

Waldemar Woźniak, Roman Stryjski

Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Mechaniczny

Janusz Mielniczuk

Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu

Tomasz Wojnarowski

Converse Sp. z o.o. Zielona Góra

PROPOZYCJA ALGORYTMU REDUKUJĄCEGO OPERACJE PRZEŁADUNKOWE W INTERMODALNYM WĘZŁE KOLEJOWO – DROGOWYM

Rękopis dostarczono, wrzesień 2016

Streszczenie: W artykule przedstawiono koncepcję algorytmów optymalizujących ilość operacji przeładunkowych urządzeń dźwigowych w kolejowo-drogowym węźle intermodalnym. Opracowane algorytmy zostały zaimplementowane do zintegrowanego systemu informatycznego wspomagającego zarządzanie procesami magazynowymi.

Słowa kluczowe: algorytm optymalizacyjny, intermodalny węzeł terminalowy

1. WSTĘP

Koncepcja transportu intermodalnego jest jednym z rozwiązań ułatwiających wzrost handlu międzynarodowego i zwiększających mobilność towarów. Woda, powietrze, drogi tworzą całościowy, zintegrowany system transportowy, który dzięki wykorzystaniu zaawansowanych usług informacyjnych i komunikacyjnych jest w stanie sprawnie działać, a co więcej, zrealizować zamówienia, dla których miejsce i odległość nie stanowi żadnych barier.

Specyfika transportu intermodalnego spowodowała dużą zmianę w pozycji i zadaniach spedytorów, zajmujących się organizacją dostaw towarów do klienta. Sytuację tę dodatkowo eksponuje rosnąca konkurencja oraz stałe, a nawet niższe stawki przewozów towarów. Podstawową zmianą w obsłudze transportu intermodalnego stało się powiązanie różnych typów

transportu z logistyką przeładunków oraz procesami magazynowania. Stąd też celem niniejszego artykułu jest prezentacja koncepcji optymalizacji pracy urządzeń dźwigowych procesu magazynowania ładunków (w badanym przypadku - kontenerów) w świetle ich redystrybucji w kolejowo-drogowych węzłach (terminalach) intermodalnych. Proces badawczy oparto na zebranych doświadczeniach i przykładach pozyskanych z trzech węzłów intermodalnych, wiążących transport kolejowy z drogowym, które zajmują znaczącą pozycję w obrocie kontenerowym w Polsce. Z kolei opracowane rozwiązania zaimplementowano do aplikacji informatycznej, aktualnie testowanej w zarządzaniu wybranymi węzłami intermodalnymi w aspekcie ładowania, rozładowywania i składowania kontenerów.

2. TRANSPORT INTERMODALNY W POLSCE

Transport intermodalny, a przede wszystkim jego rozwój napotykał w Polsce wiele barier. W opinii J. Stokłosa i T. Cisowskiego [1], przyczyny powolnego rozwoju w Polsce intermodalnych przewozów w okresie do 2006 roku wynikały przede wszystkim z następujących czynników:

- operatorzy kolejowi w Polsce, zarówno prywatni jak i PKP Cargo S.A., nie dysponowali odpowiednią liczbą specjalistycznych wagonów (wagony kieszeniowe) do przewozu naczeł;
- firmy transportowe, podobnie jak to miało miejsce w Niemczech, praktycznie nie posiadały naczeł przystosowanych do przeładunku pionowego.

Ponadto, autorzy wskazali inne przyczyny, z powodu których transport kombinowany nie mógł rozwinąć się w Polsce w sposób zadowalający. Zaliczyli do nich m.in.[1]:

- przypadkowość rozmieszczenia terminali kolejowo-drogowych;
- niewystarczająca długość torów przeładunkowych w istniejących terminalach, co wydłuża czas przebywania składu pociągu na terenie terminala z powodu dodatkowych czynności rozrządowych, (przeciętna długość torów przeładunkowych wynosi od 300 m do 350 m);
- niska jakość usług operatorów kolejowych przejawiająca się w:
 - zbyt długich czasach jazdy wynikających z niskiej prędkości handlowej; przewozy kolejowe nie stanowią konkurencji dla przewozów drogowych pomimo braku autostrad i nadmiernego zatłoczenia głównych szlaków komunikacyjnych;
 - częstych opóźnieniach pociągów;
 - braku regularnych rozkładów jazdy pociągów z powodu nierównomiernego strumienia pojazdów przybywających na terminale;
 - zbyt długich czasach postoju pociągów na stacjach granicznych z powodu skomplikowanych procedur kontroli granicznej;
 - niemożności precyzyjnego ustalenia miejsca pobytu ITU.

