

**Roma Strulak-Wójcikiewicz,
Małgorzata Łatuszyńska**

**Zastosowanie symulacji
komputerowej do wyboru środka
transportu i trasy przewozu w
przewozie ładunków**

Ekonomiczne Problemy Usług nr 71, 393-411

2011

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach
dozwolonego użytku.

ROMA STRULAK-WÓJCIKIEWICZ

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

MAŁGORZATA ŁATUSZYŃSKA

Uniwersytet Szczeciński

**ZASTOSOWANIE SYMULACJI KOMPUTEROWEJ
DO WYBORU ŚRODKA TRANSPORTU I TRASY PRZEWOZU
W PRZEWOZIE ŁADUNKÓW**

Wprowadzenie

Transport odgrywa ogromną rolę we wszystkich sferach naszego życia. Jego rozwój przyczynia się do „otwarcia świata”. W wyniku powstania nowoczesnych środków transportu „zmniejszają” się odległości i skraca się czas dzielący producentów, dostawców i konsumentów na całym świecie. Towary mogą być przemieszczane szybko, tanio i skutecznie, a ludzie mogą w krótszym czasie pokonywać odległości z jednego miejsca na Ziemi do drugiego. Istotne znaczenie w tym zakresie ma jednak odpowiednie zaplanowanie i zorganizowanie procesu transportowego. Zasadniczą rolę odgrywa wybór środka transportu i trasy przewozu. Decyduje to o tym, jak szybko towar dotrze do odbiorcy, w jakim stanie i jaka będzie jego ostateczna cena. Trafne podjęcie decyzji leży w interesie zarówno producenta, spedytora, jak i przewoźnika. Dla producenta koszty transportu warunkują cenę oferowanego towaru i poziom zysku, jaki może on osiągnąć z jego sprzedaży. Zaś dla spedytora i przewoźnika cena usługi transportowej wpływa bezpośrednio na konkurencyjność.

Podjęcie decyzji o wyborze odpowiedniego środka transportu i trasy przewozu jest zadaniem złożonym, zależy od wielu czynników i ich wzajemnych relacji i jako takie wymaga zastosowania odpowiednich metod wspomagających. W artykule przedstawiono ogólne zagadnienia dotyczące problematyki podejmowania decyzji tego typu w przewozie ładunków. Ponadto zaprezentowano koncepcję modelu symulacyjnego mającego służyć generowaniu informacji, które ułatwią podejmowanie decyzji w omawianym zakresie.

Czynniki wpływające na wybór środka transportu i trasy przewozu

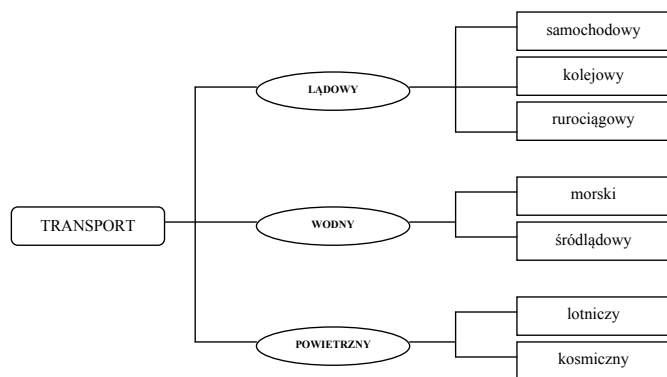
Transport ładunków może odbywać się za pomocą różnych środków. Najczęściej wykorzystywane są samochody ciężarowe, statki, kolej, samolot czy rurociągi. Przy wyborze danego środka transportu bierze się pod uwagę najróżniejsze czynniki, m.in.¹:

- cenę jednostkową (koszt przewozu);
- czas transportu;
- dostępność danego rodzaju transportu (np. inaczej jest rozbudowana sieć kolejowa na południu, a inaczej na wschodzie Polski, wysyłka na Wyspy Kanaryjskie odbywa się jedynie drogą morską lub lotniczą);
- sposób załadunku (towary sypkie ładowane luzem z pewnością będą przewożone transportem kolejowym i morskim);
- ilość towaru (np. przesyłki kurierskie – fracht lotniczy);
- wymiary i wagę ładunku (towary ponadnormatywne i ciężkie – raczej fracht morski);
- właściwości ładunku (np. „towary wybuchowe” będą wysłane raczej frachtem morskim lub kolejowym);
- wartość ładunku (np. towary o bardzo dużej wartości, zaawansowane technologicznie będą raczej wysyłane frachtem lotniczym).

Wybierając środek transportu, należy liczyć się z określonymi korzyściami i/lub niedogodnościami, jakie charakteryzują określoną gałąź transportu. Podział na poszczególne gałęzie transportu prezentuje rysunek 1.

¹ A. Kawa, *Wodą, powietrzem czy lądem? Jaki środek transportu dobrać*, „Twój Biznes”, nr 12/2009, <http://www.kep.pl/artykuly.php? a_id=61> [data dostępu: 18.05.2010].

Każda z nich ma odmienną charakterystykę techniczną, technologiczną, organizacyjną i ekonomiczną².



Rys. 1. Klasyfikacja pionowa transportu (podział transportu na jego gałęzie)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: A. Koźlak, *Ekonomika transportu. Teoria i praktyka gospodarcza*, Gdańsk 2008, s. 13.

Transport drogowy (samochodowy) jest najbardziej rozpowszechniony. Dzięki rozbudowanej sieci dróg przewoźnicy samochodowi mogą dotrzeć praktycznie w dowolne miejsce, co powoduje, że usługi transportowe mogą być świadczone na szeroką skalę. Z powodu niskiej kapitałowej bariery wejścia na rynek przewoźników samochodowych istnieje bardzo dużo firm świadczących tego typu usługi, dzięki czemu są one szeroko dostępne³. W przypadku transportu kolejowego usługi przewozowe są świadczone przez niewielką liczbę firm (zazwyczaj sporą część udziałów ma państwo). Występuje tu wysoka bariera wejścia na rynek (wysoki koszt inwestycji w terminale, sprzęt i trakcje). Kolej zajmuje się głównie przemieszczaniem na duże odległości dużych ilości towarów o stosunkowo niewielkiej

² A. Koźlak, *Ekonomika transportu. Teoria i praktyka gospodarcza*, Gdańsk 2008, s. 13.

