

**Agata Kurek**

Studium Doktoranckie na Wydziale Transportu Politechniki Warszawskiej

**Tomasz Ambroziak**

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

## **WYBRANE ZAGADNIENIA POZYCJONOWANIA PUSTYCH KONTENERÓW PRZY UDZIALE TRANSPORTU KOLEJOWEGO**

Rękopis dostarczono: czerwiec 2017

**Streszczenie:** Artykuł podejmuje problematykę pozycjonowania kontenerów na sieci kolejowej Polski. W pierwszej części zarysowano różne modele organizacji transportu intermodalnego, a także scharakteryzowano rolę depotów w śródlądowych terminalach intermodalnych w zarządzaniu próżnymi jednostkami intermodalnymi. Następnie dokonano formalizacji zagadnienia prowadzącej do sformułowania zadania optymalizacyjnego przemieszczeń próżnych kontenerów.

**Słowa kluczowe:** kolejowy transport kontenerowy, optymalizacja, pozycjonowanie kontenerów

### **1. WPROWADZENIE**

Wśród coraz większej liczby publikacji poświęconych zagadnieniom transportu intermodalnego, pojawiających się sukcesywnie na polskim rynku, niewiele jest takich, które szczegółowo analizują problematykę zarządzania pustymi kontenerami. Zdecydowana większość skupia się na charakterystyce rynku przewozów, technologii i organizacji, lub optymalizacji przemieszczeń ładownych jednostek transportowych. Publikacje te zwykle szczegółowo omawiają poszczególne etapy złożonego łańcucha dostaw od nadawcy do odbiorcy, jednakże tylko w nielicznych można odnaleźć jakiekolwiek informacje o tym, co dzieje się z kontenerem po jego rozładunku i jak zorganizowany jest proces przemieszczeń próżnych jednostek intermodalnych. Należy zatem podkreślić, że logistyka transportu intermodalnego nie kończy się wraz z dostarczeniem finalnemu odbiorcy kontenera z zamówionym ładunkiem, bowiem po wyładunku pozostaje problem zarządzania próżną jednostką ładunkową, na który składa się przede wszystkim organizacja terminowego przemieszczenia kontenera do portu morskiego albo procesu złożenia go na odpowiednim depocie śródlądowym w zależności od przewidywanych prognoz ponownego załadunku [3].

Konieczność pozycjonowania kontenerów, a więc ich przemieszczania w odpowiednim czasie do właściwych terminali śródlądowych, wynika przede wszystkim z bardzo dużej dysproporcji pomiędzy importem a eksportem. Polska, podobnie jak większość krajów europejskich, stanowi ogromny rynek konsumpcyjny, będąc tym samym, przede wszystkim importem skonteneryzowanych towarów produkowanych w krajach Azji Południowo-Wschodniej. W związku z tym, kontenery po rozładunku w większości krajów europejskich, zostają w stanie próżnym składowane na depotach, najczęściej w portach morskich, oczekując na powtórny załadunek [10].

Jak wynika ze statystyk problem pustych kontenerów jest wciąż bardzo uciążliwy. W 2011 roku port w Rotterdamie musiał znaleźć miejsce do składowania 2,2 mln TEU pustych kontenerów, co stanowiło 18,3% całkowitej przepustowości tego portu [10]. W Polsce puste kontenery stanowią od 30% do nawet 40% ogólnej liczby przemieszczanych drogą kolejową jednostek intermodalnych [7], [8]. Problem ten dotyczy nie tylko Europy. Szacuje się, że w Stanach Zjednoczonych na załadunek oczekuje od 300 do 400 tys. pustych kontenerów. W nowojorskim porcie znajduje się prawie 150 tys. pustych kontenerów [10].

Warto także zauważyć, że nawet, jeżeli znajdują się nadawcy eksportujący ładunek w kontenerach, to bardzo często miejsce załadunku kontenera nie pokrywa się z miejscem jego wcześniejszego rozładunku, stąd konieczność przemieszczenia kontenera w stanie próżnym między określonymi terminalami intermodalnymi [3].

