155	0	14	0,502	15	68,787	0	0
KM_R	Łódź Kaliska R157	0	14	0,547	25	0,547	0	0
PODG	Retkinia	0	14	2,308	539	0,000	0	0
ST	Lublinek	0	14	7,140			1	1
ST	Pabianice	0	14	14,490			1	1
PO	Chechłó	0	14	17,692			1	0
PO	Dobroń	0	14	21,170			1	0
PODG	Dobroń	0	14	21,900			0	0
PODS	Kolumna	0	14	24,864			1	0
ST	Łask	0	14	30,849			1	1
PODS	Borszewice	0	14	36,181			1	0
KM_R	Gajewniki	0	14	39,737	542	3,537	0	0
PODG	Gajewniki	0	14	39,842			0	0
KM_R	Gajewniki R7	0	14	39,916	543	0,074	0	0
KM_P	Zduńska Wola	0	14	41,087			0	0
ST	Zduńska Wola	0	14	42,360			1	1

Opracowanie własne na podstawie [2]

Tablica 3

## Typy odcinków sieci

Numer typu	Nazwa typu	Opis	CMST – Etap 1
51	Linia normalna	Linia kolejowa 1435 mm	+
52	Linia kdp	Linia dużych prędkości 1435 mm	–
53	Linia dwusystemowa	Linia kolejowa 1435 mm z ruchem tramwajów	–
54	Bocznica	Bocznica 1435 mm	–
55	Linia metra	Linia metra 1435 mm	+
56	Linia szeroka	Linia kolejowa 1520 mm	+
57	Linia wąska	Linia wąskotorowa	+/-
58	Linia planowana	Linia planowana	–
59	Nasyp	Nasyp linii kolejowej, linia rozebrana	+
41	Tramwaj normalny	Linia tramwajowa 1435 mm	–
42	Tramwaj wąski	Linia tramwajowa 1000 mm	–
43	Tramwaj 2-syst	Linia tramwajowa 1435 mm z ruchem poc.	–
90	Chodnik	Chodnik, przejście itp.	–
99	Odcinek wirtualny	Zerowy łącznik techniczny	–

Opracowanie własne na podstawie [3]

- *KM\_START* – kilometrą początkowy odcinka,
- *KM\_END* – kilometrą końcowy odcinka,
- *L\_TORÓW* – liczba torów,
- *V\_EZT* – prędkość maksymalna pociągów pasażerskich – zespołów trakcyjnych,
- *V\_PAS* – prędkość maksymalna pociągów pasażerskich – składów wagonowych,
- *V\_TOW* – prędkość maksymalna pociągów towarowych,
- *NACISK\_OS\_WAG* – nacisk na oś wagonów,
- *NACISK\_OS\_LOK* – nacisk na oś lokomotyw.
- *SBL* – istnienie blokady samoczynnej (wartość binarna),
- *TUNEL* – poprowadzenie odcinka w tunelu (wartość binarna),
- *KATEG\_LINII* – kategoria linii według PKP PLK S.A.,
- *KLASA\_ODCINKA* – klasa toru według PKP PLK S.A.

Przewidziano rozszerzenie tego zbioru o następujące parametry:

- *ELEKTRYFIKACJA* – istnienie zasilania trakcyjnego (wartość binarna),

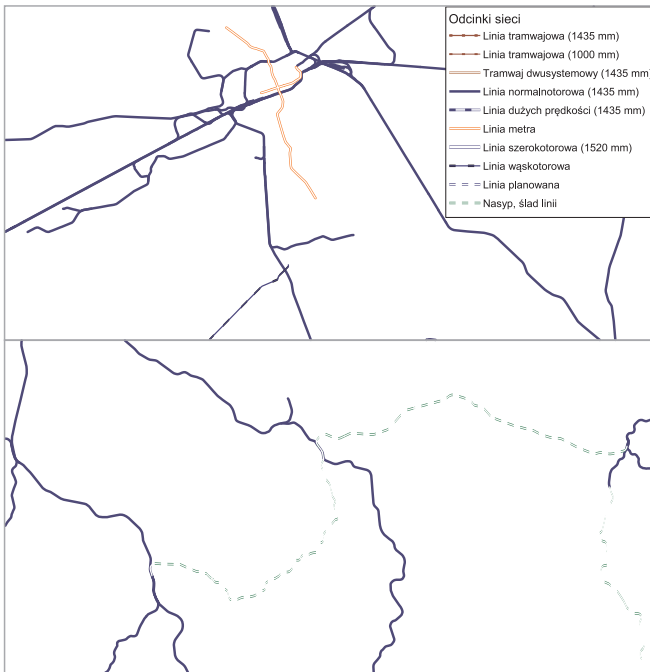
- Odcinki sieci (*Links*) powiązane z systemami (*TSys*) przez:
- powiązanie danego systemu transportowego z danym typem odcinka sieci (tablica 4),
  - predefinicję prędkości pojazdów poszczególnych systemów transportowych dla danego typu odcinka sieci.