³ Charakterystykę transportu samochodowego por. w: *Transport*, red. W. Rydzkowski, K. Wojewódzka-Król, Warszawa 2005, s. 38–71; A. Weselik, Z. Skowroński, M. Kaczmarek, A. Korzeniowski, *Zarządzanie gospodarką magazynową*, Warszawa 1997, s. 85–86; I. Dembińska-Cyran, M. Gubała, *Podstawy zarządzania transportem w przykładach*, Poznań 2003, s. 210.

wartości (produkty przemysłu drzewnego, wydobywczego, produkty rolne)⁴. Transport wodny z kolei jest najstarszą gałęzią transportu. Jego zaletą są przede wszystkim niskie koszty przewozu dużej ilości towarów na znaczne odległości, dlatego statkami morskimi i śródlądowymi przesyła się głównie surowce i półprodukty o dużej objętości i masie. Do największych wad należy długi czas przewozu, a także ograniczona dostępność przestrzenna⁵. W przypadku transportu lotniczego główną zaletą, w porównaniu z innymi gałęziami, jest krótki czas przewozu. Do wad można zaliczyć wysokie koszty, a także ograniczoną dostępność, która często wymusza korzystanie z usług przewoźników drogowych⁶. Ostatnią z wymienianych gałęzi jest transport przesyłowy. Jego cechą charakterystyczną jest zdolność do masowych przewozów produktów płynnych i gazowych. Zaletą są tu niskie koszty przemieszczania ładunku w stosunku do innych gałęzi transportu oraz bardzo korzystna oferta z punktu widzenia czasu transportu będąca efektem ogromnej przepustowości rurociągów i gazociągów oraz dużej niezawodności dostaw. Wadą zaś jest słaba dostępność przestrzenna będąca efektem stosunkowo rzadkiej oraz niespójnej sieci rurociągów i gazociągów.

W tabeli 1, uwzględniając charakterystykę poszczególnych gałęzi transportu, zaprezentowano przesłanki wyboru danej gałęzi. Podejmując decyzję o wyborze środka transportu, należy uwzględnić fakt, iż rzadko w praktyce można wziąć pod uwagę wszystkie rodzaje transportu. Zarówno cechy fizyczne i jakościowe ładunku, jak i specyfika poszczególnych gałęzi często ograniczają ten wybór⁷.

⁴ Szerzej na temat transportu kolejowego por.: *Transport*, dz. cyt., s. 73–94; A. Weselik, Z. Skowroński, M. Kaczmarek, A. Korzeniowski, *Zarządzanie gospodarką magazynową*, dz. cyt., s. 85–86; I. Dembińska-Cyran, M. Gubała, *Podstawy zarządzania transportem...*, dz. cyt., s. 210.

⁵ Cechy transportu wodnego śródlądowego oraz morskiego por.: *Transport*, dz. cyt., s. 95–140 i s. 178–212 oraz A. Weselik, Z. Skowroński, M. Kaczmarek, A. Korzeniowski, *Zarządzanie gospodarką magazynową*, dz. cyt., s. 85–86.

⁶ Transport lotniczy w szerszym ujęciu por.: *Transport*, dz. cyt., s. 140–177; A. Weselik, Z. Skowroński, M. Kaczmarek, A. Korzeniowski, *Zarządzanie gospodarką magazynową*, dz. cyt., s. 85–86.

⁷ *Transport*, dz. cyt., s. 299.

Tabela 1

Przesłanki wyboru danej gałęzi transportu

| Gałąź transportu | Przesłanki wyboru |
|------------------------------|---|
| Transport kolejowy | <ul style="list-style-type: none"> – ładunki masowe, produkty niewymagające dużych prędkości eksploatacyjnych środka transportu; – silna regresja kosztów jednostkowych (średnie i długie odległości); – rozbudowana sieć (w Europie); – duża dostępność przestrzenna; – wysoka niezawodność, regularność, rytmiczność; – relatywnie małe bezpieczeństwo; |
| Transport samochodowy | <ul style="list-style-type: none"> – najlepsza dostępność przestrzenna (gęstość i spójność sieci); – duża szybkość i elastyczność eksploatacyjna; – specjalizacja taboru; – wysokie koszty transportu (niska regresja kosztów); – możliwość zastosowania technologii obniżających koszty (konsolidacja, cross-docking); |
| Transport morski | <ul style="list-style-type: none"> – zdolność do przewozu ładunków masowych; – światowy zasięg; – najsilniejsza regresja kosztów jednostkowych; – niska dostępność przewozowa, bezpieczeństwo i prędkość; |
| Transport wodny – śródlądowy | <ul style="list-style-type: none"> – zdolność do przewozów ładunków masowych o niskiej wartości (np. żwir i piasek); – regresja kosztów jednostkowych; – słaba dostępność przestrzenna; |
| Transport przesyłowy | <ul style="list-style-type: none"> – masowe przemieszczanie ładunków płynnych, gazowych; – bardzo niska dostępność przestrzenna, wysokie koszty infrastruktury; |
| Transport lotniczy | <ul style="list-style-type: none"> – relatywnie małe partie ładunku składającego się z produktów o wysokiej ekonomicznej podatności transportowej; – towary łatwo psujące się, ładunki wymagające szybkiego transportu; – przewozy w rejonach o trudnych warunkach terenowych, pozbawionych infrastruktury innych gałęzi transportu; – akceptacja wysokich kosztów. |

Źródło: opracowanie własne na podstawie: A. Weselik, Z. Skowroński, M. Kaczmarek, A. Korzeniowski, *Zarządzanie gospodarką magazynową*, Warszawa 1997, s. 85–86.

Decyzja o wyborze środka transportu jest ściśle związana z problemem wyboru trasy przewozu. Może pociągać za sobą konieczność wykorzystania transportu pośredniego, czyli użycia co najmniej dwóch środków transportu. W tabeli 2 przedstawiono problem wyboru trasy przewozu.