Konsekwencją niskiej jakości usług kolejowych w systemie transportu intermodalnego była nierzadko utrata klienta. Niekonkurencyjność cenowa transportu kombinowanego w

stosunku do transportu drogowego, podobnie jak w innych państwach europejskich, w przypadku Polski stanowiła kolejną bardzo istotną barierę hamującą. Zbyt wysokie koszty dostępu do infrastruktury kolejowej oraz zdecydowanie wysokie ceny za operacje przeładunkowe nierekompensowane dotacjami państwowymi nie przyczyniały się do zainteresowania transportem kombinowanym ze strony przewoźników drogowych [1].

Sytuacja rozwoju transportu intermodalnego w Polsce zaczęła się zmieniać praktycznie od 2013 roku. Jak bowiem wskazuje A. Massel [2], Polska dostrzegła potencjał transportu intermodalnego, w związku z czym, od kilku lat podejmowane są różnego rodzaju działania, których realizacja przyczynia się do ciągłego rozwoju i zwiększania udziałów rozwiązań intermodalnych na rynku transportowym.

Powyższe działania polegają między innymi na inwestowaniu w terminale i odpowiedni tabor. Dodatkowo, w polskiej sieci kolejowej przewoźnicy mogą korzystać z 25-procentowej ulgi w stawkach dostępu dla pociągów wykonujących przewozy intermodalne. Modernizowana jest również infrastruktura na osi północ-południe oraz w najbardziej istotnych korytarzach transportowych. Realizowane są również inwestycje o mniejszej skali i zasięgu, a zalicza się do nich przede wszystkim zwiększenie dostępności i możliwości przeładunkowych w portach morskich [2].

Tabela 1

Wzrost obsługi towarów w transporcie intermodalnym 2014/2015 [3]

	2014	2015	Zmiana
masa ładunków	9 601 tys. ton	10 386 tys. ton	+8,2%
praca przewozowa	3 402 mln t-km	3 718 mln t-km	+9,3%
liczba jednostek	699 tys.	745 tys.	+6,6%
liczba TEU	1,114 mln	1,152 mln	+3,4%

Transport intermodalny w branży TSL (Transport-Spedycja-Logistyka) stanowi dziś jedną z najprężniej rozwijających się działów transportu. Tabela 1 pokazuje przykładowy wzrost obsługi towarów (wagowo, ilościowo i przewozowo) w 2015 w stosunku do 2014 roku.

3. ORGANIZACJA PRACY W KOLEJOWO-DROGOWYCH WĘZŁACH INTERMODALNYCH

Intermodalny Węzeł Terminalowy (IWT - pojęcie często spotykane w literaturze) umożliwia synchronizację drogowych i kolejowych środków transportu w celu realizacji usługi transportowej. Projektowanie węzłów terminalowych, szeroko opisywane w literaturze [4] nie daje jednoznacznych wskazówek jak nimi zarządzać i jak przewidywać ich rozwój. Dużo łatwiej organizować i automatyzować pracę terminala IWT, jeżeli jest dobrze rozwinięta zarówno infrastruktura kolejowo-drogowa (tzw. liniowa), jak również punktowa czyli terminalowa [5]. Analizując dostępne materiały i raporty branżowe, obserwuje się dyskusję,

