Jan Różowicz[1]
Politechnika Warszawska, Wydział Transportu
Irena Jakowlewa[2]
Szkoła Główna Handlowa w Warszawie, Katedra Logistyki

# Metoda planowania tras w transporcie międzynarodowym z uwzględnieniem granic państwowych

## 1. WSTĘP

Rozwój międzynarodowych usług transportowych wymaga nie tylko znajomości etapów i procedur związanych z przemieszczaniem ładunków ale również stałego doskonalenia metod planowania przewozów w gospodarce międzynarodowej.

Można wyróżnić dwa obszary związane z usługami transportowymi. Obszar pierwszy to państwa należące do Unii Europejskiej oraz państwa sąsiadujące związane szczegółowymi umowami z UE. Obszar drugi to państwa pozostałe, z którymi Unia Europejska prowadzi wymianę gospodarczą w ramach rynku globalnego.

Od samego początku powstania struktur europejskich przywiązywano dużą wagę do rozwoju usług transportowych szczególnie w transporcie kolejowym, samochodowym i śródlądowym. Wraz z rozwojem wspólnoty doskonalono i liberalizowano przepisy prawne związane z transportem wewnątrzwspólnotowym i międzynarodowym. Efektem tego jest liberalne prawo transportowe pozwalające na świadczenie usług transportowych na terytorium wspólnotowym wszystkim podmiotom do tego uprawnionym [3, 7].

Jednakże istnieje problem realizacji usług transportowych obejmujących globalny rynek międzynarodowy. Powodem trudności są głównie różnice w przepisach prawnych, które komplikują i różnicują procedury przekraczania granic państwowych. Ponadto w analizie należy również uwzględnić inne zdarzenia wpływające istotnie na realizację zadań transportowych, których czas trwania można przewidzieć w oparciu o analizę danych historycznych. Do zdarzeń tych zaliczamy:

- czas oczekiwania na obsługę graniczną,
- ograniczenia w ruchu spowodowane świętami państwowymi i religijnymi, które występują w krajach objętych obsługą transportową,
- wydarzenia takie jak: awaria pojazdu, warunki pogodowe, prace drogowe itp..

Analiza czasów oczekiwania na obsługę graniczną pozwala stwierdzić, że jest to istotny element całkowitego czasu międzynarodowej obsługi transportowej, który powinien być uwzględniony w modelu matematycznym [4].

Opracowywana metoda ma na celu stworzenie narzędzia wspomagającego pracę osób planujących i realizujących samochodowe przewozy międzynarodowe.

## 2. MODEL STRUKTURALNY

W artykule przedstawiono zagadnienia związane z modelowaniem, badaniami symulacyjnymi oraz próbą optymalizacji metody planowania przewozów międzynarodowych z uwzględnieniem granic państwowych. Jako przykład przyjęto zewnętrzną granicę UE znajdującą się na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej.

Polityka transportowa Unii Europejskiej obecnie uwzględnia pięć podstawowych gałęzi transportu: transport morski, transport drogowy (samochodowy), transport kolejowy, transport lotniczy i śródlądowy [3]. Każda z tych gałęzi transportu jest obecna zarówno na rynku wewnątrzwspólnotowym jak i na rynku

[1] jan.rozowicz@gmail.com
[2] ij55842@sgh.waw.pl

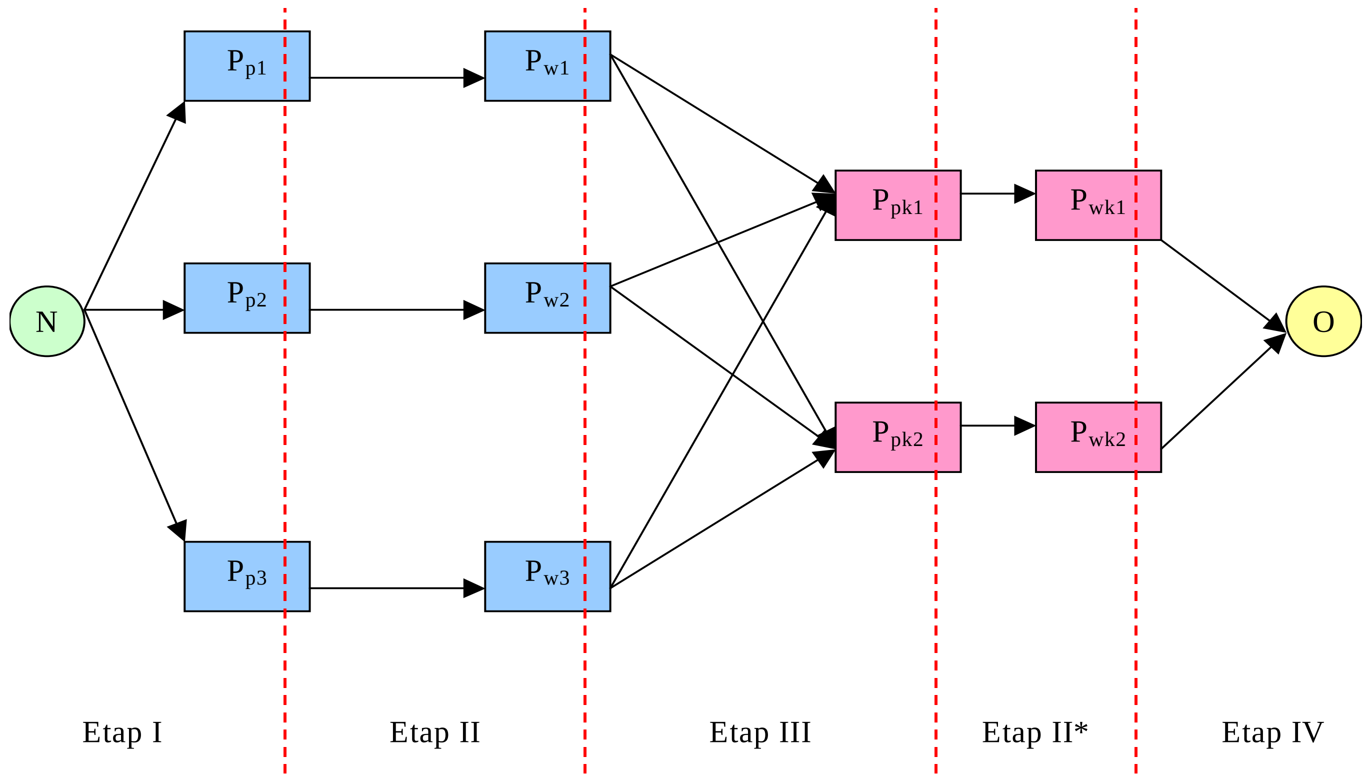
międzynarodowym. Przekraczanie granicy państwowej wiąże się z określonym czasem odpraw granicznych i celnych.