Przykład graficznego przedstawienia odcinków linii przedstawiono na rysunku 6.

Tablica 4

## Binarna matryca powiązań systemów transportowych i typów odcinków sieci [1]

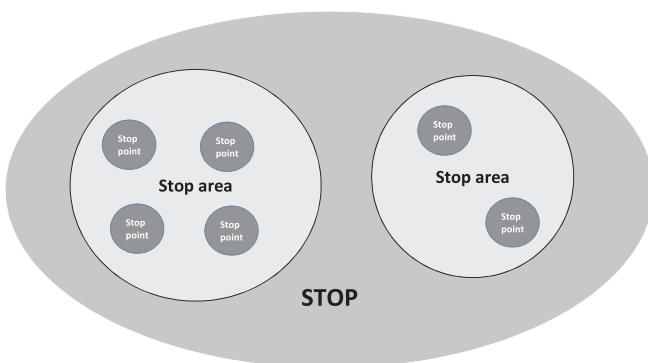
		Oznaczenie systemu transportowego																
		PEX	PIC	PIR	PR	PA	TA	TC	TG	TL	TK	MT	MM	MA	MB	B, C, D	R	W
Numer typu odcinka	51	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	52	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	53	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
	54	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	56	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	57	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	43	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	



Rys. 6. Graficzne zobrazowanie różnych typów odcinków sieci; opracowanie własne na podstawie [1]

#### 4.4. Punkty i strefy obsługi podróżnych oraz towarów (*Stop points, Stop areas, Stops*)

Z uwagi na specyfikę oprogramowania wykorzystywanego do budowy modelu, zastosowano trzypoziomą hierarchię punktów obsługi podróżnych i towarów (opisaną w punkcie 3.4.). W oprogramowaniu hierarchię tę tworzą obiekty typu *Stop point* (punkt obsługi) – *Stop area* (strefa obsługi) – *Stop* (miejsce obsługi) według rysunku 7.



Rys. 7. Hierarchia punktów obsługi podróżnych; opracowanie własne na podstawie [1]

Obecnie zastosowano *Stop Point*-y do odwzorowania punktów zatrzymań handlowych pociągów. Każdy *Stop Point* jest skojarzony z jednym węzłem sieci transportowej *Node*. Nie wykorzystano *Stop Points* skojarzonych z odcinkami sieci *Links*. Każdemu *Stop Point*-owi jest przyporządkowana jedna strefa *Stop Area* oraz jeden *Stop*. W przypadku, gdy dana stacja kolejowa / przystanek jest odwzorowany

jako więcej niż jeden *Stop Point*, wszystkie *Stop Point*-y tej stacji / przystanku przyporządkowuje się jednej strefie *Stop Area* oraz jednemu *Stop*-owi. W takiej sytuacji *Stop Point* może odpowiadać peronowi, *Stop Area* części peronowej stacji pasażerskiej. W „CMST – Etap 1” wykorzystano następujące parametry dla poziomu *Stop Point*:

- *No* – numer punktu, będący jego niepowtarzalnym identyfikatorem,
- *NodeNo* – numer skojarzonego węzła,
- *TypeNo* – numer typu punktu (charakteryzujący jego wykorzystanie w przewozach pasażerskich lub towarowych),
- *Name* – nazwa punktu (zgodna z nazwą węzła sieci),
- *Code* – rodzaj punktu (według parametru *Code* dla węzła sieci).

Dla poziomu *Stop Area* zdefiniowano parametr *TypeNo* – numer rodzaju punktu charakteryzujący gałąź transportu, która obsługuje grupę przystanków. *Stop Area* ma swój niepowtarzalny numer (identyfikator).

#### 4.5. Rejony transportowe (*Zones, Main Zones*)

W „CMST – Etap 1” zastosowano dwupoziomowy podział na rejony transportowe, odpowiadający podziałowi administracyjnemu kraju. Głównymi rejonami transportowymi (*Main Zones*) są powiaty, natomiast podstawowymi rejonami transportowymi (*Zones*) – gminy. Obecnie nie korzysta się z trzeciego poziomu, czyli terytoriów (*Territories*), które służyłyby agregowaniu danych do poziomu województw. Określenie terytoriów nastąpi w czasie dalszych prac nad modelem.

Każdemu rejonowi transportowemu nadano niepowtarzalny numer (*ZoneNo*), zgodny z systematyką GUS. Umożliwia to późniejsze, sprawne wprowadzanie danych do modelu i dostosowanie ich zakresu do potrzeb. W obecnym etapie projektu wprowadzono dane demograficzne, jako podstawową cechę charakteryzującą obszar danego powiatu lub gminy. Rejony są również opisane za pomocą parametru z nazwami powiatów lub gmin, których dotyczą (*Name*). Zgodnie z tym, model zawiera 380 zakodowanych, głównych rejonów transportowych (zgodnie z liczbą powiatów) oraz 2478 podstawowych rejonów transportowych (zgodnie z liczbą gmin).

