

MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA

INOWACYJNE METODY PROGNOZOWANIA RUCHU KRAJOWEGO – REGIONALNEGO - LOKALNEGO

Wybrane aspekty modelowania ruchu kolejowego

dr inż. Andrzej Waltz
Politechnika Warszawska



Warszawa 28.05.2019 r

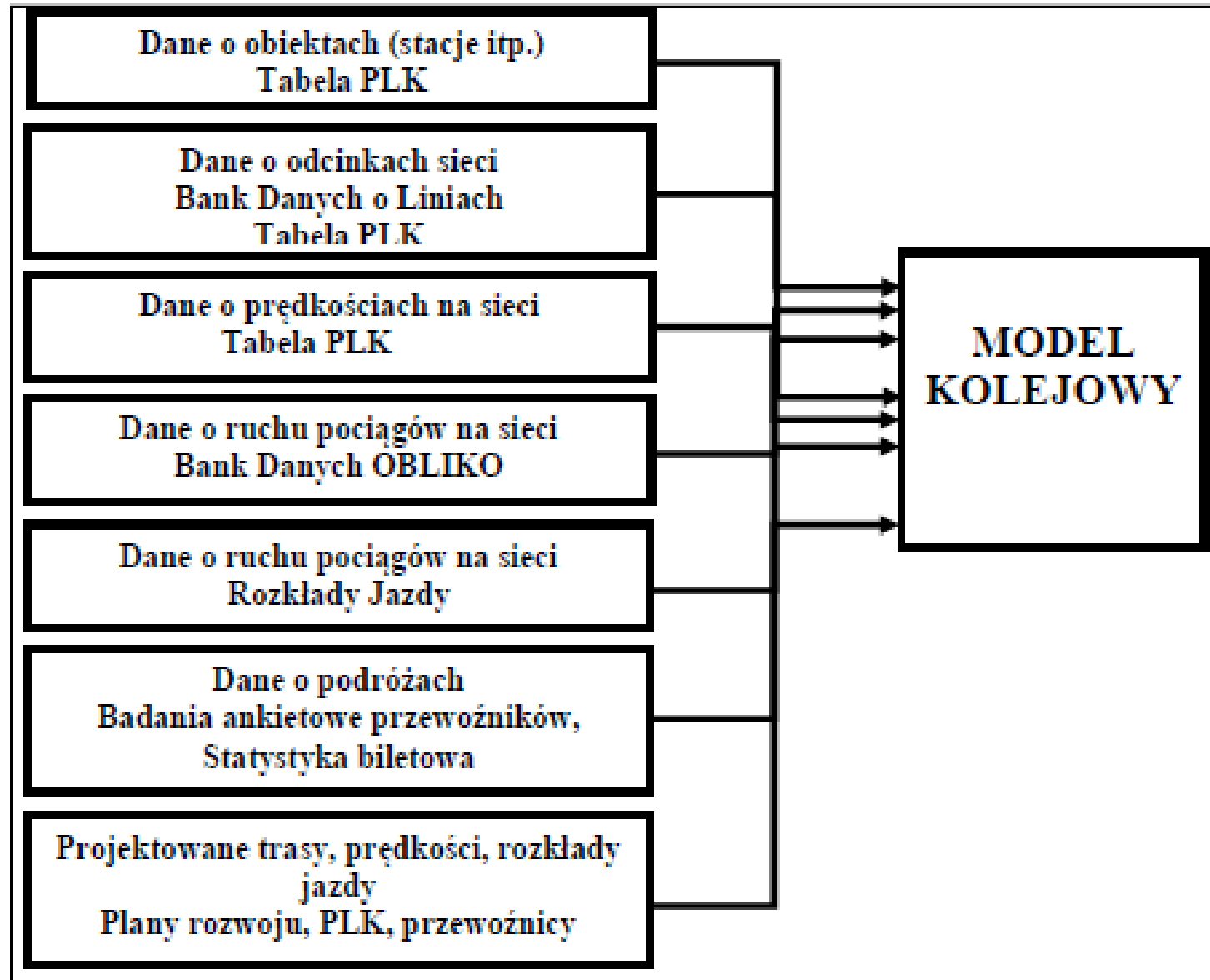
Model kolejowego ruchu pasażerskiego

Macierz pasażerskiego ruchu kolejowego
pomiędzy rejonami komunikacyjnymi
(powiatami) była elementem niezbędnym do
budowy krajowego modelu ruchu osób w
ramach prac nad
„Intermodalnym Krajowym Modelem
Ruchu”

Budowa modeli ruchu kolejowego, a zwłaszcza macierzy podróży jest silnie uwarunkowana dostępnością danych.

Pozornie w przypadku kolejowych przewozów pasażerskich macierze podróży mogłyby być budowane wykorzystując do tego celu statystyki sprzedanych biletów, określających rozmieszczenie źródeł i cele podróży i ich potencjały. Jednak swobodny dostęp do danych kolejowych jest najczęściej silnie ograniczony, a statystyki biletowe są traktowane jako tajemnice handlowe spółek przewozowych.

Pierwsze analizy tego typu zostały przeprowadzone przy wykonywaniu prognoz ruchu kolejowego do opracowania „Master Plan dla transportu kolejowego w Polsce do 2030 roku”. Opracowanie to przyjęte zostało w 2008 roku przez ówczesne Ministerstwo Infrastruktury jako podstawowy dokument określający kierunki rozwoju sieci kolejowej w Polsce. Dla potrzeb tego projektu udostępnione zostały wszystkie dane dotyczące sieci kolejowej oraz dane o przewozach będące w posiadaniu przewoźników kolejowych. Dane te zawierały liczbę pasażerów na stacjach oraz liczbę podróży pomiędzy stacjami. Pozwoliło to na przeprowadzenie kompleksowych analiz ruchu na całej sieci. W kolejnych latach, w miarę dostępu do danych, analizy te były aktualizowane.



MODEL SIECI KOLEJOWEJ



PKP POLSKIE LINIE KOLEJOWE S.A.

Regulamin przydzielania tras pociągów i korzystania z przydzielonych tras pociągów
przez licencjonowanych przewoźników kolejowych w ramach rjp 2015/2016

Załącznik 2.6

Nr linii	Nazwa linii	Wyróżnik	Nazwa punktu	Km początku	Km osi	Km końca
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	ST	Wwa Zachodnia	2,620	3,082	3,791
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	POGP	Wwa Włochy	6,510	6,804	7,030
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	PODG	Józefinów	11,721	12,088	12,456
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	ST	PRUSZKÓW	15,113	15,891	17,748
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	ST	GRODZ MAZ	28,699	29,548	30,992
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	PO	Jaktorów	34,798	35,034	35,329
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	PO	Międzyborów	40,421	40,437	40,681
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	ST	Żyrardów	41,745	43,141	43,473
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	PO	Sucha Żyrardow.	49,819	50,033	50,259
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	PO	Jesionka	51,943	51,982	52,164
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	PODG	Radziwiłłów Maz	54,500	54,920	55,117
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	PO	Radziwiłłów Maz	55,177	55,403	55,629
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	PO	Skierniew Rawka	60,561	60,778	61,000
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	PODG	Miedniewice	60,998	61,497	62,142
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	ST	SKIERNIEWICE	63,570	65,929	66,762
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	PODG	Skierniew Park	67,295	67,690	68,065
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	PO	Dabrowice Skier	71,253	71,355	71,453
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	PO	Maków	75,157	75,372	75,598
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	ST	Płyćwia	79,300	80,131	81,712
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	PO	Lipce Reymontow.	84,478	84,710	84,938
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	PO	Krosnowa	89,587	89,822	90,055
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	PO	Przyłęk Duży	92,114	92,345	92,576
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	ST	Rogów	94,500	95,723	96,627
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	PO	Wągry	99,387	99,619	99,866

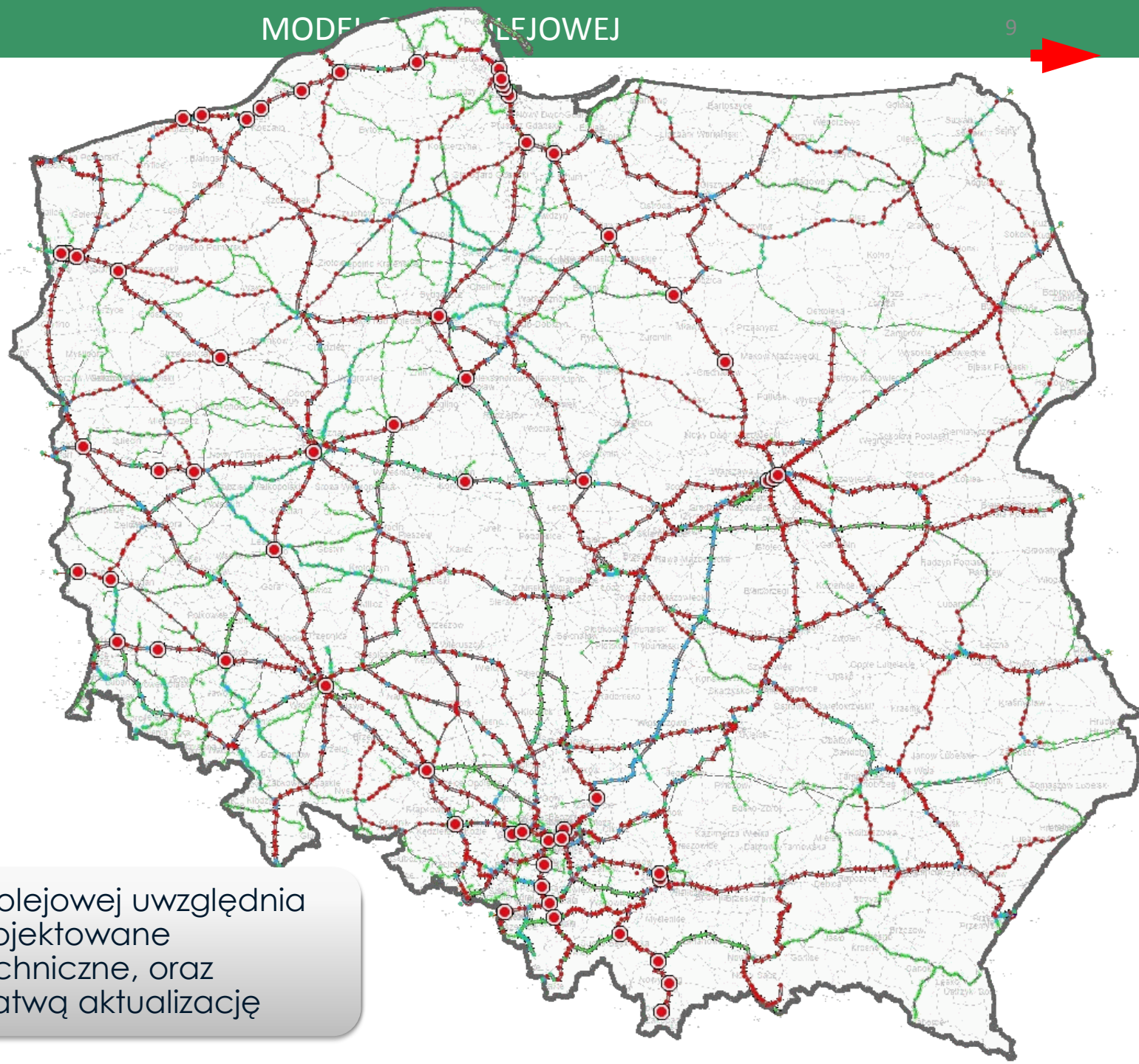


PKP POLSKIE LINIE KOLEJOWE S.A.