Poniżej przedstawiono model strukturalny realizacji międzynarodowej obsługi transportowej z uwzględnieniem granic państwowych na przykładzie transportu samochodowego. Model ten obejmuje cztery etapy główne:

– Etap I to przewóz ładunku od miejsca nadania ładunku (podjęcia) do punktu granicznego na zewnętrznej granicy UE,
– Etap II obejmuje odprawę graniczną i celną na pierwszej granicy,
– Etap III to przewóz ładunku między granicami państwowymi na terytorium obcego kraju,
– Etap II* to każda następna granica występująca w trasie przejazdu,
– Etap IV to przewóz ładunku od granicy kraju docelowego do miejsca dostarczenia ładunku.

W przedstawionym modelu etap II oraz etap III może charakteryzować się wielokrotnością występowania, co jest uzależnione od liczby państw, przez które przebiega trasa przewozu ładunku.

Na rysunku 1 przedstawiono schemat ideowy modelu uwzględniającego dwie granice państwowe.




Rys. 1. Ilustracja graficzna zagadnienia międzynarodowej obsługi transportowej

*Źródło: opracowanie własne.*

Na rysunku 1 występują następujące oznaczenia:

N – punkt nadania ładunku;
$P_{p1}$, $P_{p2}$, $P_{p3}$ – przejścia graniczne (na kierunku przyjazdowym na granicy UE);
$P_{w1}$, $P_{w2}$, $P_{w3}$ – przejścia graniczne (na kierunku wyjazdowym z granicy państwa sąsiadującego);
$P_{pk1}$, $P_{pk2}$ – przejścia graniczne (na kierunku przyjazdowym na granicy kolejnego państwa);
$P_{wk1}$, $P_{wk2}$ – przejścia graniczne (na kierunku wyjazdowym z granicy kolejnego państwa);
O – punkt dostarczenia ładunku.

Do budowy modelu matematycznego przyjęto następujące założenia główne:

– założono dowolną liczbę punktów nadania i dostarczenia ładunku,
– punkty nadania ładunku z poszczególnymi przejściami granicznymi połączone są różnymi drogami,
– poszczególne granice złożone są z dwóch przejść granicznych, które są między sobą połączone tylko jedną drogą,

– kolejne granice państwowe, które mogą występować w trasie przewozu ładunku połączone są dowolną liczbą dróg,
– granice kraju docelowego z punktami dostarczenia ładunku połączone są dowolną liczbą dróg.

## 3. MODEL MATEMATYCZNY

Poniżej przedstawiono założenia do modelu matematycznego międzynarodowej obsługi transportowej z uwzględnieniem granic państwowych [1, 2, 6].

Przyjmujemy, że dysponujemy numerami punktów nadania ładunku, tj. zbiorem postaci:

$$\boldsymbol{N}=\{1,2,\ldots,n,\ldots,N\}; \quad n\in\boldsymbol{N} \tag{1}$$

przy czym n jest numerem bieżącym punktu nadania ładunku. Natomiast N jest liczbą punktów nadania.

Przyjmujemy, że dysponujemy numerami rodzajów ładunków. Niech ***R*** jest zbiorem numerów rodzajów ładunków, tj. zbiorem postaci:

$$\boldsymbol{R}=\{1,2,\ldots,r,\ldots,R\}; \quad r\in\boldsymbol{R} \tag{2}$$

przy czym R jest liczbą rodzajów ładunków, natomiast r jest bieżącym numerem ładunku.

Przyjmujemy, że dysponujemy numerami środków transportu, tj. zbiorem postaci:

$$\boldsymbol{T}=\{1,2,\ldots,t,\ldots,T\}; \quad t\in\boldsymbol{T} \tag{3}$$

Zakładamy, T jest liczbą środków transportu. Przez t oznaczono t-ty środek transportu.