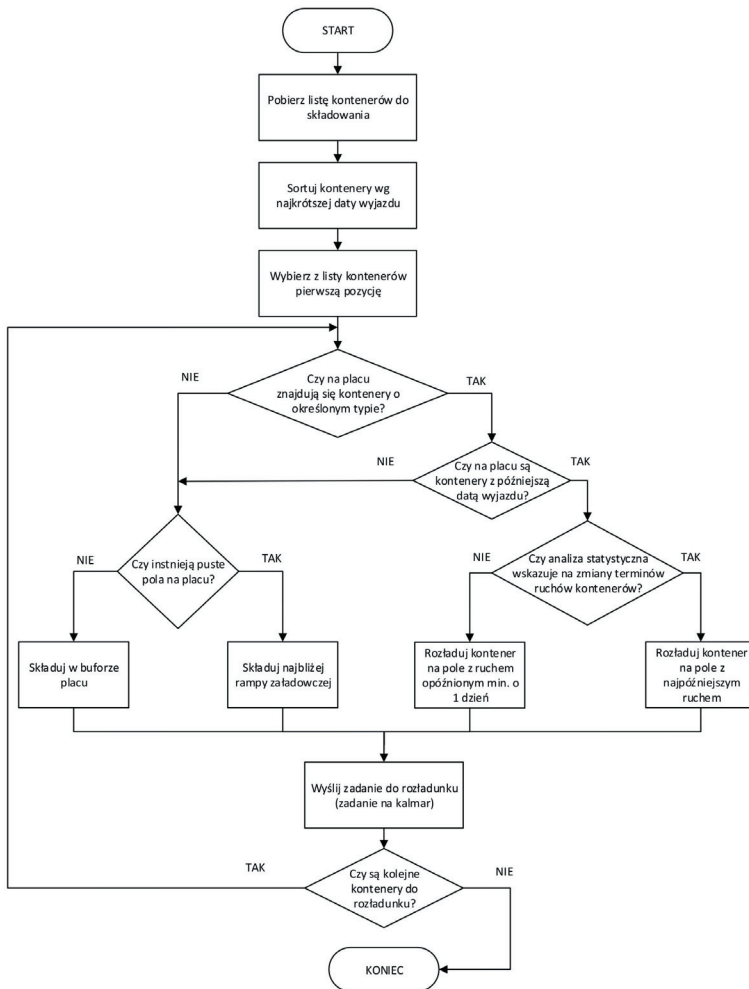
w której przewoźnicy kolejowi upatrują spadek konkurencyjności transportu kolejowego w braku odpowiedniej infrastruktury punktowej oraz w złym stanie technicznym terminali oraz braku odpowiedniego sprzętu przeładunkowego, a także niedostatecznej długości torów za- i wyładunkowych. Z kolei operatorzy IWT widzą konieczność wsparcia ze strony przewoźników kolejowych w aspekcie wzrostu ilości regularnych połączeń, rozbudowy sieci kolejowej czy też elastycznego dostosowywania się zmian w ruchu kolejowym wynikających z potrzeb klienta. Nie mniej jednak wzrost ilości klientów, a tym samym dynamiki w obrocie kontenerami w IWT, wiąże się z koniecznością ciągłego usprawniania i optymalizowania procesu składowania i przepływu kontenerów w świetle ograniczeń jakie narzuca infrastruktura techniczna. Problem ten był już opisywany w różnych publikacjach naukowych [6], [7], [11].

W niniejszej publikacji, przykładem poszukiwania usprawnień i optymalizacji wybranego procesu jest analiza wjazdu i wyjazdu pociągu do IWT. W badanym przypadku poszukiwano optymalnego rozwiązania rozładunku lub załadunku dla odpowiednio: pociągu wjeżdżającego lub wyjeżdżającego z terminala. Jako kryterium optymalizacji tego procesu przyjęto koncepcję rozmieszczania kontenerów ograniczających do minimum operacje dźwigowe.