Regulamin przydzielania tras pociągów i korzystania z przydzielonych tras pociągów
przez licencjonowanych przewoźników kolejowych w ramach rjp 2016/2017

Załącznik 2.1(P)

Nr linii	Nazwa linii	Tor	Km początku	Km końca	Maksymalna prędkość [km/h]
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	N	2,620	2,800	90
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	N	2,800	4,300	90
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	N	4,300	5,000	100
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	N	5,000	7,100	120
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	N	7,100	57,700	160
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	N	57,700	63,300	160
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	N	63,300	65,400	150
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	N	65,400	67,600	100
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	N	67,600	71,700	150
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	N	71,700	75,750	160
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	N	75,750	81,600	150
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	N	81,600	86,100	140
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	N	86,100	91,950	160
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	N	91,950	92,800	150
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	N	92,800	103,500	160
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	N	103,500	106,100	100
1	WARSZAWA ZACHODNIA - KATOWICE	N	106,100	106,500	120



Sieć kolejowa:

Odcinki (6506)

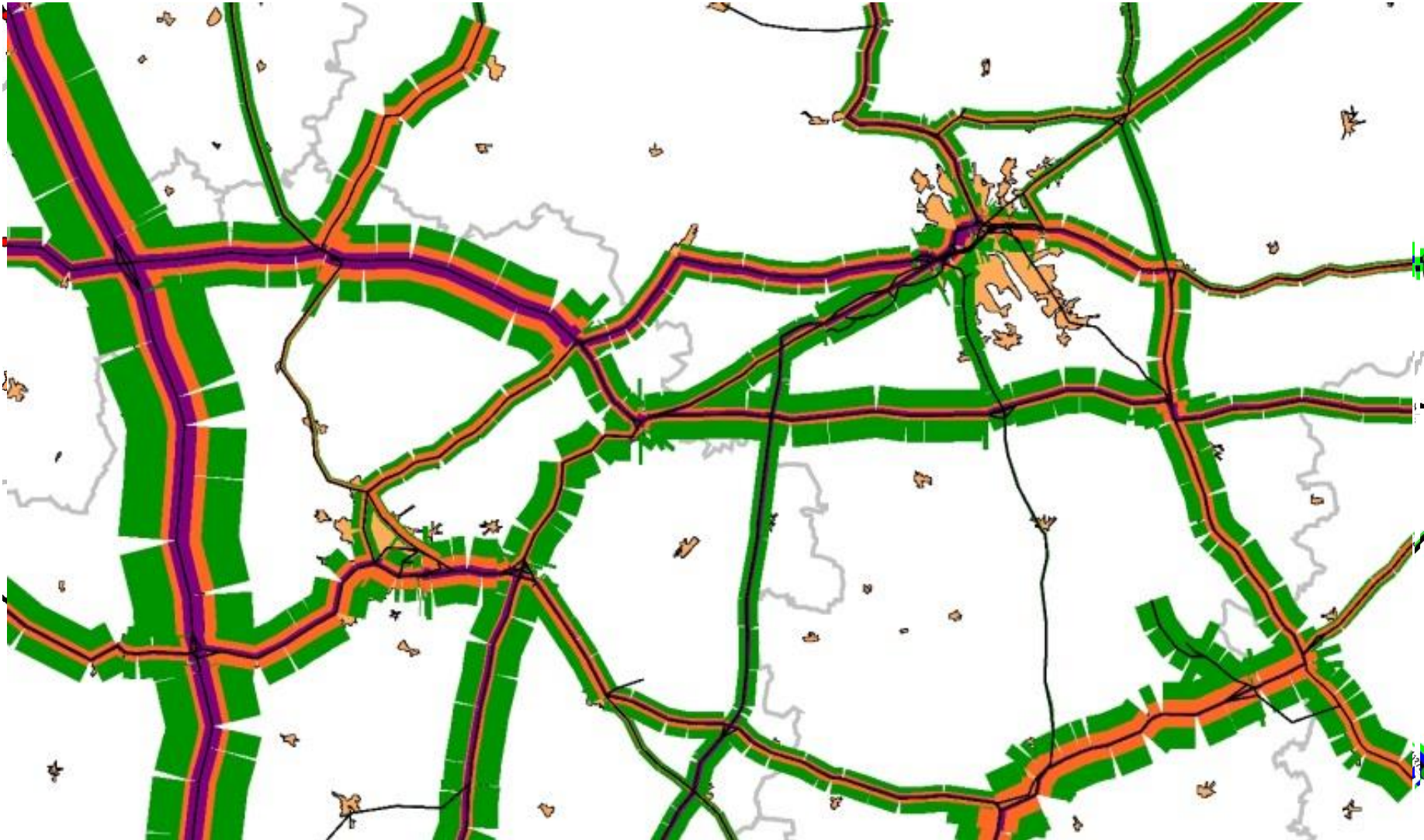
Węzły (5771)

W tym:

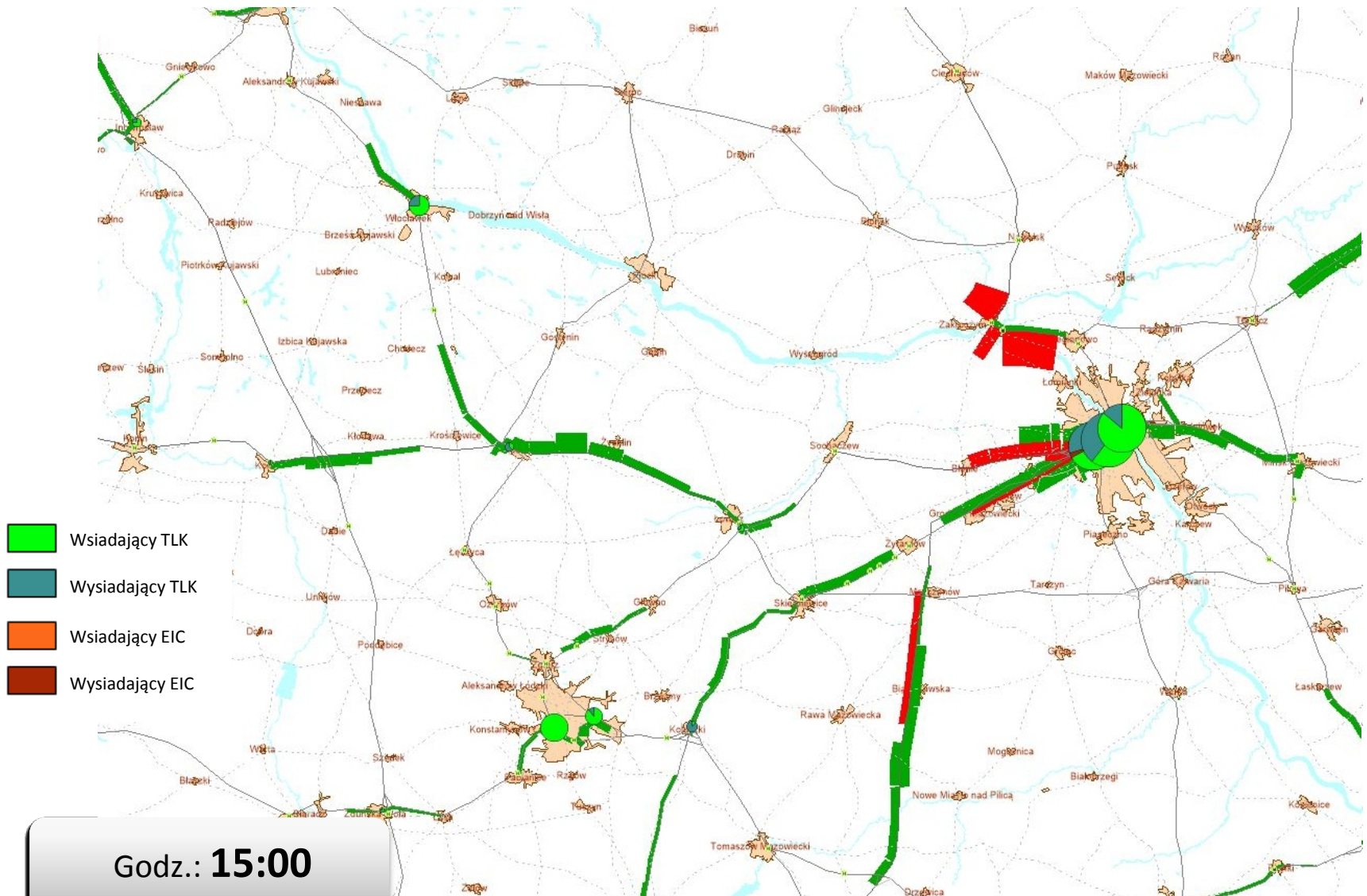
Stacje (2300)

Model Sieci Kolejowej uwzględnia istniejące i projektowane parametry techniczne, oraz pozwala na łatwą aktualizację

Odcinki sieci - liczba pociągów towarowych



PRZEBIEGI ODCINKOWE WG LICZBY PASAŻERÓW (DODATKOWO WSIADAJĄCY/WYSIADAJĄCY: INTERWAŁY 15 MIN)





Model generacji podróży w rejonach komunikacyjnych



Zmienne objaśniające

- ☐ Liczba mieszkańców w otoczeniu stacji
- ☐ Liczba pociągów
- ☐ Wielkość PKB
- ☐ Stopień zmotoryzowania
- ☐ Liczba firm
- ☐ Liczba miejsc noclegowych

Model generacji podróży - procedura

Przypisanie stacji do rejonów
(stacje obsługujące różne kategorie pociągów)

Liczba mieszkańców w zasięgu stacji
(w promieniu 2, 5 i 10 kilometrów), w podziale na mieszkańców obszarów wiejskich i miejskich

Atrakcyjność rejonu
- liczba firm i miejsc noclegowych w obszarze oddziaływania stacji

Potencjał ekonomiczny rejonu - pasażerów kolei, liczona jako iloczyn liczby mieszkańców w obszarze oddziaływania stacji i PKB per capita dla tego rejonu

Potencjał motoryzacji- w posiadaniu potencjalnych pasażerów kolei, liczony jako iloczyn liczby mieszkańców w obszarze oddziaływania stacji i wskaźnika motoryzacji dla tego rejonu

Dostępność - suma pociągów zatrzymujących się w ciągu doby na stacjach

Potencjalna liczba pasażerów kolei - dla każdego rejonu na podstawie równań regresyjnych