Przyjmujemy, że dysponujemy numerami przejść granicznych, tj. zbiorem postaci:

$$\boldsymbol{P}=\{1,2,\ldots,p,\ldots,P\}; \quad p\in\boldsymbol{P} \tag{4}$$

przy czym ***P*** jest zbiorem numerów przejść granicznych, natomiast P jest liczbą przejść granicznych.

Na iloczynie kartezjańskim zbioru numerów przejść granicznych ***P*** oraz zbioru numerów rodzaju ładunku ***R***, zadane jest odwzorowanie $\gamma_1$, postaci:

$$\gamma_1: \boldsymbol{P}\times\boldsymbol{R} \longrightarrow \{0,1\} \tag{5}$$

przy czym jeśli $\gamma_1(p,r)=1$, wtedy p-te przejście graniczne obsługuje ładunki r-tego rodzaju. W przeciwnym przypadku, tj. jeśli $\gamma_1(p,r)=0$, p-te przejście graniczne nie obsługuje ładunków r-tego rodzaju.

Przyjmujemy, że dysponujemy numerami dróg, tworzącymi zbiór numerów ***D***, tj.:

$$\boldsymbol{D}=\{1,2,\ldots,d,\ldots,D\}; \quad d\in\boldsymbol{D} \tag{6}$$

przy czym D jest liczbą dróg, którymi można realizować przewóz ładunku np. z punktu nadania ładunku do odpowiedniego przejścia granicznego.

Na iloczynie kartezjańskim zbioru numerów punktów nadania ***N***, zbioru numerów przejść granicznych ***P*** oraz zbioru numerów dróg ***D***, zadane jest odwzorowanie β, postaci:

$$\beta: \boldsymbol{N}\times\boldsymbol{P}\times\boldsymbol{D} \longrightarrow \{0,1\} \tag{7}$$

Przyjmujemy, że na iloczynie kartezjańskim zbioru punktów nadania ***N***, zbioru przejść granicznych ***P***, zbioru dróg ***Z***(n,p) oraz zbioru środków transportu ***T*** zadane jest odwzorowanie x, postaci:

$$x: \boldsymbol{N}\times\boldsymbol{P}\times\boldsymbol{Z}(n,p)\times\boldsymbol{T} \rightarrow \{0,1\} \tag{8}$$

przy czym, jeśli $x(n,p,d,t)=1$ to d-ta droga łącząca n-ty punkt nadania z p-tym przejściem granicznym jest wykorzystywana przez t-ty środek transportu, w przeciwnym przypadku $x(n,p,d,t)=0$.

Przyjmujemy, że na zbiorze $\boldsymbol{Z}(n,p)$ oraz zbiorze numerów pojazdów ***T*** zadane jest odwzorowanie τ, postaci:

$$\tau: \boldsymbol{Z}(n,p)\times\boldsymbol{T} \longrightarrow R^{+} \tag{9}$$

przy czym $\tau\left(\beta\left(n,p,d,t\right)\right) \in R^{+}$ ma interpretację czasu pokonania drogi o numerze d między n-ty punktem nadania a p-tym przejściem granicznym przez t-ty środek transportu.

Zbiór postaci:

$$\boldsymbol{T}\left(n,p\right) = \left\{\tau\left(\beta\left(n,p,d,t\right)\right) : \beta\left(n,p,d\right) = 1; d = 1,2,...,\beta\left(n,p,d\right), t \in \boldsymbol{T}\right\} \tag{10}$$

jest zbiorem o elementach o interpretacji czasu pokonania czasu pokonania dróg między wierzchołkami n oraz p przez wszystkie środki transportu.

Przyjmujemy, że na zbiorze $\boldsymbol{Z}(n,p)$ oraz zbiorze $\boldsymbol{T}$ zadane jest odwzorowanie c, postaci:

$$c\colon \boldsymbol{Z}(n,p) \times \boldsymbol{T} \longrightarrow R^{+} \tag{11}$$

przy czym wielkość $c\left(\beta\left(n,p,d,t\right)\right) \in R^{+}$ jest liczbą rzeczywistą dodatnią o interpretacji kosztu pokonania drogi o numerze d przez środek transportu o numerze t między n-tym punktem nadania a p-tym przejściem granicznym.

Niech $\boldsymbol{C}(n,p)$ jest zbiorem kosztów wszystkich dróg łączących wierzchołek n oraz wierzchołek p:

$$\boldsymbol{C}\left(n,p\right) = \left\{c\left(\beta\left(n,p,d,t\right)\right) : c\left(\beta\left(n,p,d,t\right)\right) \in R^{+}, d = 1,2,...,\beta\left(n,p,d\right), t \in \boldsymbol{T}\right\} \tag{12}$$

Czas realizacji przewozu z n-tego punktu nadania ładunku do p-tego przejścia granicznego po d-tej drodze wyznaczany jest przez wyrażenie postaci:

$$x(n,p,d,t) \cdot \tau\left(\beta(n,p,d)\right) \tag{13}$$

jeśli $x(n,p,d,t) = 1$.

