

# KRAJOWY MODEL TRANSPORTOWY I JEGO ZASTOSOWANIE W PROGNOZOWANIU RUCHU DLA POTRZEB PKP INTERCITY S.A.

---

**Andrzej Waltz**

dr inż., 04-715 Warszawa, ul. Kożuchowska 2a, tel. 605 404 209, e-mail: awaltz@poczta.onet.pl

---

*Streszczenie. Krajowy Model Transportowy stanowi jednolitą i kompleksową bazę danych o transporcie. Jest to uporządkowany zbiór informacji pochodzących z różnych źródeł, zebranych w jednym systemie informatycznym, który, wraz z odpowiednimi modelami transportowymi, umożliwia wykonywanie krótkoterminowych (do 5 lat) i długoterminowych (do 30 lat) prognoz ruchu oraz analiz transportowych. Może być również wykorzystywany do wdrażania wyników analiz w bieżącej eksploatacji. Do budowy modelu zastosowany został standardowy program komercyjny VISUM służący do budowy baz danych o transporcie i analiz transportowych. Model zawiera cztery warstwy informacyjne: model obszaru Polski, model sieci kolejowej, model sieci drogowej, model połączeń lotniczych. Spójny model transportowy dla wszystkich środków transportowych w skali kraju, pozwala na przeprowadzenie analiz ruchu uwzględniających zmiany w zagospodarowaniu przestrzennym kraju, rozbudowę infrastruktury transportowej, zmiany w ofercie przewozowej, a także wzajemne oddziaływanie zarówno różnych środków transportu jak i różnych przewoźników.*

*Słowa kluczowe: model transportowy prognoza kolejowa krajowa*

## 1. Założenia ogólne

Krajowy Model Transportowy stanowi jednolitą i kompleksową bazę danych o transporcie. Jest to uporządkowany zbiór informacji pochodzących z różnych źródeł, zebranych w jednym systemie informatycznym, który, wraz z odpowiednimi modelami transportowymi, umożliwia wykonywanie krótkoterminowych i długoterminowych prognoz ruchu oraz analiz transportowych. Może być również wykorzystywany do wdrażania wyników analiz w bieżącej eksploatacji.

Zgromadzone dane zawierają informacje o stanie istniejącym, dane historyczne o wielkości ruchu a także dotyczące przyszłych projektów. Informacje te są zbierane w lokalnych systemach informatycznych działających na rzecz poszczególnych gałęzi transportu, a także urzędach statystycznych i jednostkach administracji państwowej i są umiejscowione w różnych jednostkach organizacyjnych. Mają one swoją określoną strukturę, a ich aktualizacja odbywa się w różnych przedziałach czasowych. Po odpowiednim przetworzeniu i uporządkowaniu według wymaga-

nych standardów są one lokowane w jednej bazie danych i stanowią podstawę Krajowego Modelu transportowego.

Do budowy modelu zastosowany został standardowy program komercyjny VISUM służący do budowy baz danych o transporcie i analiz transportowych. Pozwala on na wykonanie wszelkich obliczeń symulacyjnych potrzebnych do oceny aktualnych i przyszłych potrzeb transportowych.

Opisywany model zawiera cztery warstwy informacyjne:

- Informacje o analizowanym obszarze, głównie z Banku Danych Lokalnych;
- Informacje o sieci kolejowej opartą na bazach danych PLK oraz informacje o przewozach według danych od przewoźników kolejowych i GUS;
- Informacje o sieci drogowej, oparte na bazach danych GDDKiA oraz o przewozach z modelu sieciowego i GUS;
- Informacje o połączeniach lotniczych na podstawie danych przewoźników oraz ULC i GUS.

Informacje o obszarze są dostępne na różnych poziomach dokładności, w zależności od źródła i rodzaju danych, od gmin i miast do województw i regionów. Podstawowe analizy wykonywane są w podziale na rejony komunikacyjne odpowiadające podziałowi na powiaty.

Model sieci kolejowej obejmuje wszystkie odcinki sieci kolejowej i zawiera informacje o kategoriach technicznych, prędkościach, liczbie pociągów, pasażerów itp. Oprócz tego model zawiera węzły odpowiadające stacjom, z informacją o wielkości i rodzaju ruchu podróżnych wsiadających i wysiadających.

Model sieci drogowej obejmuje wszystkie odcinki dróg krajowych i wojewódzkich i zawiera informacje o kategoriach dróg, prędkościach, potokach samochodowych itp.

Analiza połączeń lotniczych jest ograniczona do relacji krajowych określanych na podstawie ogólnie dostępnych danych od przewoźników.

Taki układ umożliwia uwzględnienie wpływu konkurencyjnych środków transportu.

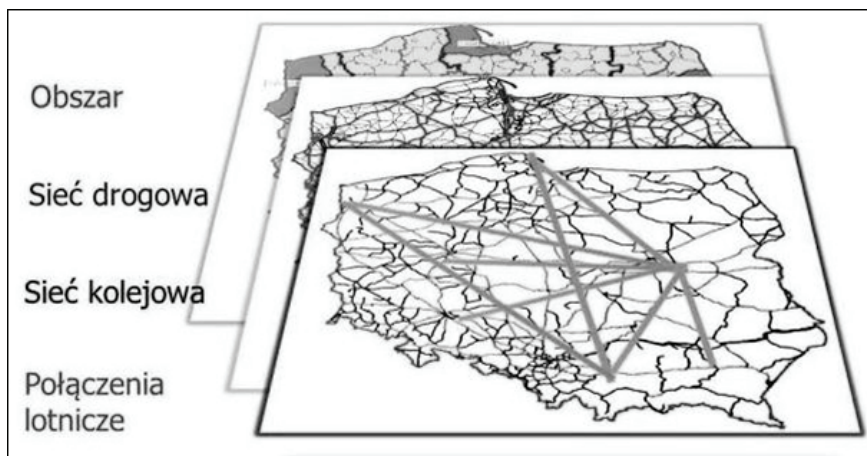
Wszystkie informacje o podróżach są zagregowane do poziomu rejonów komunikacyjnych. W takim układzie dostępne są zagregowane podróże z kolejowej statystyki biletowej, również dane o podróżach samochodowych i autobusowych oparte na sieciowym modelu drogowym, a także czasy, odległości i koszty przejazdu różnymi środkami komunikacji używane w modelowaniu. Możliwa dzięki temu jest analiza i prognoza podziału zadań przewozowych na relacjach pomiędzy rejonami.

Uzupełniające źródła informacji to wyniki wszelkiego rodzaju prac projektowych w czasie których wykonywane są badania i pomiary ruchu.

Model umożliwia realizację trzech rodzajów obliczeń:

- Symulacje optymalizacyjne – dla potrzeb bieżących;
- Prognozy krótkoterminowe – do 5 lat;
- Prognozy długoterminowe – do 30 lat.

System umożliwiła prezentowanie wyników analiz i prognoz w skali kraju lub dla wybranych fragmentów sieci, w układzie przestrzennym, w formie graficznej i tabelarycznej.



Rys. 1. Warstwy informacyjne modelu

## 2. Model obszaru

Ze względu na różne źródła danych statystycznych w modelu zapisane są różne podziały, co pozwala na agregację i dezagregację danych w zależności od źródła danych, potrzeby analizy czy też sposób prezentowania wyników. Podział administracyjny to:

- 1) gminy,
- 2) powiaty,
- 3) podregiony,
- 4) województwa,
- 5) regiony,
- 6) Polska.

Dodatkowo uwzględniony jest podział funkcjonalny na:

- 1) wsie
- 2) miasta
- 3) obszary metropolitalne

Do analiz komunikacyjnych posłużono się podziałem na rejon komunikacyjny, których granice pokrywają się z powiatami (379 rejonów). Wszelkie dane statystyczne lub prognostyczne są sprowadzane do tego podziału. Do nich dodane zostały przejścia graniczne, jako punkty generujące ruch zagraniczny.

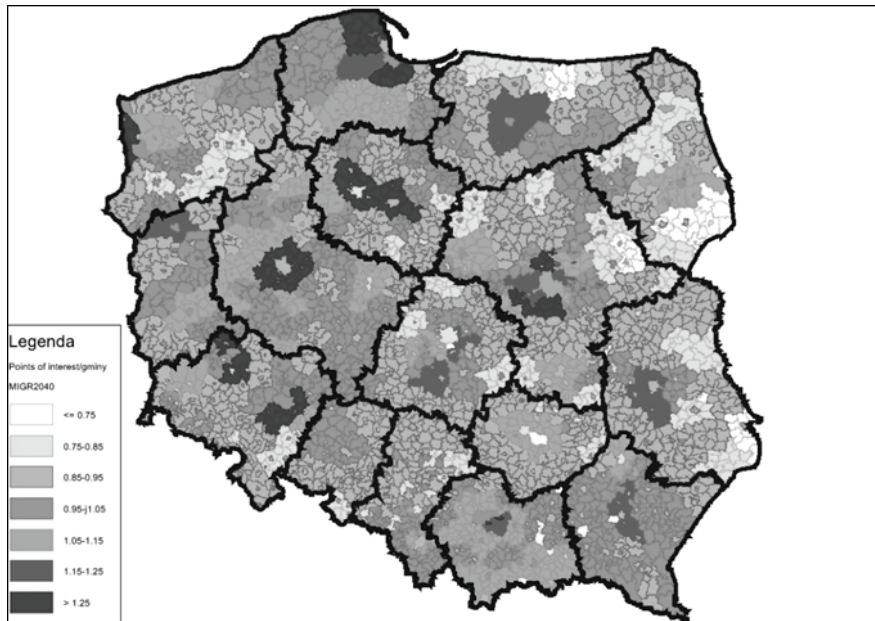
Głównym źródłem danych do modelu obszaru jest Bank Danych Lokalnych prowadzony przez Główny Urząd Statystyczny. Dane z tego banku są dostępne dla bardzo różnych dziedzin społecznych i gospodarczych. Dobrym źródłem do pobierania tych informacji jest strona internetowa GUS. Określając poziom

podziału terytorialnego, rok i zestaw danych, można otrzymać tabelę z danymi w formacie arkusza EXCEL. Stosując numer statystyczny jednostki terytorialnej, można wprowadzić te dane do modelu.