## 2. ZARYS ORGANIZACJI

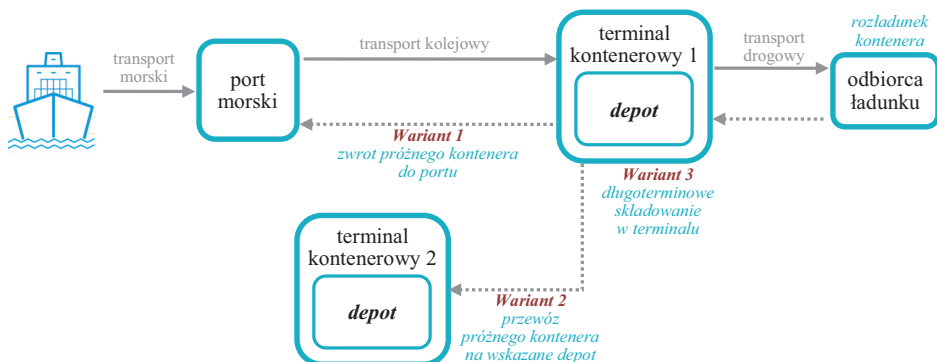
W podstawowym modelu organizacji transportu intermodalnego, najczęściej przyjmuje się, że puste kontenery po rozładunku zwracane są do portu morskiego. W takich przypadkach spedytor odpowiedzialny za organizację transportu intermodalnego, zapewnia tzw. pełną relację kontenera – w dwie strony, np. Gdynia – Warszawa – Gdynia.

W przypadku importu łańcuch transportowy wygląda zatem następująco. Ładowny kontener zostaje w porcie morskim przeładowany ze statku na platformę kolejową, następnie przy udziale transportu kolejowego przemieszczany jest do określonego terminala lądowego zlokalizowanego możliwie jak najbliżej finalnego odbiorcy. W terminalu lądowym dokonywane są operacje przeładunku kontenerów na samochody, realizujące, w założeniu, najkrótsze ogniwo łańcucha dostaw, poprzez dowóz kontenera do odbiorcy [3] [5]. Po rozładunku kontener zostaje przewieziony do terminala intermodalnego i w stanie próżnym, transportem kolejowym przemieszczony do portu morskiego na depot armatorskie (rys. 1, wariant 1). Możliwe jest także, po porozumieniu z armatorem, długotrwałe składowanie kontenera na depocie w terminalu, w oczekiwaniu na ponowny załadunek (rys. 1, wariant 3), albo przemieszczenie kontenera na inny depot śródlądowy (rys. 1, wariant 2). Czas na „obrót” kontenera, zwolniony z opłat *demurrage* i *detention* wynosi przeważnie, w zależności od umowy z armatorem, 10-12 dni.

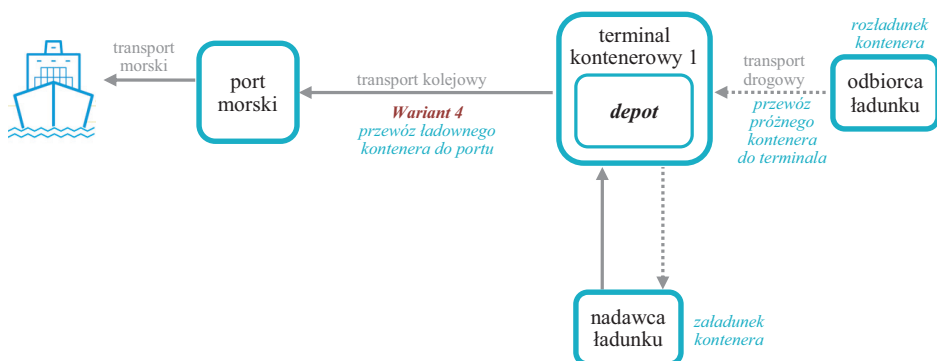
*Demurrage* to opłata naliczana przez armatora w przypadku przetrzymania kontenera w porcie morskim, po jego wyładunku ze statku, a przed załadunkiem na inny środek transportu, natomiast *detention* to opłata naliczana za niezłożenie kontenera na wskazane przez armatora depot w określonym czasie.

W przypadku eksportu łańcuch transportowy wygląda następująco. Pusty kontener zostaje pobrany z depotu armatorskiego, następnie przemieszczony przy udziale transportu kolejowego do określonego terminala lądowego zlokalizowanego możliwie jak najbliżej nadawcy. Po załadunku kontener zostaje przewieziony do terminala, a następnie przy udziale transportu kolejowego przemieszczony do portu morskiego, gdzie zostaje przeładowany na statek. Jeżeli eksporter ładunku był wcześniej importerem, lub też kiedy załadunek kontenera odbywa się bezpośrednio po jego wcześniejszym rozładunku, nie jest konieczne podejmowanie jednostki ładunkowej z portu morskiego i transportowanie jej w stanie próżnym do nadawcy. W takich przypadkach kontener zostaje przemieszczony do nadawcy bezpośrednio od poprzedniego klienta lub z terminala lądowego (rys. 2, wariant 4).