**Zmienne decyzyjne** przyjmują wartości 0 albo 1:

$$x(n,p,d,t) \in \{0,1\} \tag{14}$$

Wyznaczana jest tylko jedna droga między n-tym punktem nadania ładunku oraz p-tym przejściem granicznym, a więc **ograniczenie** ma postać:

$$\sum_{t \in \boldsymbol{T}} \sum_{d \in \boldsymbol{Z}(n,p)} x(n,p,d,t) = 1 \tag{15}$$

Przejście graniczne o numerze p musi przyjmować do obsługi r-ty rodzaj ładunku, a więc **ograniczenie** ma postać:

$$\sum_{r \in \boldsymbol{R}} \gamma_1(p,r) \cdot x(n,p,d,t) = 1 \tag{16}$$

Przejście graniczne o numerze p musi przyjmować do obsługi t-ty środek transportu, a więc **ograniczenie** ma postać:

$$\sum_{t \in \boldsymbol{T}} \sum_{f \in \boldsymbol{Z}(n,p)} \gamma_3(p,t) \cdot x(n,p,d,t) = 1 \tag{17}$$

**Funkcja kryterium przybiera postać:**

$$\min_{p \in \boldsymbol{P}} \left\{ \min_{d \in \boldsymbol{Z}(n,p)} \{x(n,p,d,t) \cdot \tau(n,p,d,t)\} \right\} \tag{18}$$

o interpretacji: drogi łączącej n-ty punkt nadania ładunku z p-tym przejściem granicznym o minimalnym czasie przejazdu środka transportu o numerze t.

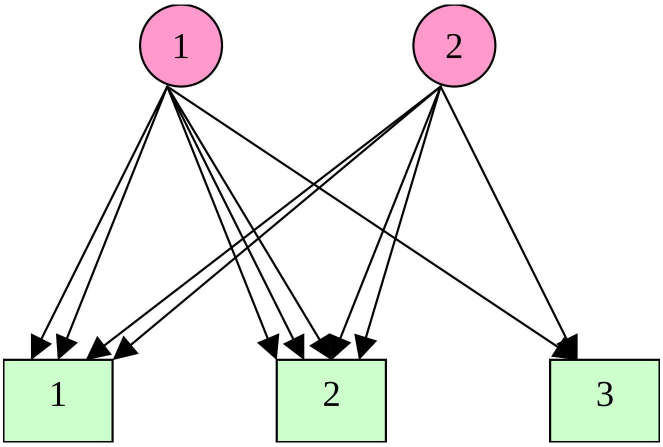
$$\min_{p \in \boldsymbol{P}} \left\{ \min_{d \in \boldsymbol{Z}(n,p)} \{x(n,p,d,t) \cdot c(n,p,d,t)\} \right\} \tag{19}$$

o interpretacji: drogi łączącej n-ty punkt nadania ładunku z p-tym przejściem granicznym o minimalnym koszcie przejazdu środka transportu o numerze t.

## 4. OPRACOWANIE DANYCH DO MODELU

W rozdziale tym pprzedstawiono metodę przygotowania danych do modelu matematycznego. Metoda ta jest przedstawiona na przykładzie I etapu tzn. Punkt Nadania - Przejście Graniczne. Należy pamiętać, że metodologia ta może być stosowana również dla etapu III (Przejście Graniczne - Przejście Graniczne) oraz dla etapu IV (Przejście Graniczne – Punkt Dostarczenia).

Na rysunku 2 przedstawiono ilustrację graficzną rozpatrywanego problemu, który uwzględnia relację między n-tym punktem nadania ładunku a p-tym przejściem granicznym.




Rys. 2. Ilustracja graficzna przykładu obliczeniowego

*Źródło: opracowanie własne.*

Przyjmujemy, że przewóz ładunków realizowany jest z 2 punktów nadania. W takim razie liczba punktów nadania N, $N = 2$. A zatem zbiór numerów bieżących punktów nadania ma postać:

$$\boldsymbol{N} = \{1, 2\},\ n \in \boldsymbol{N}\ . \tag{20}$$

Trasa przewozu przebiega przez 3 przejścia graniczne – stąd liczba przejść granicznych $P = 3$. A zatem, zbiór numerów przejść granicznych ma postać:

$$\boldsymbol{P} = \{1, 2, 3\}\ , \tag{21}$$

p jest bieżącym numerem punktu granicznego, $p \in \boldsymbol{P}$ .

Punkty nadania ładunków z przejściami granicznymi połączone są różnymi drogami, którymi można realizować przewóz. Przyjmujemy, że n-ty punkt nadania z p-tym przejściem granicznym połączony jest d-tą liczbą różnych dróg.

Przyjmujemy, że pierwszy punkt nadania z pierwszym przejściem granicznym łączą dwie różne drogi, a więc $D = 2$ jest liczbą dróg, którymi można realizować przewóz między tymi punktami. $D = 3$ to liczba dróg między pierwszym punktem nadania a drugim przejściem granicznym. Ponadto punkt nadania o numerze 1 połączony jest z trzecim przejściem granicznym jedną drogą, $D = 1$.

Drugi punkt nadania z pierwszym przejściem granicznym łączą dwie drogi, $D = 2$. Ten sam punkt nadania oznaczony bieżącym numerem 2 z kolejnym przejściem granicznym oznaczonym numerem 2 łączą dwie drogi, $D = 2$. Z ostatnim przejściem granicznym drugi punkt nadania połączony jest tylko jedną drogą, $D = 1$.