Przykładem wykorzystania modelu jest analiza zmian w liczbie ludności wg prognozy GUS.

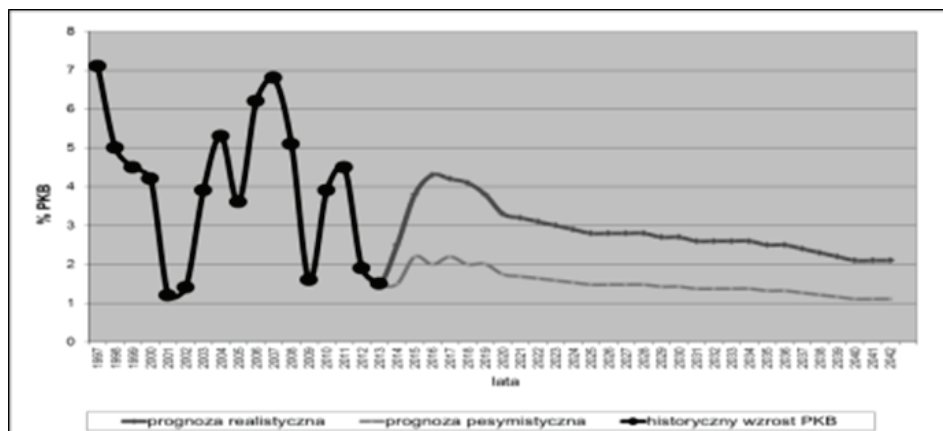


Rys. 2. Podział na jednostki administracyjne, funkcjonalne i rejony komunikacyjne



Rys. 3. Przykład prognoza GUS zmian w liczbie ludności do 2030 roku

Do głównych danych makroekonomicznych należy prognoza PKB. Przyjmowana jest ona dla całego kraju na podstawie aktualnych wytycznych Ministerstwa Finansów. Ponieważ w prognozie uwzględniana musi być różnica w regionalnym tempie rozwoju, na podstawie danych historycznych i założeń Ministerstwa Infrastruktury i Rozwoju, przygotowana jest prognoza dla podregionów.



Rys. 4. Prognoza wzrostu PKB w Polsce

Trzecim istotnym czynnikiem jest wskaźnik motoryzacji, który ma wpływ na podział zadań przewozowych pomiędzy ruchem kolejowym a drogami. Wpływ ten, na podstawie analizy danych jest różny w zależności od rodzaju odbywanej podróży oraz rodzaju obszaru w którym, lub obszarów pomiędzy którymi, się odbywa. Dlatego prognoza tego wskaźnika jest liczona dla całego kraju, a także na poziomie powiatów (rejonów komunikacyjnych)

### 3. Model drogowy

#### 3.1. Sieć drogową

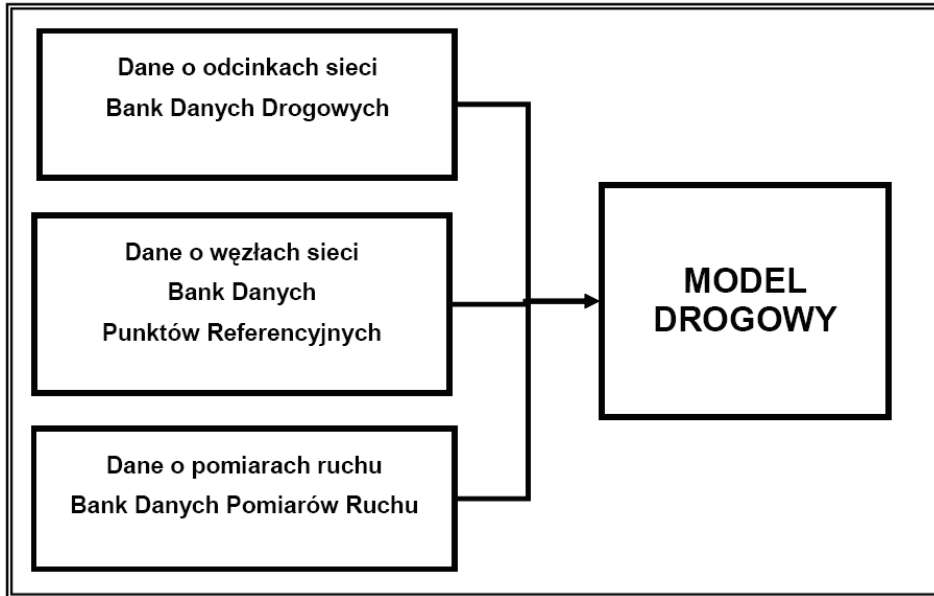
Podstawą opracowanego modelu sieci drogowej dla stanu istniejącego, były informacje zawarte w Banku Danych Drogowych. Sieć ta jest rozwinięciem modelu z roku 2006 udostępnianego przez GDDKiA wykonawcom projektów drogowych, zaktualizowanym do stanu roku 2012. Do budowy modelu wykorzystano następujące dane zawarte w Banku Danych Drogowych:

- długość odcinka drogi, pikietaż, kategoria techniczna odcinka,
- liczbę jezdni, szerokość jezdni, dane z Generalnego Pomiaru Ruchu,
- przynależność administracyjną (droga krajowa, wojewódzka), numer drogi,
- współrzędne i nazwy węzłów drogowych.

Na podstawie tych danych zbudowany jest zaktualizowany model sieci drogowej dla roku 2012, który zawiera wszystkie odcinki dróg krajowych i wojewódz-



kich na odcinkach zamiejskich oraz w granicach administracyjnych miast. Model zawiera również odcinki projektowane w przyszłości, według aktualnego stanu wiedzy. Włączane są one do procesu obliczeniowego w odpowiednich latach prognozy ruchu.



Rys. 5. Źródła danych dla modelu sieci drogowej



Rys. 6. Krajowy model sieci drogowej na podstawie danych z Banku Danych Drogowych

### 3.2. Model podróży drogowych

Stosowany model podróży drogowych jest rozwinięciem modelu z roku 2006 udostępnianego przez GDDKiA.

Dla samochodowego ruchu pasażerskiego używane są cztery grupy podróży w motywacjach:

- 1) praca,
- 2) biznes,
- 3) turystyka,
- 4) inne.

Dla ruchu towarowego stosowany jest podział na samochody typu:

- 1) dostawcze,
- 2) ciężarowe bez przyczepy,
- 3) ciężarowe z przyczepą/naczepą.

Dla tych typów podróży liczona jest:

- liczba generowanych podróży, według równań regresyjnych,
- macierze podróży pomiędzy rejonami komunikacyjnymi, w oparciu o model grawitacyjny,
- obciążenie sieci drogowej potokami samochodów wszystkich typów.

W analizach sieci drogowej nie jest wykonywana szczegółowa prognoza ruchu autobusowego, ponieważ ma on znikomy udział w potokach ruchu zamiejskiego (ok. 2-3%) i nie ma istotnego wpływu na obciążenie sieci. Niemniej jednak, w przypadku analizy przepływu potoków pasażerskich, macierz przemieszczeń autobusami powinna być policzona, nawet jeżeli jej dokładność może być problematyczna. Na podstawie danych statystycznych pośrednich, cząstkowych badań ruchu oraz analizy rozkładów jazdy głównych przewoźników autobusowych można odwzorować międzyrejonową macierz przewozów pasażerskich autobusami. Może ona być wykorzystywana do analizy wielkości konkurencyjnego rynku połączeń autobusowych.

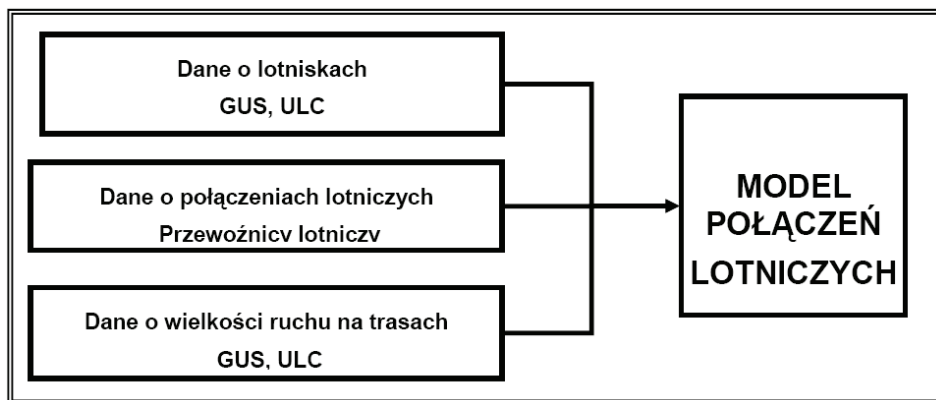
Model umożliwia obliczanie prognoz ruchu i analizę wpływu zmian w infrastrukturze drogowej na wielkość i kierunki ruchu samochodowego. Otrzymywane wyniki, określające między innymi aktualne oraz przyszłe czasy i koszty przejazdu na relacjach, pozwalają na prowadzenie analizy podziału zadań przewozowych na poszczególnych relacjach ruchu.

## 4. Połączenia lotnicze

Analiza połączeń lotniczych została tutaj oparta na dostępnych danych zawierających dobową liczbę lotów rejsowych poszczególnych przewoźników, rodzaje samolotów i czas przelotu. Znając liczbę połączeń pomiędzy miastami, rodzaj samolotów oraz czas jazdy można stworzyć sieć bezpośrednich relacji pomiędzy parami miast służącą do analizy. W porównaniu z siecią drogową i kolejową jest

to więc sieć prosta, w której węzłami są porty lotnicze a odcinkami bezpośrednie połączenia pomiędzy nimi.