Tabela 2

Problem wyboru trasy przewozu

| Kryterium | Opis | Opcje | Zastosowanie |
|--|---|--|--|
| Długość trasy względem czasu transportu | Wybór trasy krótszej (w km) bez względu na czas transportu lub trasy dłuższej gwarantującej krótszy czas transportu | Krótsza trasa w km – dłuższy czas transportu | Np. wybór przewozy promowej |
| | | Dłuższa trasa w km – krótszy czas transportu | Np. objazd drogą lądową (autostrady umożliwiające rozwinięcie większych prędkości) |
| Długość trasy względem kosztu transportu | Wybór trasy krótszej bez względu na koszt transportu lub trasy dłuższej, lecz tańszej | Krótsza trasa w km – wyższy koszt transportu | Np. podróż płatną autostradą, przejazd przez płatny tunel |
| | | Dłuższa trasa w km – niższy koszt transportu | Np. wybór dróg krajowych |
| Czas transportu względem kosztu transportu | Wybór trasy zapewniającej krótszy czas transportu bez względu na ponoszone koszty lub trasy tańszej o dłuższym czasie podróży | Krótszy czas transportu – wyższy koszt | Np. transport lotniczy |
| | | Dłuższy czas transportu – niższy koszt | Np. transport morski |

Źródło: opracowanie własne.

W zależności od konkretnego zadania transportowego można rozważać następujące kryteria wyboru trasy przewozu:

- długość trasy względem czasu transportu;
- długość trasy względem kosztu transportu;
- czas transportu względem kosztu transportu.

Reasumując, można stwierdzić, że podjęcie decyzji o wyborze odpowiedniego środka transportu i trasy przewozu jest zadaniem złożonym, które zależy od wielu czynników i ich wzajemnych relacji. Rozwiązywanie tak złożonego zagadnienia wymaga stosowania wyrafinowanych procedur wspomagania decyzji.

Procedura wyboru środka transportu i trasy przewozu

Procedura wyboru środka transportu i trasy przewozu może składać się z dwóch zasadniczych etapów (rys. 2): zastosowania zdezagregowanego modelu decyzyjnego (ZMD) oraz zagregowanego modelu podziału przewozów (ZMP). Model ZMD w swej istocie wywodzi się z teorii użyteczności. Służy do odzwierciedlenia wyboru środka transportu i drogi przewozu przez indywidualnego użytkownika danego systemu transportowego⁸. Analiza użyteczności jest narzędziem do analizy sytuacji decyzyjnej z kwantyfikacją wariantów decyzyjnych. Znajduje zastosowanie wszędzie tam, gdzie trzeba dokonać wyboru jednej spośród wielu możliwości. Bazuje na wielowariantowości kryteriów celu, które zawsze są oddzielnie kwantyfikowane i następnie sprowadzane do wspólnego mianownika. Jej ogólny schemat jest na tyle uniwersalny, że może ona być używana w bardzo wielu dziedzinach. Można ją więc bez większych kłopotów stosować do analizy problemów transportowych (np. wybór środka transportu czy trasy przewozu). Podstawowe założenie analizy użyteczności można przedstawić w następujący sposób:

$$U_i = PR(k_{i1}, k_{i2}, \dots, k_{im}) \quad (1)$$

gdzie:

PR – wielowymiarowa funkcja preferencji;

U_i – użyteczność i -tej alternatywy;

k_{ij} – kryteria wyboru (np. w przypadku problemu transportowego czas przewozu, koszt przewozu itp.);

i – kolejny numer alternatywy, $i=1,2,3,\dots, n$;

j – kolejny numer kryterium wyboru, $j=1,2,3,\dots, m$.

Funkcję tę można podzielić na m jednowymiarowych funkcji preferencji:

$$U_i = PR[PR_1(k_{i1}), PR_2(k_{i2}), \dots, PR_m(k_{im})] \quad (2)$$

gdzie:

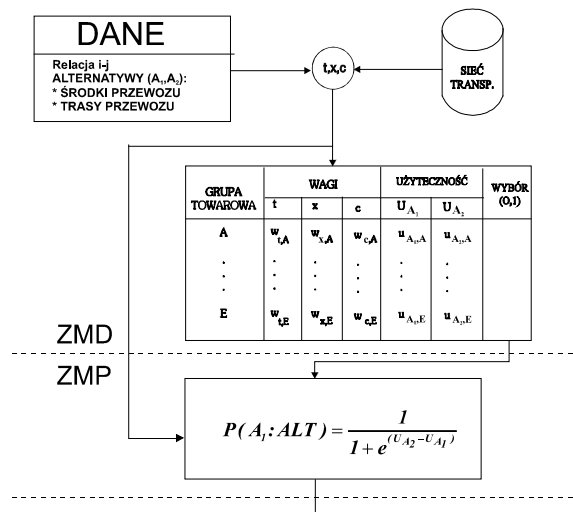
P_{ij} – jednowymiarowa funkcja preferencji.

⁸ Szerzej na temat zastosowania teorii użyteczności w modelowaniu decyzji transportowych w: Z. Biniak, M. Łatuszyńska, *Zastosowanie teorii użyteczności do modelowania decyzji transportowych*, „Problemy Ekonomiki Transportu”, nr 2/2004, s. 47–60.

W przypadku szacowania popytu na przewozy użyteczności jednostkowe są wyrażone za pośrednictwem atrybutów usługi przewozowej. Najczęściej w tym celu przyjmuje się takie atrybuty, jak czas i koszty z podziałem na:

- czysty czas przewozu od miejsca nadania i do miejsca przeznaczenia j (t);
- czas stracony podczas podróży w relacji i – j (np. odpoczynek kierowcy, tankowanie, odprawy celne, manewry itp.) (x);
- koszt przewozu towaru liczony jako wydatek lub bezpośredni koszt jednostkowy przewozu z miejsca nadania i do miejsca odbioru j (c).

Możliwe jest dodatkowe przyjęcie innych kryteriów decyzyjnych, opisanych w punkcie 2.