Przyjmujemy, że dysponujemy numerami środków transportu tj. zbiorem postaci:

$$\boldsymbol{T} = \{1, 2, ..., t, ..., T\}\quad t \in \boldsymbol{T} \tag{22}$$

Zakładamy, że w rozpatrywanym przypadku zbiór numerów środków transportu przyjmuje postać:

$$T = \{1, 2\} \tag{23}$$

T=2 to liczba środków transportu, a t to każdy t-ty środek transportu.

Przyjmujemy, że na iloczynie kartezjańskim zbioru numerów punktów nadania $\boldsymbol{N}$, zbioru numerów przejść granicznych $\boldsymbol{P}$ oraz zbioru numerów dróg $\boldsymbol{D}$, zadane jest odwzorowanie $\beta$:

$$\beta : \boldsymbol{N} \times \boldsymbol{P} \times \boldsymbol{D} \to \{0,1\} \tag{24}$$

Zapis $\beta(\mathrm{n}, \mathrm{p}, \mathrm{d}) = 1$ jest interpretowany jak fakt, że n-ty punkt nadania z p-tym przejściem granicznym jest połączony d-tą liczbą różnych dróg.

Zbiór wszystkich dróg łączących n-ty punkt nadania z p-tym przejściem granicznym zapisujemy w następujący sposób:

$$\boldsymbol{Z}(\mathrm{n}, \mathrm{p}) = \{\beta(\mathrm{n,p,f}) : \beta(\mathrm{n,p,f}) = 1, \mathrm{f} = 1,2,...,\beta(\mathrm{n,p,d})\} \tag{25}$$

**Przykład:** punkt nadania n=1, przejście graniczne p=1, liczba dróg między n=1 oraz p=1 jest d=2.

Punkt nadania o numerze 1 (n=1) z przejściem granicznym o numerze 1 (p=1) łączą drogi o numerze f=1 oraz f=2.

Zbiór wszystkich dróg łączących punkt nadania ładunków o numerze 1 z przejściem granicznym o numerze 1 zapisujemy w następujący sposób:

$$\boldsymbol{Z}(1,1) = \{\beta(1,1,1), \beta(1,1,2)\} \tag{26}$$

Przyjęto, że dysponujemy dwoma rodzajami środków transportu, T=2. Zatem liczba środków transportu jest równa 2, a zapis postaci $\boldsymbol{T} = \{1, 2\}$ to zbiór numerów środków transportu.

$$\boldsymbol{Z}(1,1) \times \boldsymbol{T} = \{\beta(1,1,\mathrm{f,t}) : \beta(1,1,\mathrm{f,t}) = 1, \mathrm{f} = 1,2, \mathrm{t} = 1,2\} \tag{27}$$

gdzie wielkość $\beta(\mathrm{n,p,f,t})$ w przypadku gdy $\beta(\mathrm{n,p,f,t})$=1, jest interpretowana jako istnienie drogi o numerze f, z wierzchołka o numerze n do wierzchołka o numerze p, po której przemieszcza się środek transportu o numerze t.

$$\beta(1,1,1,1) = 1 \qquad \beta(1,1,1,2) = 1 \qquad \beta(1,1,2,1) = 1 \qquad \beta(1,1,2,2) = 1$$

Przyjmujemy, że na zbiorze $\boldsymbol{Z}(\mathrm{n}, \mathrm{p})$ oraz zbiorze $\boldsymbol{T}$ zadane jest odwzorowanie c, postaci:

$$\mathrm{c} : \boldsymbol{Z}(\mathrm{n}, \mathrm{p}) \times \boldsymbol{T} \to \mathrm{R}^+ \tag{28}$$

przy czym wielkość $\mathrm{c}(\beta(\mathrm{n,p,f,t})) \in \mathrm{R}^+$ jest liczbą rzeczywistą dodatnią o interpretacji kosztu pokonania drogi o numerze f przez środek transportu o numerze t między n-tym punktem nadania a p-tym przejściem granicznym.

Przyjmujemy, że koszt pokonania drogi określony jest w jednostkach kosztowych.

Przy czym wielkość $\mathrm{c}(\beta(1,1,1,1))$=100 jest kosztem pokonania drogi, między punktem nadania n=1 a przejściem granicznym p=1, drogą o numerze f=1 przez środek transportu o numerze t=1, koszt ten wynosi 100 jednostek.

Wielkość $\mathrm{c}(\beta(1,1,1,2))$=80 jest kosztem pokonania drogi, między punktem nadania n=1 a przejściem granicznym p=1, drogą o numerze f=1 przez środek transportu o numerze t=2, koszt ten wynosi 80 jednostek.

Koszt pokonania drogi, między n=1 punktem nadania ładunków a przejściem granicznym o numerze p=1, drogą o numerze f=2 przez środek transportu o numerze t=1 jest wielkością $\mathrm{c}(\beta(1,1,2,1))$=75 i koszt ten wynosi 75 jednostek.