Modele generacji podróży - wzory

Podróże regionalne

$$LP_{reg} = a * POC_{reg} + b * LUD5w + c * LUD2m + d * SO5m + e * PKB5m$$

Podróże międzyregionalne

$$LP_{mreg} = a * POC_{mreg} + b * LUD5m - c * SO5m + e * PKB5m + e * FIRMV10$$

Podróże międzyaglomeracyjne

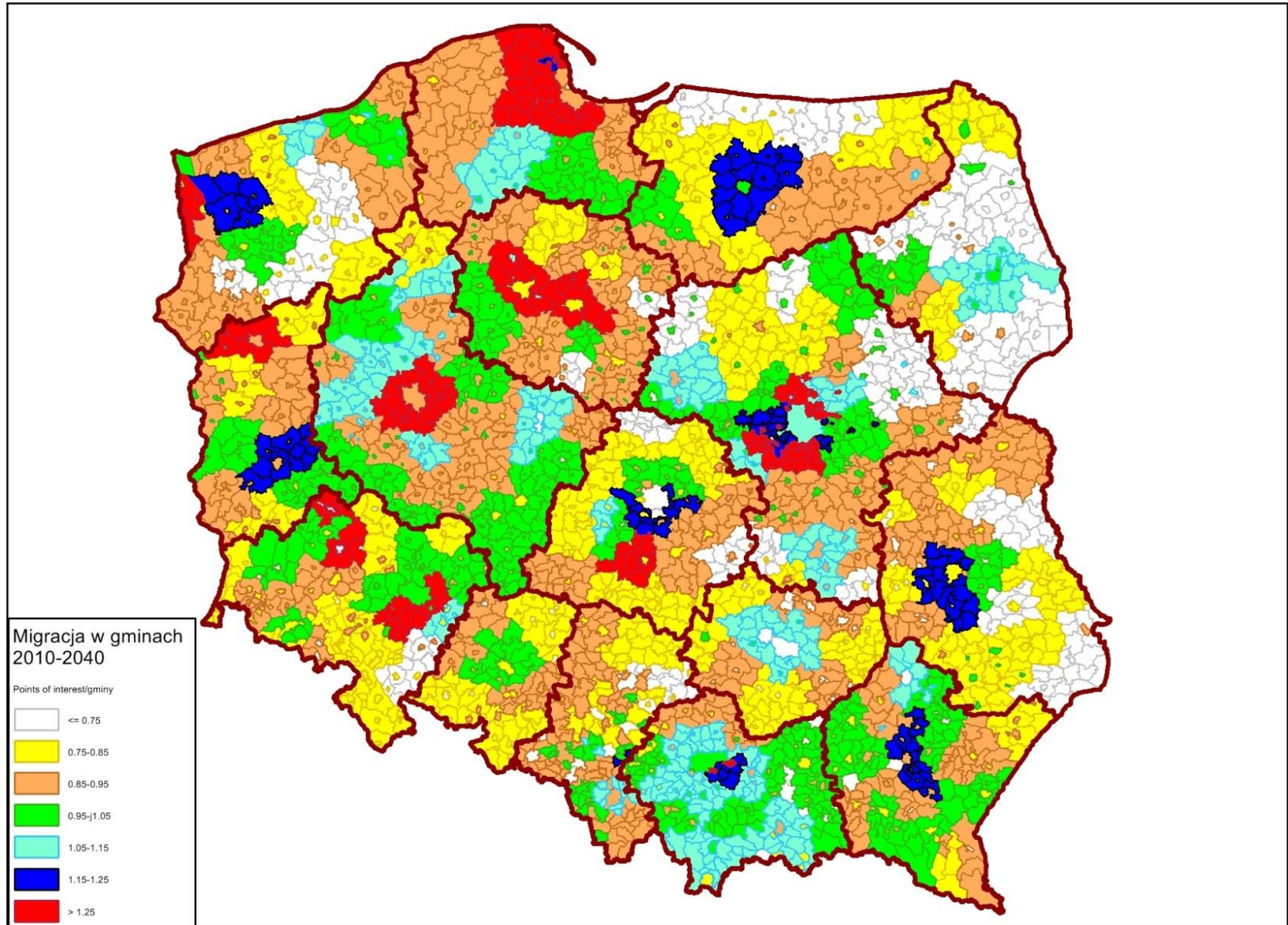
$$LP_{mag} = a * POC_{mag} - c * SO5m + d * PKB5m + e * MHOTEL10$$

Modele generacji podróży

- LPreg – liczba podróży rozpoczynanych w danym rejonie pociągami regionalnymi,*
LPMreg – liczba podróży rozpoczynanych w danym rejonie pociągami międzyregionalnymi,
LPmag – liczba podróży rozpoczynanych w danym rejonie pociągami międzyaglomeracyjnymi,
POCreg – liczba pociągów regionalnych zatrzymujących się na stacjach w rejonie
POCmreg – liczba pociągów międzyregionalnych zatrzymujących się na stacjach w rejonie
POCmag – liczba pociągów międzyaglomeracyjnych zatrzymujących się na stacjach w rejonie
LUD5w – liczba mieszkańców w obszarze wiejskim oddziaływania stacji – promień 5 km,
LUD2m – liczba mieszkańców w obszarze miejskim oddziaływania stacji – promień 2 km,
SO5m – liczba samochodów mieszkańców w promieniu 5 km,
PKB5m – wartość PKB w obszarze wokół stacji do 5 km
FIRMY10 – liczba firm w obszarze oddziaływania stacji – 10 km,
MHOTEL10 – liczba miejsc noclegowych w obszarze oddziaływania stacji – 10 km.
a, b, c, d, e, – współczynniki regresji

Zmienne objaśniające używane do analiz i obliczeń muszą być łatwo dostępne zarówno dla stanu istniejącego jak i okresu dla którego liczone są prognozy ruchu

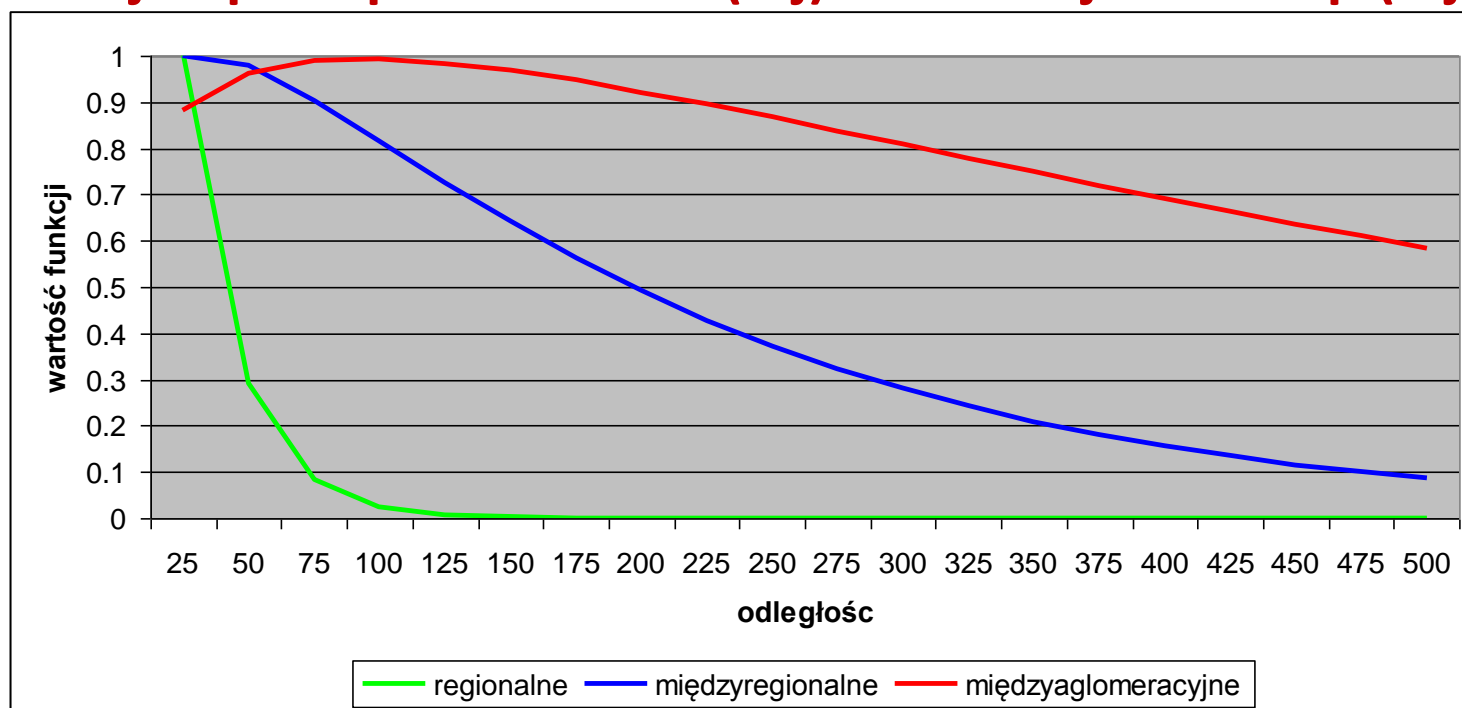
Tempo zmian w liczbie ludności w gminach w okresie 2010-2040



Model rozkładu przestrzennego podróży (grawitacyjny)

Uwzględnia wielkości ruchu generowanego w rejonach oraz czasy przejazdu pomiędzy rejonami.

Funkcja oporu przestrzeni: $f(C_{ij}) = A * C_{ij}^B * \text{Exp}(C_{ij})^C$



Model rozkładu przestrzennego podróży (grawitacyjny)

Uwzględnia wielkości ruchu generowanego w rejonach oraz czasy przejazdu pomiędzy rejonami.

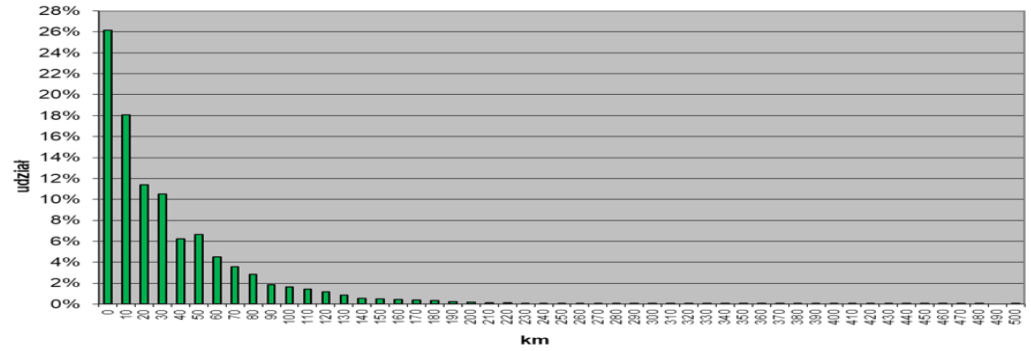
Kalibracja macierzy podróży: **sumy podróży** oraz wykonane **prace przewozowe** zgodne ze statystykami GUS.

	STATYSTYKA GUS – PRZEWOZY KOLEJOWE		
	Pasażerowie/dobę	Pasażerokilometry /dobę	średnia długość podróży
regionalne	674 117	26 230 136	38.9
międzyregionalne	65 753	14 846 301	225.79
międzyaglomeracyjne	16 712	5 664 110	338.92
Suma:	756 712	46 740 548	61.77

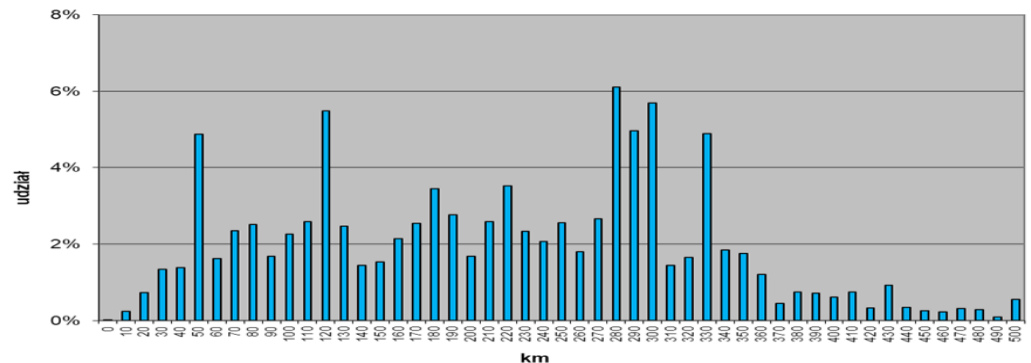
Zaproponowany model generacji-dystrybucji podróży sprawdzono, opracowując krajową kolejową macierz podróży osób dla której uzyskano dobre wskaźniki zgodności z parametrami kontrolnymi. W przypadku średnich długości podróży na poziomie 90-99,5% w zależności od rodzaju przewozów.

