

ZASTOSOWANIE MODELU CENA – CZAS DO SZACOWANIA PODZIAŁU ZADAŃ RZEWOSOWYCH W PODRÓŻACH MIĘDZYAGLOMERACYJNYCH

Andrzej Żurkowski

dr inż., Instytut Kolejnictwa, 04-275 Warszawa, ul. Chłopickiego 50, tel. +48 22 473 1300, e-mail: azurkowski@ikolej.pl

Streszczenie. Model cena – czas stosowany jest przede wszystkim do modelowania podziału zadań przewozowych w korytarzach transportowych pomiędzy kolejami dużych prędkości (KDP), a lotnictwem. W artykule podjęto próbę jego zastosowania do oceny podziału modalnego w krajowych przewozach międzyaglomeracyjnych pomiędzy przewoźnikami kolejowymi a autobusowymi. W oparciu o przeprowadzone obliczenia dokonano oceny wpływu dwu podstawowych preferencji, czyli ceny i czasu na wybory dokonywane przez podróżnych oraz w konsekwencji na rozłożenie potoku w korytarzu transportowym wśród dwóch podstawowych przewoźników publicznych.

Słowa kluczowe: model „cena – czas”, przewozy pasażerskie, transport lotniczy, transport kolejowy, transport autobusowy, podział zadań przewozowych

1. Wprowadzenie

Przewozy międzyaglomeracyjne stanowią rozwijający się dynamicznie segment rynku pasażerskich usług transportowych. Rozpatrując układ osadniczy w Polsce, a w szczególności rozmieszczenie aglomeracji oraz innych największych miast, oddalonych od siebie o około 300 km jest oczywiste, że środkami transportu najlepiej predestynowanymi do realizacji takich przewozów są samochody osobowe, autobusy oraz pociągi. Wobec długich czasów przejazdu w niektórych relacjach, spowodowanych brakiem autostrad lub dróg szybkiego ruchu, kongestią ruchu drogowego lub niskimi prędkościami osiąganymi w transporcie szynowym, relatywnie duży udział w rynku takich przewozów mają także połączenia lotnicze.

W szeregu modeli związanych z prognozowaniem ruchu pomiędzy odległymi aglomeracjami przyjmuje się założenie, że początki i końce podróży znajdują się w ich centrach, utożsamianych na przykład z dworcami kolejowymi. Postępująca urbanizacja kraju, a w szczególności rozwój przestrzenny miast powoduje, że takie założenie okazuje się nadmiernym uproszczeniem.

W artykule rozpatrzono przykład korytarza Warszawa – Kraków próbując oszacować wpływ dostępności środków transportu (odwzorowanej czasem dojazdu do dworców kolejowych i autobusowych) z różnych dzielnic Warszawy na podział zadań przewozowych. Rozważania teoretyczne zobrazowano przykładem oblicze-

niowym wykorzystującym szacunkowe dane o wielkości przewozów w wybranych połączeniach kolejowych i autobusowych.

2. Podstawy teoretyczne modelu cena – czas

Model *cena – czas* służy do badania podziału modalnego w korytarzu transportowym, a jego podstawowym zastosowaniem jest ocena konkurencyjności Kolei Dużych Prędkości w stosunku do połączeń lotniczych [1, 2, 4, 6]. Zgodnie z nazwą w modelu tym przyjmuje się, że dwoma kluczowymi (i jedynymi) elementami wyboru środka transportu są *czas realizacji podróży* oraz jej *koszt*, powiązane formułą kosztu uogólnionego postaci:

$$G = c + h \cdot t \quad (1)$$

gdzie:

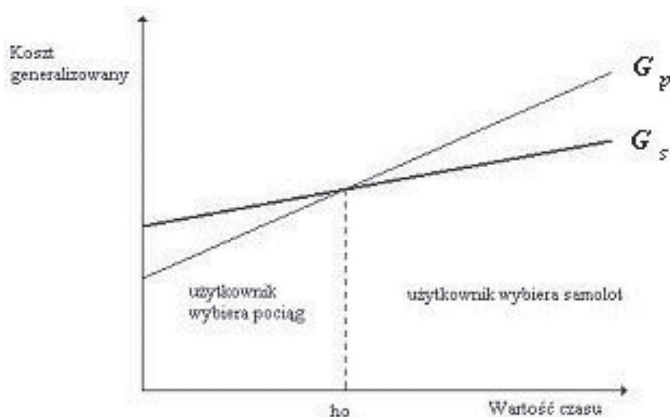
G – koszt generalizowany przejazdu pociągiem lub przelotu samolotem,

c – całkowita cena przejazdu lub przelotu,

h – jednostkowy koszt czasu podróжного,

t – całkowity czas podróży.