Zarysowana powyżej skrótkowo organizacja przewozów przedstawiona została na poniższych schematach.



Rys. 1. Organizacja przewozów w przypadku importu  
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2. Organizacja przewozów w przypadku eksportu  
Źródło: opracowanie własne.

W procesie transportowym, jednym z najbardziej znaczących czynników podnoszących koszty przewozu jest tzw. problem pustego przebiegu, a więc odcinka drogi, który dana jednostka ładunkowa musi pokonać w stanie próżnym. Najkorzystniejszy zatem, z ekonomicznego i organizacyjnego punktu widzenia, jest wskazany powyżej wariant 4, w którym kontener po rozładunku u odbiorcy przemieszczany zostaje do miejsca kolejnego załadunku i drogę powrotną do portu morskiego przebywa w stanie ładownym. Taka relacja określona jest jako *round trip* – a więc pełny obieg kontenera (w obie strony). Drugim sposobem organizacji przemieszczeń kontenerów jest tzw. *one way*, w których określona jest relacja tylko w jedną stronę. Należy zauważyć, że konieczność przemieszczania pustych kontenerów w znaczący sposób przyczynia się do wzrostu kosztów przewoźników lub operatorów intermodalnych organizujących transport i może pochłonąć nawet 40% stawki przewozowej. Różnice w cenie przemieszczeń kontenera w wybranych relacjach przewozu, w systemie *one way* i *round trip* obrazuje poniższa tablica (na przykładzie cen operatora PCC Intermodal).

Tablica 1

#### Oplata za eksport/import ładownego kontenera w systemie *one way*

Import	Eksport	Oplata w systemie <i>one way</i> [PLN]		
		Rodzaj kontenera		
Relacja przewozu		20'	30'	40-45'
<i>Gdańsk/Gdynia – Kutno</i>	<i>Kutno – Gdańsk/Gdynia</i>	500	700	900
<i>Gdańsk/Gdynia – Gliwice</i>	<i>Gliwice – Gdańsk/Gdynia</i>	750	950	1150
<i>Gdańsk/Gdynia – Poznań</i>	<i>Poznań – Gdańsk/Gdynia</i>	850	1110	1300
<i>Gdańsk/Gdynia – Brzeg Dolny</i>	<i>Brzeg Dolny – Gdańsk/Gdynia</i>	750	950	1150

Źródło: opracowanie własne, na podstawie: [6].

Tablica 2

#### Oplata za eksport/import ładownego kontenera w systemie *round trip*

Import	Eksport	Oplata w systemie <i>round trip</i> [PLN]		
		Rodzaj kontenera		
Relacja przewozu		20'	30'	40-45'
<i>Gdańsk/Gdynia – Kutno</i>	<i>Kutno – Gdańsk/Gdynia</i>	900	1200	1500
<i>Gdańsk/Gdynia – Gliwice</i>	<i>Gliwice – Gdańsk/Gdynia</i>	1125	1450	1750
<i>Gdańsk/Gdynia – Poznań</i>	<i>Poznań – Gdańsk/Gdynia</i>	1300	1650	2000
<i>Gdańsk/Gdynia – Brzeg Dolny</i>	<i>Brzeg Dolny – Gdańsk/Gdynia</i>	1125	1450	1750

Źródło: opracowanie własne, na podstawie: [6].

### 3. ŚRÓDLĄDOWE TERMINALE KONTENEROWE JAKO DEPOTY ARMATORSKIE

Każdy terminal kontenerowy powinien dysponować na swoim terenie specjalnie przygotowanym placem, o odpowiedniej powierzchni, do składowania kontenerów. Plac ten określany jest jako depot, czyli miejsce przeznaczone do magazynowania głównie próżnych jednostek intermodalnych.

