

## Rola prognozowania przewozów w podejmowaniu decyzji związanych z kształtowaniem systemu transportu kolejowego

Szymon KLEMB A<sup>1</sup>

### Streszczenie

Decyzje w zakresie kształtowania systemu transportowego mają istotny wpływ na funkcjonowanie różnych gałęzi gospodarki. Ze względu na charakter inwestycji infrastrukturalnych, przyjmowane rozwiązania w jak największym stopniu muszą odpowiadać przewidywanym potrzebom transportowym. Przewidywania te powinny być poparte badaniami lub symulacjami wspomagającymi proces decyzyjny. Jednym z narzędzi są modele matematyczne funkcjonowania systemu transportowego, wykorzystywane do prognozowania zapotrzebowania na transport. Modelowanie przewozów może przyczynić się do wyboru odpowiednich kierunków rozwoju systemu transportowego jednak, bez rozważania kontekstu danych inwestycji, dane wyjściowe z modelu nie powinny stanowić o wyborze konkretnego rozwiązania.

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

### 1. Obszary decyzji w transporcie kolejowym

Transport pełni rolę usługową dla większości gałęzi gospodarki, gdyż zapewnia przemieszczanie się ludzi i ładunków. Od sprawnego funkcjonowania transportu zależy funkcjonowanie całej gospodarki. Aby system transportowy funkcjonował w sposób sprawny, jego poszczególne elementy powinny być odpowiednio ukształtowane i zwymiarowane. Głównym problemem w kształtowaniu elementów systemu transportowego jest zmienność rzeczywistych potrzeb transportowych i brak możliwości jednoczesnego dokonywania zmian niektórych jego elementów. Elementami systemu transportowego są: infrastruktura, tabor (suprastruktura), personel, rozkład jazdy, przepisy regulujące funkcjonowanie transportu. Definicje systemu transportowego zawarto w publikacjach [1, 5]. Niektórych elementów systemu transportowego, takich jak np. infrastruktura, nie można zmieniać w elastyczny sposób ze względu na ich charakter. Z tego powodu te elementy są planowane i projektowane z wyprzedzeniem, w przeciwieństwie do przepisów i rozkładu jazdy, który pomijając aspekty proceduralne, można zmienić „od zaraz”.

Infrastruktura w bardzo dużym stopniu determinuje możliwości późniejszego zaspokajania potrzeb (na przykład kształtowania oferty przewozowej). W gestii planistów i projektantów pozostają decyzje dotyczące rozwiązań ar-

chitektoniczno-urbanistycznych, a od nich zależy późniejsze funkcjonowanie systemu transportowego. Decyzje te mogą być podejmowane na podstawie doświadczenia lub na podstawie zautomatyzowanych systemów decyzyjnych. W przypadku korzystania z takich systemów, wspomaganie decyzji odbywa się na podstawie modeli funkcjonowania systemu transportowego, za pomocą których można próbować przewidywać zachowanie poszczególnych jego elementów w przyszłości, przy różnym zapotrzebowaniu na przewozy, tak aby po kolejnych iteracjach wybrać rozwiązanie zbliżone do optymalnego.

Podczas planowania infrastruktury transportowej należy uwzględnić zarówno infrastrukturę liniową, jak i punktową. Decyzje planistyczne, które podejmuje się w zakresie infrastruktury liniowej dotyczą m.in.:

- zasadności podjęcia modernizacji określonego korytarza,
- maksymalnej prędkości, do której modernizuje się konkretny korytarz,
- liczby torów linii kolejowej.

W odniesieniu do infrastruktury punktowej decyzje na etapie planowania i projektowania infrastruktury mogą dotyczyć:

- liczby torów stacyjnych,
- wielkości pomieszczeń w budynkach dworcowych,
- liczby stanowisk obsługi podróżnych,
- przepustowości chodników i przejść dla pieszych.

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

W zakresie suprastruktury (taboru) decyzje są najczęściej związane z:

- liczbą jednostek taborowych potrzebnych do obsłużenia potoków pasażerskich, przy założonej ofercie przewozowej,
- pojemnością jednostek taborowych,
- parametrami (charakterystykami) trakcyjnymi jednostek taborowych.

U podstaw każdej z wymienionych decyzji leży informacja o przewidywanej liczbie pociągów poruszających się po określonej infrastrukturze i liczbie podróżnych z nich korzystających. W tym celu niezbędne jest zbudowanie modelu funkcjonowania systemu transportowego, za pomocą którego opracowywane są prognozy przewozów podróżnych. Prognoza wielkości przewozów jest elementem przewidywania opartym na wiedzy o zjawisku, na podstawie której jest budowany model prognostyczny.