Model podróży lotniczych jest uproszczony ze względu na niewielki udział tego rynku w przewozach krajowych. Do obliczeń prognostycznych stosowane są ogólne prognozy dla ruchu lotniczego publikowane przez Ministerstwo Transportu. Prognozy szczegółowe są na ogół tajemnicą handlową przewoźników. Na podstawie danych ogólnych można oszacować prognozowane zmiany wielkości ruchu na poszczególnych relacjach.



Rys. 7. Źródła danych dla modelu połączeń lotniczych

## 5. Model kolejowy

### 5.1. Sieć kolejowa

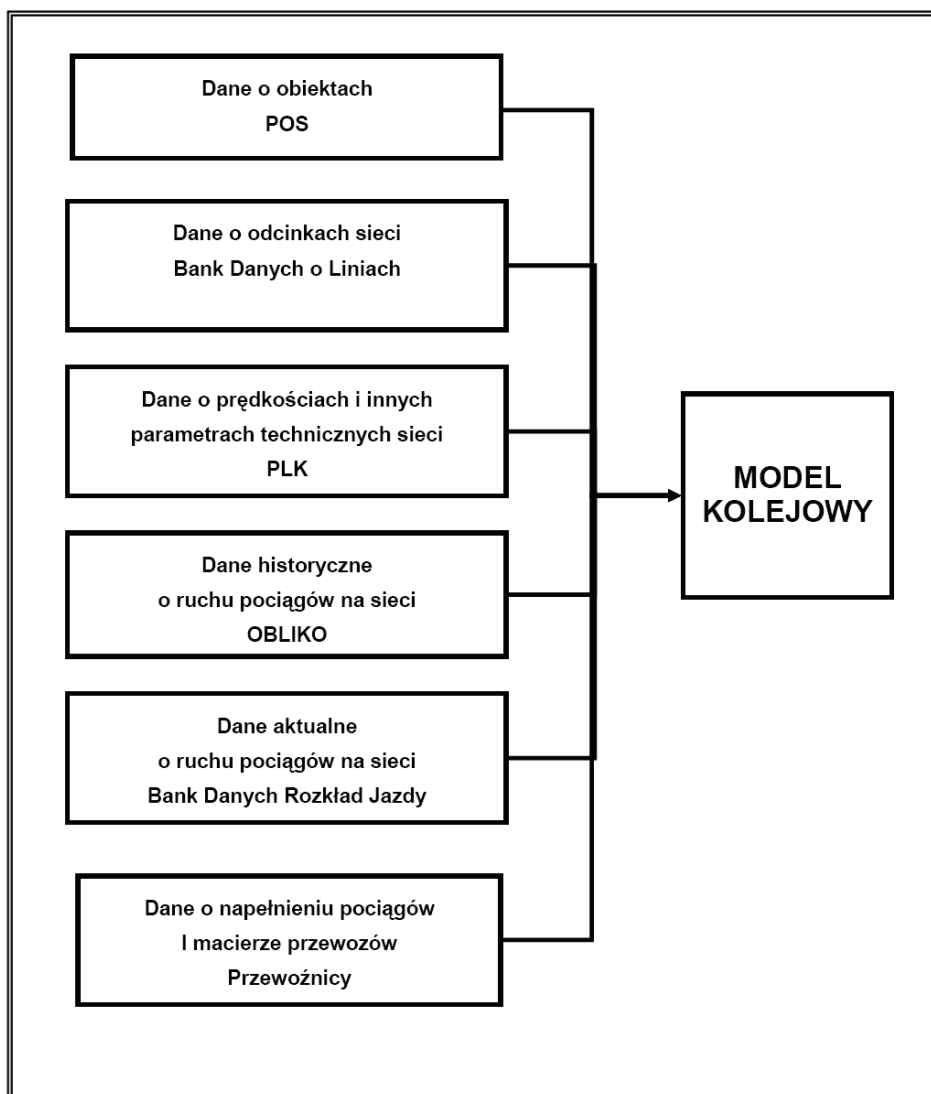
Model sieci kolejowej zbudowany został na podstawie informacji pobieranych z różnych dostępnych źródeł, głównie z baz danych PLK oraz od przewoźników. Sama baza danych zawiera węzły, linie i odcinki. Elementy te opisane są przez szereg atrybutów, wśród nich także te używane w statystyce, pozwalające na wprowadzenie do modelu aktualnych danych z różnych źródeł dotyczących np. liczby sprzedanych biletów, liczbę pociągów różnych typów, liczbę pasażerów, ograniczenia prędkości, skrajnie itp. Zbiór tych atrybutów może być dowolnie rozszerzany w zależności od potrzeb.

Podstawowa baza danych z odcinkami sieci zawiera następujące atrybuty:

- numer linii, numer odcinka na linii, kilometry początku i końca odcinka,
- nazwy i numery węzłów początkowego i końcowego,
- prędkość aktualna i projektowana wg typów pociągów,
- liczba pociągów, pasażerów i ton na dobę według rodzaju pociągu.

Baza danych o odcinkach uzupełniona jest o informacje dotyczące węzłów sieciowych. Jest wiele kategorii węzłów, mogą to być zarówno obiekty techniczne (np. posterunki odgałęźne) jak i przystanki osobowe.





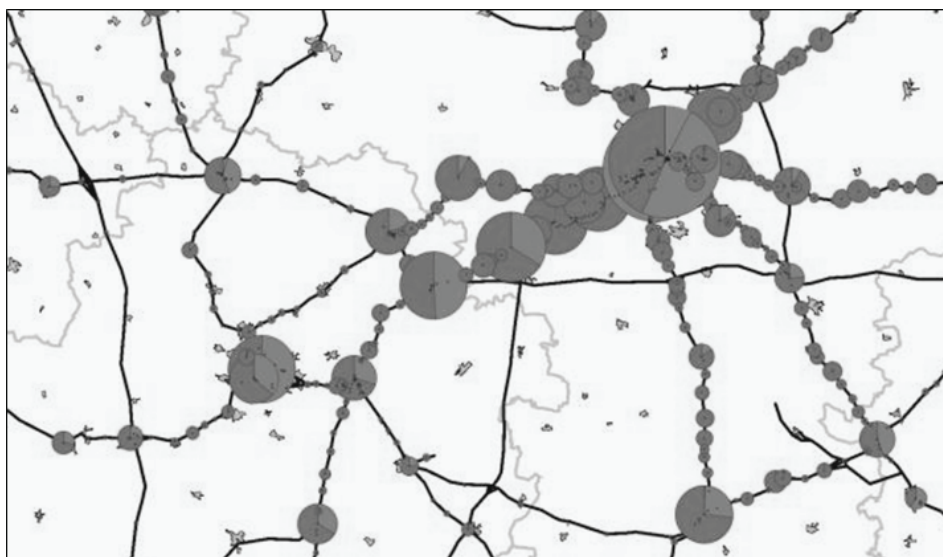
Rys. 8. Źródła danych dla modelu sieci kolejowej

Szczególnym rodzajem obiektów powiązanych z odcinkami sieci oraz węzłami są przebiegi (trasy) pociągów wg rozkładu jazdy. Przebiegi te bazują na kolejnych odcinkach odwzorowujących linie kolejowe, w powiązaniu z obiektami przystanków oraz danymi o czasie zatrzymań i odjazdów, a także czasie przejazdu przez odcinki tworzą one charakterystykę działalności przewoźników kolejowych.

Model sieci został zbudowany tak, żeby mógł być wykorzystany zarówno dla stanu istniejącego, jak i dla okresu prognozy. Możliwa jest zatem analiza wpływu zmian wynikających zarówno z doraźnej lub długoterminowej modernizacji infrastruktury jak i zmian w rozkładzie jazdy mających wpływ na poprawienie oferty przewozowej.



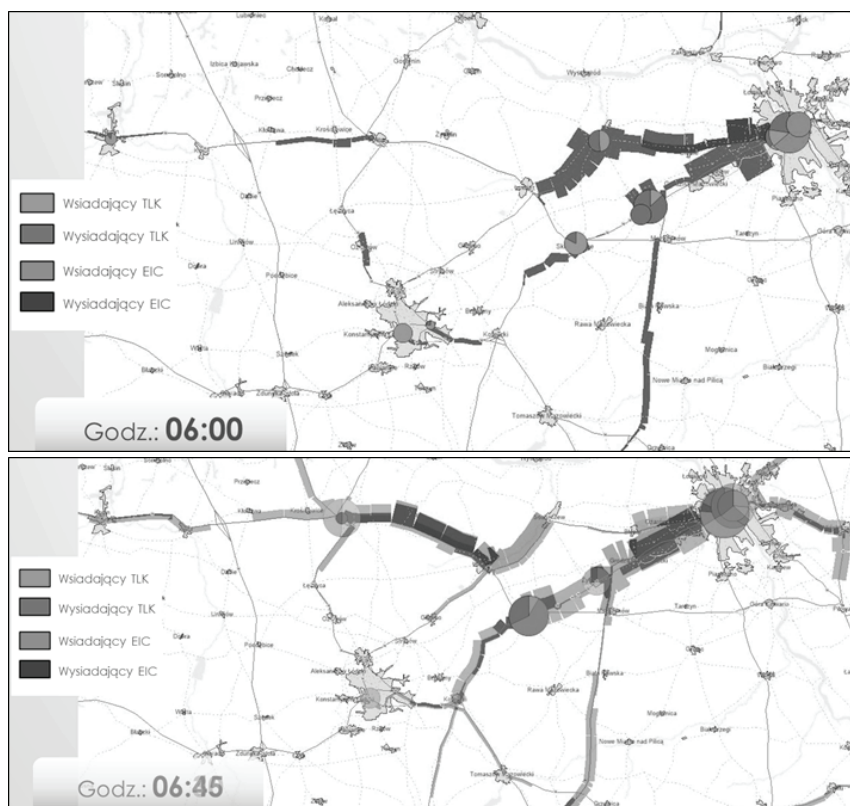
Rys. 9. Model sieci kolejowej z zaznaczonymi stacjami EIC i TLK