Rys. 2 Procedura wyboru trasy i środka transportu

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Z. Biniak, M. Łatuszyńska, *Zastosowanie teorii użyteczności do modelowania decyzji transportowych*, „Problemy Ekonomiki Transportu”, nr 2/2004.

Każdemu z kryteriów przydziela się wagi odzwierciedlające relatywny udział tego kryterium w całkowitej użyteczności U danego środka transportu lub drogi przewozu dla danej kategorii ładunku (A, \dots, E)⁹, czyli opisujące zna-

⁹ W analizie można rozpatrywać pięć grup ładunkowych zgodnie z układem stosowanym w badaniach przewozów ładunków prowadzonych pod auspicjami Europejskiej Komisji

czenie poszczególnych kryteriów wyboru dla konkretnej przesyłki towarowej (por. rys. 2). Za pomocą funkcji użyteczności określa się, w jakich warunkach (przy jakim poziomie atrybutów t, x, c) decydent podejmie decyzję o wyborze określonego środka transportu i/lub decyzję wyboru danej drogi przewozu.

Można założyć, że decydent wyraził swój system preferencji za pomocą krzywych indyferencji zamieszczonych na rys. 3. Każda z tych krzywych jest liniową kombinacją kosztu i czasu przewozu o jednakowej użyteczności. Można ponadto przyjąć, że w rozważanym przypadku funkcja użyteczności ma strukturę liniową o postaci:

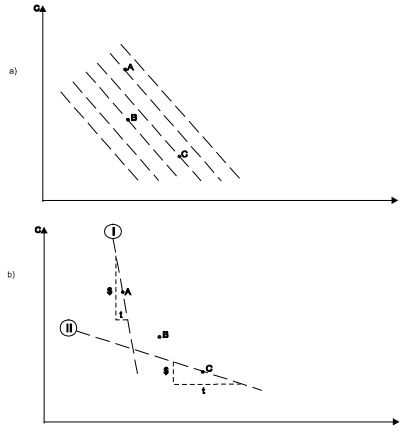
$$U = w_t t + w_x x + w_c c \quad (3)$$

gdzie:

U – użyteczność danej alternatywy określającej wybór środka przewozu lub trasy dla danej relacji i grupy ładunkowej;

w_t, w_x, w_c – wagi relatywne dla poszczególnych atrybutów systemu transportowego;

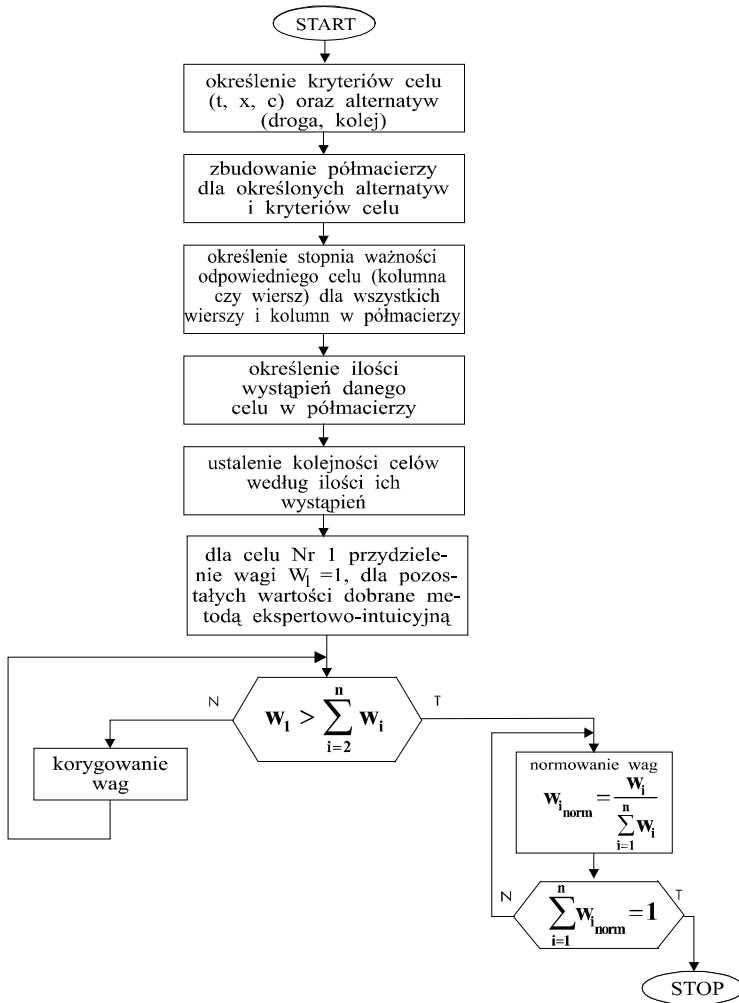
t, x, c – atrybuty systemu transportowego.



Rys.3. Zachowanie się użytkownika transportu

Źródło: L.M. Manheim, *Fundamentals of transportation systems analysis*, Cambridge, Massachusetts and London, England 1984, s. 70.

Gospodarczej ONZ, a mianowicie: (A) masowe, (B) szybkopsujące się, (C) płynne, (D) podatne na konteneryzację i „jednostkowanie” oraz (E) wszystkie pozostałe.



Rys. 4. Procedura półmacierzowa szacowania wag

Źródło: Z. Biniek, M. Łatuszyńska, *Zastosowanie teorii użyteczności...*, dz. cyt.

Decydent jest tu w stanie zidentyfikować trzy alternatywy: A_1 , A_2 , A_3 . Z trzech wybiera alternatywę A_2 , gdyż ma ona dla niego najwyższą użyteczność ($U_{A_2} > U_{A_1}$ oraz $U_{A_2} > U_{A_3}$). Pozostałe są bardziej użyteczne dla ładunków, dla których preferowany jest czas przewozu (krzywa I) bądź dla ładunków, w których preferowane są koszty przewozu, a czas nie odgrywa tak istotnej roli (krzywa II). Można zauważyć, że wzrost czasu podróży lub kosztów przewozu jest oceniany negatywnie przez decydenta, a więc im większy koszt lub czas podróży, tym mniejszą wartość ma użyteczność U . W związku z tym wagi dla poszczególnych kryteriów (t , x , c) muszą mieć odpowiednie znaki (ujemne).