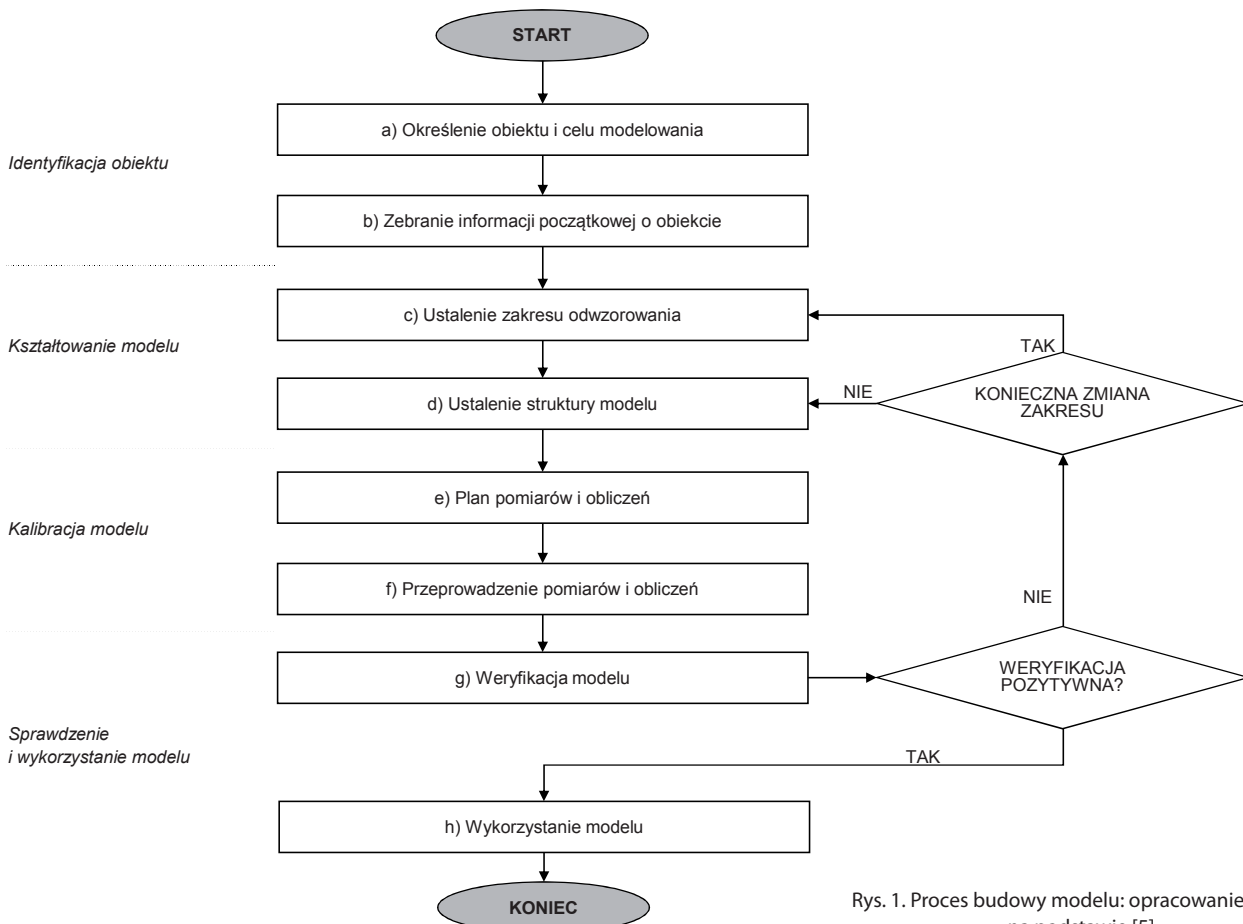
## 2. Model funkcjonowania systemu transportowego

Model funkcjonowania systemu transportowego jest odwzorowaniem fragmentu rzeczywistości, podlegają-

cym badaniu. Model systemu transportowego (bądź jego fragmentu) ma za zadanie odwzorowanie funkcjonowania przewozów na obszarze, którego badania dotyczą. Ma on postać opisu matematycznego poszczególnych elementów oraz zachodzących pomiędzy nimi relacji. Podjęcie decyzji dotyczących inwestycji musi odbywać się na podstawie charakterystyki liczbowej lub wskaźników. Inne rodzaje modeli w tym kontekście należy uznać za nieprzydatne. Klasyfikację modeli przedstawiono m.in. w [5]. Proces konstruowania modelu funkcjonowania systemu transportowego jest złożony i może zawierać następujące etapy (rys. 1):

- określenie celu modelowania i obiektu zainteresowania,
- zebranie informacji początkowych o obiekcie,
- ustalenie koniecznego zakresu i dokładności odwzorowania,
- ustalenie struktury modelu,
- plan obserwacji, pomiarów i obliczeń,
- wykonanie obserwacji, pomiarów i obliczeń,
- określenie wartości parametrów i weryfikacja modelu,
- wykorzystanie modelu do badań w przypadku pozytywnej weryfikacji założonej hipotezy.