Rozkłady długości podróży

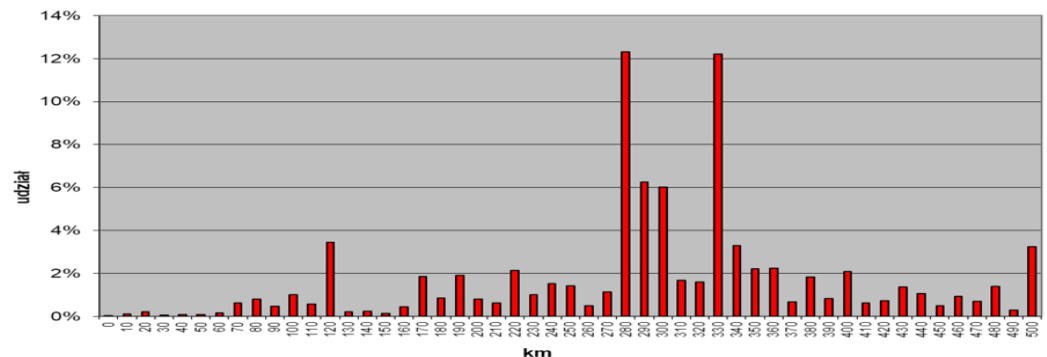
Podróże regionalne
38,7 km (38,9 km)



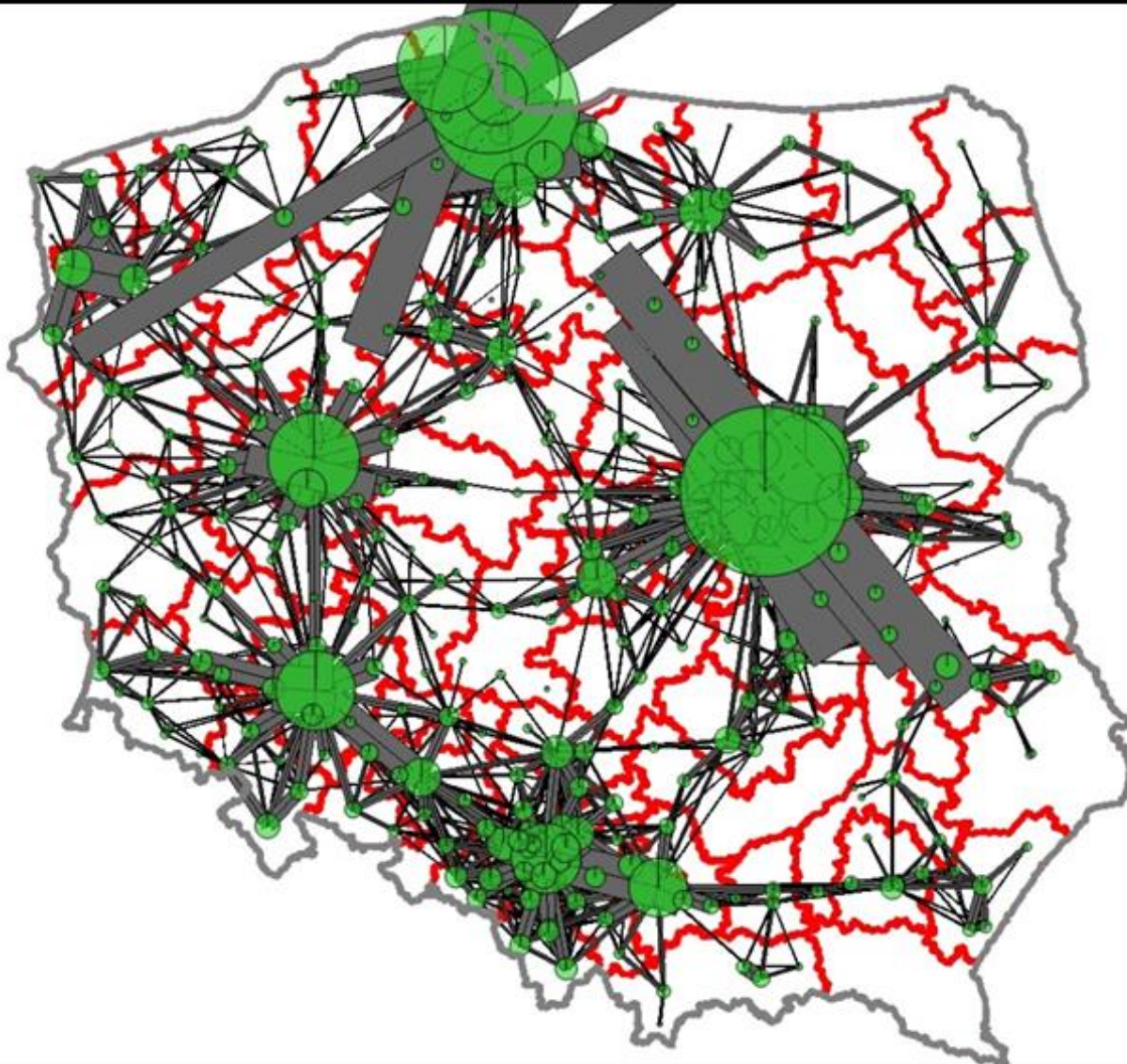
Podróże międzyregionalne
220,1 km (225,8 km)



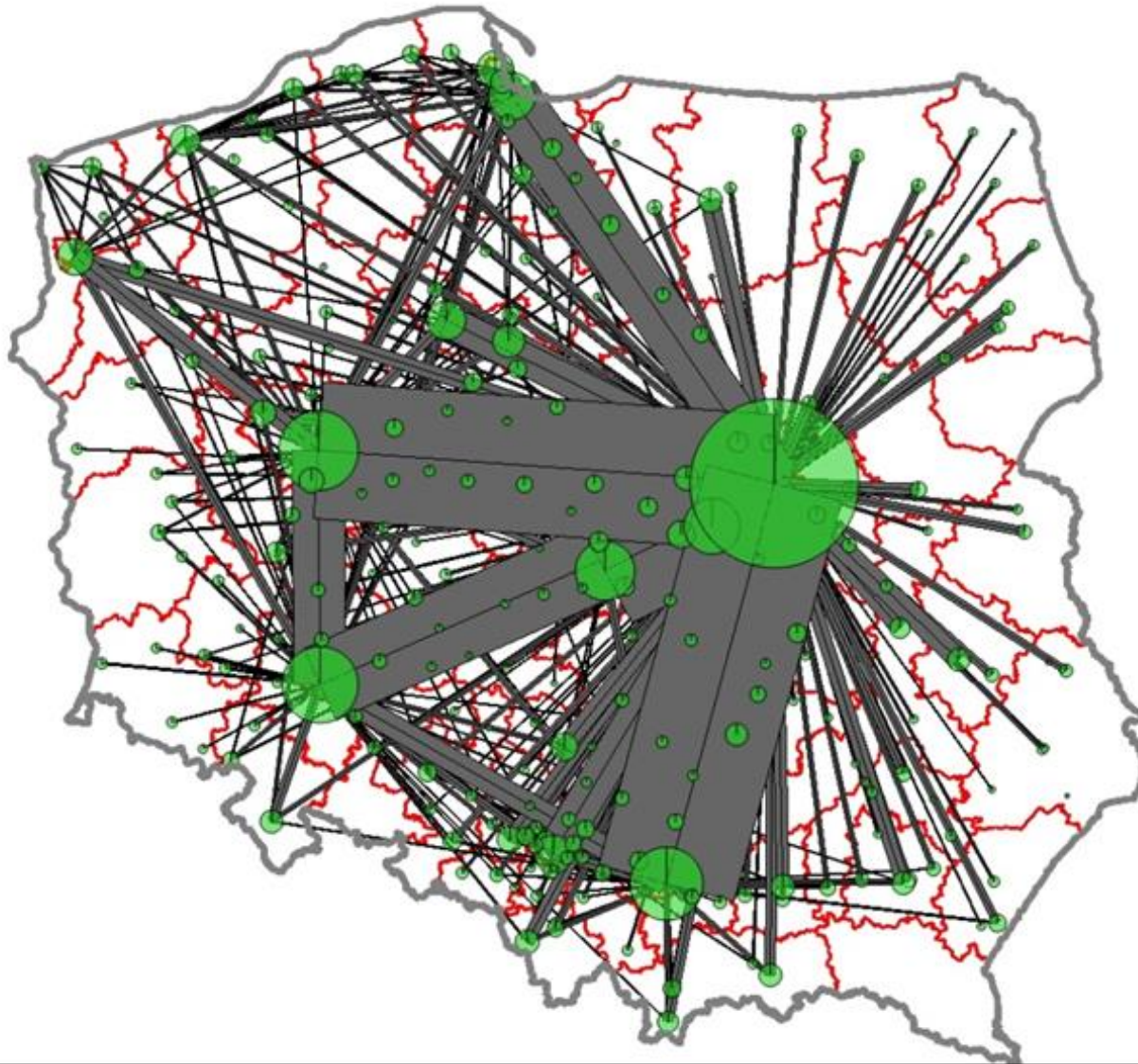
Podróże międzyaglomeracyjne
303,8 km (338,92 km)