Kluczowym elementem modelu cena–czas jest wartość h , czyli tzw. jednostkowy koszt czasu podróжного (inaczej: *walor* albo *wartość czasu* podróжного [2]). Jest to konkretna wartość (wyrażona na przykład w zł/h), jaką przypisuje on swojemu czasowi poświęcanemu na podróż¹. W ten sposób pasażer wybiera ten środek transportu, z którym związany jest mniejszy koszt generalizowany G . Obrazują to wykresy na rysunku 1.



Rys. 1. Funkcje kosztu generalizowanego dla pociągu (G_p) oraz samolotu (G_s)

¹ Ocena kosztu jednostkowego (wartości czasu) ma charakter indywidualny (zdezagregowany). Definicja przenosząca to pojęcie na pewną populację podróжных (agregacja) jest następująca: jeżeli jedna godzina wydłużenia czasu podróży daje taki sam efekt w postaci zmniejszenia zapotrzebowania na przewozy, jak wzrost ceny biletu o h złotych, to h nazywamy wartością (walorem) czasu.

W rozważanej relacji istnieje wartość czasu h_0 (nazywana *obojętną*) taka, że $G_p = G_s$. Jeżeli zatem $b < h_0$ to oznacza, że użytkownik wybrał pociąg; w przeciwnym przypadku użytkownik wybrał samolot. Wartość h_0 wynika ze wzoru:

$$h_0 = \frac{c_s - c_p}{t_p - t_s} \quad (2)$$

gdzie:

c_s, c_p – odpowiednio: całkowita cena przelotu samolotem lub przejazdu pociągiem,

t_p, t_s – odpowiednio: całkowity czas podróży pociągiem samolotem.

Postać rozkładu wartości czasu b w populacji podróżujących w danej relacji nie jest zazwyczaj znana. Przyjmuje się zatem hipotezę, że jest ona taka sama (analogiczna) jak rozkład przychodów w społeczeństwie i ma postać rozkładu logarytmiczno-normalnego dla przychodów najniższych oraz rozkładu Pareto dla przychodów o wyższej wartości.

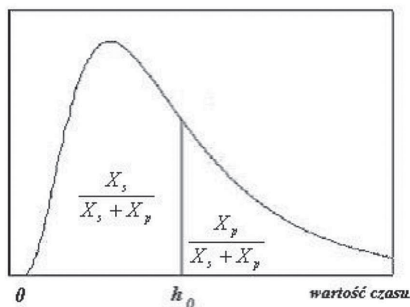
Przyjmując dla uproszczenia odwzorowanie w całości rozkładem logarytmiczno – normalnym oznaczymy przez X_p oraz X_s liczbę pasażerów korzystających odpowiednio z pociągu i z samolotu. Otrzymujemy wówczas:

$$X_p = F(h_0) = \int_0^{h_0} f(x) dx \quad (3)$$

oraz

$$X_s = 1 - F(h_0) = \int_{h_0}^{\infty} f(x) dx \quad (4)$$

Powierzchnie odpowiadające proporcji (udziałowi) w rynku przypadające na pociąg oraz na samolot przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Funkcja gęstości rozkładu wartości czasów podróży {2}

Przykłady modelu cena–czas opisywane są często we francuskiej literaturze przedmiotu i znalazły tam szereg zastosowań praktycznych związanych z oceną podziału modalnego pomiędzy TGV a samolotem [3, 4]. Osobnym zagadnieniem

pozostaje opracowanie dokładnej postaci funkcji kosztu generalizowanego odwzorowującej warunki lokalne z uwzględnieniem na przykład czasu oczekiwania na najbliższe połączenie w danej relacji² [2, 4]. Wprowadzany ostatnio także przez SNCF (Koleje Francuskie) tzw. równoodstępowy rozkład jazdy w sposób istotny zmienia dotychczasowe zachowania pasażerów ułatwiając zaplanowanie podróży i zwiększając dostępność (czasową) kolei [3].