Wielkość $c(\beta(1,1,2,2))=95$ jest kosztem pokonania drogi, między punktem nadania n=1 a przejściem granicznym p=1, drogą o numerze f=2 przez środek transportu o numerze t=2, koszt ten wynosi 95 jednostek.
Przyjmujemy, że na zbiorze $\boldsymbol{Z}(n,p)$ oraz zbiorze numerów pojazdów $\boldsymbol{T}$ zadane jest odwzorowanie τ, postaci:

$$\tau: \boldsymbol{Z}(n,p)\times\boldsymbol{T} \rightarrow R^{+} \tag{29}$$

przy czym $\tau(\beta(n,p,f,t))\in R^{+}$ ma interpretację czasu pokonania drogi o numerze f między n-ty punktem nadania a p-tym przejściem granicznym przez t-ty środek transportu.
Wielkość $\tau(\beta(1,1,1,1))=200$ jest czasem pokonania drogi między punktem nadania n=1 a przejściem granicznym p=1, drogą o numerze f=1 przez środek transportu o numerze t=1 i i wynosi 200 jednostek.
Wielkość $\tau(\beta(1,1,1,2))=220$ jest czasem pokonania drogi między punktem nadania n=1 a przejściem granicznym p=1, drogą o numerze f=1 przez środek transportu o numerze t=2 i i wynosi 220 jednostek.
Wielkość $\tau(\beta(1,1,2,1))=210$ jest czasem pokonania drogi między punktem nadania n=1 a przejściem granicznym p=1, drogą o numerze f=2 przez środek transportu o numerze t=1 i wynosi 210 jednostek.
Wielkość $\tau(\beta(1,1,2,2))=230$ jest czasem pokonania drogi między punktem nadania n=1 a przejściem granicznym p=1, drogą o numerze f=2 przez środek transportu o numerze t=2 i wynosi 230 jednostek.
W analogiczny sposób należy przygotować dane dla pozostałych wariantów połączeń punktów nadania z przejściami granicznymi.

Poniżej przedstawiono metodę określania czasu odprawy granicznej, mającą zastosowanie dla Etapu II i kolejnych etapów (Etap II*) [5]. Czas odprawy granicznej jest sumą czasów poszczególnych odpraw granicznych i można go obliczyć ze wzoru:

$$T_{gc} = \sum_{j=1}^{n} T_{gj} \tag{30}$$

gdzie:
$T_{gj}$ - czas odprawy granicznej.

Czas odprawy granicznej składa się z czasu trwania pierwszej obsługi granicznej np. na polskim przejściu granicznym ($T_{gp}$) oraz czasu trwania drugiej obsługi granicznej np. na przejściu granicznym kraju sąsiedniego ($T_{gd}$):

$$T_{gj} = T_{gp} + T_{gd} \tag{31}$$

$T_{gp}$ - czas trwania pierwszej obsługi granicznej, który obejmuje następujące składowe - czas oczekiwania przed przejściem ($T_{gopp}$), czas oczekiwania na przejściu ($T_{gonpp}$), czas obsługi granicznej ($T_{gogp}$) oraz czas obsługi celnej ($T_{gocp}$).

$$T_{gp} = T_{gopp} + T_{gonpp} + T_{gogp} + T_{gocp} \tag{32}$$

$T_{gd}$ - czas trwania drugiej obsługi granicznej to czas oczekiwania pomiędzy przejściami ($T_{gompp/d}$), czas oczekiwania na drugim przejściu granicznym ($T_{gonpd}$), czas obsługi granicznej na drugim przejściu granicznym ($T_{gogd}$), czas obsługi celnej na drugim przejściu granicznym ($T_{gocd}$) oraz czas opuszczenia drugiego przejścia granicznego ($T_{gopd}$).

$$T_{gd} = T_{gompp/d} + T_{gonpd} + T_{gogd} + T_{gocd} + T_{gopd} \tag{33}$$

W literaturze [4] i [5] przedstawiono metody określania czasów oczekiwania na przejściach granicznych.

Tabela 1. Czas oczekiwania odnotowany na przejściu granicznym w Kuźnicy w latach 2010-2012 dla poszczególnych miesięcy

| Rok | Czas oczekiwania [h] | Miesiąc | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 2010 | Średni | 2 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 5 | 6 | 10 | 14 | 13 | 10 |
| | Maksymalny | 12 | 11 | 15 | 19 | 14 | 13 | 12 | 19 | 24 | 24 | 34 | 28 |
| 2011 | Średni | 2 | 9 | 17 | 10 | 10 | 7 | 5 | 5 | 8 | 12 | 12 | 11 |
| | Maksymalny | 11 | 36 | 38 | 27 | 20 | 20 | 16 | 12 | 16 | 22 | 28 | 35 |
| 2012 | Średni | 7 | 9 | 14 | 18 | 11 | 18 | 10 | 10 | 18 | 9 | 10 | 22 |
| | Maksymalny | 23 | 25 | 35 | 32 | 39 | 36 | 20 | 27 | 35 | 22 | 28 | 66 |

*Źródło: opracowanie własne na podstawie* [8].