W etapie (a) należy określić zbiór analizowanych obiektów oraz cel badań. Przykładowo, może to być model obszaru wzdłuż jednego korytarza transportowego (wybranej linii kolejowej), wraz z wejściami i wyjściami z tego modelu, któ-



Rys. 1. Proces budowy modelu: opracowanie własne na podstawie [5]

rymi są węzły komunikacyjne. Może to być również model przepływu podróżnych w obrębie budynku dworcowego.

W etapie (b) należy zebrać podstawowe informacje o analizowanym obiekcie. W przypadku linii kolejowej będzie to jej długość, podział na szlaki i odstępy, liczba torów, rozmieszczenie posterunków ruchu i przystanków osobowych oraz przebiegających równoległe do linii ciągów komunikacyjnych, przeznaczonych dla innych niż kolej gałęzi transportu. W przypadku modelu obiektu dworcowego należy zebrać dane dotyczące m.in. rozmiarów pomieszczeń przeznaczonych dla podróżnych, usytuowania obiektu względem peronów lub innego rodzaju infrastruktury przeznaczonej dla klientów kolei. Należy przy tym zaznaczyć, że rozmiary powierzchni przeznaczonych dla podróżnych są ograniczeniem do projektowania przepływu potoku podróżnych.

Ważnym punktem przy konstruowaniu modelu jest ustalenie dokładności, czyli poziomu szczegółowości odwzorowania rzeczywistego obiektu (c). Przy jego ustalaniu należy uwzględnić cel modelowania oraz dysponowane środki. Sporządzenie modelu mało dokładnego uniemożliwia uzyskanie prawidłowych wyników obliczeń i takiego modelu nie będzie można wykorzystać w badaniach. Natomiast model zbyt skomplikowany może utrudnić lub wręcz uniemożliwić wykorzystanie go w praktyce, ze względu na swoją złożoność i zastosowany aparat matematyczny. Z tego powodu ważne jest, aby przy ustalaniu poziomu szczegółowości zachować odpowiednią równowagę pomiędzy dokładnością i celem badań. Model musi być na tyle szczegółowy, aby mógł być wykorzystany w badaniach i dawać na wyjściu prawidłowe rezultaty. Przy wyborze elementów, ich parametrów oraz zmiennych modelu, określających czynniki mające wpływ na badane zjawisko, istotny jest wpływ każdego z nich na zachowanie się obiektu.

Jedną z metod doboru zmiennych modelu jest metoda Hellwiga [9]. Umożliwia ona określenie pojemności informacyjnej dla poszczególnych kombinacji zmiennych i wyboru najlepszej spośród wszystkich kombinacji. Jeżeli na tym etapie budowy modelu znane są związki funkcyjne, określające powiązania pomiędzy zmiennymi i wartością docelową, można dokonać analizy wrażliwości badanej wielkości na zmiany tych zmiennych. Na przykład w modelu korytarza transportowego należy po pierwsze określić czy będą analizowane wszystkie gałęzie transportu występujące w rozpatrywanym korytarzu i związki występujące pomiędzy nimi, czy jedynie transport kolejowy, a inne środki transportu będą stanowiły część otoczenia. Po drugie, należy zastanowić się, które czynniki mają być uwzględnione, jako wpływające na wielkość potoku pasażerów lub towarów [3]. Mogą to być czynniki:

- makroekonomiczne (np. produkt krajowy brutto),
- demograficzne (liczba ludności),
- społeczne (np. ruchliwość mieszkańców),
- polityczne (np. ograniczenia wizowe).

Szczegółowość modelu można dostosować również w zakresie czynników mikroekonomicznych przekłada-

jących się bezpośrednio na decyzje o wyborze środka transportu (np. koszt biletu, czas przewozu). W przypadku modelu obiektu dworcowego, można rozważać pojedyncze stanowiska lub grupy stanowisk obsługi (na przykład okienka kasowe, toalety, przejścia pod / nad torami), lub obiekt dworcowy jako całość.