Cena i czas są tylko wybranymi cechami potrzeb transportowych składającymi się na dłuższą listę preferencji podróżnych. Wśród pozostałych wymienić można także bezpieczeństwo osobiste i komunikacyjne, dostępność (geograficzną i czasową) środka transportu, terminowość realizacji podróży i szereg innych [6, 7]. W indywidualnych przypadkach zachowań odgrywają one różną rolę w podejmowaniu decyzji przez podróżnych, a ustalenie ich listy dla warunków konkretnego korytarza transportowego jest bardzo istotne³. W ogólnym przypadku obejmującym dłuższą listę preferencji oraz wybór spośród dwu lub więcej środków transportu stosuje się tradycyjnie wielomianowy model logitowy [5, 6].

Niezależnie od słuszności powyższych uwag za wyborem modelu opisującego związku jedynie ceny i czasu przemawia zarówno praktyka modelowania, jak i doświadczenie z procesu badania zachowań rynkowych. Dyskusyjne jest bowiem założenie, że każdy podróżny poprzedza swoje decyzje o sposobie odbywania podróży rozbudowaną analizą obejmującą wiele różnorodnych aspektów.

Powstaje pytanie, czy model cena–czas może znaleźć zastosowanie także w warunkach polskich, gdzie perspektywa pojawienia się Kolei Dużych Prędkości wydaje się obecnie dosyć odległa. W szeregu korytarzach transportowych rywalizują natomiast nie tylko kolej i samolot, ale także kolej i publiczni przewoźnicy autobusowi. Wobec takich realnych uwarunkowań rynkowych w artykule przedstawiono próbę zastosowania opisanego modelu w warunkach wybranego krajowego korytarza transportowego z zastosowaniem danych odnoszących się do aktualnych ofert przewozowych.

3. Sytuacja rynkowa i zachowania konkurencyjne w podróżach międzyaglomeracyjnych

Przewozy międzyaglomeracyjne (tzw. *kwalifikowane*) były dotychczas w Polsce domeną głównie transportu kolejowego, co przez wiele lat wynikało ze stanu dróg kołowych oraz słabego rozwoju motoryzacji indywidualnej. Relatywnie nieliczne, regularne połączenia autobusowe nie stanowiły także realnej konkurencji dla kolei w bezpośrednich przewozach pomiędzy największymi miastami. Modernizacja wielu dróg krajowych, a w ostatnim okresie również coraz dłuższa sieć autostrad oznaczają zmianę tej sytuacji. Dotyczy to przede wszystkim przejazdu samocho-

2 W opisywanym modelu wartość czasu t powinna uwzględniać zarówno przeciętny czas dojazdu do terminalu (dworca lub lotniska), jak też średni czas oczekiwania na najbliższe połączenie.

3 Analiza rynku przewozowego w Japonii wskazuje na istotne znaczenie tzw. LPP (preferencji ukrytych), wśród których wymienia się na przykład punktualność, „łatwość” przewozu bagażu itp. [5].

dami, gdzie czas podróży autostradą (np. z Warszawy do Poznania) zbliża się do czasu przejazdu pociągiem, nawet osiągającym (na pewnych odcinkach) prędkość 160 km/h.

Jeśli chodzi o przewozy autobusowe, to na rynku istnieją obecnie bardzo wiele połączeń pomiędzy aglomeracjami realizowanych przez licznych przewoźników zarówno wywodzących się z byłych przedsiębiorstw PKS, jak i nowo utworzonych, głównie prywatnych. W dużej skali i w sposób systemowy budowę takiej sieci połączeń przez jednego przewoźnika podejmowano w ostatnich latach dwukrotnie. W latach 1994 – 2009 funkcjonował *Polski Express*, który w tym okresie zdominował na przykład przewozy pasażerskie pomiędzy Warszawą a Bydgoszczą. Pomimo początkowych sukcesów komercyjnych firma ostatecznie wycofała się z rynku.