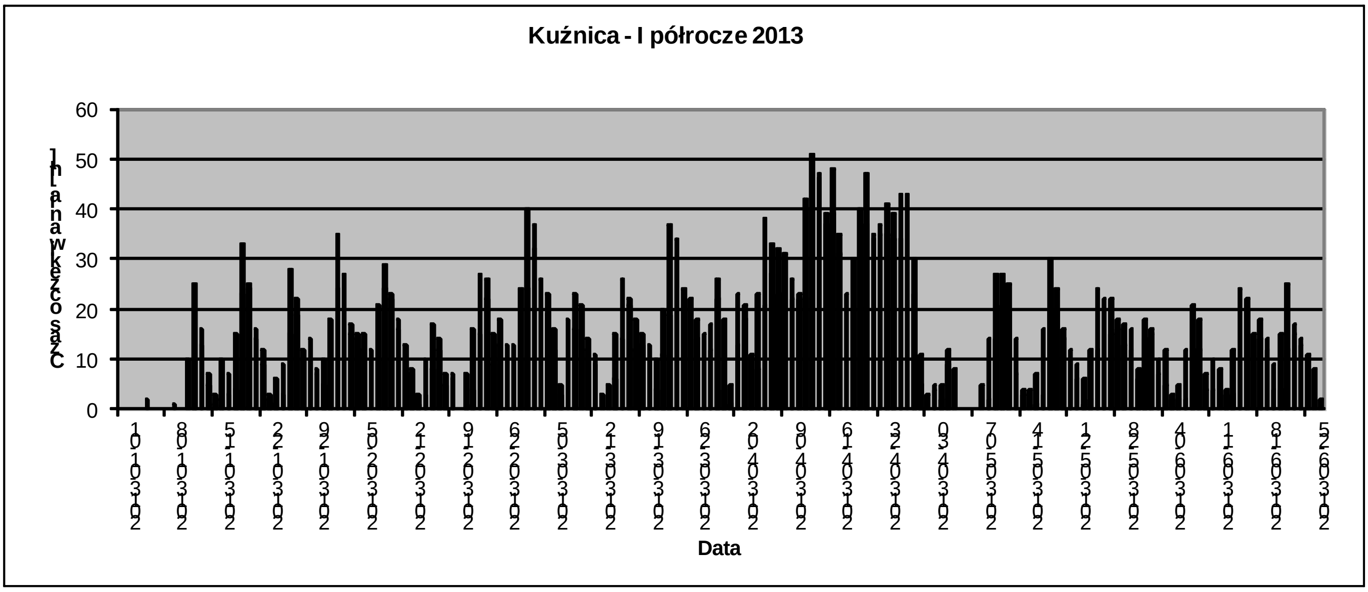
Tabela 2. Czas oczekiwania odnotowany na przejściu granicznym w Bobrownikach w latach 2010-2012 dla poszczególnych miesięcy

| Rok | Czas oczekiwania [h] | Miesiąc | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 2010 | Średni | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 7 | 11 | 10 | 9 |
| | Maksymalny | 6 | 12 | 10 | 12 | 10 | 8 | 10 | 11 | 19 | 23 | 29 | 28 |
| 2011 | Średni | 1 | 8 | 11 | 7 | 10 | 7 | 5 | 4 | 8 | 12 | 9 | 13 |
| | Maksymalny | 9 | 25 | 27 | 27 | 25 | 20 | 15 | 13 | 19 | 23 | 25 | 39 |
| 2012 | Średni | 3 | 7 | 12 | 15 | 12 | 21 | 13 | 11 | 21 | 12 | 12 | 23 |
| | Maksymalny | 16 | 24 | 35 | 44 | 37 | 35 | 27 | 27 | 41 | 30 | 32 | 49 |

*Źródło: opracowanie własne na podstawie* [8].

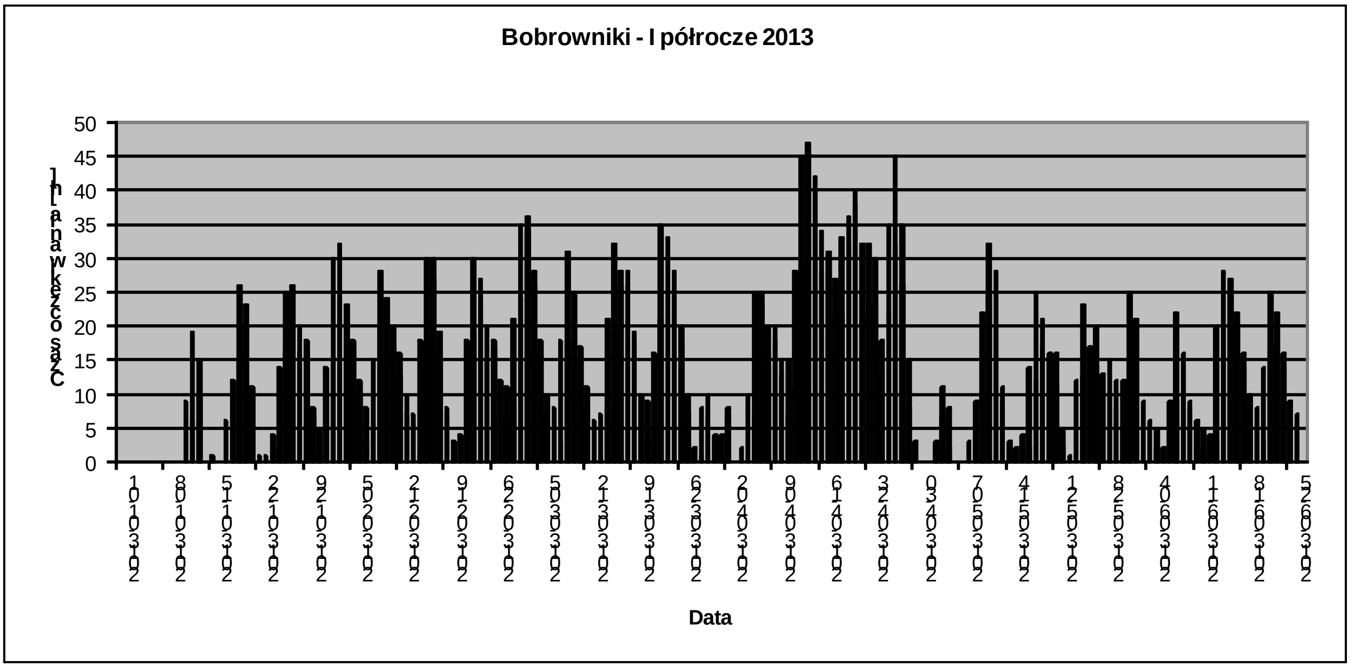
W tabeli 1 oraz 2 zamieszczono odnotowane w latach 2010-2012 średnie i maksymalne czasy oczekiwania dla dwóch polskich przejść granicznych. W okresie od 1 stycznia 2010 roku do 31 grudnia 2012 roku średni czas oczekiwania na przejściu granicznym w Kuźnicy wynosił 10 [h]. Maksymalny czas oczekiwania wynosił 66 [h]. Natomiast na przejściu granicznym Bobrowniki średni czas oczekiwania wynosił 9 [h] a maksymalny czas oczekiwania wynosił 49 [h].