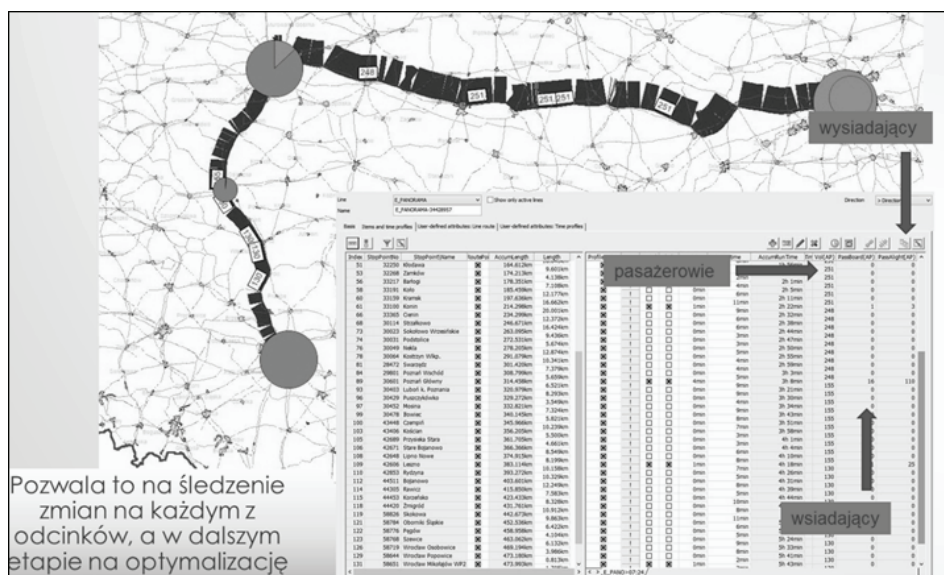
Rys. 10. Dane o liczbie pasażerów wsiadających na stacjach, według typu pociągu, dla modelu sieci kolejowej



Rys. 11. Dane historyczne o średniej liczbie pociągów różnych typów na odcinkach, wg OBLIKO, dla modelu sieci kolejowej



Rys. 12. Symulacja wielkości ruchu pasażerskiego na odcinkach sieci i stacjach w określonych interwałach czasowych



Rys. 13. Analiza przebiegu i natężenia konkretnego pociągu

## 5.2. Operatorzy kolejowi

Więźba ruchu międzyrejonowego, a także dostępne informacje o rozkładach jazdy funkcjonujące w ramach prognoz krótkoterminowych i optymalizacyjnych podzielone są na poszczególnych przewoźników w ramach obsługiwanego przez nich ruchu. Model uwzględnia następujących przewoźników kolejowych:

- PKP Intercity S.A. (użytkownik modelu),
- Przewozy Regionalne,
- Koleje Mazowieckie,
- Koleje Wielkopolskie,
- Koleje Śląskie,
- Koleje Dolnośląskie,
- Arriva,
- SKM w Trójmieście,
- SKM w Warszawie.

Dane dla PKP Intercity S.A. są uzyskiwane ze statystyki rzeczywistej sprzedaży biletów. Ze względu na to, że pociągi są objęte całkowitą rezerwacją miejsc, dane te są wystarczająco dokładne. Dla pozostałych przewoźników ujętych w modelu, dane takie nie są dostępne, ponieważ przez każdego przewoźnika są traktowane jako poufne. Są one zatem liczone jako macierze teoretyczne, przy wykorzystaniu modelu ruchu do prognoz długoterminowych, na podstawie istniejącego rozkładu jazdy. Wyniki są weryfikowane na podstawie na podstawie dostępnych danych o ogólnej liczbie realizowanych połączeń, liczbie pasażerów i wykonanej pracy przewozowej przewoźników kolejowych (publikowane przez GUS i UTK).

Otrzymane wynikowe potoki kolejowe w pociągach innych przewoźników stanowią w tym przypadku tło analiz i prognoz wykonywanych dla połączeń i rozkładów jazdy PKP Intercity S.A. Dają one również obraz wielkości ruchu, który ewentualnie w ramach konkurencji, mógłby być przejęty przez Intercity od innych przewoźników kolejowych.

Elastyczność modelu pozwala na dodawanie nowych przewoźników (w przypadku pojawienia się na polskim rynku kolejowym), jak również ich podział i łączenie.

### *5.3. Import rozkładu jazdy do modelu kolejowego*

Pełne informacje o rozkładzie jazdy pozwalają na bardzo dokładne prognozy potoków ruchu zarówno w ujęciu odcinkowym, czasowym jak i w podziale na pociągi oraz liczbę wykorzystanych miejsc. Dane o rozkładach jazdy będące w posiadaniu PKP Intercity mają charakter rozproszony i składają się z kilka tablic zawierających uzupełniające się wzajemnie informacje. Opracowane zostały procedury umożliwiające kompleksowe wczytywanie rozkładów jazdy ze zbiorów będących w gestii IC, oraz łączenie informacji o trasie, czasach przejazdów i postojów, możliwościach wsiadania i wysiadania z informacjami o pociągu i klasyfikacji składu oraz kalendarzu kursowania. Umożliwia to włączenie danych rozkładowych do Modelu Kolejowego poprzez ich import do programu VISUM. Warunkiem prawidłowego wczytywania rozkładów jazdy jest odpowiednia budowa modelu sieci kolejowej, który musi zawierać wszystkie obiekty sieciowe używane w opisie rozkładów jazdy.

### *5.4. Dane uzupełniające*

#### *Statystyka biletowa*

Dane o podróżach, oparte na statystyce sprzedaży biletów po stosunkowo prostym przetworzeniu, mogą być wczytywane do modelu, tworząc macierze podróży pomiędzy stacjami lub rejonami, będące podstawą do analiz ruchu.

Zbudowana została procedura umożliwiająca przetworzenie danych i ich zapis w formie macierzy używanym w programie VISUM.

#### *Historyczna dane o ruchu*

Wykorzystane zostały zbiory danych OBLIKO dla lat 2000-2012 (dane o średniodobowym obciążeniu odcinków sieci liczbą pociągów według typów pociągów). W modelowaniu ruchu na sieci kolejowej niezwykle istotna jest możliwość analizowania trendów zmian w wielkości obciążenia sieci w kolejnych latach. Szczególnie istotne jest to dla okresu ostatnich lat, gdy modernizacje poszczególnych tras powodują czasowe zmiany w rozkładzie przestrzennym obciążenia. System pozwala na bezpośrednie wczytanie tych danych i przeprowadzanie analiz, których wynik może wpływać na proces przygotowania oferty przewozowej.



Opracowane zostały procedury pozwalające na wczytywanie danych OBLIKO w miarę ich opracowywania w kolejnych latach i dodawanie do istniejącej bazy danych historycznych w modelu.

#### Wykaz maksymalnych prędkości dla pociągów pasażerskich

Wykaz dopuszczalnych prędkości, szczególnie w części dotyczącej istotnych jej ograniczeń, jest ważną informacją w analizie sieci. Jest on dostępny w formie tabeli publikowanej przez PLK.

Opracowane zostały procedury pozwalające na wczytywanie tabeli danych o prędkościach publikowanych przez PLK i dodawanie do istniejącej bazy danych w modelu.

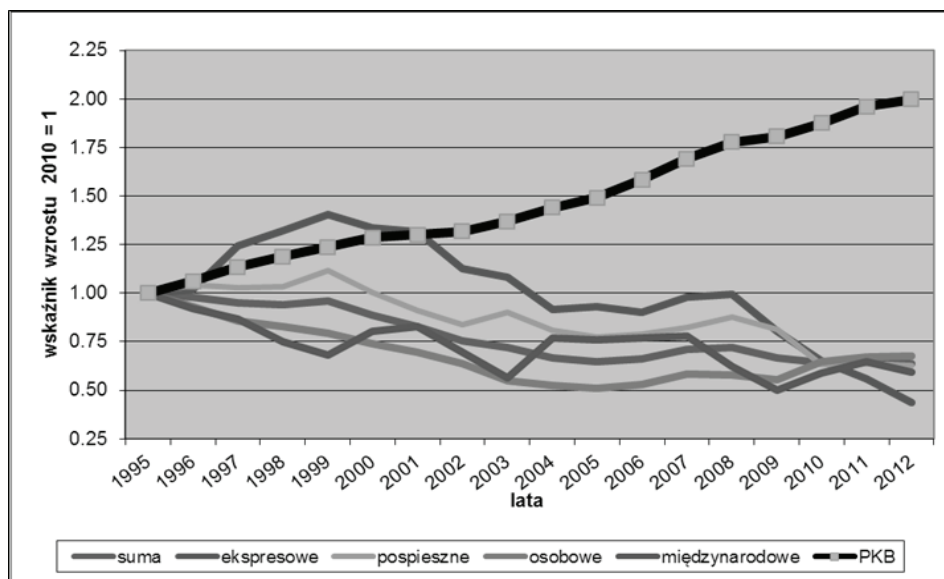
## 6. Trendy i wahania ruchu pasażerskiego

### 6.1. Trendy wieloletnie w ruchu kolejowym i drogowym

Dokonując analizy trendów w przewozach pasażerskich przyjęto podział na przewozy pasażerskie pociągami:

- ekspresowymi,
- pospiesznymi,
- osobowymi,
- międzynarodowymi.