W rozwiązaniu zadania założono, że przyjmowanie i wydawanie kontenerów na środki transportowe (pociąg, samochód) nie może zakłócać oraz zwiększać ilości następnych operacji dźwigowych. Chodziło przede wszystkim o operacje przemieszczania (rozumianą jako rozładunek/załadunek z/na pociąg), przestawiania (zdejmowania lub zmianę położenia kontenera nie biorącego udziału w załadunku) i układania piętrowego kontenerów (ustawiania kontenerów jeden na drugim w stosie czyli w kolumnach obok siebie lub wyspowo kiedy kolumna nie sąsiaduje z innymi) na ograniczonym placu składowym badanego IWT. Zatem warunkami brzegowymi opracowanej koncepcji było:

- a) ograniczenie powierzchni składowej placu IWT,
- b) piętrowe układanie kontenerów (jeden na drugim), przy czym system układania zakładał następujące warunki uzupełniające:
 - kontenery ustawiane jeden na drugim muszą być tego samego typu (tj. tej samej długości liczonej w stopach, np. 40-stopowe),
 - maksymalna ilość kontenerów ustawiana jeden na drugim wynosi 5 w stosie (kolumny kontenerów stojące obok siebie) lub 3 gdy kolumna kontenerów jest nie osłonięta innymi,
 - kontenery pełne nie mogą być składowane na kontenerach pustych,
- c) ograniczenie ilości dźwigów do rozładowywania i załadowywania kontenerów (tzw. kalmarów),
- d) ograniczenie toru rozładunkowego, tzn. konieczność wykonywania operacji rozrządowych polegających na dzieleniu składu pociągu ze względu na długość toru rozładunkowego (bocznicy kolejowej, na której następuje rozładunek),
- e) ograniczenie czasu dyspozycji lokomotywy do wykonywania operacji rozrządowych,
- f) wcześniejsza awizacja (lista kontenerów otrzymywana od zleceniodawcy - klienta) kontenerów do rozładunku lub załadunku na pociąg.

Na podstawie przeprowadzonych badań, opracowano m.in. dwa algorytmy, które zaimplementowano do tworzonej na zlecenie aplikacji komputerowej tj. zaawansowanego modułu magazynowego.



Rys. 1. Optymalizacja procesu rozładowywania kontenerów w intermodalnym węźle terminalowym (opracowanie własne)

Pierwszy algorytm zaprezentowany na rysunku 1, wspomaga proces rozładowywania kontenerów z awizowanego pociągu. Drugi z kolei (rysunek 2) identyfikuje kontenery na placu IWT wg zlecenia ujętego w formie awizacji, a następnie wskazuje (podpowiada), które kontenery i w jakiej kolejności powinny być ładowane do składu pociąg.

Algorytm pierwszy (rozładunek kontenerów z awizowanego pociągu) zawiera nieskomplikowany proces decyzyjny bazujący na jednoznacznie określonej liście kontenerów, które powinny wjechać na plac węzła intermodalnego. W praktyce można zaobserwować zakłócenia, polegające np. na niezgodności numerów awizowanych kontenerów czy też ich uszkodzeniach. Jednak z uwagi na specyfikę transportu intermodalnego, a przede wszystkim niezależność działań operacyjnych przedsiębiorstw realizujących intermodalne zlecenie transportowe - wszystkie kontenery muszą zostać przyjęte.

Działania polegające na weryfikacji błędnej lecz awizowanej dokumentacji o dostawie kontenerów, ewentualnych zwrotach kontenerów czy też reklamacji lub uzyskiwania odszkodowań z tytułu zniszczenia podczas transportu są wykonywane w formie administracyjno-operacyjnej z odpowiednim opóźnieniem czasową.