Armatorzy, którzy w ogromnej większości (w ok. 90%) są właścicielami kontenerów, nie prowadzą zwykle własnych depotów śródlądowych i dlatego, jak wspomniano wcześniej, w najprostszym i zarazem dominującym przez wiele lat wariantcie organizacji transportu intermodalnego, puste kontenery po rozładunku zwracane były do portu morskiego. Należy jednak zauważyć, że wraz z rozwojem transportu intermodalnego, większość armatorów, dążąc do optymalizacji przemieszczeń kontenerów i chcąc zarazem zmniejszyć koszty tzw. pustych przebiegów kontenerów, w porozumieniu z operatorami transportu intermodalnego, rozbudowuje sieć depotów zlokalizowanych na śródlądowych terminalach kontenerowych [9]. Są to tzw. depoty armatorskie, a więc place składowe, na których, na mocy umowy zawartej między armatorem, a operatorem terminala możliwe jest długoterminowe składowanie próżnych jednostek intermodalnych przeznaczonych pod późniejszy załadunek. Szczegóły dotyczące zarządzania kontenerami oraz warunki ich składowania podlegają zwykle negocjacom i są ustalane indywidualnie pomiędzy armatorem a operatorem logistycznym [1], [9].

W przypadkach, kiedy zapotrzebowanie na kontenery rozkłada się nierównomiernie pomiędzy poszczególnymi terminalami, lub kiedy operatorzy intermodalni spodziewają się zwiększonego zapotrzebowania na kontenery konkretnego armatora następuje tzw. pozycjonowanie jednostek intermodalnych, najczęściej przy udziale transportu kolejowego [9]. Pozycjonowanie pustych kontenerów może przeprowadzać sam armator, lub też może działać w porozumieniu z operatorem zarządzającym określoną siecią terminali kontenerowych. Jak już wspomniano, każdy armator sam ustala zasady współpracy oraz warunki, na jakich udostępnia swoje jednostki ładunkowe. W wielu przypadkach ceny za składowanie kontenerów na depotach w terminalach, a także stawki operatorów za pozycjonowanie pustych kontenerów ustalane są indywidualnie i zależą od warunków umowy z operatorami intermodalnymi [9]. Przykładowe ceny podane zostały w tablicy 3 i tablicy 4.

Tablica 3

Oplaty za składowanie pustych kontenerów

Okres składowania	Kontener 20'	Kontener 40'
do 7 dni	<i>Wolne od opłat</i>	<i>Wolne od opłat</i>
od 8 do 14 dni	<i>3 euro/dzień</i>	<i>5 euro/dzień</i>
od 15 do 21 dni	<i>5 euro/dzień</i>	<i>10 euro/dzień</i>
powyżej 21 dni	<i>7 euro/dzień</i>	<i>15 euro/dzień</i>

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [6].

Tablica 4

## Oplaty za pozycjonowanie pustych kontenerów.

Pozycjonowanie pustych kontenerów		Wysokość opłaty [PLN]		
		Rodzaj kontenera		
Relacja przewozu		20'	30'	40-45'
<i>Brzeg Dolny – Kutno</i>	<i>Kutno – Brzeg Dolny</i>	400	550	700
<i>Kolbuszowa – Gliwice</i>	<i>Gliwice – Kolbuszowa</i>	400	550	700
<i>Kolbuszowa – Kutno</i>	<i>Kutno – Kolbuszowa</i>	400	550	700
<i>Gliwice – Brzeg Dolny</i>	<i>Brzeg Dolny – Gliwice</i>	400	550	700

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [6].

#### 4. FORMALIZACJA PROBLEMU

Jak wspomniano wcześniej, właścicielami kontenerów są głównie armatorzy. Wyodrębniono zatem zbiór numerów armatorów  $AM$ , postaci:

$$AM = \{am: m = 1, 2, \dots, M\} \quad (1)$$

gdzie:

$m$  – numer  $am$ -tego armatora;  $M = \{1, 2, \dots, M\}$ ,  $M$  – liczba armatorów.

Zbiór numerów armatorów można również zapisać jako:

$$AM = \{a1, a2, \dots, am, \dots, aM\}, m \in M \quad (2)$$

Każdy  $m$ -ty armator  $am$ , posiada określoną liczbę próżnych jednostek intermodalnych rozmieszczonych na depotach w terminalach śródlądowych oraz w portach morskich. Rozmieszczenie to nie jest równomierne i zależy głównie od zbilansowania importu do eksportu. Tam gdzie import przeważa nad eksportem, można zaobserwować gromadzenie się pustych kontenerów, z kolei tam gdzie eksport przewyższa import można zaobserwować zapotrzebowanie na określone rodzaje kontenerów.