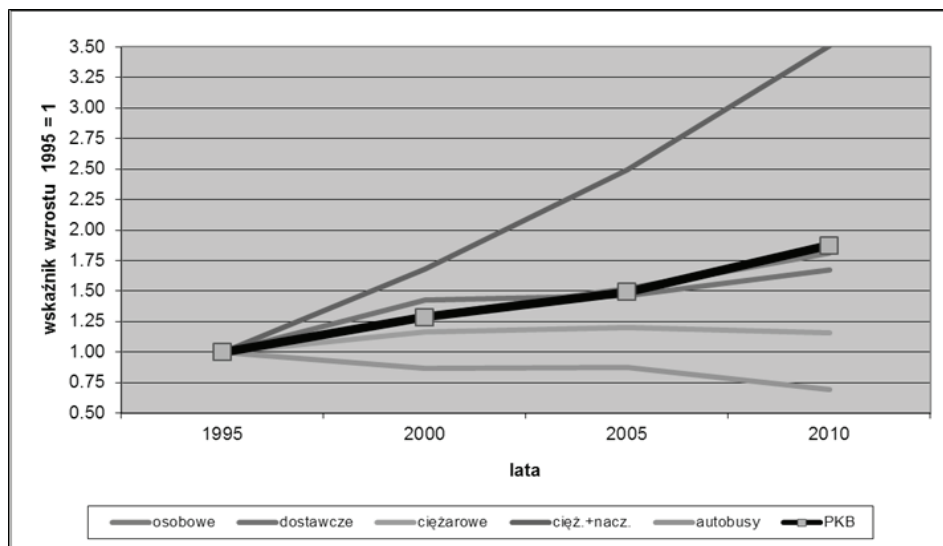
Podział ten jest stosowany od lat w publikacjach statystycznych GUS co umożliwia analizę trendów.



Rys. 14. Wskaźniki zmiany wielkości PKB oraz pracy przewozowej (pasażerokilometrów) na kolei według rodzajów pociągu, w okresie 1995-2012



Widać, że w perspektywie wieloletniej, przy wzrastającym PKB, liczba pasażerów i pasażerokilometrów na kolei spada. Wzrost ogólnej liczby odbywanych podróży w skali kraju to w decydującej mierze wynik wzrostu ruchu indywidualnego na drogach, co ilustruje następujący wykres.



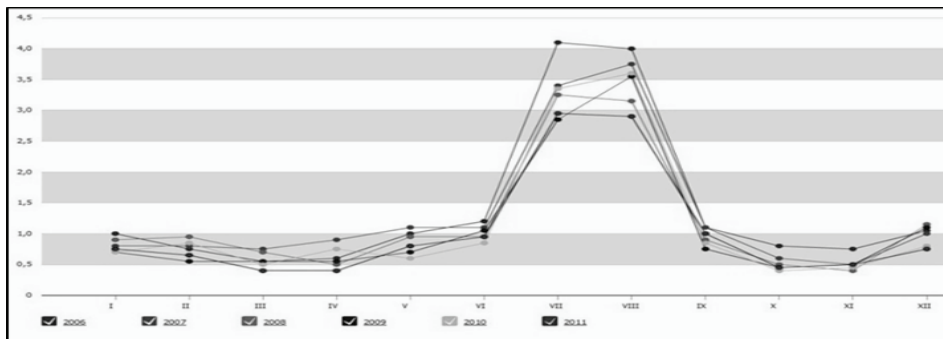
Rys. 15. Wskaźniki zmiany wielkości PKB oraz wielkości ruchu na drogach krajowych według kategorii pojazdów w okresie 1995-2010

Można stwierdzić, że wzrost ruchu samochodów osobowych jest liniowy w stosunku do wzrostu PKB, natomiast ruch autobusowy spada w tempie porównywalnym do spadku przewozów pasażerskich na kolei. Jest to uwzględniane w obliczeniach prognostycznych i podziale zadań przewozowych.

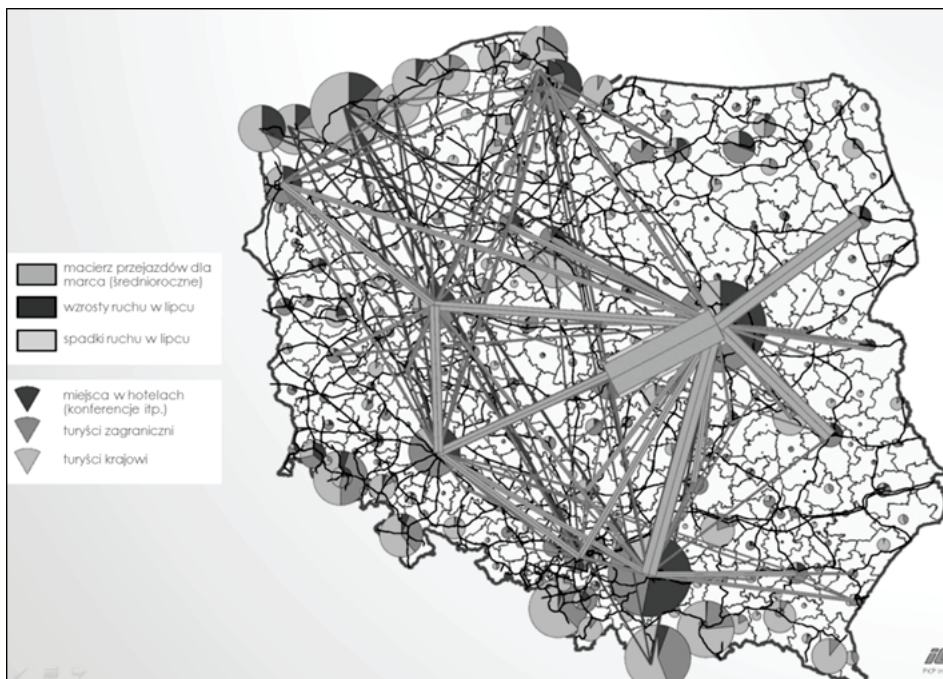
## 6.2. Roczne wabania ruchu turystycznego

Według wykresu będącego wynikiem badań Instytutu Turystyki, ponad 50% długookresowych podróży turystycznych w skali kraju, odbywa się w 3 miesiącach letnich. Drugi szczyt, dużo mniejszy, występuje w okresie zimowym grudzień – luty. Wykres ten pokazuje sumaryczny ruch turystyczny w całym kraju, natomiast należy brać pod uwagę, że koncentruje się on głównie na określonych kierunkach (morze, góry), na których te wahania mogą być znacznie większe. Potwierdzają to pomiary stacji stałych na drogach, oraz statystyki sprzedaży biletów kolejowych.

Zmiany te można przeanalizować na podstawie macierzy biletów sprzedawanych w kolejnych miesiącach. Macierze z miesięcy letnich różnią się jeżeli chodzi o kierunki ruchu. Pojawiają się przejazdy pomiędzy dużymi miastami, a ośrodkami turystycznymi, głównie nad morzem. Można to zobaczyć na poniższej mapie, gdzie pokazane są na czerwono relacje wzrastające w sezonie letnim, na tle głównych celów podróży turystycznych określonych liczbą turystów i miejsc w hotelach.



Rys. 16. Sezonowość ruchu turystycznego w Polsce w latach 2005-2011



Rys. 17. Przykład zmienności sezonowej dla podstawowych relacji międzyregionalnego ruchu kolejowego

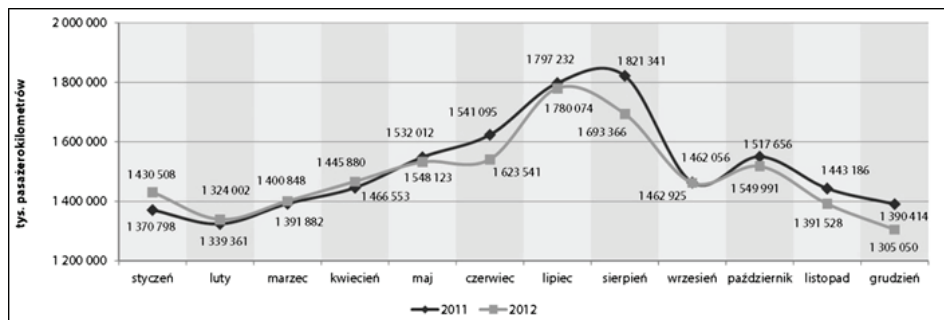
Wskaźniki odzwierciedlające te wahania muszą być stosowane w procesie prognozowania ruchu, dla prawidłowego określenia oczekiwanego popytu. Należy pamiętać przy stosowaniu wskaźników sezonowości, że nie są one jednakowe dla wszystkich relacji, ale są zróżnicowane ze względu na kierunek podróży

### 6.3. Miesięczne, tygodniowe i dzienne wabania ruchu

Podstawowym wynikiem prognozy ruchu jest dobowy potok pasażerski na odcinkach sieci kolejowej. Oczywiście jest, że ruch zmienia się w zależności od pory roku, dnia tygodnia i godziny doby. Dla uwzględnienia tych zmian, można w pro-

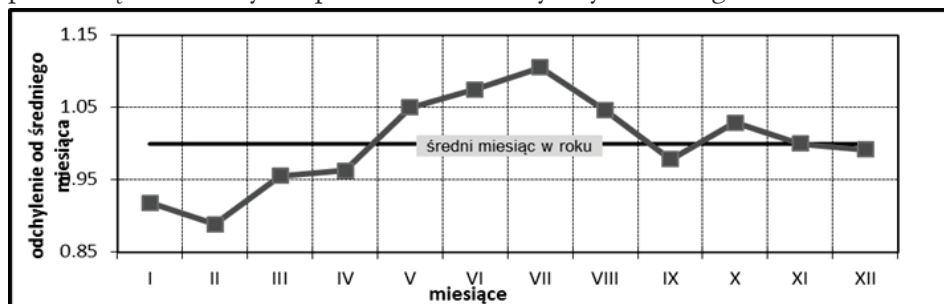
cesie obliczeniowym, przed wykonaniem rozkładu ruchu na sieć, mnożyć macierze podróży przez odpowiednie współczynniki korekcyjne, uwzględniające wahania potoku w stosunku do wartości średniej.

Poniżej przedstawione są dane dotyczące sumarycznego ruchu w kraju. Widać, że w miesiącach wakacyjnych rośnie liczba pasażerokilometrów, co jest wynikiem dłuższych podróży urlopowych.