Najważniejszym etapem konstrukcji modelu jest określenie jego struktury (d). Na tym etapie należy określić powiązania pomiędzy poszczególnymi elementami modelu i ich parametrami, a zdefiniowanymi czynnikami. Oznacza to wybór zmiennych modelu oraz dobór kształtu i parametrów funkcji matematycznych opisujących powiązania pomiędzy zmiennymi i parametrami modelu. Na podstawie teorii modelowania systemów transportowych, przedstawionych m.in. w publikacjach [6, 8], ogólny zapis takiej funkcji można przedstawić następująco (1):

$$y = a \frac{x_1 x_2}{x_3} \quad (1)$$

gdzie:

- $y$  – zmienna wielkości szukanej (np. potoku pasażerskiego),
- $x_1$  – zmienna 1, której zmiany oddziałują proporcjonalnie na zmianę wielkości szukanej (np. dochód na głowę mieszkańca),
- $x_2$  – zmienna 2, której zmiany oddziałują proporcjonalnie na zmianę wielkości szukanej (np. liczba ludności),
- $x_3$  – zmienna 3, której zmiany oddziałują odwrotnie proporcjonalnie na zmianę wielkości szukanej (np. koszt podróży),
- $a$  – wolny parametr.

Przy tworzeniu modelu nie ma żadnych ograniczeń poza inwencją autorów modelu oraz wspomnianym poziomem komplikacji, wynikającym ze zbyt szczegółowych i złożonych formuł matematycznych.

Znając strukturę modelu, przystępuje się do określenia planu pomiarów i obliczeń (e), które mają w dalszych etapach umożliwić wyznaczenie wartości parametrów modelu (jego skalibrowanie). W planie pomiarów powinno zdefiniować się harmonogram zbierania danych oraz ich niezbędny zakres. Należy również dobrać metodę obliczeń, za pomocą których wyznaczy się parametry modelu. W prostych zastosowaniach może to być na przykład regresja liniowa [3]. Po ustaleniu planu, należy przystąpić do jego realizacji (f). Na podstawie przytoczonego przykładu funkcji (1), związek pomiędzy zmianami parametrów i zmianą wielkości szukanej może mieć postać (2):

$$\Delta y = a \frac{\Delta x_1 \Delta x_2}{\Delta x_3} \quad (2)$$

gdzie:

- $\Delta y$  – zmiana wielkości szukanej (np. potoku pasażerskiego),
- $\Delta x_1$  – zmiana zmiennej 1 (np. dochód na głowę mieszkańca),
- $\Delta x_2$  – zmiana zmiennej 2 (np. liczby ludności),

$\Delta x_3$  – zmiana zmiennej 3 (np. kosztów podróży),  
 $a$  – wolny parametr.

Znak  $\Delta$  (delta) można zastąpić różniczką [4].

Aby wyznaczyć parametr  $a$  (etap g), należy mieć do dyspozycji dane (na przykład historyczne) o kształtowaniu się wielkości  $x_1, x_2, x_3$ , oraz  $y$  (trzeba je pozyskać na etapie f). Zakładając, że wszystkie parametry oddziałują na zmianę wartości szukanej w sposób niezależny, proces wyznaczania parametru modelu może mieć następujący przebieg. Najpierw parametr  $a$  należy rozbić na trzy parametry przyporządkowane poszczególnym zmiennym:

$$\Delta y = \frac{a_1 \Delta x_1 + a_2 \Delta x_2}{a_3 \Delta x_3} \quad (3)$$

W pierwszej kolejności będą ustalone zmienne  $x_2$  i  $x_3$  ( $\Delta x_2, \Delta x_3$  zostają pominięte), następnie wyznacza się zmianę wielkości  $y$  względem zmian zmiennej  $x_1$  i parametr  $a_1$  – (4):

$$\begin{aligned} \Delta y_1 &= a_1 \Delta x_1 \\ a_1 &= \frac{\Delta y_1}{\Delta x_1} \end{aligned} \quad (4)$$

Analogicznie do wzoru (4) postępuje się ze zmiennymi  $x_2$  i  $x_3$ , wyznaczając parametry  $a_2$  i  $a_3$  – wzory (5) i (6):

$$\begin{aligned} \Delta y_2 &= a_2 \Delta x_2 \\ a_2 &= \frac{\Delta y_2}{\Delta x_2} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \Delta y_3 &= \frac{1}{a_3 \Delta x_3} \\ a_3 &= \frac{1}{\Delta x_3 \Delta y_3} \end{aligned} \quad (6)$$

Końcową wartość parametru  $a$  wyznacza się jako:

$$a = \frac{a_1 a_2}{a_3} \quad (7)$$

Warto zaznaczyć, że  $\Delta x$  nie musi oznaczać pojedynczej wartości danej zmiennej lub wielkości szukanej. Może to być na przykład wartość średnia tych wielkości, jak również parametr  $a$  może być średnią z wartości parametrów  $a_i$  wyznaczanych na podstawie pojedynczych pomiarów. Również zależności liniowe można zastąpić nieliniowymi, używając równania różniczkowe i dlatego podane wzory mają jedynie na celu zaprezentowanie idei postępowania.