Mając na uwadze powyższe, pierwszym krokiem formalizacji problemu jest wyodrębnienie zbioru numerów kontenerów  $K$ . Zbiór numerów kontenerów danego armatora określony będzie symbolem:  $KAM$  – gdzie  $K$  oznacza zbiór numerów kontenerów, a  $m$  – numer  $am$ -tego armatora.

$$K = KA1 \cup KA2 \cup \dots \cup KAM \quad (3)$$

$$KA1 \cap KA2 \cap \dots \cap KAM = \emptyset \quad (4)$$

W artykule uwzględniono cztery rozmiary kontenerów każdego armatora, tj.: 20', 30', 40' i 45'. W związku z czym wyodrębniono zbiór  $KR$  rodzajów kontenerów (wg rozmiaru), co przedstawiono następująco:

$$KR = \{kr: r = 1, 2, 3, 4\} \quad (5)$$

przy czym:

$k1$  – oznacza kontener 20',

$k2$  – oznacza kontener 30',

$k3$  – oznacza kontener 40',

$k4$  – oznacza kontener 45'.

Zatem zbiór rodzajów kontenerów można zapisać także jako:

$$KR = \{k1, k2, k3, k4\} \quad (6)$$

Kontenery przewożone są na wagonach kolejowych (platformach), zorganizowanych w składy pociągowe lub grupy wagonowe od terminali nadania do terminali przeznaczenia. Wszystkie terminale kontenerowe stanowią elementy jednej sieci. Przyjęto tym samym założenie, że sieć tę można odwzorować w postaci grafu, którego wierzchołki będą miały interpretację terminali transportu intermodalnego, a łuki będą miały interpretację odcinków linii kolejowych. Graf ten będzie miał zatem postać:

$$G = \langle TTIN, LK \rangle \quad (7)$$

gdzie:

$TTIN$  – zbiór numerów wierzchołków (terminali transportu intermodalnego) grafu  $G$ ;

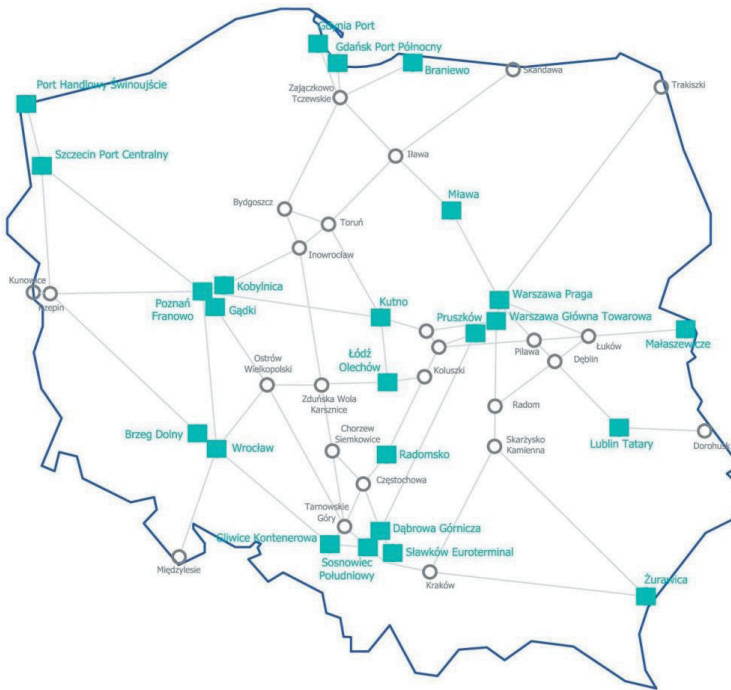
$LK$  – zbiór łuków (odcinków linii kolejowych) grafu  $G$ , tj. połączeń między poszczególnymi wierzchołkami grafu, rozumiany jako podzbiór iloczynu kartezyjskiego:  $LK \subset TTIN \times TTIN$ .

Zbiór  $TTIN$  numerów terminali transportu intermodalnego ma postać:

$$TTIN = \{1, 2, \dots, ttin, \dots, TTIN\} \quad (8)$$

i tworzą go wszystkie terminale lądowe kolejowo-drogowe oraz porty morskie, przy czym  $ttin$  oznacza kolejny numer terminala transportu intermodalnego, a  $TTIN$  jest liczbą wszystkich wyróżnionych terminali transportu intermodalnego.

Rozmieszczenie terminali transportu intermodalnego, tj. terminali lądowych i portów morskich na sieci kolejowej Polski przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Rozmieszczenie terminali lądowych i portów morskich na sieci kolejowej Polski.  
Źródło: opracowanie własne.