Do szacowania wag można posłużyć się np. metodą półmacierzową¹⁰. Jej zastosowanie przebiega według etapów przedstawionych na schemacie blokowym (rys. 4), a wybór zdezagregowany można przeprowadzić według binarnego drzewa decyzji, przedstawionego przykładowo na rys. 5.

W pierwszej kolejności następuje tu wybór trasy przewozu, następnie zaś wybór środka transportu¹¹ z zastosowaniem modelu podziału przewozów, wyliczającego prawdopodobieństwo wyboru przez decydenta określonej alternatywy w zależności od różnic występujących w atrybutach usługi przewozowej, o następującej postaci (model wielomodalny typu Logit):

$$P(A_1 : ALT) = \frac{e^{U_{A_1}}}{e^{U_{A_1}} + e^{U_{A_2}}} \quad (4)$$

a po przekształceniu:

$$P(A_1 : ALT) = \frac{1}{1 + e^{(U_{A_2} - U_{A_1})}} \quad (5)$$

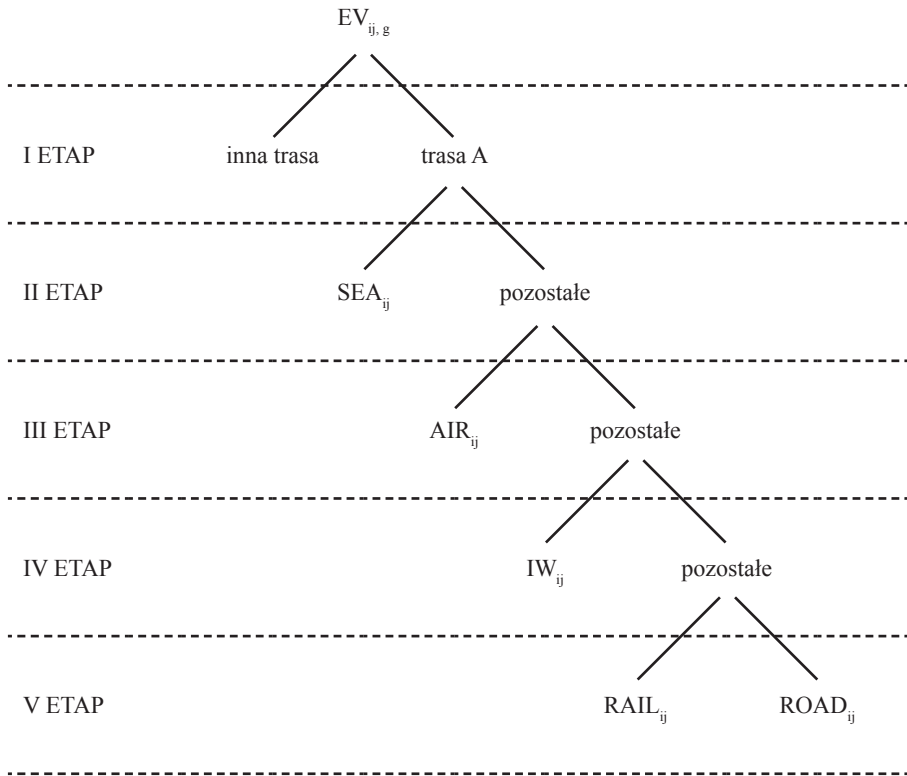
gdzie:

U_{A_1} – to użyteczność alternatywy A_1 ,

U_{A_2} – użyteczność alternatywy A_2 .

¹⁰ H. Krallmann, *Enlarging the Systems Paradigm, Historical View from 1973 until 1983*, "System Research", vol. 1, nr 3/1984.

¹¹ W analizie mogą być przykładowo rozpatrywane następujące rodzaje transportu: transport kolejowy (RAIL), transport drogowy (ROAD), transport wodny śródlądowy (IW), transport lotniczy (AIR), transport morski (SEA).



Rys. 5. Binarne drzewo decyzji dla podziału strumieni przewozowych dobra g między gałęzie transportu w relacji i-j

Źródło: M. Łatuszyńska, *Symulacyjne badanie rynku towarowych usług przewozowych w międzynarodowych korytarzach transportowych*, praca doktorska, Uniwersytet Szczeciński, Wydział Ekonomiczny, Szczecin 1992, s. 71.

W niniejszym artykule do wspomagania opisanej procedury wyboru środka transportu i trasy przewozu w przewozie ładunków proponuje się skonstruowanie modelu symulacyjnego zbudowanego w konwencji dynamiki systemowej.

Koncepcja symulacyjnego modelu do wspomaganie wyboru środka transportu i trasy przewozu

Symulacja komputerowa jest uznaną metodą badania złożonych systemów rzeczywistych na bazie modeli komputerowych tych systemów. Model wykorzystywany w badaniu stanowi uproszczenie systemu rzeczywistego¹². Według T.H. Naylora symulacja komputerowa jest: „(...) metodą numeryczną służącą do dokonywania eksperymentów na pewnych rodzajach modeli matematycznych, które opisują przy pomocy maszyny cyfrowej zachowanie się złożonego systemu w ciągu długiego czasu”¹³. Metody symulacji komputerowej dzielą się na: metody symulacji ciągłej, metody symulacji dyskretnej oraz metody symulacji mieszanej (hybrydowej)¹⁴. Symulacja ciągła polega na modelowaniu systemu za pomocą ciągłych równań opisujących zmiany cech badanego systemu w czasie. Symulacja ta przeprowadzana jest na komputerze metodą stałego kroku. W odniesieniu do systemów społeczno-ekonomicznych szeroko stosowaną metodą symulacji ciągłej jest dynamika systemowa. Wywodzi się ona z cybernetycznego podejścia do analizy systemów i pozwala na opisywanie szczególnie złożonych systemów w formie powiązań interakcyjnych i kombinacyjnych¹⁵. Jest często stosowana w praktyce, o czym świadczy chociażby tematyka licznych referatów prezentowanych na wielo-

¹² R. Kłodziński, *Symulacyjne metody badania systemów*, Warszawa 2002, cyt. za: I. Obłuska, *Modelowanie dynamiczne systemów produkcyjnych przy użyciu oprogramowania Ithink*, materiały konferencyjne, konferencja „Komputerowo zintegrowane zarządzanie”, <http://www.ptzp.org.pl/s80/Konferencja_KZZ_Zakopane_2010_Artykuly> [data dostępu: 24.01.2011], Zakopane 2010, s. 281.