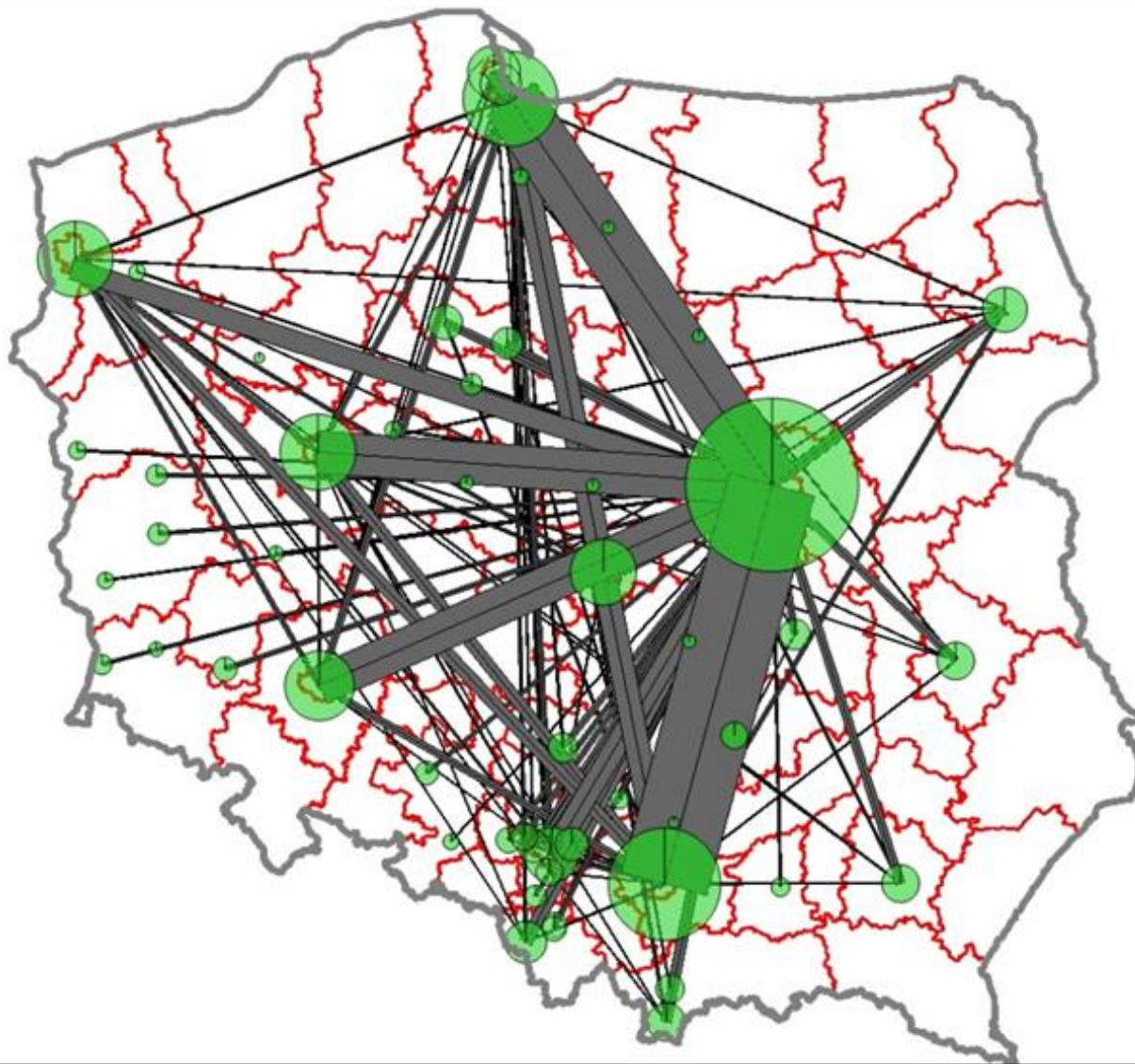
Dobowa więźba podróży regionalnych



Dobowa więźba podróży międzyregionalnych

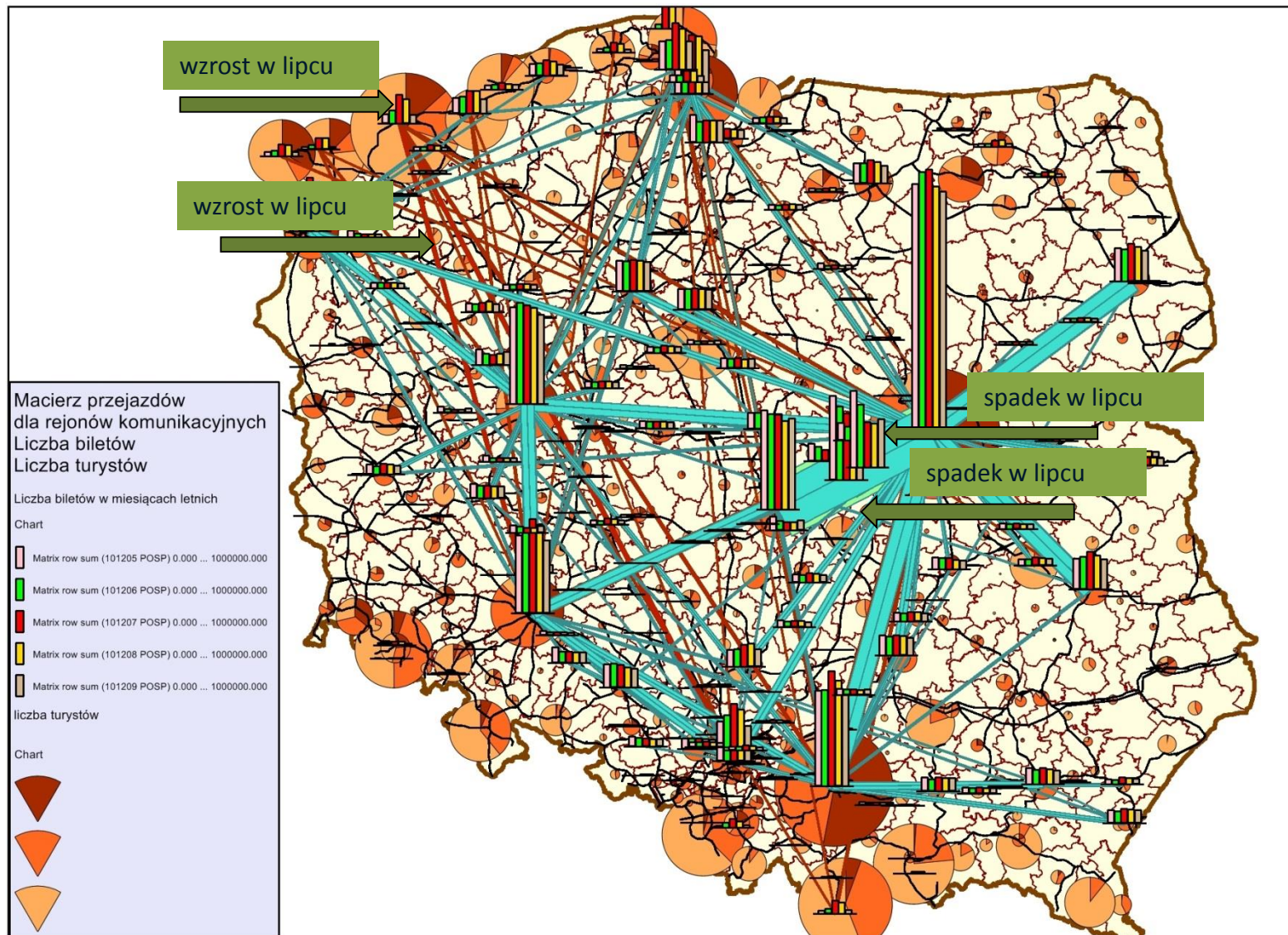


Dobowa więźba podróży międzyaglomeracyjnych



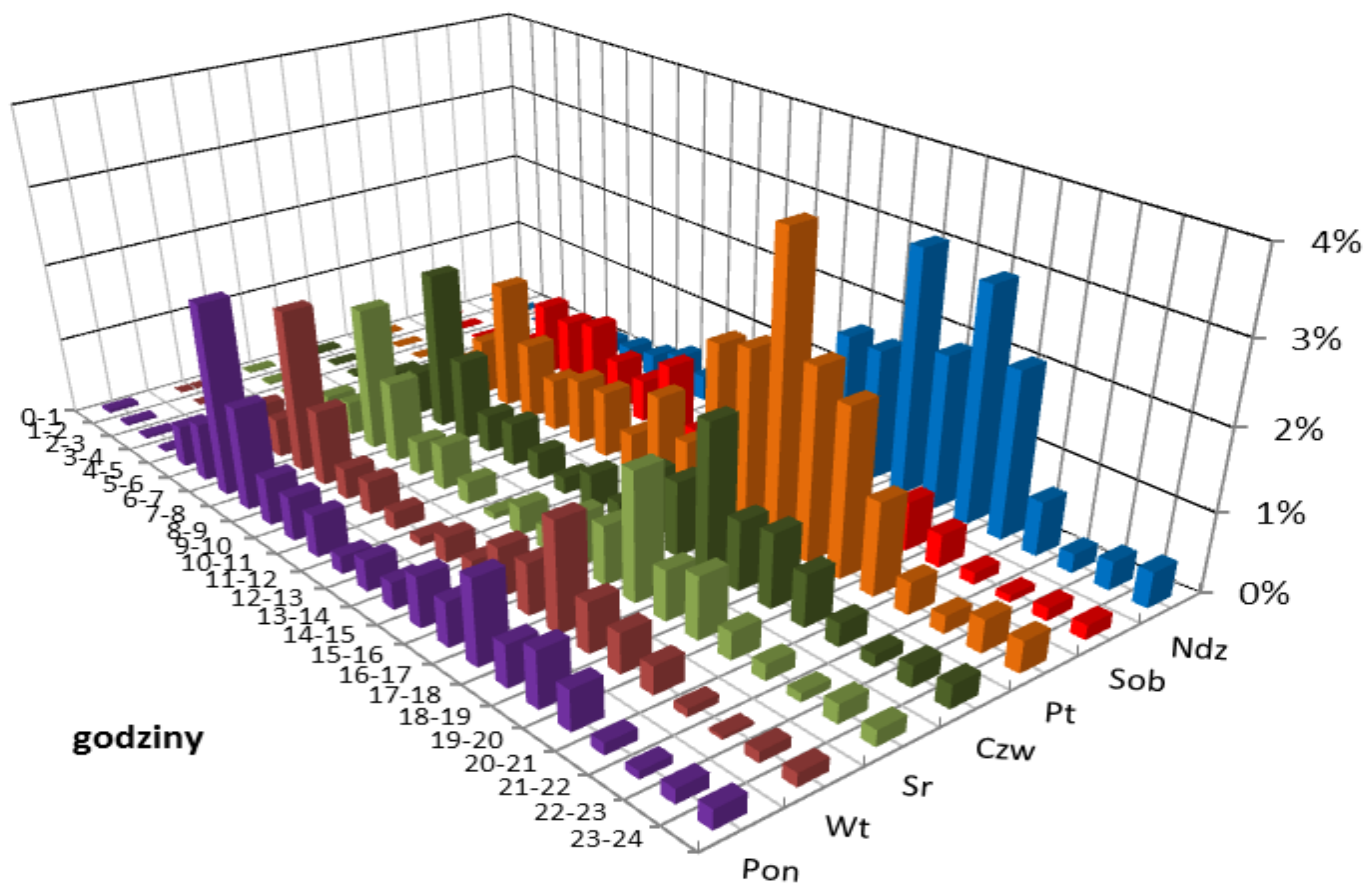
Zmienność sezonowa w relacjach podróży

Liczba przejazdów, liczba biletów, miejsca turystyczne



Dobowe wahania ruchu kolejowego (międzyregionalny i międzyaglomeracyjny)