W czerwcu 2011 roku pojawił się nowy przewoźnik *PolskiBus.com* rozwijający sieć połączeń, która docelowo ma być obsługiwana przez 100 nowoczesnych autobusów dwu typów o pojemności 70 oraz 80 pasażerów i stanowiący realną alternatywę dla innych środków transportu. W sytuacji długich czasów przejazdu pociągów w wielu podstawowych relacjach, co wynika z intensywnej modernizacji szeregu linii kolejowych, przewaga autobusu jest oczywista: oferowany czas przejazdu jest podobny (a czasami wręcz krótszy), a ceny biletów bardzo atrakcyjne⁴. Oferta PB jest szczególnie ciekawa także z tego powodu, że dostępność geograficzna autobusów została bardzo ograniczona i sprowadza się jedynie do największych miast.

Rozważania powyższe są prowadzone z perspektywy pożądanej konkurencyjności kolei oraz przy założeniu, że nowoczesny system transportowy powinien uwzględniać wszystkie współczesne środki transportu, z których każdy powinien realizować taki rodzaj i wolumen zadań przewozowych, do których jest najlepiej dostosowany.

Tworzenie i rozwój takiego modelowego systemu wymaga prowadzenia w skali regionu, kraju i kontynentu skutecznej polityki transportowej. Modelowanie przewozów może wspomagać zarówno wytyczanie celów i kierunków takiej polityki, jak i w pewnym zakresie dostarczać odpowiednich narzędzi do jej realizacji.

Proponowane w dalszej części artykułu zastosowanie modelu cena – czas do analizy pewnej części rynku przewozów w korytarzu transportowym pomiędzy wybranymi aglomeracjami wiąże problematykę organizacji przewozów z zagadnieniem postępującej urbanizacji, której konsekwencją jest między innymi zmniejszanie się dostępności geograficznej kolei za sprawą wydłużającej się, średniej odległości pomiędzy coraz odleglejszymi dzielnicami a dworcami kolei, zlokalizowanymi w centrach miast.

Głównym celem modelowania jest w tym przypadku dokonanie oceny, na ile dostępność geograficzna środka transportu, obrazowana czasem przejazdu do terminala (dworca kolejowego lub autobusowego) z różnych dzielnic miasta może wpływać na podział zadań przewozowych. Model ekonometryczny uwzględniający

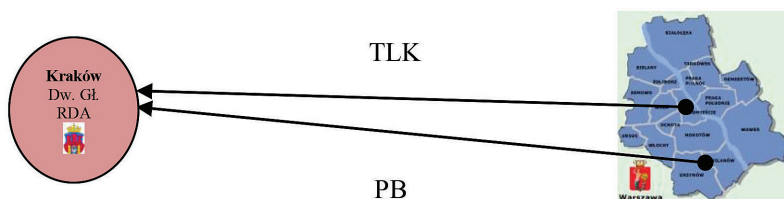
⁴ Np. w relacji Warszawa – Gdańsk kursuje obecnie 15 par autobusów na dobę; równoodstępowy rozkład jazdy w porze dziennej przewiduje połączenia co jedną godzinę.

zarówno czas podróży, jak jej cenę wydaje się adekwatny do przeanalizowania tego problemu.

4. Próba zastosowania modelu w korytarzu transportowym. Warszawa – Kraków

Rozpatrzmy zatem przykład korytarza transportowego Warszawa–Kraków. Założmy jednocześnie, że koncentrujemy się takim na segmencie rynku, w którym podróżny zainteresowany jest możliwie tanim sposobem przemieszczania się transportem publicznym. W konkretnych warunkach niech oznacza to wybór pomiędzy pociągami tzw. *Tanich Linii Kolejowych* (TLK) a autobusami sieci *PolskiBus.com* (PB).

Z punktu widzenia dostępności geograficznej obie oferty zbiegają się w Krakowie w jednym węźle intermodalnym, obejmującym zarówno kolejowy Dworzec Główny, jak i Regionalny Dworzec Autobusowy. W Warszawie sytuacja jest natomiast odmienna. Dworzec Centralny oraz przystanek PB na tzw. Pętli Wilanowska dzieli odległość kilku kilometrów, którą metro pokonuje w czasie 12 minut, natomiast tramwaj (zdecydowanie bliższy obu terminalom) w ciągu 25 minut (rysunek 3).