#### 4.6. Konektory (*Connectors*)

Teoretycznie, każdy rejon transportowy może być powiązany z siecią transportową dowolną liczbą konektorów. W praktyce rejony łączy się za pomocą konektorów z takimi punktami obsługi, które najlepiej obsługują dany rejon. W projekcie „CMST – Etap 1” przyjęto zasadę, że dany rejon transportowy jest połączony maksymalnie tylko z jednym węzłem sieci transportowej (może nie być połączony wcale, jeżeli na terenie danej gminy nie istnieje sieć kolejowa lub nie ma tam punktu obsługi podróżnych lub ładunków).

W projekcie wykorzystuje się jeden parametr konektora: numer typu konektora (*TypeNo*), który określa poło-

żenie punktu ciężkości rejonu transportowego względem węzła sieci, do którego jest podłączony dany konektor. W obecnej wersji modelu, rejonny transportowe, w sąsiedztwie których nie znajduje się żaden punkt obsługi podróży w odległości do 5 km od punktu ciężkości rejonu, nie zostały połączone z siecią transportową (kolejową).

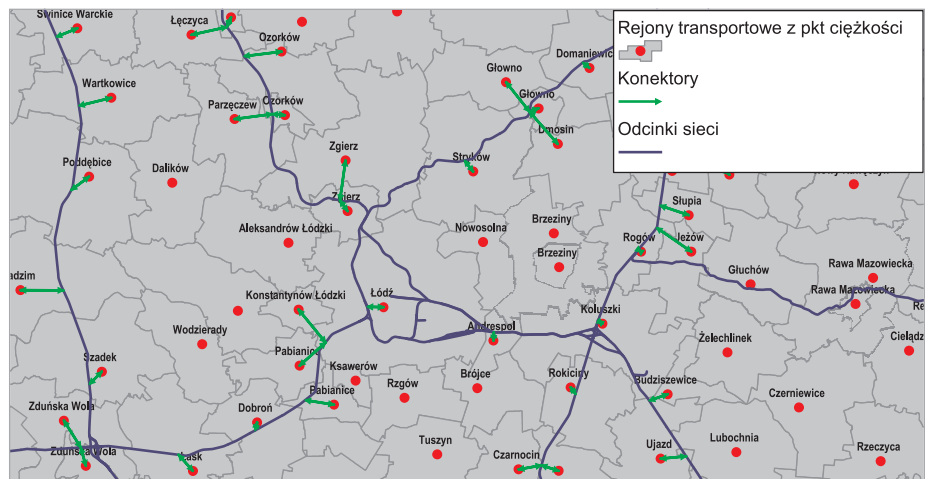
Graficzny sposób przedstawienia konektorów dla wybranego fragmentu sieci kolejowej, zaprezentowano na rysunku 8.

## 5. Podsumowanie

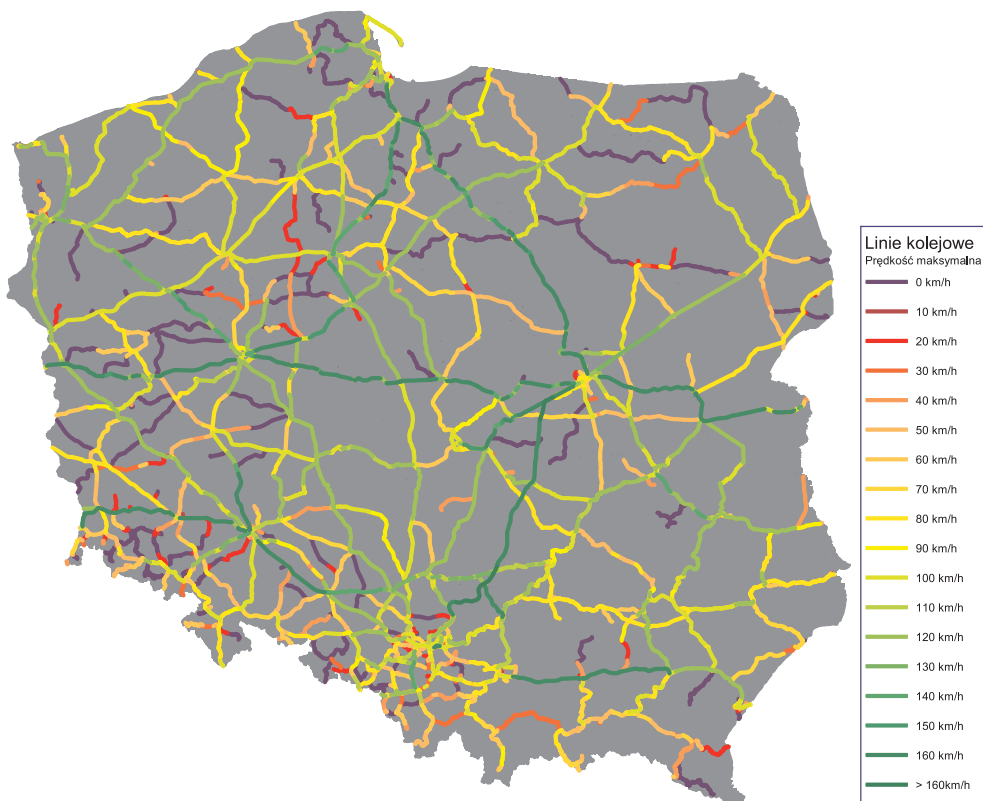
Model utworzony w pierwszym etapie prac zawiera następujące elementy: 19 systemów transportowych (z uwzględ-