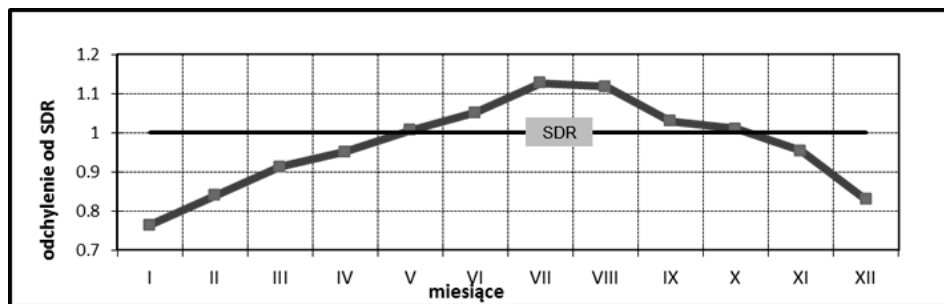


Rys. 18. Praca przewozowa ogółem w poszczególnych miesiącach w latach 2011 i 2012

Dokładniejszych informacji dostarcza analiza bardziej szczegółowa, uwzględniająca przewoźników, czy też segmenty rynku. Analiza taka jest możliwa do wykonania przy dostępie do statystyk sprzedaży biletów. Poniżej przedstawione są przykładowe wartości średnie dla całej sieci, chociaż dla szczegółowych prognoz można również uwzględnić, na podstawie statystyki biletowej, różnice na poszczególnych kierunkach ruchu w sezonowych wahanich ruchu. Dla porównania podane są również wyniki pomiarów automatycznych na drogach.

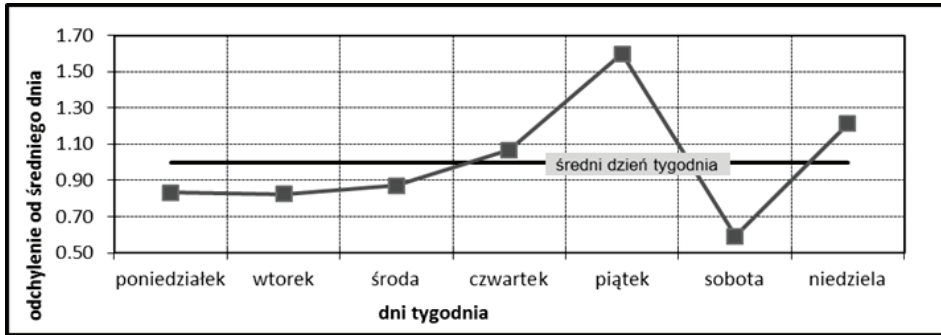


Rys. 19. Sezonowe wahanie liczby pasażerów międzyregionalnych w kolejnych miesiącach roku

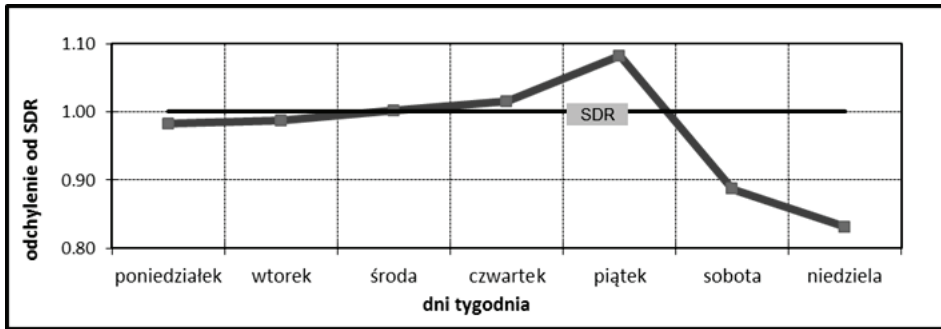


Rys. 20. Sezonowe wahanie sumarycznego ruchu samochodowego w kolejnych miesiącach roku

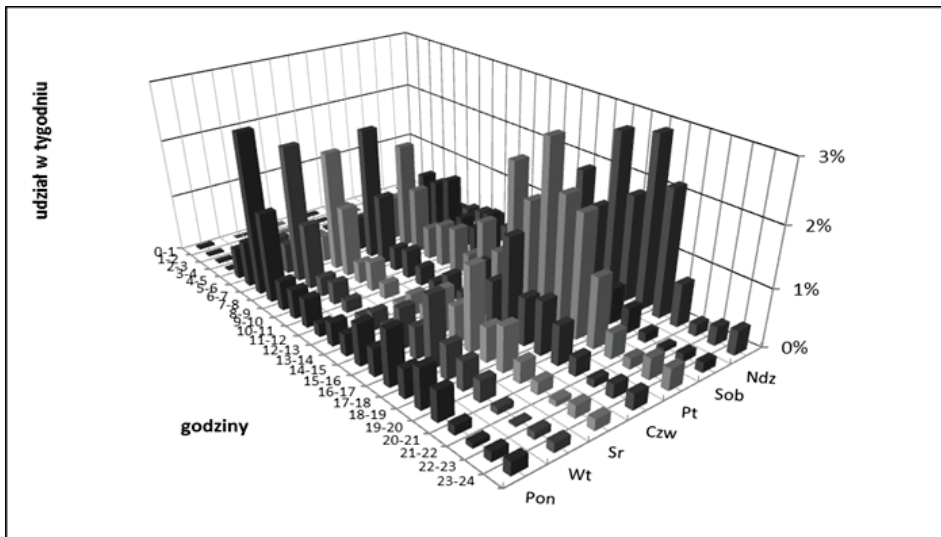
Również na podstawie statystyki biletowej i pomiarów automatycznych na drogach można określić wahania ruchu w ciągu tygodnia.



Rys. 21. Sezonowe wahania liczby pasażerów międzyregionalnych w kolejnych dniach tygodnia



Rys. 22. Sezonowe wahania sumarycznego ruchu samochodowego w kolejnych dniach tygodnia



Rys. 23. Udział liczby pasażerów w kolejnych godzinach doby i dniach tygodnia w sumarycznym ruchu tygodniowym

Kolejny poziom dokładności to informacja o rozkładzie ruchu w ciągu godzin doby. Porównanie średnich rozkładów w ruchu kolejowym i samochodowym pokazuje istotne różnice. Obydwa szczyty, poranny i popołudniowy jest w ruchu kolejowym bardziej wyraźny. Pokazany jest tutaj ruch sumaryczny na całej sieci. Dla poszczególnych relacji, a także w różnych dniach i miesiącach te rozkłady mogą być różne. Jednak dla prawidłowej analizy potrzeb przewozowych do celów budowania rozkładów jazdy, takie szczegółowe analizy są potrzebne.

Dokładny obraz rozkładu ruchu w ciągu tygodnia otrzymujemy licząc udział każdej godziny w sumarycznym ruchu tygodniowym. Jako przykład pokazany jest rozkład ruchu kolejowego na jednej z relacji. Widać wyraźnie jak dużą część ruchu tygodniowego odbywa się w piątek, prawie 25% ruchu tygodniowego i to w zasadzie w całości w godzinach 14-20.

## 7. Modele podróży kolejowych

### 7.1. Model do prognoz średnio- i długoterminowych

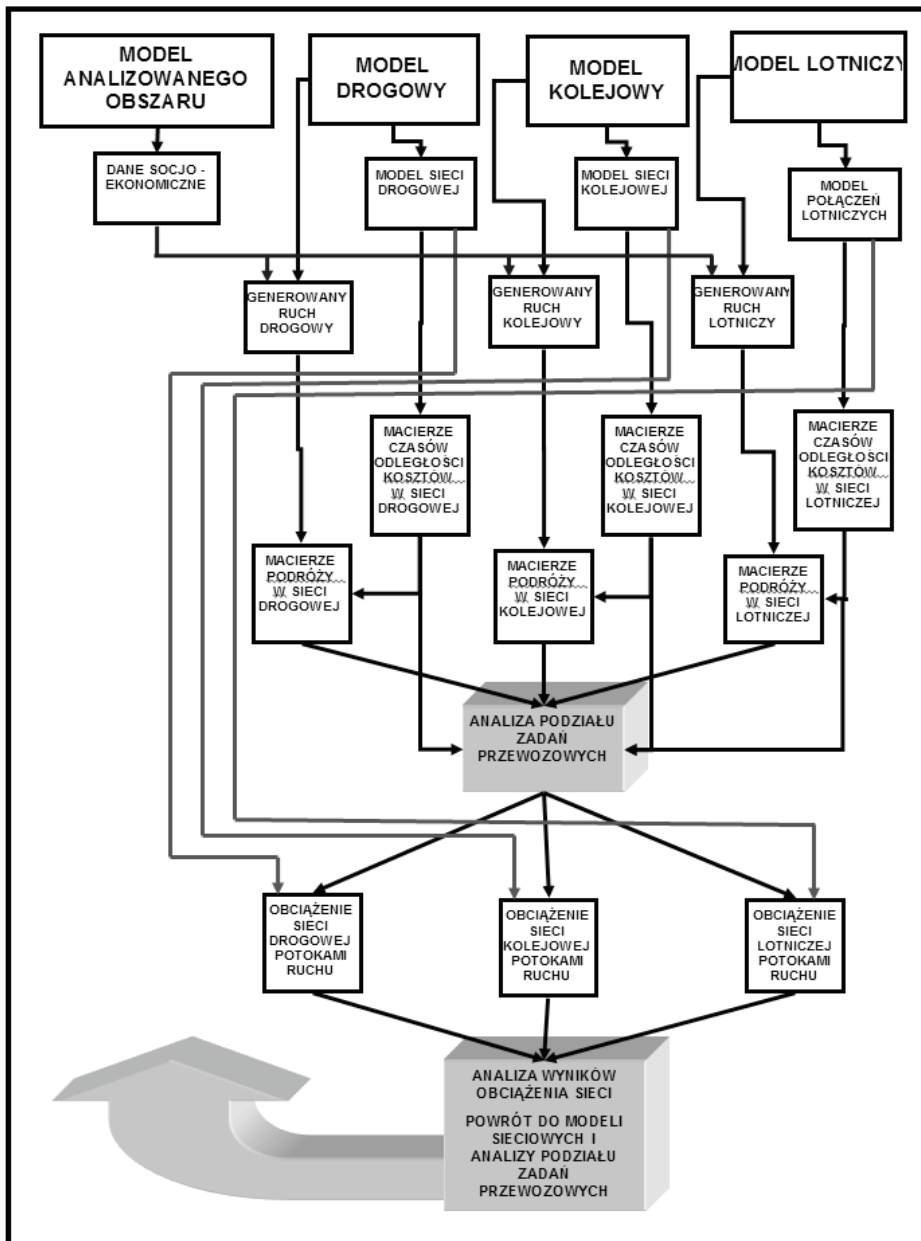
Prognoza długoterminowa różni się zasadniczo od krótkoterminowej. Wykonywana jest na perspektywę do 30 lat, zgodnie z wymaganiami dotyczącymi analizy inwestycji infrastrukturalnych. Dlatego też w prognozach długoterminowych trzeba odejść od ścisłego rozkładu jazdy, którego projektowanie na okres 20 czy 30 lat jest nieuzasadnione. Prognoza opiera się zatem na średniej liczbie pociągów w dobie, jako wystarczającym kryterium oferty przewozowej. W trakcie iteracyjnego procesu obliczeniowego można dobierać liczbę pociągów do wynikowego poziomu potoków ruchu, tak aby uzyskiwać wiarygodny poziom napełnienia pociągów.