Na potrzeby niniejszych rozważań przyjęto, że planowanie przemieszczeń kontenerów odbywa się w horyzoncie czasowym  $\tilde{T}$  trwającym 30 dni, który podzielono na przedziały  $\tilde{t}$  równe 24 godzinom tj. jednej dobie.

$$\tilde{T} = \{\tilde{t}; \tilde{t} = \overline{1, 30}\} \quad (9)$$

Wszystkie terminale transportu intermodalnego biorące udział w procesie przemieszczeń kontenerów mogą pełnić funkcję zarówno nadawcy, jak i odbiorcy kontenerów. A zatem każdy terminal nadania może być zarazem terminalem odbioru, a każdy terminal odbioru może być zarazem terminalem nadania. O tym, czy określony terminal będzie terminalem nadania czy terminalem odbioru, decydują zgłoszenia zapotrzebowań na kontenery oraz zgłoszenia możliwości nadania kontenerów w danym przedziale czasu. Należy przy tym zauważyć, że każdy terminal nadania nadaje kontenery do przynajmniej jednego terminala odbioru, a każdy terminal odbioru odbiera kontenery od przynajmniej jednego terminala nadania. Mogą także istnieć takie terminale, które w określonym przedziale czasowym nie będą brały udziału w procesie przemieszczania kontenerów, tj. nie będą ani nadawcami ani odbiorcami.

W celu wyodrębnienia terminali nadania oraz terminali odbioru ze zbioru  $TTIN$  wszystkich terminali transportu intermodalnego, w każdym z tych terminali w  $\tilde{t}$ -tym



przedziale czasowym, określono zasoby kontenerów oraz ich zapotrzebowanie, wyrażone wektorami postaci:

$$ttn(\tilde{t}) = \{\langle zas(kr, am, ttn, \tilde{t}) \rangle, \langle zap(kr, am, ttn, \tilde{t}) \rangle\} \quad (10)$$

gdzie:

$zas(kr, am, ttn, \tilde{t}) \in \mathbb{N}$  – zasoby kontenerów  $kr$ -tego rodzaju,  $am$ -tego armatora w  $ttn$ -tym terminalu transportu intermodalnego w  $\tilde{t}$ -tym przedziale czasowym,

$zap(kr, am, ttn, \tilde{t}) \in \mathbb{N}$  – zapotrzebowanie na kontenery  $kr$ -tego rodzaju,  $am$ -tego armatora w  $ttn$ -tym terminalu transportu intermodalnego w  $\tilde{t}$ -tym przedziale czasowym.

Terminala, w których zasoby kontenerów przewyższają zapotrzebowanie na kontenery stają się potencjalnymi nadawcami kontenerów. Terminala, w których zapotrzebowanie jest większe od zasobów kontenerów stają się odbiorcami kontenerów.

Na tej podstawie w każdym  $\tilde{t}$ -tym przedziale czasowym wyróżniono zbiór **TNI** numerów nadawców kontenerów oraz zbiór **TOJ** numerów odbiorców kontenerów, których zamówienia powinny zostać zrealizowane w  $\tilde{t}'$ -tym przedziale czasowym.

$$\mathbf{TNI}(\tilde{t}) = \{ttn(\tilde{t}) \equiv tni(\tilde{t}): zas(kr, am, ttn, \tilde{t}) - zap(kr, am, ttn, \tilde{t}) > 0\} \quad (11)$$

$$\mathbf{TOJ}(\tilde{t}) = \{ttn(\tilde{t}) \equiv toj(\tilde{t}): zas(kr, am, ttn, \tilde{t}) - zap(kr, am, ttn, \tilde{t}) < 0\} \quad (12)$$

Mając na uwadze powyższe, w każdym terminalu nadania w  $\tilde{t}$ -tym przedziale czasowym określono nadwyżki kontenerów, które mogą zostać wykorzystane do zaspokojenia potrzeb terminali odbioru:

$$tni(\tilde{t}) = \langle nk(kr, am, tni, \tilde{t}) \rangle; \quad i \in \mathbf{I}; \quad \tilde{t} \in \tilde{\mathbf{T}}; \quad r = 1,2,3,4; \quad m \in \mathbf{M} \quad (13)$$

gdzie:

$nk(kr, am, tni, \tilde{t}) \in \mathbb{N}$  – liczba kontenerów  $kr$ -tego rodzaju, które w  $\tilde{t}$ -tym przedziale czasowym posiada  $am$ -ty armator w  $tni$ -tym terminalu nadania.