¹³ T.H. Taylor, *Modelowanie cyfrowe systemów ekonomicznych*, Warszawa 1975, s. 21, cyt. za: M. Łatuszyńska, *Symulacja komputerowa dynamiki systemów*, Gorzów Wielkopolski 2008, s. 23.

¹⁴ Szerzej na ten temat w.: M. Łatuszyńska, *Elementy symulacji komputerowej w badaniu systemów ekonomicznych*, (w:) *Wybrane metody analizy i oceny obiektów społeczno-gospodarczych*, red. K. Nermend, M. Borawski, Szczecin 2009, s. 15–17.

¹⁵ Aparat matematyczny oraz zasady modelowania w konwencji dynamiki systemowej przedstawiono w licznych publikacjach, przykładowo: R. Łukaszewicz, *Dynamika systemów zarządzania*, Warszawa 1975; G. Gordon, *Symulacja systemów*, Warszawa 1974; Z. Souček, *Modelowanie i projektowanie systemów gospodarczych*, Warszawa 1979; C.W. Kirkwood, *System Dynamics Methods: A Quick Introduction*, Arizona State University 1998, <www.public.asu.edu/~kirkwood/sysdyn/> [data dostępu: 24.01.2011]; M. Łatuszyńska, *Symulacja komputerowa...*, dz. cyt.; *Elementy dynamiki systemów*, red. J. Tarajkowski, Poznań 2008. W internecie jest opublikowany kurs dynamiki systemowej: *Road Maps: A Guide to Learning System Dynamics*, <<http://sysdyn.clexchange.org/road-maps/home.html>> [data dostępu: 24.01.2011].

panelowych, międzynarodowych konferencjach organizowanych rokrocznie od ponad 30 lat¹⁶. Metoda ta była i jest również stosowana z dużym powodzeniem do analizy problemów transportowych¹⁷.

Ogólny schemat proponowanego modelu symulacyjnego do wspomagania decyzji dotyczących wyboru środka transportu i trasy przewozu w notacji systemowo-dynamicznej przedstawiono na rysunku 6.

Na schemacie zaznaczono pewne powtarzalne fragmenty modelu zwane modułami, tj. moduł kosztu przewozu, czasu przewozu, czasu dodatkowego, moduł MNL (ang. *Multinomial Logit Model*) oraz moduł użyteczności. Każdy z nich występuje wielokrotnie w modelu, gdyż analizą, przy przewożeniu ładunku typu k , muszą być objęte jednocześnie wszystkie brane pod uwagę środki transportu (oferty przewozowe różnych przewoźników), trasy przewozu oraz krawędzie sieci transportowej tworzące rozważane trasy¹⁸. Przy rozpatrywaniu tylko jednej trasy (obejmującej przykładowo pięć krawędzi sieci transportowej) i trzech środków transportu moduły składające się na strukturę modelu będą powielone 15 razy – oczywiście za każdym razem z innymi wartościami parametrów wejściowych.

Moduły składają się z elementów notacji systemowo-dynamicznej oraz instrukcji formalnych języka symulacyjnego opisujących zależności matematyczne modelowanego fragmentu systemu rzeczywistego. Reprezentują szablony typowych struktur rodzajowych (ang. *generic structures*), czyli takich, które odwzorowują pewne podstawowe zależności służące do modelowania systemów realnych¹⁹. Każdy z modelujących w konwencji dynamiki systemowej może stworzyć własny zestaw modułów powtarzanych w konstruowanych modelach²⁰.

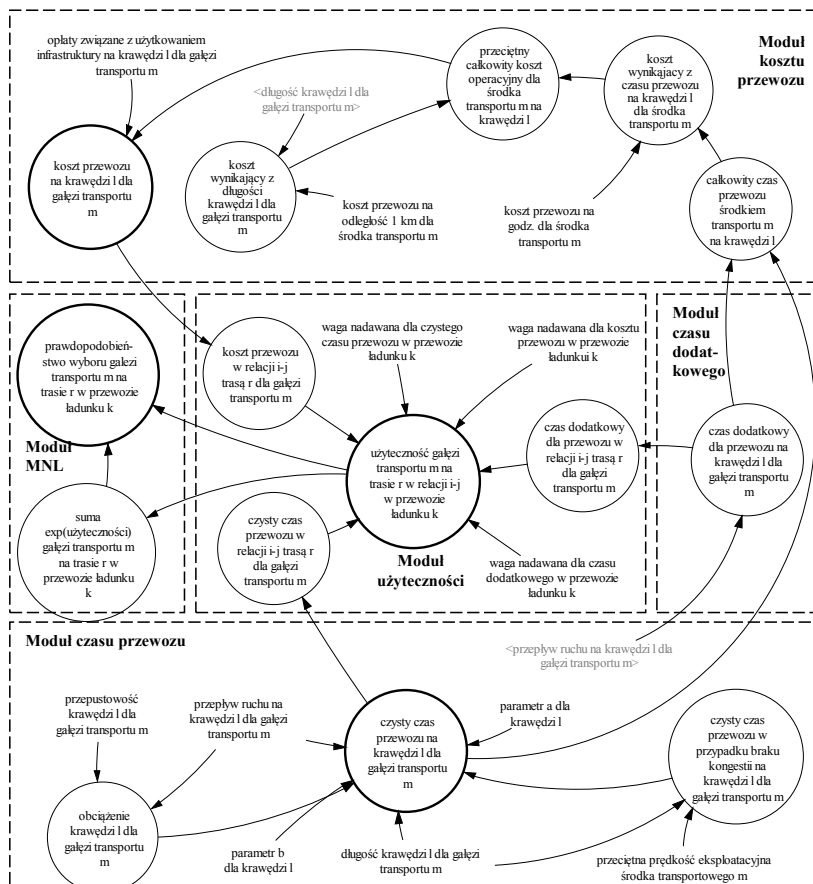
¹⁶ Dokładne informacje na ten temat znajdują się na stronie internetowej: <<http://www.systemdynamics.org>> [data dostępu: 24.01.2011].