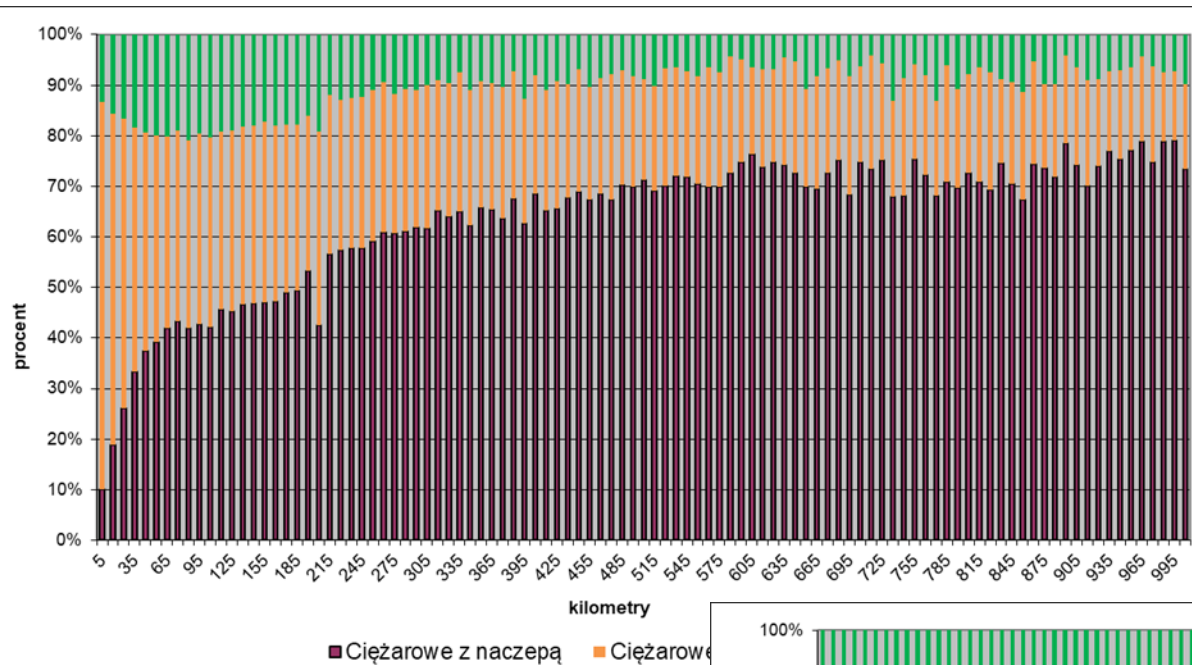
udział w tygodniu



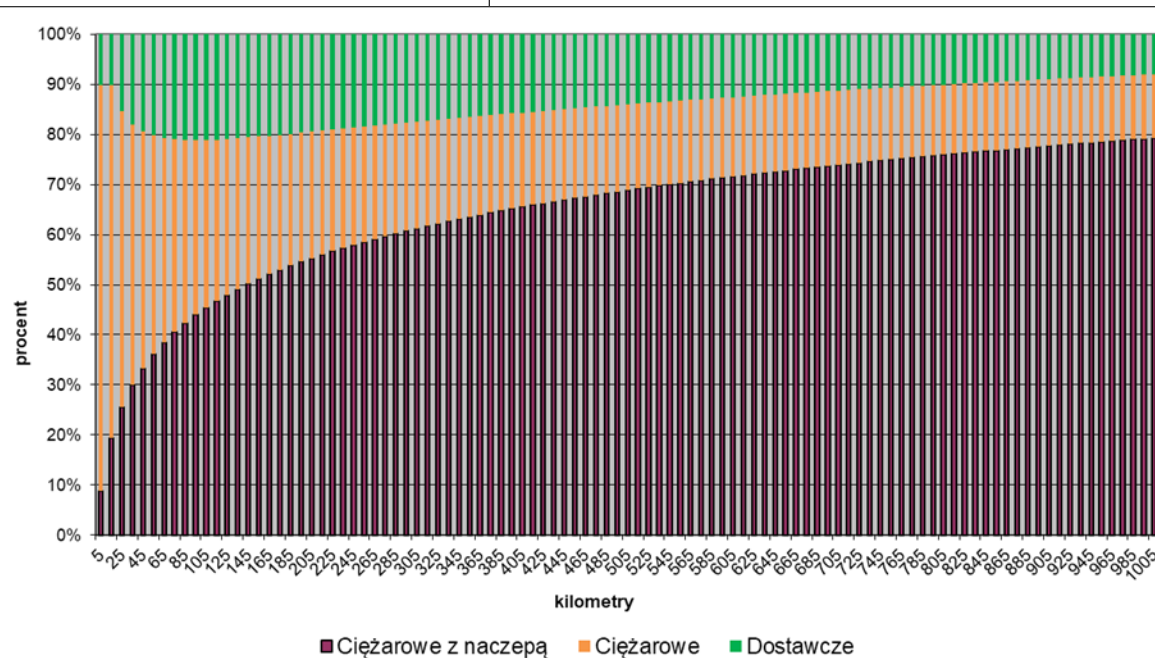
Stosowanie tej metody daje dobre rezultaty i może ona być z powodzeniem stosowana do modelowania podróży kolejowych. Może być także wzbogacana, poprzez rozwijanie badań zachowań transportowych osób korzystających ze stacji i przystanków kolejowych. Niemniej jednak nie można tracić z pola widzenia modeli bazujących na kompleksowych badaniach pasażerów kolei i bazach danych z systemów biletowych. Dostęp do tego typu danych, na potrzeby modelowania podróży, nie powinien być ograniczany. Wyniki modelowania służą bowiem lepszemu planowaniu i projektowaniu inwestycji finansowanych ze środków publicznych.

Analiza ruchu towarowego

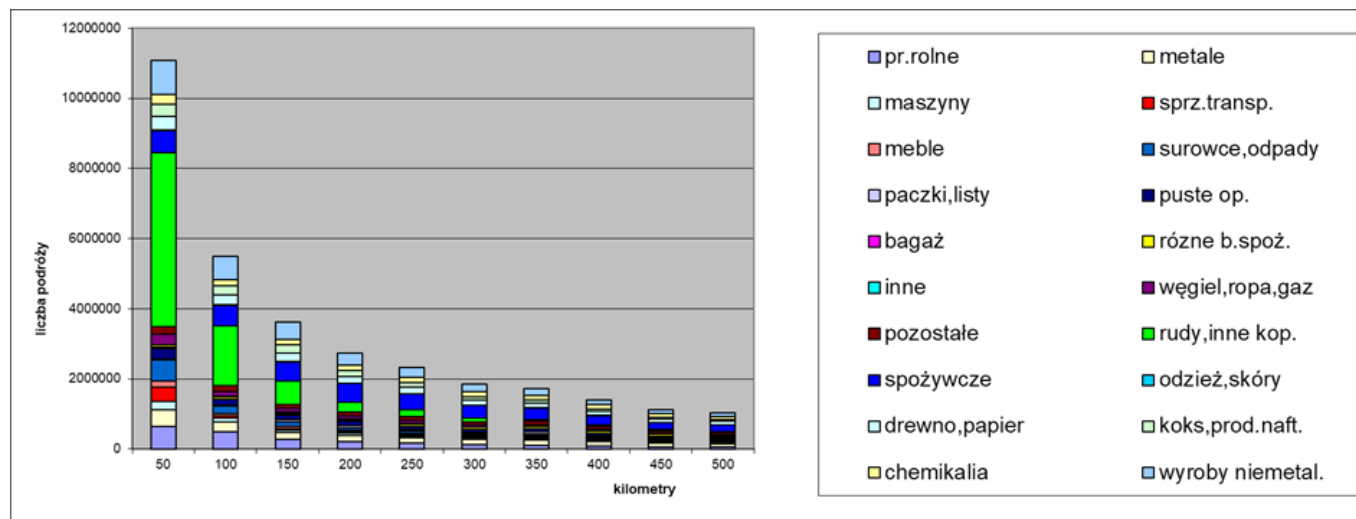
ANALIZA RUCHU TOWAROWEGO



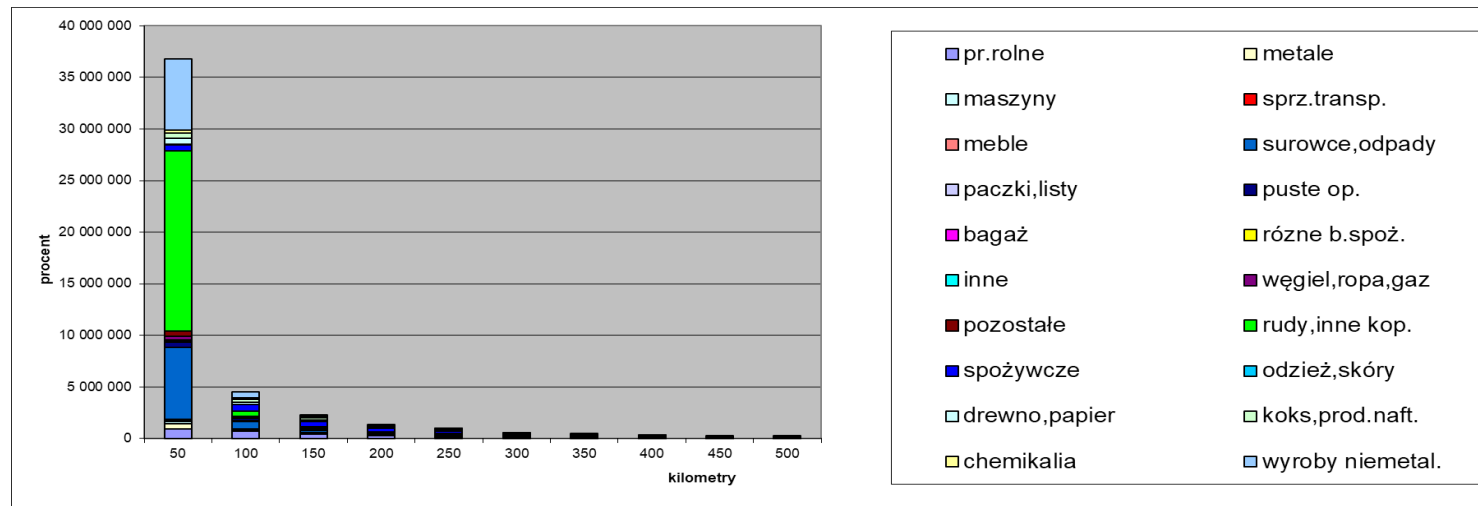
Procentowy udział podróży pojazdów różnych typów w przedziałach odległości według badań GUS i wynikowy model



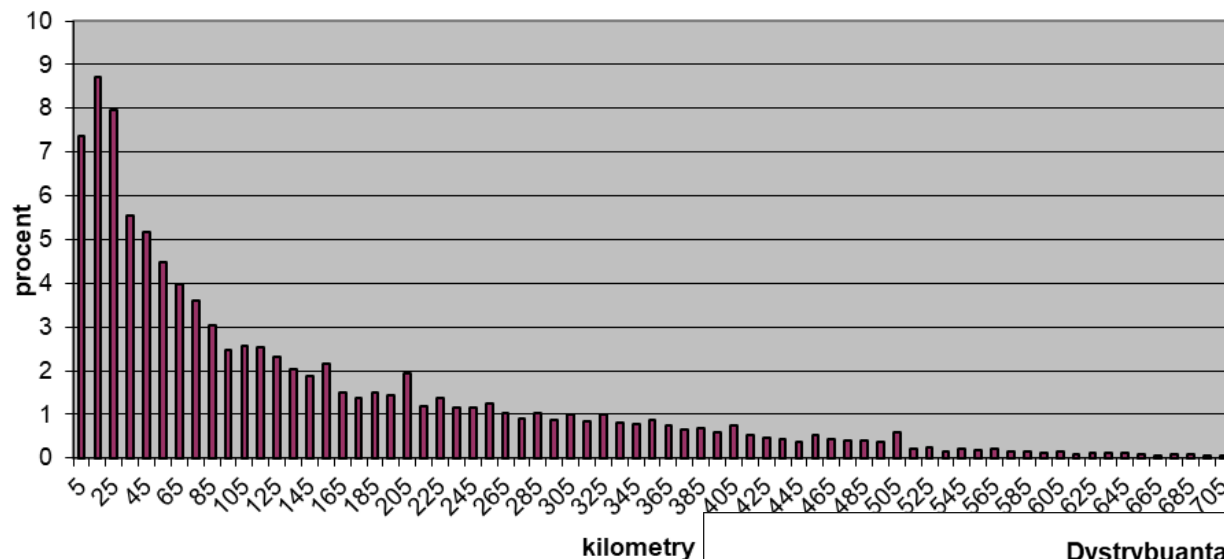
Liczebność podróży wg długości podróży i rodzaju ładunku (ciężarowe z naczepą DMC>12 ton)