Po wyznaczeniu parametrów następuje weryfikacja modelu (g). Polega ona na porównaniu danych uzyskanych z rzeczywistego obiektu z danymi z modelu. Na przykład, byłyby to wielkości mierzone wzdłuż badanego korytarza transportowego (np. liczba podróżnych na poszczególnych odcinkach) lub w obiekcie dworcowym (np. liczba pasażerów korzystających z kas biletowych lub średni czas obsługi

podróżnego przez kasjera). Weryfikacja może polegać na wyznaczeniu współczynników determinacji dla poszczególnych wielkości wyjściowych z modelu, będących miarą dopasowania modelu do rzeczywistości i oceniających zgodność uzyskiwanych wyników z wartościami pomiarów [8]. Współczynniki te wyznacza się według wzoru (8):

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_{rz})^2}{\sum_{i=1}^n (y_{rz,i} - \bar{y}_{rz})^2} \quad (8)$$

gdzie:

- $R^2$  – współczynnik determinacji (zgodności),
- $n$  – liczba punktów pomiarowych (punktów kontrolnych),
- $y_{rz,i}$  – wartość  $i$ -tego pomiaru,
- $\bar{y}_{rz}$  – średnia arytmetyczna wartości pomiarowych,
- $y_i$  – wartość teoretyczna z modelu odpowiadająca  $i$ -temu pomiarowi.

Współczynnik zgodności osiąga wartości z przedziału 0,1. Im bliżej jest wartości 1, tym w większym stopniu zachowanie modelu odzwierciedla funkcjonowanie rzeczywistego obiektu (systemu transportowego). W praktycznych zastosowaniach, zwłaszcza przy niedostatecznej bazie danych umożliwiających dobór parametrów (kalibrację modelu), wykorzystuje się modele charakteryzujące się poziomem zgodności  $R^2$  większym od 0,6 (przykłady modeli ze wskazanymi wartościami współczynnika  $R^2$  opisano m.in. w [2, 4, 10, 11].

Jeżeli przyjmie się, że uzyskany poziom zgodności jest satysfakcjonujący (weryfikacja pozytywna modelu), model może być wykorzystany do dalszych badań, na przykład do prognozowania przewozów lub symulowania funkcjonowania systemów obsługi podróżnych na dworcu. Jeżeli dokładność jest niewystarczająca (weryfikacja negatywna), model musi być poprawiony, jeśli konieczna jest zmiana zakresu i dokładności odwzorowania należy powrócić do etapu (c). Jeżeli nie jest to konieczne, należy zastanowić się nad strukturą modelu i postępowanie wznowić od etapu (d). W niektórych przypadkach może okazać się, że błąd popełniono na etapie kalibracji lub obliczeń, mimo że zakres i struktura modelu były prawidłowo zdefiniowane.

W celu wykorzystania zweryfikowanego modelu do dalszych prac (na przykład prognoz), należy dokładnie zdefiniować zakres dalszych badań, czyli w jaki sposób mają kształtować się zmienne objaśniające w poszczególnych „eksperymentach” badawczych.

### 3. Wykorzystanie modelu funkcjonowania systemu transportowego do prognoz

Punktem wyjścia do przygotowania prognoz jest zweryfikowany model funkcjonowania systemu transportowego, czyli informacja o uwzględnionych w nim czynnikach. Na pod-

stawie własnych doświadczeń, autor proponuje podzielić proces przygotowania prognozy na następujące etapy (rys. 2):

- ramowa definicja scenariuszy / wariantów prognoz,
- szczegółowa definicja scenariuszy / wariantów prognoz,
- zebranie danych niezbędnych do przeprowadzenia obliczeń z wykorzystaniem modelu,
- przeprowadzenie obliczeń i analiza wyników,
- weryfikacja wyników,
- opracowanie wskaźników oceny,
- wybór scenariusza / wariantu.

Pierwszym krokiem w przygotowaniu prognoz (a) jest zdefiniowanie scenariuszy / wariantów, według których będą wykonywane obliczenia lub symulacje. Należy zdecydować, dla jakiego horyzontu czasowego będzie sporządzana prognoza, dla jakich okresów, które czynniki będą różnicowane w poszczególnych scenariuszach / wariantach. Na tym etapie należy uzyskać odpowiedź na pytanie: jaka jest łączna liczba rozważanych scenariuszy.