¹⁷ Opis różnych systemowo-dynamicznych modeli transportowych prezentuje praca: M. Łatuszyńska, *Symulacyjne modelowanie ekonomicznych skutków podejmowania decyzji transportowych*, Szczecin 2001.

¹⁸ Przez krawędź sieci transportowej rozumie się tu szlak łączący dwa sąsiadujące węzły w sieci.

¹⁹ Szerzej na temat idei modułów w: M. Łatuszyńska, *Symulacyjne modelowanie ekonomicznych skutków...*, dz. cyt., s. 156–170.

²⁰ Autorski zestaw modułów, które mogą być wykorzystywane do budowy modeli dotyczących transportu, zaprezentowano w: M. Łatuszyńska, *Modelowanie efektów rozwoju międzynarodowych korytarzy transportowych*, Szczecin 2004, s. 213–239. Zestaw ten może być



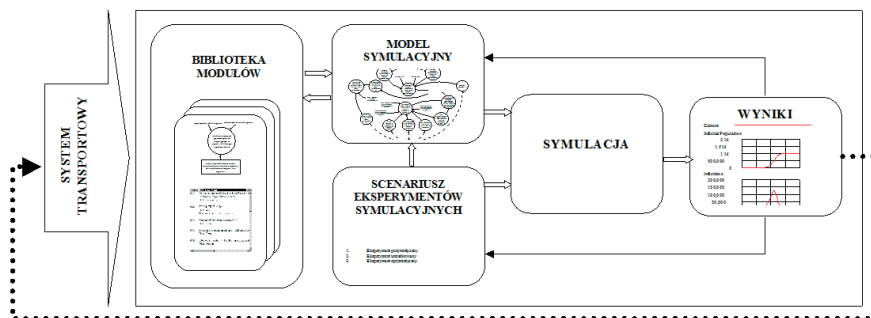
Rys. 6. Diagram strukturalny modelu w notacji pakietu symulacyjnego Vensim PLE²¹

Źródło: opracowanie własne

uzupełniany kolejnymi modułami opracowywanymi na podstawie nowych obserwacji oraz wciąż doskonałej teorii dotyczącej systemu transportowego.

²¹ Pakiet symulacyjny Vensim jest produktem amerykańskiej firmy software'owej Ventana Systems. Wersja PLE jest dostępna do pobrania bez opłat licencyjnych ze strony internetowej producenta <<http://www.vensim.com>> [data dostępu: 24.01.2011].

Zestaw taki, w formie tzw. biblioteki modułów, jest źródłem gotowych rozwiązań pewnych klas problemów, zarówno na etapie tworzenia nowego modelu, jak i podczas dokonywania na nim eksperymentów symulacyjnych (rys. 7). Raz utworzona biblioteka modułów może być uzupełniana blokami strukturalnymi poprzez definiowanie nowych modułów na bazie obserwacji i teorii dotyczącej badanego systemu transportowego. Proces włączania do biblioteki nowych modułów może być praktycznie ciągły.



Rys. 7. Procedura modelowania z wykorzystaniem gotowych modułów

Źródło: M. Łatuszyńska, *Modelowanie efektów rozwoju międzynarodowych korytarzy transportowych*, Szczecin 2004, s. 168.

Procedura tworzenia nowego modelu symulacyjnego jest pracochłonna i zmusna i nie zawsze zwraca się w postaci wartościowych wyników. Zatem każda innowacja, która ma przyspieszyć analizę, jest cenna, a dzięki dysponowaniu wcześniej zdefiniowanymi modułami badacz jest w stanie skonstruować nowy model znacznie szybciej. Proces budowania modelu jest również łatwiejszy, co jest szczególnie ważne dla decydentów niezwiązanych profesjonalnie z informatyką.

Przedstawioną koncepcję modelowania można nazwać homogenicznym modelowaniem modułowym, gdyż w model docelowy wbudowuje się moduły stworzone z wykorzystaniem jednej techniki symulacyjnej, w tym przypadku dynamiki systemowej. Można sobie jednak wyobrazić sytuację, gdy w jeden układ są integrowane bloki strukturalne zbudowane z wykorzystaniem różnych technik symulacyjnych (np. symulacji ciągłej i symulacji zorientowanej

na zdarzenia). W takim przypadku mówi się o heterogenicznym modelowaniu modułarnym²².

Podsumowanie

Do podejmowania decyzji w zakresie wyboru środka transportu i trasy przewozu można stosować uniwersalną miarę oceny wariantów decyzji w postaci użyteczności. Teoria użyteczności w połączeniu z systemowo-dynamiczną symulacją komputerową może być dobrym narzędziem generowania informacji, na podstawie których wybiera się określony wariant decyzyjny. Za pomocą systemowo-dynamicznego modelu symulacyjnego opisuje się sytuację decyzyjną w postaci wariantów, jakie ma do wyboru decydent, a eksperymenty mogą służyć do określenia ich użyteczności w różnych warunkach stanu otoczenia (przykładowo różne obciążenia na krawędziach sieci transportowej). Budując model symulacyjny, można posłużyć się gotowymi modułami opisującymi pewne powtarzalne fragmenty systemu realnego, co wydatnie skraca jego proces tworzenia. Idea przedstawionego sposobu modelowania procesu wyboru środka transportu i trasy przewozu w przewozie ładunków wymaga dopracowania na płaszczyźnie narzędziowej. Potrzebne jest stworzenie odpowiedniego oprogramowania, które pozwoliłoby modelującemu nie tylko na rozwiązywanie modelu symulacyjnego i prezentację wyników symulacji, ale również na operowanie gotowymi modułami, a więc tworzenie na ich bazie modeli, a także uzupełnianie biblioteki nowymi blokami strukturalnymi. Narzędzie takie mogłoby stanowić swego rodzaju symulacyjny system wspomagania decyzji dotyczących wyboru środka transportu i trasy przewozu w przewozie ładunków.