Rys. 3. Schemat korytarza transportowego Warszawa – Kraków

Jak wynika z rysunku mieszkańcy południowych dzielnic Stolicy mają znacznie lepszy dostęp do terminalu PB na pętli Wilanowska niż do Dworca Centralnego. Powstaje zatem pytanie, na ile czas podróży autobusem z południa Warszawy do Krakowa (pomimo, że znacznie dłuższy niż koleją z Centrum miasta) w powiązaniu z niższą ceną biletu może skłonić podróżnych do skorzystania z oferty autobusowej i jakie wnioski w tej sprawie podsuwa analiza przypadku za pomocą modelu cena – czas.

Do budowy modelu wykorzystano dane z rzeczywistych ofert przewozowych wg stanu na początek września br. Rozkładowy czas jazdy autobusu PB wynosił 4h55 przy liczbie 4 par połączeń na dobę (w tym jedno nocne), natomiast średni czas przejazdu pociągiem TLK przyjęto dla uproszczenia jako 3h00 (w rzeczywistości $2h45 < t < 3h13$), przy 5 parach połączeń (przez CMK). Cena biletu na autobus to 30 – 35 zł, natomiast na pociąg TLK w 2 klasie – 56 zł.

Zakładając, że liczba miejsc inwentarzowych w kursujących składach pociągów i w autobusach jest w wystarczającej mierze odzwierciedleniem potoków określonego rodzaju pomiędzy Warszawą a Krakowem można obliczyć, że struga relacyj-

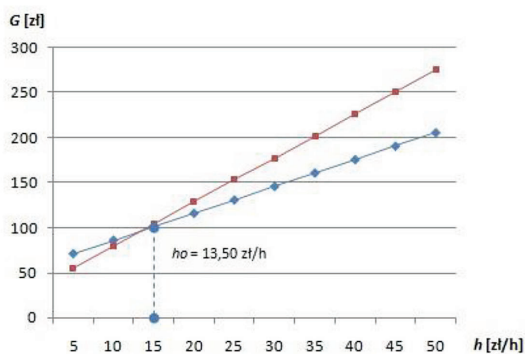
na pasażerów wynosi łącznie około 1 tys. osób na dobę⁵, a udziały w tym segmencie rynku pociągów TLK oraz autobusów PB to odpowiednio 76 i 24%.

Analizując ofertę komunikacji publicznej w Warszawie można jednocześnie założyć, że dla mieszkańców dzielnic południowych czas dojazdu do Dworca Centralnego jest dłuższy o około 30 minut niż do pętli Wilanowska. Przyjęcie założenie, że z oferty PB korzystają jedynie ci mieszkańcy jest oczywiście przesadą, ale celem dociekań jest ustalenie, na ile rozległość miasta oraz czas dojazdu do terminala komunikacji dalekobieżnej może wpływać na decyzje o wyborze środka transportu.

Rozpoczynając od modelu cena – czas zbudowanego w oparciu jedynie o dane podstawowe otrzymujemy, że wartość obojętna czasu podróжного, zgodnie ze wzorem (2) wynosi:

$$h_0 = \frac{61zł - 30zł}{4h55 - 3h00} \approx 13,50 \text{ zł/h} \quad (5)$$

Obliczenia przeprowadzone przy takich założeniach prowadzą do wniosku, że wyboru autobusu dokonują ci podróżni, którzy oceniają wartość swojego czasu na mniej niż 13,50 zł/h (rysunek 4). Dla zobrazowania tej wartości można zauważyć, że przyjmując przeciętną liczbę dni roboczych w miesiącu wynoszącą 168 (dane dla roku 2012) odpowiada to osobie zarabiającej poniżej 2268 zł/miesiąc.



Rys. 4. Funkcje kosztu generalizowanego G dla TLK oraz PB

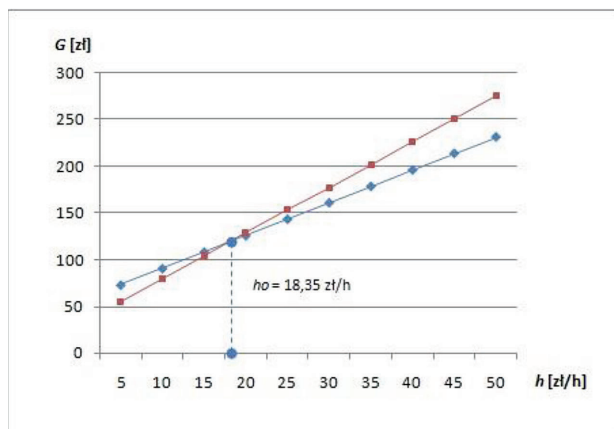
Rozważmy teraz w jaki sposób można ocenić preferencje klientów w przypadku uwzględnienia w bilansie czasu podróży pociągiem czas τ na dojazd z południa Warszawy do Dworca Centralnego, oszacowany na około 30 min. Otrzymujemy wówczas:

$$h_0 = \frac{61zł - 30zł}{4h55 - 3h30} \approx 18,35 \text{ zł/h} \quad (6)$$

Zatem w tym przypadku wyboru autobusu dokonują ci podróżni, którzy oceniają wartość swojego czasu na mniej niż 18,35 zł/h. Odnosząc tę wielkość ponow-

⁵ Przy założeniu badania rynku obejmującego jedynie przejazdy wagonami 2 klasy TLK oraz autobusami PB.

nie do zarobków można stwierdzić, że wybór autobusu odpowiada teraz osobie zarabiającej poniżej 3083 zł/miesiąc (rysunek 5). Wynik taki odzwierciedla teraz dostępność kolei dla mieszkańców południowej części Warszawy.

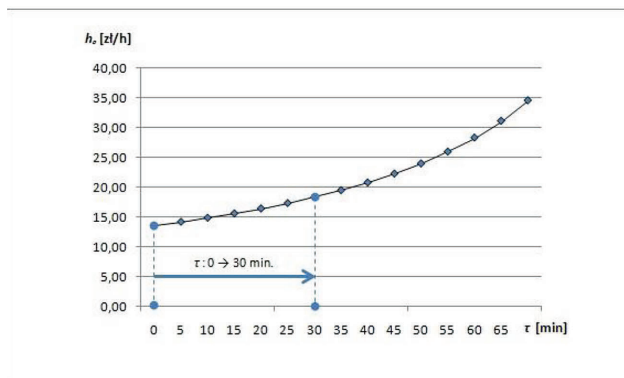


Rys. 5. Funkcje kosztu generalizowanego G dla TLK oraz PB (z uwzględnieniem dostępności geograficznej)

We wzorach (5) i (6) zmianie ulega jedynie czas podróży pociągiem t_p (wydłużany o czas τ). Dla badanego przykładu można zatem określić zależność h_0 od t_p jako funkcję postaci:

$$h_0(\tau) = 26 \cdot (1,92 - \tau)^{-1} \quad (7)$$

Wykres tej funkcji przedstawiono na rysunku 6. Jest to funkcja wykładnicza, co w kontekście wzorów (1) – (6) oznacza, że w miarę wydłużania się czasu dojazdu do dworca kolejowego τ liczba podróżnych, którzy zdecydują się na autobus rośnie nieliniowo.

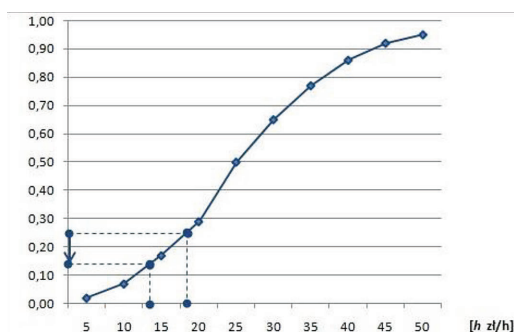


Rys. 6. Zależność „obojętną” wartości czasu podróznego od czasu dojazdu do jednego z terminali

Powstaje teraz oczywiste i najważniejsze pytanie, w jaki sposób powyższe zależności przełożą się na podział modalny w badanym segmencie przewozów pasażerskich w korytarzu transportowym Warszawa – Kraków.

W celu przeprowadzenia niezbędnych obliczeń konieczne jest przyjęcie założenia odnośnie do rozkładu wartości czasu w populacji podróżnych korzystających z połączeń TLK i PB na trasie pomiędzy Warszawą a Krakowem. Jedynym wiarygodnym źródłem takich danych mogłyby być reprezentatywne badania marketingowe. Nie dysponując z oczywistych powodów takim materiałem dla potrzeb przykładu przyjmijmy, że – zgodnie z założeniami modelu cena–czas – takie wartości czasu mają rozkład logarytmiczno-normalny.