Obliczenia powinny być w zasadzie wykonywane etapami równolegle dla wszystkich środków przewozowych, ponieważ dla tak odległych przedziałów czasowych istotny jest wpływ inwestycji, np. na sieci drogowej. Może to mieć wpływ na zmiany w przyszłym podziale zadań przewozowych. Można jednak wykonywać niezależne obliczenia wariantów dla sieci kolejowej, jeżeli wiadomo, że nie mają one istotnego wpływu na zmianę zachowań na drogach.

Po uzyskaniu końcowych wyników rozkładu ruchu na sieć przeprowadzana jest analiza, której wyniki mogą być uwzględnione w kolejnym iteracyjnym obliczeniu całego cyklu. Mogą to być korekty wynikające np. ze sprawdzania różnych scenariuszy zmian w liczbie pociągów, prędkości handlowych czy też cen biletów.

Obliczenia są wykonywane według klasycznego podziału na etapy obliczeniowe określające:

- Wielkość ruchu generowanego w rejonach komunikacyjnych;
- Rozkład przestrzenny ruchu (prognozowane macierze ruchu pomiędzy rejonami);
- Podział zadań przewozowych pomiędzy środki transportu;
- Obciążenie potokami ruchu modeli sieci komunikacyjnych.



Rys. 24. Schemat obliczeń dla prognozy długoterminowej

Do obliczenia wielkości generowanego ruchu kolejowego wykorzystane zostały modele ekonometryczne opracowane na podstawie historycznych danych o sprzedaży biletów oraz danych o obszarze. Składają się one z równań regresyjnych określających zależność generowanego pasażerskiego ruchu kolejowego od czynników zewnętrznych, które w procesie analizy wykazały największy wpływ na wielkość



ruchu. Przy wyborze tych czynników uwzględniony został również warunek, że ich wartości liczbowe muszą być dostępne dla okresów prognozowanych, a więc na następne 30 lat. Zastosowane modele ruchu oparte są na zależności pomiędzy wielkością ruchu generowanego w obszarze a:

- Wielkością PKB;
- Liczbą ludności;
- Charakterystyką obszaru (liczba firm, miejsc turystycznych, szkolnictwo itp.);
- Stopniem zmotoryzowania;
- Podażą usług transportowych (liczba pociągów).

Zestaw takich danych wynika z jednej strony z dostępności takich informacji dla stanu istniejącego, ale również co ważniejsze z możliwością określenia ich wartości dla okresu prognozy.

Rozkład przestrzenny ruchu (macierze podróży) liczony jest modelem grawitacyjnym, uwzględniającym z jednej strony wielkości potencjału rejonów wyrażone liczbą generowanych podróży, z drugiej strony koszt przejazdu pomiędzy rejonami. Koszt przejazdu koleją uwzględnia rzeczywisty koszt biletu oraz koszt czasu traconego na podróż. Model jest więc wrażliwy na zmiany w czasie podróży wywołane poprawą jakości infrastruktury oraz taboru, a także na politykę cenową. Wynikiem obliczeń jest macierz podróży pomiędzy rejonami.

Wspomniany program komputerowy umożliwia symulację obecnego i przyszłego obciążenia ruchem pasażerskim sieci kolejowej. W wyniku obliczeń uzyskuje się wielkość ruchu generowanego w węzłach stacyjnych i potoki ruchu na każdym odcinku sieci oraz wynikającą z nich pracę przewozową i eksploatacyjną. Model umożliwia obliczenia zarówno dla ruchu pasażerskiego jak i towarowego. Ze względu na brak dostępu do odpowiednich dla modelowania ruchu danych o przewozach towarowych na kolei, w tej dziedzinie stosowane są na razie modele uproszczone.

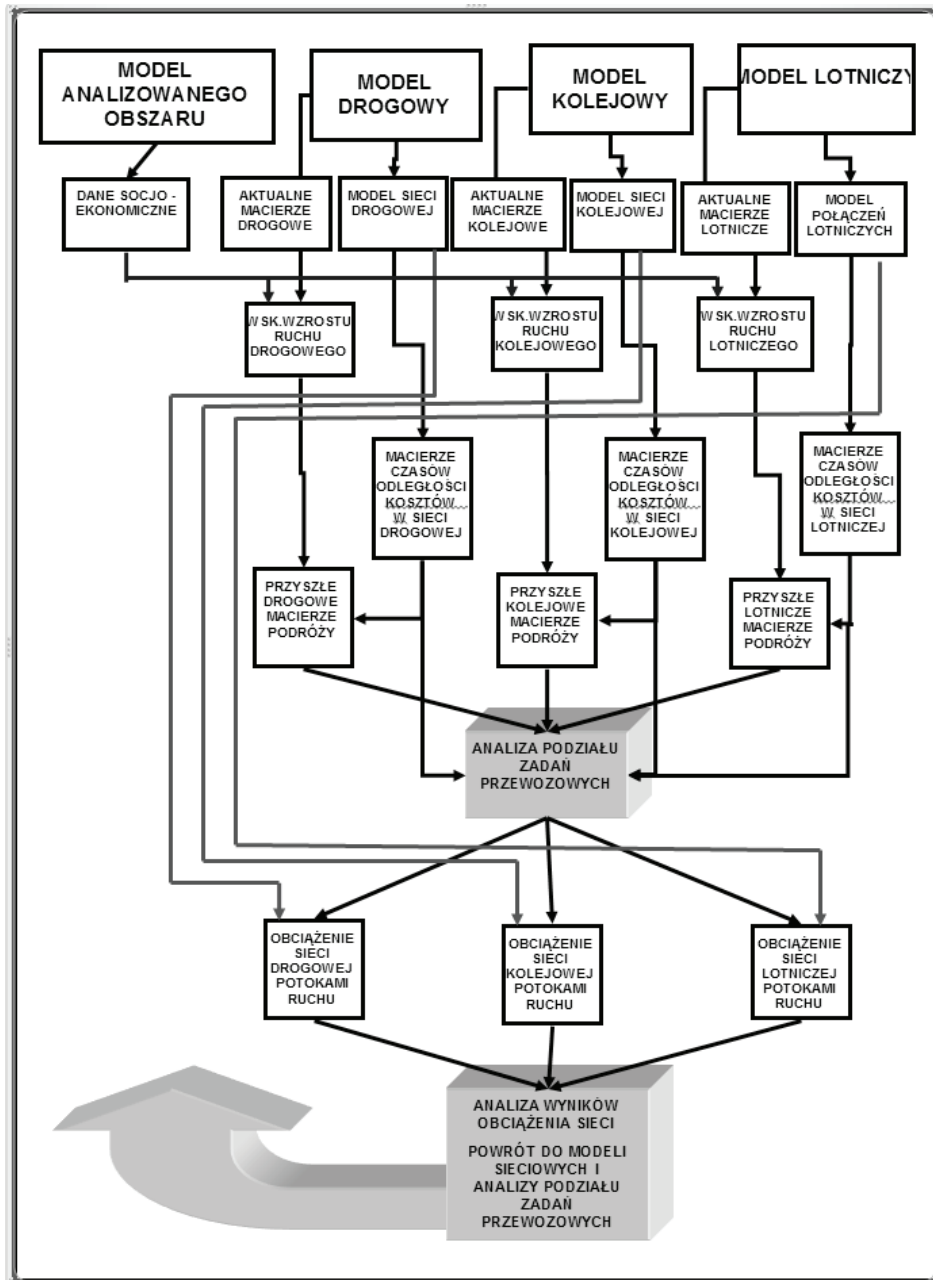
## *7.2. Model do prognoz krótkoterminowych*

Prognozy krótkoterminowe służą do prognozowania potoków ruchu w sposób bardziej dokładny niż w przypadku prognoz długoterminowych. Model prognoz krótkoterminowych i optymalizacyjnych wykorzystuje oprócz danych o sieci kolejowej także dokładne dane o rozkładach jazdy, a także dane o przejazdach pochodzące ze sprzedaży biletowej i rezerwacji miejsc. Bazuje zatem na istniejących macierzach przemieszczeń oraz macierzach przeliczonych wskaźnikowo.

Na schemacie przedstawiono proces obliczeniowy jaki jest stosowany do prognoz krótkoterminowych. Prognozy krótkoterminowe są w zasadzie wykonywane przy pomocy wskaźników, przez które mnożone są aktualne macierze podróży wynikające ze statystyki biletowej. Mogą to być wskaźniki wynikające z sezonowości podróży i aktualnych trendów zmian.