Przyjmując, że  $X$  oznacza zbiór czynników uwzględnionych w modelu, a  $X = n$ , czyli  $X = \{x_i; i = 1, \dots, n\}$  oznacza licznosc tego zbioru (liczba czynników) i przyjmując, że każdy  $i$ -ty czynnik może być różnicowany na  $p$  sposobów ( $p_i \in \mathbb{N}^+$ ), wówczas liczba scenariuszy  $L_s$ , które można poddać analizie wynosi:

$$L_s = \prod_{i=1}^n p_i \quad (9)$$

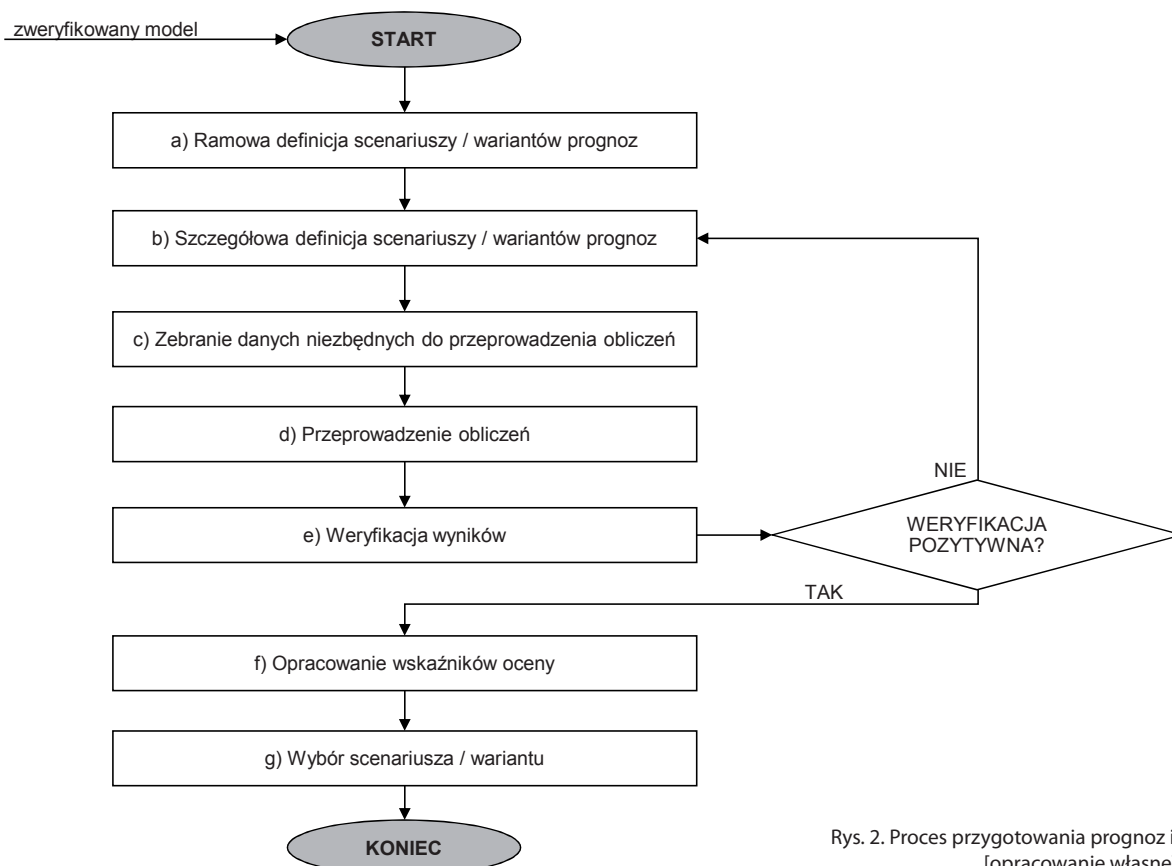
gdzie:

$L_s$  – liczba scenariuszy,

$p_i$  – liczba sposobów różnicowania  $i$ -tego czynnika (zmiennej objaśniającej).

Na etapie (a) należy odrzucić scenariusze powstałe z pozbawionych logicznego sensu kombinacji czynników modelu (na przykład maksymalny rozwój infrastruktury transportowej przy założonej sytuacji gospodarczej) oraz sprawdzić dostępność danych wejściowych, niezbędnych do szczegółowego zdefiniowania scenariuszy (w etapie b). Istotną kwestią jest ustalenie horyzontu czasowego prognozy (np. rok 2040) oraz okresu prognozy (np. co 5 lat).

Następnym krokiem (b) jest szczegółowe zdefiniowanie scenariuszy prognozy, czyli przyporządkowanie rodzajów wartości (liczbowych, logicznych lub jakościowych) poszczególnym czynnikom oraz zdecydowanie, w jakim stopniu będą ulegały one zmianie w scenariuszach / wariantach w poszczególnych okresach prognozy. W definicjach scenariuszy / wariantów prognozy należy uwzględnić przede wszystkim rozważane zakresy rozwoju infrastruktury transportowej oraz oferty przewozowej (kwestie, które są zależne od decyzji organizatora przewozów / zarządcy infrastruktury). W etapie (c) należy zebrać i wprowadzić dane dotyczące zmian poszczególnych czynników – jest to najbardziej pracochłonny etap przygotowywania prognoz



Rys. 2. Proces przygotowania prognoz i wyboru wariantu [opracowanie własne]



i od jego jakości zależy jakość uzyskanych wyników.