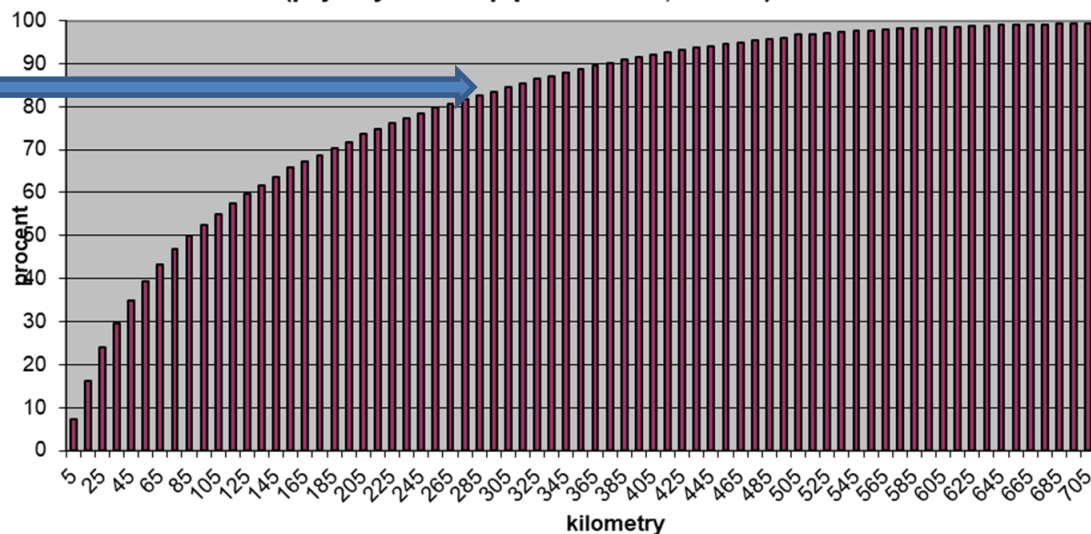
Liczebność podróży wg długości podróży i rodzaju ładunku (ciężarowe bez naczepy DMC>12 ton),



**Liczebność podróży w przedziałach długości podróży
(pojazdy z naczepą DMC>12 ton, Polska)**

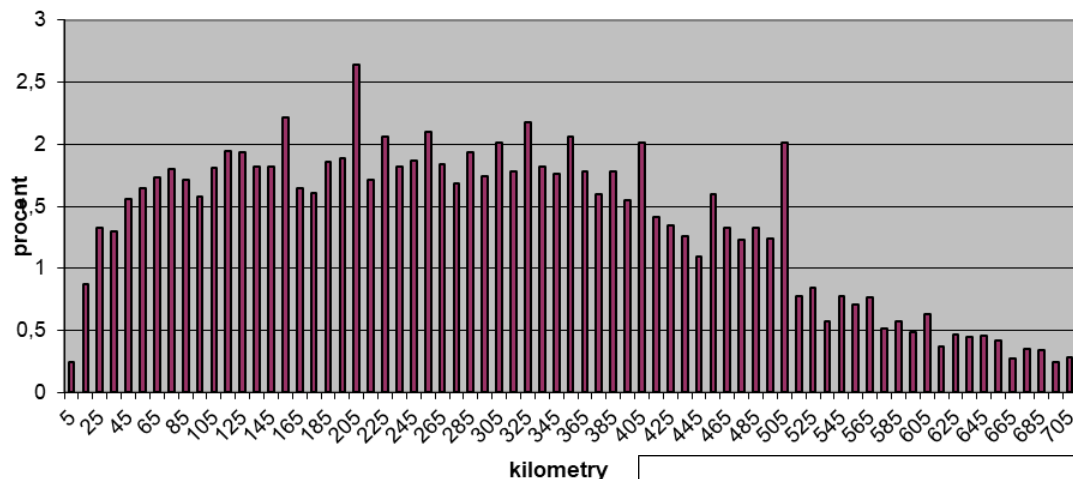


**Dystrybuanta liczby podróży
(pojazdy z naczepą dmc>12ton, Polska)**

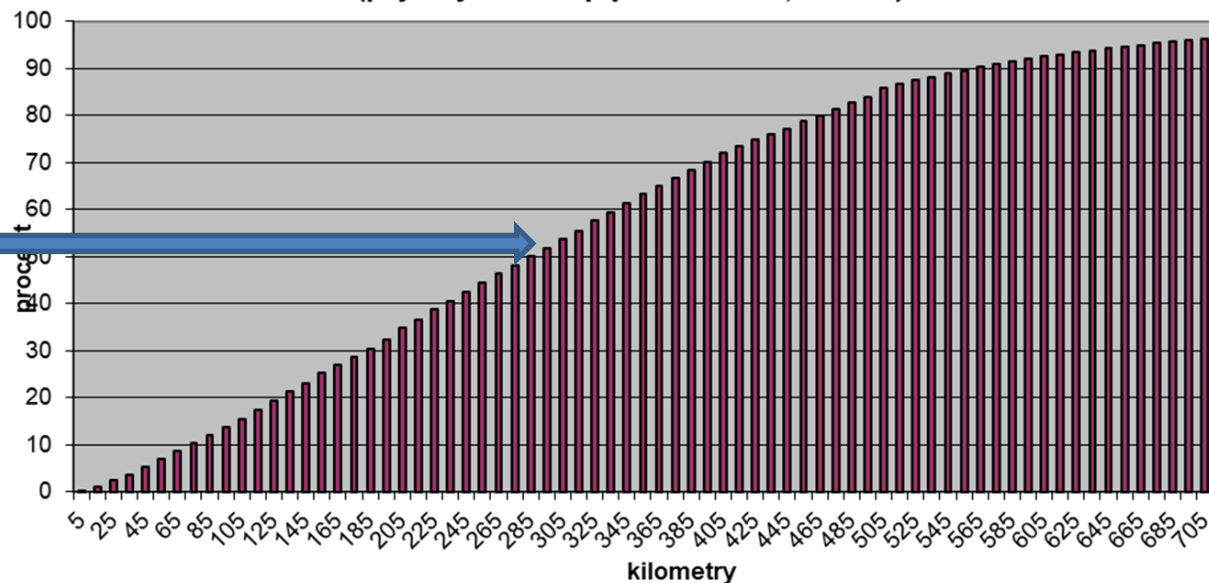


Podróże samochodów ciężarowych z naczepą na odległość ponad 300 km stanowią nieco ponad 15% wszystkich podróży tego typu pojazdów