W przypadku gdy przewidywane zmiany nie dają się uwzględnić w metodzie wskaźnikowej, można modyfikować macierz wykorzystując elementy modelu długoterminowego. Ma to zastosowanie w przypadkach planowania nowych połączeń, analizy zasadności zatrzymywania na nowych stacjach, znacznego skrócenia

czasu podróży, itp. W tych przypadkach wielkość nowego ruchu musi być policzona przy wykorzystaniu modeli generacji ruchu czy też przy wykorzystaniu parametrów modelu grawitacyjnego. Tak może być w przypadku wprowadzania połączeń na nowych kierunkach, czy też uruchamiania połączeń po modernizacji trasy.

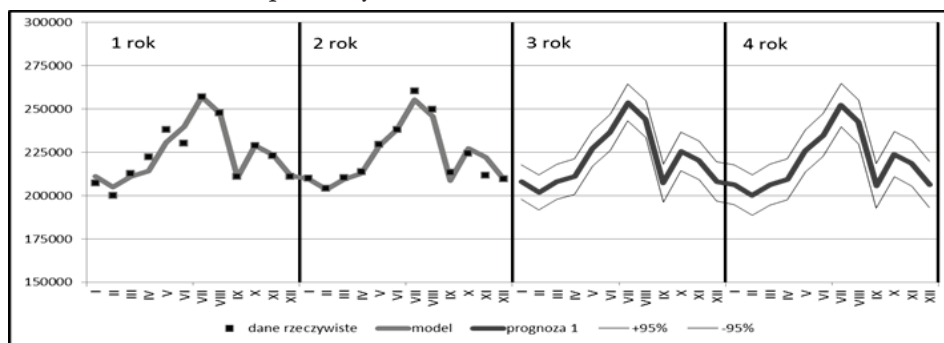


Rys. 25. Ogólna struktura modelu przy wykorzystaniu metody wskaźników wzrostu

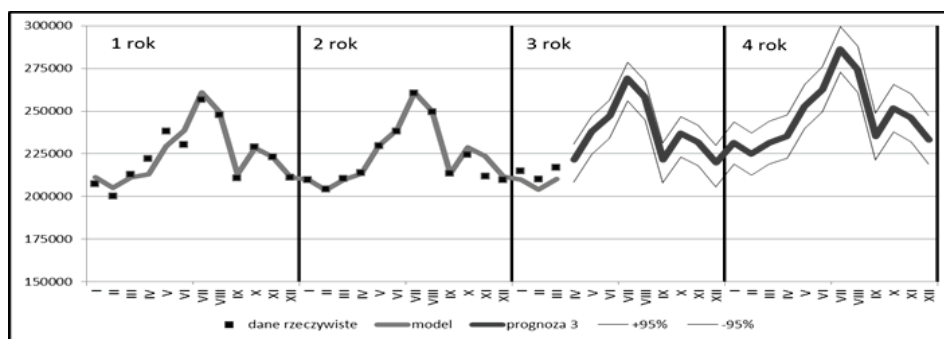
Obliczenia mogą być wykonywane etapami równoległe dla wszystkich środków przewozowych, lub tylko dla kolei, jeżeli wpływ innych środków transportu nie musi być dokładnie analizowany. Tak może być np. w przypadku wariantowania rozkładu jazdy. W przypadku istotnych zmian cen lub czasów przejazdu wskazane jest jednak badanie, przy pomocy modeli elastyczności, czy i jak bardzo mogą one wpłynąć na stratę lub uzyskanie dodatkowej liczby pasażerów.

Po otrzymaniu końcowych wyników rozkładu ruchu na sieć przeprowadzana jest analiza, w której może być uwzględniany wpływ proponowanych rozwiązań na wielkość ruchu i podział zadań przewozowych. Wyniki tej analizy mogą być zastosowane w kolejnym iteracyjnym obliczeniu całego cyklu. Mogą to być korekty wynikające np. ze sprawdzania różnych scenariuszy zmian w rozkładzie jazdy.

Podstawą prognozy krótkoterminowej jest analiza szeregów czasowych sprzedaży biletów według statystyki z ostatnich lat. Poniżej przedstawiony jest przykład takiej analizy, opartej na miesięcznej statystyce biletowej. Pierwsze 2 lata to dane rzeczywiste na podstawie których można przeprowadzić analizę trendów i określić prawdopodobną wielkość ruchu na następne dwa lata z określeniem przedziału ufności. Widać trend spadkowy ruchu.



Rys. 26. Analiza trendu na podstawie historycznych danych z dwóch lat i prognoza 1

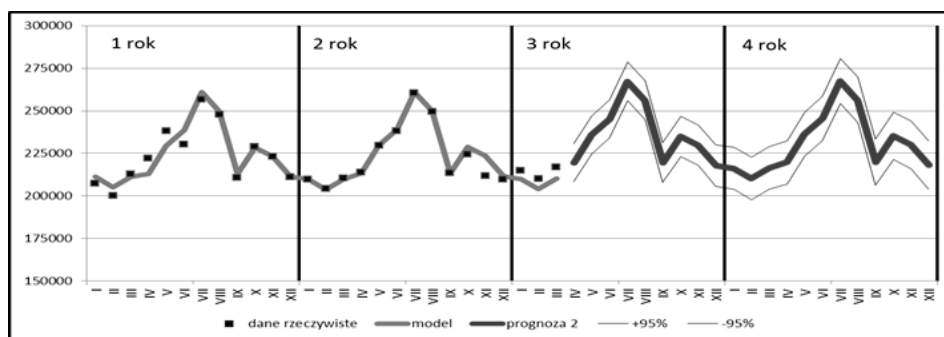


Rys. 27. Analiza trendu na podstawie danych zaktualizowanych i prognoza 2

Na kolejnym rysunku dodane są informacje o wielkości ruchu w pierwszym kwartale roku trzeciego, po wprowadzeniu nowego rozkładu jazdy w grudniu roku drugiego. Ruch w pierwszym kwartale jest nieco wyższy niż w latach poprzednich,

tak więc wynik analizy wskazuje na zmianę trendu na wzrostowy. Prognozowane macierze ruchu można otrzymać stosując wskaźniki wzrostu ruchu uzyskane z nowej analizy trendu.

Ostatni rysunek pokazuje, jak zmieni się ruch po wprowadzeniu planowanych istotnych zmian rozkładu jazdy w grudniu roku trzeciego. Planowane jest uruchomienie nowych połączeń i skrócenie czasu przejazdu na niektórych relacjach. W tym przypadku konieczne jest włączenie elementów obliczania prognozy długoterminowej, które pozwolą na określenie wielkości nowego ruchu i skalę zmian wynikającą ze zmiany czasu przejazdu. Obliczenie wykonane jest dla średniego miesiąca w roku, a rozkład na poszczególne miesiące obliczany jest metodą wskaźnikową według danych z analizy szeregów czasowych. Wynik wskazuje na istotny wzrost wielkości ruchu jako rezultat wprowadzonych zmian.



Rys. 28. Prognoza 3 wynikająca z analizy skutków zmian w rozkładzie jazdy

Pokazany przykład pokazuje wyniki analizy w skali całej sieci. W rzeczywistym procesie obliczeniowym analizy trendów i obliczenia prognostyczne wykonywane są również niezależnie dla wszystkich ważniejszych relacji ruchu.

## 8. Podsumowanie

Model obszaru zawiera komplet informacji o zagospodarowaniu przestrzennym kraju, wykorzystywanych do obliczania prognozy ruchu. Jego budowa umożliwiła bieżącą aktualizację danych w oparciu o GUS, a także wprowadzanie danych o kierunkach rozwoju kraju, umożliwiających wykonywanie prognoz ruchu.

Model drogowy jest rozwijany w ciągu ostatnich 15 lat w ramach prac przy kolejnych edycjach „Studium rozwoju sieci dróg ekspresowych i autostrad” wykonywanego dla GDDKiA. Wykorzystywany był przy wielu analizach sieci drogowej w skali kraju, a także projektach konkretnych odcinków dróg, projektowanych lub modernizowanych. Jego budowa umożliwiła stałą aktualizację zarówno dla stanu istniejącego, jak i rozwoju przyszłej sieci drogowej, a co za tym idzie krótko i długookresowe prognozowanie ruchu na drogach.

Model kolejowy w pierwszej wersji powstał na potrzeby „Master Planu Kolejowego” w 2008 roku. Był również wykorzystywany przy wielu projektach kolejowych, wykonywanych dla PLK, a także przewoźników kolejowych. Obecnie jest intensywnie rozwijany w PKP INTERCITY S.A. Jego budowa umożliwia bieżącą aktualizację zmian w infrastrukturze, rozkładzie jazdy i sprzedaży biletów, co umożliwia wykonywanie obliczeń symulacyjnych np. wpływu proponowanych zmian na wielkość przewozów. Może być również wykorzystany do prognoz długoterminowych sprawdzających wpływ rozwoju infrastruktury na przewozy.

Przedstawiony model może mieć szerokie zastosowanie. Zastosowanie spójnego modelu transportowego dla wszystkich środków transportowych w skali kraju, o przedstawionej tutaj strukturze, pozwala na przeprowadzenie analiz ruchu uwzględniających zmiany w zagospodarowaniu przestrzennym kraju, rozbudowę infrastruktury transportowej, zmiany w ofercie przewozowej, a także wzajemne oddziaływanie zarówno różnych środków transportu, jak i różnych przewoźników.

Otwarta struktura modelu pozwala na wprowadzanie nowych danych (np. stan techniczny infrastruktury, wypadki, dane środowiskowe) rozszerzających zakres jego stosowania. Możliwe jest wykonywanie analiz zarówno na poziomie scenariuszy ogólnego rozwoju krajowego systemu transportowego, jak i na poziomie lokalnym. Dane z modelu mogą być źródłem informacji przy projektach miejscowych, korytarzowych czy też wojewódzkich, jako źródło informacji o powiązaniach transportowych analizowanego obszaru z resztą kraju.