Stąd rozpoczęcie czynności dotyczących przyjęcia pociągu do IWT zaczyna się od pobrania listy kontenerów (najpierw na podstawie dokumentu awizacji, uzupełnionej na podstawie listu przewozowego i/lub protokołu przyjęcia pociągu spisane w momencie wjazdu na IWT, sporządzonego przez osobę odpowiedzialną organizacyjnie). W następnym kroku listę przyjętych kontenerów sortuje się ze względu na najkrótszą datę wyjazdu. Jest to pierwsza determinanta umożliwiająca redukcję obciążenia pracy urządzeń dźwigowych na terminalu w osi czasu (ilość operacji dźwigowych związanych z wjazdem, składowaniem i wyjazdem kontenera z IWT). Następnie weryfikuje się obraz placu składowego pod kątem ułożonych kontenerów. Chodzi o zasadę ustawiania kontenerów przyjętą w założeniach brzegowych w opisywanym algorytmie. Stąd analizuje się lokalizację kontenerów o typach zgodnych z typami kontenerów przyjętymi do rozładunku (na podstawie wcześniej omówionych dokumentów). W przypadku braku kontenerów o takim samym typie lub takich, których data wyjazdu jest krótsza od rozładowywanego w danej chwili, poszukuje się wolnego, niezależnego miejsca na placu składowym. To przeszukiwanie jest również działaniem decyzyjnym, ponieważ brak wolnego miejsca na placu, automatycznie nakazuje rozładowanie kontenera na tzw. bufor (tymczasowe miejsce operacyjne). W przeciwnym przypadku poszukuje się miejsca najbliższego względem rampy załadowniczej, tak aby w momencie wysyłki danego kontenera, operacja ładowania trwała jak najkrócej. Z kolei zlecenie odłożenia kontenera na bufor jest działaniem, które w większości przypadków zakłóca algorytm optymalizacyjny. Zbyt częste składowanie kontenerów na bufor powoduje zwiększenie operacji przeładunkowych, związanych z przestawianiem kontenerów w celu ich dalszej redystrybucji. Dlatego algorytm polegający na minimalizacji zadań przydziału operacji dźwigowych do zleceń rozładunku i magazynowania kontenerów zostaje zagrożony, a sumaryczny czas pracy parku maszynowego nie jest już najkrótszy. Natomiast, jeżeli uzyskano informację o kontenerach z późniejszą datą wyjazdu i spełniającą warunek zgodności typu (tzn. wytypowano już miejsce ułożenie rozładowywanego kontenera) to badania wykonywane na opisywanych powyżej terminalach podpowiadają sprawdzenie jeszcze jednego warunku. Chodzi o analizę statystyczną zmian terminów wyjazdów kontenerów. Okazuje się bowiem, że na podstawie danych statystycznych (choćby prostej analizy XYZ) można wywnioskować, który zleceniodawca (odbiorca) podaje sztywne terminy pobierania kontenerów, a

który wykorzystuje IWT jako buforowe miejsce magazynowe, permanentnie zmieniając terminy odbioru (uzależniając je od własnych procesów biznesowych). W przypadku odbiorców nieprzewidywalnych, rozładowywanie kontenerów powinno zostać przekierowane na miejsce z najpóźniejszym znanym terminem odbioru zmagazynowanych tam kontenerów. Z kolei w przypadku przewidywanych odbiorców, czyli takich, którzy sztywno podają terminy odbioru kontenerów, zwłoczność czasowa ustawianych kontenerów jeden na drugim względem daty wysyłki (wydania) może być ograniczona do jednego dnia roboczego. Każde z przytoczonych powyżej rozwiązań staje się zadaniem dla operatora dźwigu. Zadanie to w zaprojektowanym systemie informatycznym jest wysyłane na tablet do urządzenia dźwigowego, a operator po odczytaniu numeru kontenera oraz miejsca rozładunku i wykonaniu pracy potwierdza jego zakończenie.