Jednocześnie w każdym terminalu odbioru w  $\tilde{t}$ -tym przedziale czasowym określono niedobór kontenerów oraz przedział czasu, w którym niedobór ten powinien zostać uzupełniony:

$$toj(\tilde{t}') = \langle zk(kr, am, toj, \tilde{t}') \rangle; \quad j \in \mathbf{J}; \quad \tilde{t}' \in \tilde{\mathbf{T}}; \quad r = 1,2,3,4; \quad m \in \mathbf{M} \quad (14)$$

gdzie:

$zk(kr, am, toj, \tilde{t}') \in \mathbb{N}$  – liczba kontenerów  $kr$ -tego rodzaju, które musi otrzymać  $am$ -ty armator w  $toj$ -tym terminalu odbioru w przedziale czasu  $\tilde{t}'$ .

Założono, że zadane są przedziały czasu  $\tilde{t}'$ , w których mają zostać zrealizowane zamówienia na określony rodzaj kontenera.

Kontenery przemieszczane między terminalami przebywają określoną drogę w zależności od relacji. W niniejszym opracowaniu przyjęto, że droga to najkrótsza – taryfowa odległość między terminalami, przy następujących założeniach:

- początek i koniec drogi są w określonych wierzchołkach grafu,
- każdy element drogi istnieje w rzeczywistej sieci kolejowej,
- koniec odcinka drogi jest początkiem następnego,
- droga zawiera tylko różne wierzchołki drogi (nie przebiega dwukrotnie przez ten sam wierzchołek) [2].

**Zmienna decyzyjna** ma następującą postać:

$x((kr, am, tni, \tilde{t}), (kr, am, toj, \tilde{t}'))$  – o interpretacji liczby kontenerów  $kr$ -tego rodzaju,  $am$ -tego armatora przemieszczanych między  $tni$ -tym terminalem nadania oraz  $toj$ -tym terminalem odbioru od przedziału czasowego o numerze  $\tilde{t}$  do przedziału czasowego o numerze  $\tilde{t}'$ .

Założono przy tym, że możliwy jest przewóz kontenerów danego rodzaju należących do konkretnego armatora po najkrótszej drodze między  $tni$ -tym terminalem nadania oraz  $toj$ -tym terminalem odbioru od przedziału czasowego o numerze  $\tilde{t}$  ( $\tilde{t} \in \tilde{T}$ ) do przedziału czasowego o numerze  $\tilde{t}'$  ( $\tilde{t}' \in \tilde{T}$ ), jeżeli:

$$\tilde{T}(kr, am, toj) = \{ \tilde{t}' : x((kr, am, tni, \tilde{t}), (kr, am, toj, \tilde{t}')) \geq 0 \wedge \frac{1}{v} \cdot d(tni, toj) < \tilde{t}' \} \quad (15)$$

gdzie:

$v$  – średnia prędkość przemieszczania kontenerów między terminalami nadania oraz terminalami odbioru.

**Wybrane warunki ograniczające** mają postać:

- Nadwyżki kontenerów w  $tni$ -tym terminalu nadania w zależności od rodzaju kontenera i armatora będą wykorzystane do uzupełnienia niedoboru kontenerów w terminalach odbioru.
- $tni$ -ty terminal nadania będzie mógł nadać kontenery  $kr$ -tego rodzaju należące do  $am$ -tego armatora, jeżeli spełniony zostanie następujący warunek:

$$\begin{aligned} & \text{dla ustalonego armatora} & (16) \\ \forall kr \in KR, \forall \tilde{t} \in \tilde{T} & \sum_{toj(\tilde{t}') \in TOJ(\tilde{t}')} x((kr, am, tni, \tilde{t}), (kr, am, toj, \tilde{t}')) \leq nk(kr, am, tni, \tilde{t}) \end{aligned}$$

- Każdy armator w  $toj$ -tym terminalu odbioru otrzyma kontenery na jakie zgłasza zapotrzebowanie, jeżeli spełniony zostanie następujący warunek:

$$\begin{aligned} & \text{dla ustalonego armatora} \\ & \forall kr \in KR, \quad \forall toj \in TOJ \quad \sum_{\substack{\tilde{t} < \tilde{t}': \tilde{t} \in \tilde{T} \wedge \\ \tilde{t}' \in \tilde{T}(kr, am, toj)}} \sum_{tni(\tilde{t}) \in TNI(\tilde{t})} x((kr, am, tni, \tilde{t}), (kr, am, toj, \tilde{t}')) \end{aligned} \quad (17)$$

$$= zk(kr, am, toj, \tilde{t}')$$

- Przemieszczane między terminalami nadania oraz terminalami odbioru liczby kontenerów spełniają warunek:

$$x((kr, am, tni, \tilde{t}), (kr, am, toj, \tilde{t}')) \in \mathbb{N} \cup \{0\} \quad (18)$$