Dystrybuanta takiego rozkładu dla przyjętych wartości parametrów ma postać, jak pokazano na rysunku 7. Przyjmując, że podróżni biorą pod uwagę dojazd do dworca, jako element wpływający na czas podróży udział PB w rynku wynoszący 24% (odpowiadający $b_0 = 18,35$ zł/h) mógłby się obniżyć nawet o około 10%, gdyby odległość między terminalami była $\tau = 0$ (na wykresie linie przerywane).



Rys. 7. Dystrybuanta w rozkładzie logarytmiczno-normalnym – podział modalny

Wszystkie powyższe rozważania mają wymiar wyłącznie teoretyczny i odnoszą się do przyjętych uprzednio założeń. Modelując podział modalny na potrzeby rzeczywiste należałoby przede wszystkim zweryfikować fundamentalne założenie o przydatności modelu cena – czas do badanego przypadku. Podobnie konieczne jest zweryfikowanie kolejnych hipotez oraz uzyskanie danych rzeczywistych dotyczących na przykład preferencji klientów.

Powyższe zastrzeżenia nie zmieniają faktu, że w oparciu o przeprowadzone obliczenia można wyciągnąć szereg interesujących wniosków. Podstawowe z nich zapisano w ostatnim rozdziale. Z punktu widzenia przewoźników zarówno wielkość interesującego ich rynku, jak i możliwość skutecznego konkurencyjnego z innymi podmiotami mają fundamentalne znaczenie dla kształtowania oferty przewozowej i w efekcie dla osiąganych wyników ekonomicznych.

5. Podsumowanie i wnioski

W oparciu o analizę części przewozów w korytarzu transportowym Warszawa–Kraków można sformułować następujące wnioski:

1. W modelowaniu podróży i prognozowaniu ruchu dotyczącym pasażerskich przewozów międzyaglomeracyjnych rozległość aglomeracji, wpływająca na dostępność geograficzną do terminali transportu publicznego ma istotny wpływ na wybór środka transportu. W budowanych modelach konieczne jest zatem uwzględnianie czasu dojazdu z poszczególnych rejonów (dzielnicy) miasta do dworców kolejowych i autobusowych.
2. Przy takim modelowaniu należałoby zatem, podobnie jak to ma miejsce w klasycznym czteroetapowym modelu transportowym (budowanym zazwyczaj dla jednej aglomeracji i jej okolic), dokonywać dekompozycji rozległych obszarów zurbanizowanych na szereg rejonów i uwzględniać zróżnicowane czasy dojazdu podróżnych do terminali transportu międzyaglomeracyjnego.
3. Postępująca urbanizacja kraju oraz fakt, że niektóre dzielnice i osiedla znajdują się w pobliżu dróg szybkiego ruchu lub autostrad w istotny sposób zmieniają dostępność do międzymiastowego transportu publicznego, w tym zwłaszcza kolei i przekłada się ostatecznie na podział zadań przewozowych w coraz większym stopniu faworyzującym udział transportu drogowego.
4. W tak zmieniających się warunkach kolej pragnąc zwiększać swoją konkurencyjność powinna nie tylko odpowiednio kształtować swoje oferty taryfowe, ale także możliwie maksymalnie skracać czasy przejazdu oraz uwzględniać w swoich planach strategicznych rozwój połączeń w relacjach o takich długościach, gdzie jej pozycja może być najsilniejsza.

Literatura

- [1] Abraham C., À la recherche de la valeur du temps perdue. *Transports* n° 418, 3-4/2003.
- [2] Bonnel P., *Prévoir la demande de transport*. Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paryż 2004.
- [3] Gourgouillon D., Le projet „Cadencement”. *Revue Générale des Chemins de Fer*, 4/2009.
- [4] Pradayrol J-P., Champeaux J., Études de dessertes „Intercités à Grande Vitesse”. *Revue Générale des Chemins de Fer*, 11/2007.
- [5] Shibata M., Muto M., Okuda D., Development of Modal Share Estimation Method Considering Latent Passenger Preference for transportation Modes. *Quarterly Report of Railway Technical Research Institute RTRI*, Vol.53 No. 3/2012.
- [6] Żurkowski A., Modelowanie przewozów międzyaglomeracyjnych. *Problemy Kolejnictwa* z. 148 (2009).
- [7] Żurkowski A., *Ruch i przewozy kolejowe*. Kolejowa Oficyna Wydawnicza, Warszawa 2010.