²² Podobną koncepcję modelowania symulacyjnego pod nazwą multimodelingu zaproponowali na początku lat 90. B. Zeigler i P. Fishwick. Multimodeling to rozwinięcie metodologiczne symulacji mieszanej, czyli techniki łączącej symulację ciągłą z dyskretną. Zasadnicza różnica pomiędzy symulacją mieszaną a multimodelingiem polega na tym, że o ile w symulacji mieszanej do opisu modelu stosuje się jednorodny język formalny (np. GASP), to w multimodelingu każdy blok modelu jest konstruowany za pomocą aparatu odrębnej techniki symulacyjnej. Do łączenia modeli wykorzystuje się w multimodelingu właściwości nowoczesnych obiektowych języków programowania [P.A. Fishwick, B.P. Zeigler, *A multimodel methodology for qualitative model engineering*, "ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation", nr 2 (1)/1992, s. 52–81; P.A. Fishwick, *A simulation environment for multimodeling*, "Discrete Event Dynamic Systems: Theory and Applications", vol. 3/1993, s. 151–171].

Literatura

- Biniek Z., *System symulacyjny jako system wspomagania decyzji*, (w:) *Problemy informatyki stosowanej*. Roczniki informatyki stosowanej Wydziału Informatyki PS, nr 3, Szczecin 2002.
- Biniek Z., Łatuszyńska M., *Transport Dynamics*, „International Journal of Transport Economics”, vol. XVII, no. 1/February 1990.
- Biniek Z., Łatuszyńska M., *Zastosowanie teorii użyteczności do modelowania decyzji transportowych*, „Problemy Ekonomiki Transportu”, nr 2/2004.
- Dembińska-Cyran I., Gubała M., *Podstawy zarządzania transportem w przykładach*, Poznań 2003.
- Fishwick P.A., *A simulation environment for multimodeling*, “Discrete Event Dynamic Systems: Theory and Applications”, vol. 3/1993.
- Fishwick P.A., Zeigler B.P., *A multimodel methodology for qualitative model engineering*, “ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation”, nr 2 (1)/1992.
- Gordon G., *Symulacja systemów*, Warszawa 1974.
- Kirkwood C.W., *System Dynamics Methods: A Quick Introduction*. Arizona State University 1998, <www.public.asu.edu/~kirkwood/sysdyn>.
- Kłodziński R., *Symulacyjne metody badania systemów*, Warszawa 2002.
- Koźlak A., *Ekonomika Transportu. Teoria i praktyka gospodarcza*, Gdańsk 2008.
- Krallmann H., *Enlarging the Systems Paradigm, Historical View from 1973 until 1983*, “System Research”, vol. 1, no. 3/1984.
- Łatuszyńska M., *Elementy symulacji komputerowej w badaniu systemów ekonomicznych*, (w:) *Wybrane metody analizy i oceny obiektów społeczno-gospodarczych*, red. K. Nermend, M. Borawski, Szczecin 2009.
- Łatuszyńska M., *Modelowanie efektów rozwoju międzynarodowych korytarzy transportowych*, Szczecin 2004.
- Łatuszyńska M., *Symulacja komputerowa dynamiki systemów*, Gorzów Wielkopolski 2007.
- Łatuszyńska M., *Symulacyjne badanie rynku towarowych usług przewozowych w międzynarodowych korytarzach transportowych*, praca doktorska, Uniwersytet Szczeciński, Wydział Ekonomiczny, Szczecin 1992.
- Łatuszyńska M., *Symulacyjne modelowanie ekonomicznych skutków podejmowania decyzji transportowych*, Szczecin 2001.
- Łatuszyńska M., *System symulacyjny wspomagający ocenę projektów infrastrukturalnych w transporcie*, Bydgoszcz 2004.
- Łukaszewicz R., *Dynamika systemów zarządzania*, Warszawa 1975.

- Manheim L.M., *Fundamentals of transportation systems analysis*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts and London, England 1984.
- Obłuska I., *Modelowanie dynamiczne systemów produkcyjnych przy użyciu oprogramowania Ithink*, materiały konferencyjne, konferencja „Komputerowo zintegrowane zarządzanie”, <http://www.ptzp.org.pl/s80/Konferencja_KZZ_Zakopane_2010_Artykuly>, Zakopane 2010.
- Road Maps: A Guide to Learning System Dynamics*, <<http://sysdyn.clexchange.org/road-maps/home.html>>.
- Słowiński B., *Wprowadzenie do logistyki*, Koszalin 2008.
- Souček Z., *Modelowanie i projektowanie systemów gospodarczych*, Warszawa 1979.
- Tarajkowski J. (red.), *Elementy dynamiki systemów*, Poznań 2008.
- Taylor T.H., *Modelowanie cyfrowe systemów ekonomicznych*, Warszawa 1975.
- Transport*, W. Rydzkowski, K. Wojewódzka-Król (red.), Warszawa 2005.
- Weselik A., Skowroński Z., Kaczmarek M., Korzeniowski A., *Zarządzanie gospodarką magazynową*, Warszawa 1997.
- Wodą, powietrzem czy łądem? Jaki środek transportu dobrać*, „Twój Biznes”, nr 12/2009, <http://www.kep.pl/artykuly.php?a_id=61>.

USING OF COMPUTER SIMULATION FOR TRANSPORT MODE AND ROUTE CHOICE IN CARRIAGE OF GOODS

Summary

This article refers to general principles of the decision-making issues in terms of choosing both route and mean of transport for cargo carrying, particularly taking into consideration the value of supporting them by computer simulations. In addition, the concept of the simulation model was presented. It can be successfully used in generating data useful to decision-making process.

Translated by Roma Strulak-Wójcikiewicz