**Funkcja kryterium**  $F(X(\tilde{t}, \tilde{t}'))$  dla kontenerów należących do  $am$ -tego armatora przyjmuje postać:

$$\begin{aligned} F(X(\tilde{t}, \tilde{t}')) = & \sum_{kr \in KR} \sum_{tni(\tilde{t}) \in TNI(\tilde{t})} \sum_{toj(\tilde{t}') \in TOJ(\tilde{t}')} \sum_{\substack{\tilde{t} < \tilde{t}': \tilde{t} \in \tilde{T} \wedge \\ \tilde{t}' \in \tilde{T}(kr, am, toj)}} d(tni, toj) \cdot \\ & \cdot x((kr, am, tni, \tilde{t}), (kr, am, toj, \tilde{t}')) \rightarrow \min \end{aligned} \quad (19)$$

gdzie:

$d(tni, toj)$  – długość drogi między  $tni$ -tym terminalem nadania oraz  $toj$ -tym terminalem odbioru.

## 5. PODSUMOWANIE

W powyższych rozważaniach zarysowano wybrane aspekty problemu pozycjonowania pustych kontenerów z wykorzystaniem transportu kolejowego. Jednym z najważniejszych zadań stojących zarówno przed armatorami, jak i przed operatorami transportu intermodalnego, jest sprawne zarządzanie zasobami pustych kontenerów, poprzez ich relokację między depotami śródlądowymi. Zarówno dla pierwszych, jak i dla drugich korzyści i straty wynikające z dobrze lub źle prowadzonej polityki depotowej w znaczący sposób wpływają na kondycję finansową przedsiębiorstwa.

Dzięki rozbudowanej sieci depotów armatorskich w terminalach intermodalnych, puste kontenery, po wyładunku, nie muszą być zwracane do portów morskich, ale w porozumieniu z armatorem mogą zostać złożone na odpowiednim depocie śródlądowym. Korzyści z takiej organizacji przewozów są obustronne. Armatorzy będący właścicielami kontenerów dysponują równomiernie rozlokowanymi zasobami próżnych jednostek transportowych, a operatorzy intermodalni będący jednocześnie właścicielami terminali

poszerzają swoją ofertę przewozową, nie ponosząc przy tym kosztów odwozu próżnych kontenerów do portów morskich.

### Bibliografia

1. Andrzejewski L. Fechner I.: Uwarunkowania lokalizacyjne i funkcjonalne terminali kontenerowych w Polsce, *Logistyka* 1/2014.
2. Jacyna M.: Modelowanie i ocena systemów transportowych, str. 49-56, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
3. Kurek A. Ambroziak T.: Metoda wyznaczania optymalnych planów przemieszczeń pustych kontenerów z uwzględnieniem minimalizacji ruchu próżnego taboru kolejowego w transporcie intermodalnym. *Logistyka* 4/2015.
4. Mindur L.[red]: Technologie transportowe, str. 352-390. Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji, Warszawa – Radom 2014.
5. Stokłosa J.: Transport intermodalny, technologia i organizacja. Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie, Lublin 2011.
6. Taryfa Kolejowa PCCIntermodal, <http://www.pccintermodal.pl/uslugi/uslugi-intermodalne>.
7. Urząd Transportu Kolejowego: Analiza rynku kolejowych przewozów intermodalnych. Warszawa, maj 2012.
8. Urząd Transportu Kolejowego: Rynek kolejowych przewozów intermodalnych. Gdańsk, kwiecień 2014.
9. Waldmann M.: Rola depotów kontenerowych w obrocie intermodalnymi jednostkami transportowymi. *Autobusy* 12/2016.
10. Wojcieszak A.: Puste kontenery. *Logistyka. Transport. Zakupy. Floty*. <https://www.log24.pl/artykuly/puste-kontenery>.

### SELECTED ISSUES OF POSITIONING EMPTY CONTAINERS WITH RAILWAY TRANSPORT INVOLVED

**Summary:** The article deals with the issue of positioning containers on the Polish rail network. The first part outlines different models of intermodal transport organization and also describes the role of depots in inland intermodal terminals in the management of empty intermodal units. Then the author formalizes the issue, which leads to the formulation of an optimization task in movement of empty containers.

**Keywords:** rail container transportation, optimization, containers positioning