Po wykonaniu obliczeń według zbudowanego wcześniej modelu (etap d), uzyskane wyniki należy poddać weryfikacji (etap e). Należy przede wszystkim zwrócić uwagę na ich sens fizyczny (na przykład sprawdzić, czy napelnienie pociągów nie przekracza pojemności taboru). Warto także porównać wyniki pomiędzy poszczególnymi scenariuszami / wariantami prognozy. Uzyskuje się wówczas informację, czy otrzymane wyniki nie są sprzeczne z logiką (na przykład, czy nie uzyskano drastycznego spadku przewozów przy założeniu maksymalnego rozwoju infrastruktury). Na tym etapie należy zidentyfikować ewentualne błędy oraz ustalić źródło ich powstania. W przypadku negatywnej weryfikacji, należy przystąpić do redefinicji scenariuszy, natomiast pozytywna weryfikacja umożliwia przystąpienie do oceny uzyskanych wyników (etap f).

Oceny scenariuszy / wariantów można dokonać za pomocą definicji wskaźników oceny scenariusza / wariantu. Przykłady metod wyboru wariantów inwestycji przedstawiono m.in. w pracy [1]. Popularną metodą oceny wariantów jest tzw. analiza wielokryterialna, której wynikiem jest ustalenie końcowego wskaźnika oceny wariantu. Kolejnymi krokami tej analizy są:

- zdefiniowanie kryteriów oceny oraz wskaźników oceny tych kryteriów,
- zdefiniowanie wag poszczególnych kryteriów,
- określenie wartości wskaźników ocen poszczególnych kryteriów (dla poszczególnych scenariuszy),
- określenie wartości wskaźnika oceny wariantu.

Kryteriami oceny danego wariantu mogą być na przykład:

- liczba przewiezionych pasażerów,
- wykonana praca przewozowa,
- łączny czas podróży pasażerów,
- średnia prędkość handlowa pociągów,
- średnia prędkość techniczna pociągów,
- środki niezbędne do realizacji inwestycji,
- koszty eksploatacji systemu,
- koszty zewnętrzne wynikające z funkcjonowania systemu.

Niezwykle istotną kwestią w analizie wielokryterialnej jest określanie wag dla poszczególnych kryteriów, a także ustalanie wartości wskaźników ich ocen. Jest to etap najbardziej podatny na oddziaływanie subiektywnych odczuć lub intencji osoby oceniającej. Z tego względu warto wcześniej ustalić sposób określania wartości wskaźników ocen poszczególnych kryteriów, a najlepiej, aby ich wartości były uzyskiwane w wyniku obliczeń wykonywanych za pomocą modelu prognostycznego. Najprostsze podejście, polegające na przyporządkowywaniu poszczególnym kryteriom ocen w określonej skali (np. od 1 do 5), może prowadzić do subiektywizacji oceny poszczególnych wariantów i należy je stosować w ostateczności.

W wyniku przeprowadzonej oceny dokonuje się wyboru, najlepszego z punktu widzenia przyjętych kryteriów, oceny scenariusza / wariantu. Oczywiście nie jest to równoznaczne z podjęciem ostatecznej decyzji o wyborze określonego wariantu, jednakże stanowi ważne wskazanie,

pomocne w procesie decyzyjnym.

#### 4. Wykorzystanie prognoz w podejmowaniu decyzji

Wykorzystanie prognoz przy podejmowaniu decyzji dotyczących rozwoju transportu może mieć miejsce w dwóch sytuacjach:

- przy nakreślaniu kierunków rozwoju systemu transportowego (uściślając infrastruktury transportowej lub oferty przewozowej),
- przy wyborze wariantu określonej inwestycji.

Pierwszą grupę prognoz można nazwać prognozami strategicznymi, dotyczącymi większego obszaru, na przykład województwa lub kraju (ale również miasta, w przypadku programowania rozwoju systemu transportu miejskiego). Są to prognozy w skali sieci transportowej. Drugą grupę można określić mianem prognoz szczegółowych, dotyczących danego korytarza transportowego lub danego punktu sieci transportowej. Prognozy te wykorzystuje się bardzo często np. w dokumentach aplikacyjnych o dofinansowanie inwestycji z funduszy Unii Europejskiej [7].

Prognozy można wykonać stosując kompleksowy model podróży lub stosując podejście uproszczone. Kompleksowy model podróży obejmuje cztery etapy obliczeń:

- generowanie potoków,
- dystrybucja potoków,
- podział międzygałęziowy,
- rozłożenie potoków (pasażerów, ładunków lub pojazdów) na sieć transportową.