nieniem przyszłego rozwoju modelu), 6000 węzłów sieci kolejowej, 6493 odcinków sieci, 3448 punktów oznaczających strefy i miejsca obsługi podróży, 2478 rejonów transportowych pogrupowanych w 380 głównych rejonach transportowych, 1270 konektorów (nie wszystkie rejonny transportowe mają dostęp do sieci kolejowej). Praktyczne zastosowanie modelu po tym etapie jest ograniczone ze względu na początkowe stadium rozwoju CMST. Model ten może być już obecnie wykorzystany do prac, takich jak:

- uproszczone analizy dostępności przestrzennej transportu kolejowego na poziomie gmin i powiatów,
- analizy parametrów linii kolejowych (przykład na rysunku 9),
- przygotowywanie grafik prezentujących sieć kolejową na tle danych społeczno-gospodarczych.



Rys. 8. Graficzne zobrazowanie konektorów łączących rejonny transportowe z siecią kolejową; opracowanie własne na podstawie [1]



Rys. 9. Przykładowa wizualizacja parametrów linii kolejowych (prędkość maksymalna pociągów pasażerskich); opracowanie własne na podstawie [1]



Określone kierunki dalszych prac nad rozwojem modelu obejmują zarówno działania związane z uzupełnieniem bazy danych modelu o wybrane parametry, jak również rozszerzenie modelu o nowe gałęzie transportu (w szczególności transport drogowy), w dalszej kolejności zaś budowę i implementację modelu podażowego i popytowego.

W następnym, drugim etapie budowy modelu CMST, planuje się zakodowanie aktualnej (w wybranym dniu) oferty przewozowej, obejmującej siatkę połączeń (linie komunikacyjne – trasy pociągów), czasy przejazdów pociągów oraz liczbę połączeń na całej sieci kolejowej kraju. W tym etapie projektu, w celu osiągnięcia zakładanych efektów, przewidywane są następujące działania:

- analiza oferty przewozowej dostępnej na sieci kolejowej Polski,
- zgromadzenie danych na temat oferty przewozowej,
- kodowanie kolejowej oferty przewozowej w specjalistycznym oprogramowaniu (PTV VISUM),
- weryfikacja wprowadzonych danych.

Rozszerzenie modelu o wymienione funkcjonalności umożliwi prowadzenie analiz dotyczących:

- dostępności czasowej transportem kolejowym do poszczególnych gmin / powiatów,
- uproszczonych prognoz przewozów (w przypadku posiadania na wejściu gotowej, bazowej macierzy przemieszczeń kolejną),

- analiz obciążenia ruchem pociągów pasażerskim poszczególnych odcinków sieci kolejowej.

W dalszej kolejności, kluczowym elementem modelu powinno być uwzględnienie sieci drogowej, przynajmniej na poziomie dróg krajowych, wojewódzkich i wybranych dróg powiatowych. Kamieniem milowym w pracach nad modelem, może być budowa modelu popytowego, który powiązałby parametry infrastruktury transportowej oraz siatkę połączeń z liczbą i strukturą kierunkową podróży.

## Bibliografia

1. Klemba S.: *Cyfrowy model sieci transportowej Etap 1: Sieć kolejowa*, Projekt własny Instytutu Kolejnictwa, 2011.
2. Mazur M.: *Pojęcie systemu i rygory jego stosowania*, Postępy Cybernetyki, 1987, z. 2.
3. Ortúzar J., Willumsen L.G.: *Modelling Transport*, John Wiley&Sons, 2013 [tłum. autora].
4. Słownik języka polskiego pod red. W. Doroszewskiego.
5. Słownik języka polskiego PWN, [sjp.pwn.pl](http://sjp.pwn.pl).