Na rysunku 3 oraz 4 przedstawiono rzeczywiste czasy oczekiwania na przejściach granicznych w Kuźnicy i Bobrownikach z podziałem na poszczególne dni w roku. Czasy te mierzono w ciągu I półrocza 2013 roku dwa razy w ciągu doby.




Rys. 3. Ilustracja graficzna przykładu obliczeniowego

*Źródło: opracowanie własne na podstawie* [8].




Rys. 4. Ilustracja graficzna przykładu obliczeniowego
*Źródło: opracowanie własne na podstawie* [8].

## 5. PODSUMOWANIE

Modelowanie matematyczne transportu międzynarodowego jest zagadnieniem złożonym i warunkowanym wieloma czynnikami wpływającymi na efektywne rozwiązanie problemu. Przy budowie modelu należy uwzględnić jego uniwersalność oraz istotne problemy występujące przy realizacji międzynarodowej obsługi transportowej.

Opracowywany model będzie prowadził do poszukiwania rozwiązań optymalnych minimalizujących czas i koszty obsługi transportowej.

Opracowano model strukturalny, w którym wyodrębniono cztery podstawowe etapy występujące w transporcie międzynarodowym. Opisano główne założenia oraz przedstawiono model matematyczny. W oparciu o założenia i model opracowano sposób przygotowania danych niezbędnych do wykonania obliczeń numerycznych oraz przedstawiono przykładowy zapis danych reprezentatywnych dla etapu I i II.

Dalszym etapem prac będzie przygotowanie danych numerycznych do badań symulacyjnych oraz rozbudowanie modelu matematycznego poprzez uwzględnienie innych zdarzeń mających wpływ na realizację transportu międzynarodowego.

**Streszczenie**

W pracy przedstawiono problematykę planowania tras w transporcie międzynarodowym. Przyjęto, że główną barierą wpływającą na czas obsługi transportowej są granice państwowe. Przedstawiono model strukturalny obsługi transportowej. Przedstawiono główne założenia do budowy modelu matematycznego opisującego międzynarodową obsługę transportową. Przedstawiono model matematyczny: zmienne decyzyjne, ograniczenia oraz funkcje kryterium. Do rozwiązania problemu wykorzystano elementy teorii grafów. Przedstawiono sposób przygotowania danych do badań symulacyjnych.

Słowa kluczowe: transport międzynarodowy, przejścia graniczne, modelowanie.

## The method of routes planning in the international transport with regard to national borders

**Abstract**

The paper presents the problem of planning the international transport. It was assumed that the main barrier affecting on duration of transport service are country borders. The structural model of the international transport was presented. The paper presents the main assumptions for the construction of a mathematical model describing the international transport services. The mathematical model was presented. To solve the problem used elements of graph theory. Paper presents the method of preparing data for the simulation research of the international transport.

Key words: international transport, national borders, modeling

## LITERATURA

[1] Korzan B., Elementy teorii grafów i sieci. Metody i zastosowania, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1978.
[2] Piasecki S., Optymalizacja systemów przewozowych, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1973.
[3] Neider J., Transport międzynarodowy, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2012.
[4] Różowicz J., Jakowlewa I., Analiza wpływu wydajności infrastruktury przejść granicznych na efektywność obsługi transportowej na przykładzie zewnętrznej granicy Unii Europejskiej, Autobusy – technika, eksploatacja, systemy transportowe, 3/2013.
[5] Różowicz J. Jakowlewa I., Rozwój globalnych łańcuchów dostaw z uwzględnieniem przejść granicznych jako barier wpływających na ich efektywność, Prace naukowe Politechniki Warszawskiej, 97/2013, Warszawa 2013.
[6] Steenbrink P.A., Optymalizacja sieci transportowych, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1978.
[7] Szymonik A., Logistyka i zarządzanie łańcuchem dostaw, Difin, Warszawa 2010.
[8] Serwis Służby Celnej: www.granica.gov.pl (w dniu 08.03.2014).