**Wielkość pracy eksploatacyjnej w przedziałach odległości
(pojazdy z naczepą DMC>12 ton, Polska)**

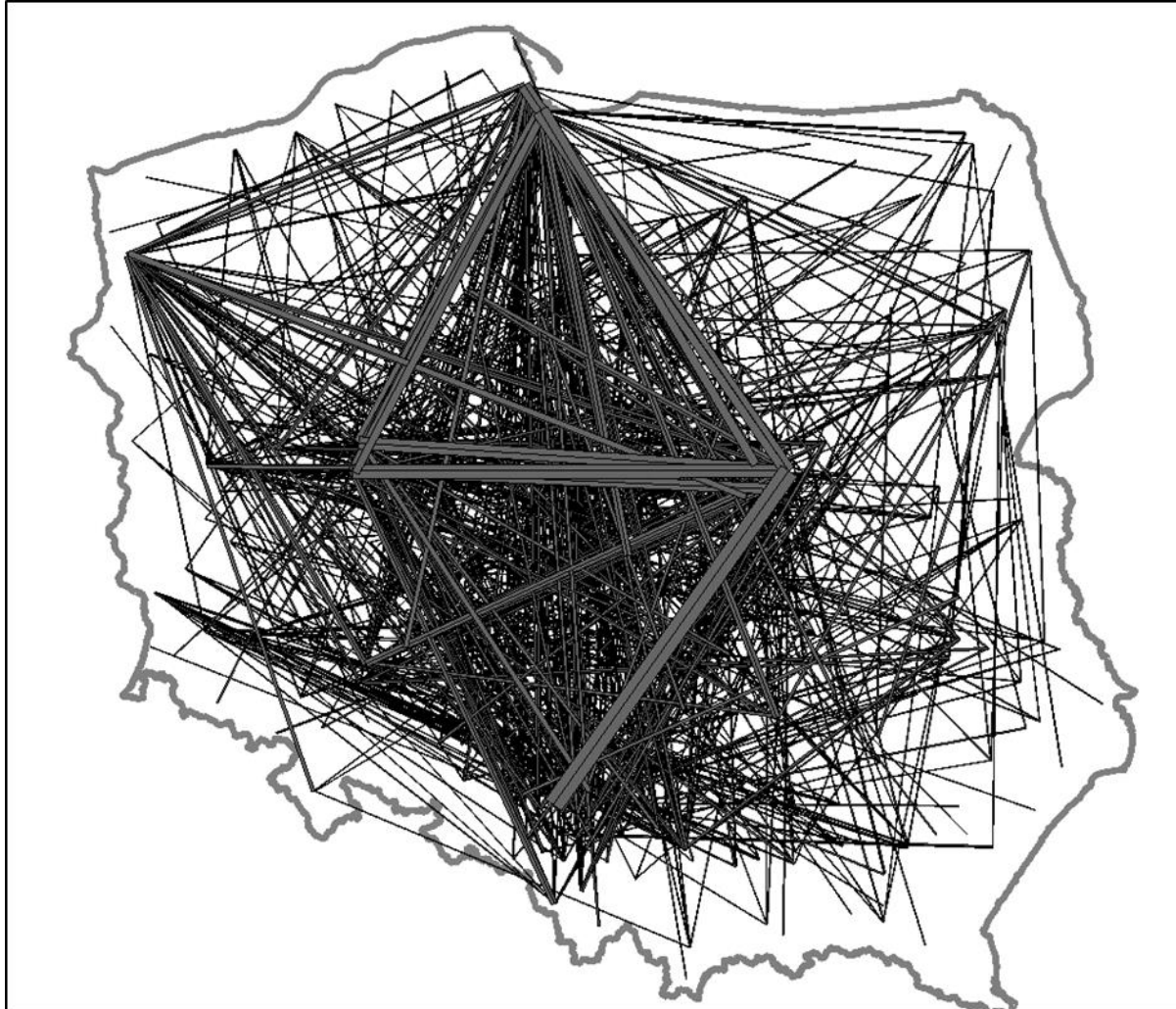


**Dystrybucja pracy eksploatacyjnej
(pojazdy z naczepą DMC>12ton, Polska)**

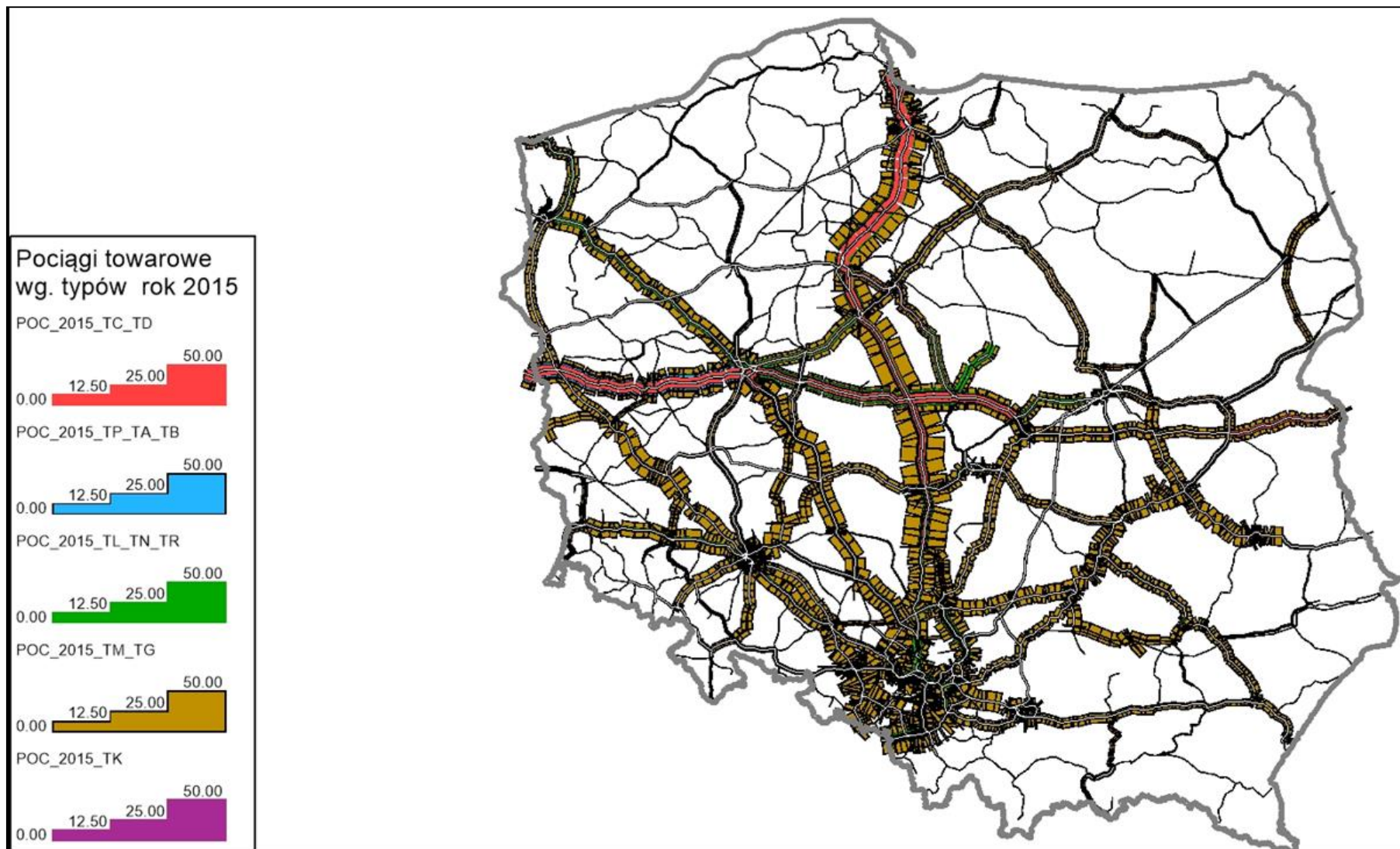


**Praca eksploatacyjna dla podróży
na odległość ponad 300 km
stanowi prawie 50% pracy
eksploatacyjnej wykonywanej
przez wszystkie samochody
ciężarowe z naczepą**

Macierz podróży o długości ponad 300 km, pojazdów ciężarowych z naczepą o DMC>12 ton, w granicach Polski, bez ruchu zagranicznego



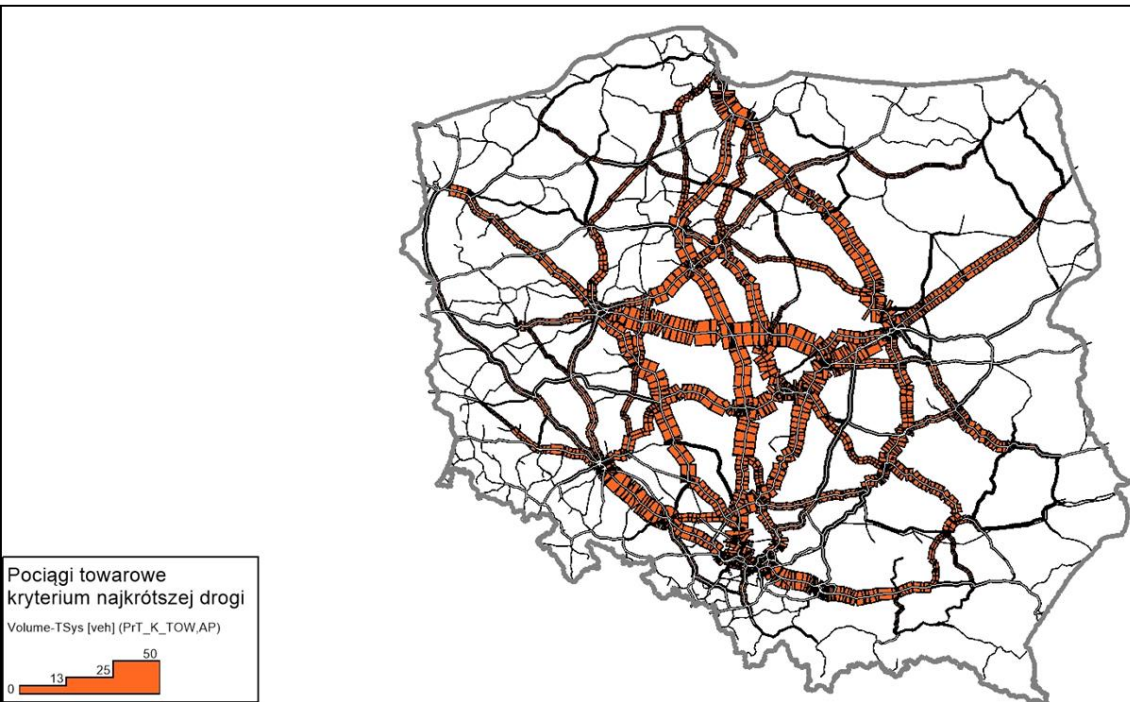
Średnie obciążenie sieci kolejowej ruchem pociągów towarowych



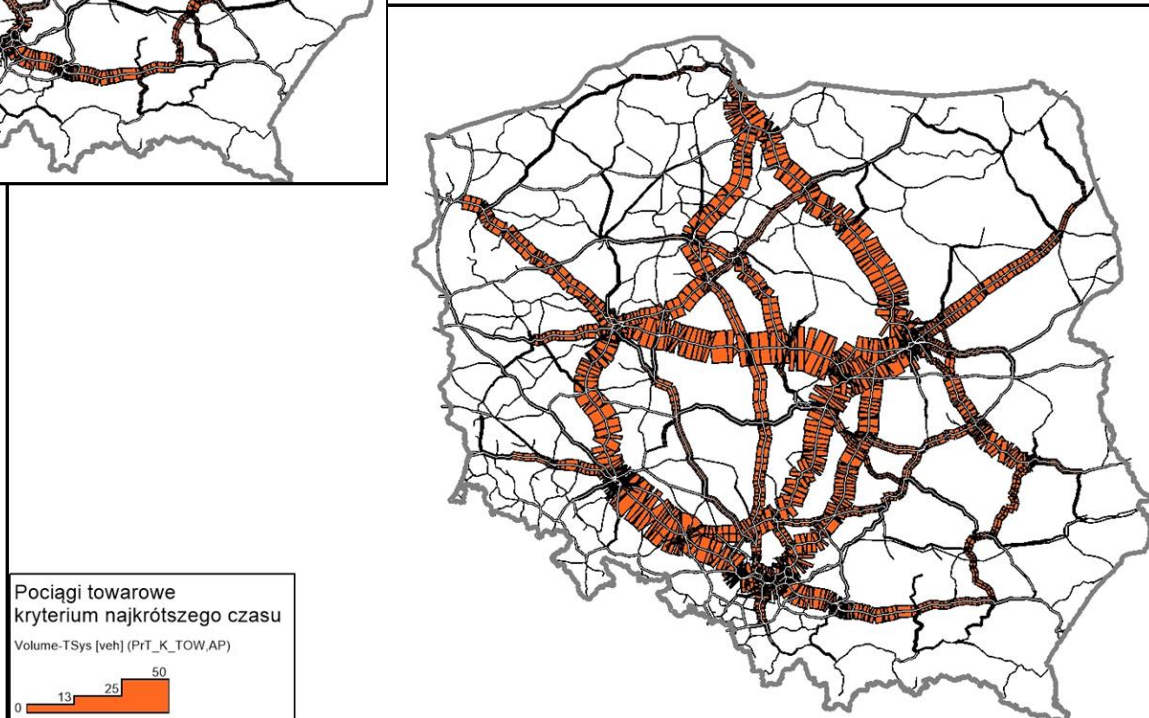
Macierz samochodów ciężarowych z naczepą została przekształcona na macierz pociągów towarowych przy przyjęciu następujących założeń:

- na podstawie wcześniejszych ustaleń, macierz samochodów została przeliczona na macierz ton, przyjmując że jeden samochód przewozi średnio 16 ton ładunku**
- przyjęto że jeden pociąg towarowy ma masę brutto średnio 1500 ton, a więc przewozi 700 ton ładunku netto**

Kryterium najkrótszej drogi



Kryterium najkrótszego czasu



Pokazana została prosta analiza której wynik wskazuje które trasy kolejowe i w jakim stopniu byłyby dodatkowo obciążone przy przyjęciu zasady, że przewóz wszystkich ładunków powyżej 300 km odbywa się koleją.

Do wykonania pełnej wiarygodnej analizy konieczne jest uwzględnienie następujących elementów:

- **analiza struktury ładunków przewożonych samochodami na odległość powyżej 300 km i wybranie tych grup które mogą być przejęte przez kolej**
- **parametrów technicznych odcinków sieci kolejowej dla ruchu towarowego takich jak prędkość, dopuszczalny nacisk, skrajnia itp.**
- **parametrów ruchowych, takich jak wielkość aktualnego obciążenia odcinków sieci ruchem pociągów towarowych i osobowych, przepustowość odcinków i stopień jej wykorzystania**
- **parametrów ekonomicznych, takich jak poziom opłat za przejazd dla pociągów różnych typów na różnych trasach**
- **analiza obecnych preferencji przewoźników przy wyborze tras pociągów, na podstawie zapisów przebiegu obecnych tras pociągów towarowych w zbiorze SEPE**

Przygotowany w ramach programu RID-I /62 2A „Krajowy Model Ruchu”, zawierający wspólny model sieci drogowej i kolejowej, umożliwia takie analizy po wprowadzeniu wskazanych wyżej danych

Dziękuję za uwagę