Podejście uproszczone polega na mnożeniu wartości bazowych, tylko dla analizowanej gałęzi transportu, przez odpowiednie wskaźniki wzrostu. Podejścia te różnią się dokładnością modelu oraz pracochłonnością z tym związaną, dlatego mając na uwadze dostępne środki należy odpowiednio wyważyć wymaganą dokładność modelu i cel badań.

Niezależnie od rodzaju podejścia i zastosowanych metod, decyzje podjęte na podstawie wyników prognoz mają istotne znaczenie dla funkcjonowania objętego nimi obszaru. Wszelkie błędy popełnione na etapie prognozowania mogą prowadzić do błędnych wniosków i w konsekwencji do strat wynikających z niedopasowania poszczególnych elementów systemu transportowego (infrastruktury, taboru, oferty) do występującego zapotrzebowania na przewozy. Przeszacowanie potrzeb przewozowych na etapie prognoz mogą spowodować brak odpowiedniego poziomu ich wykorzystania w przyszłości, a więc problemy z ich utrzymaniem. Może to również prowadzić do postępującej degradacji tych elementów, przez co mogą nie spełniać swojej roli w zakładanym pierwotnie zakresie. Niedoszacowanie potrzeb przewozowych może doprowadzić do przeciążenia pewnych elementów systemu, a nawet uniemożliwić zaspokojenie zapotrzebowania na transport. Przykładowo, w przypadku inwestycji dotyczących transportu kolejowego, niewystarczająca przepustowość linii może spowodować odpływ po-

toków pasażerów lub ładunków do innych gałęzi transportu.

## 5. Podsumowanie

Podstawową rolą prognozowania przewozów jest wspomaganie procesu decyzyjnego w obszarze inwestycji dotyczących rozwoju systemu transportowego (w szczególności infrastruktury). Przygotowanie modelu prognostycznego jest tym bardziej pracochłonne i kosztowne, im większa jest jego dokładność i zasięg. Nie należy jednak z tego powodu korzystać z metod tańszych i szybszych w realizacji. Są one zwykle niedokładne i mogą prowadzić do błędnych decyzji. Te z kolei mogą negatywnie odbić się podczas późniejszej eksploatacji inwestycji, a straty z tego tytułu mogą nieporównywalnie przewyższać koszt przygotowania odpowiedniego modelu.

Należy pamiętać, że nawet najbardziej dopracowany model podróży / ruchu jest obciążony błędem. Źródłem niedokładności prognoz może być także brak możliwości przewidzenia niektórych zjawisk, które nastąpią w przyszłości. Nie można jednak zapomnieć, że model matematyczny stanowi jedynie narzędzie wspomagające podejmowanie decyzji i nie zastąpi człowieka w procesie logicznego myślenia i wyciągania wniosków.

## Bibliografia

1. Jacyna M.: *Wybrane zagadnienia modelowania systemów transportowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2009.
2. Jamroz K. et.al.: *Strategia Transportu i Mobilności Obszaru Metropolitalnego do roku 2030*, Załącznik nr 4 – Transportowy model prognostyczny podróży dla Obszaru Metropolitalnego, Gdańsk, maj 2015.
3. Klemba S.: *Wybrane zagadnienia prognozowania potoków pasażerskich*. Problemy Kolejnictwa, 2011, z. 152.
4. Kolej Metropolitalna w Trójmieście – Badanie Podróży (PROJEKT 2007 017 PL MUN RAL), Instytut Kolejnictwa, Warszawa 2010, WWW <http://www.pkm-sa.pl/wp-content/uploads/2010/09/RAPORT-Kolej-Metropolitalna-Analiza-marketingowa-PL-03112010.pdf>.
5. Leszczyński J.: *Modelowanie systemów i procesów transportowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1990.
6. Meyer M., Miller E.: *Urban transportation planning: A Decision-Oriented Approach*. Mc Graw Hill, 1984.
7. Niebieska Księga – Sektor kolejowy – Infrastruktura i tabor. JASPERS, 2015.
8. Ortúzar J., Willumsen L.: *Modelling Transport*. John Wiley and Sons, Ltd., Publication, 2011.
9. Staniec I.: *Wybrane metody statystyczne w rozwiązywaniu zadań klasyfikacji*. Rozprawa doktorska (rozdział III). Wydział Organizacji i Zarządzania Politechniki Łódzkiej, Łódź, 2011.
10. Szarata A.: *Modelowanie podróży wzbudzonych oraz tłumionych zmianą stanu infrastruktury transportowej*. Politechnika Krakowska, Monografia 439, Kraków, 2013.
11. Warszawskie Badanie Ruchu 2015 wraz z opracowaniem modelu ruchu. Raport z etapu IV – Model ruchu – aktualizacja lipiec 2017, WWW <https://transport.um.warszawa.pl/sites/default/files/WBR%20ETAP%20IV%20AKTU->