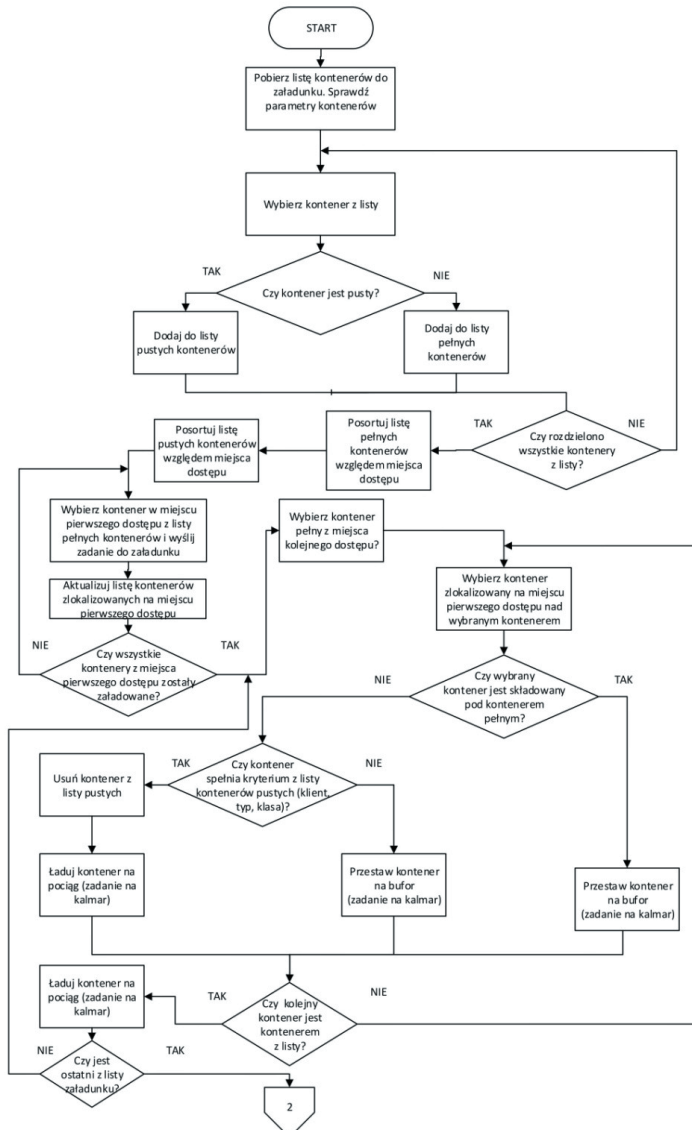
Ta procedura powinna być powtarzana do momentu rozładowania całego pociągu. Analizowany algorytm umożliwi redukcję do minimum zbędnych operacji dźwigowych związanych z rozładowywaniem kontenerów z pociągu oraz ogranicza kolejne operacje związane ze składowaniem lub przygotowaniem kontenerów do dalszej wysyłki (proces ten dotyczy obszaru logistyki magazynowania).

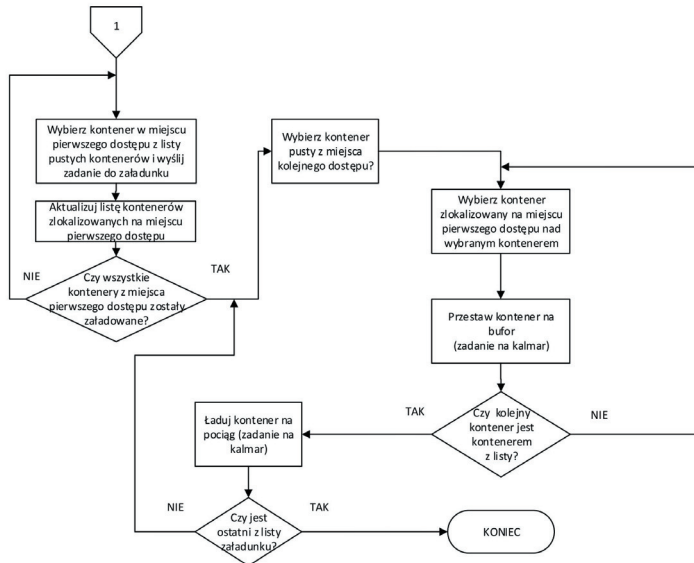
Dużo trudniejszym algorytmem jest opracowanie metody ładowania kontenerów na pociąg tzw. złożenie składu pociągu wyjeżdżającego z IWT w aspekcie minimalnej ilości operacji dźwigowych. Rysunek 2 przedstawia skomplikowany proces decyzyjny, w którym podstawowa zasada polega na tworzeniu listy pełnych i pustych kontenerów ładowanych do zaplanowanego składu pociągu. W opisywanym algorytmie proces planowania składu pociągu został pominięty, a skupiono się jedynie na optymalizacji ilościowej i czasowej operacji dźwigowych.

Pierwsza część algorytmu buduje listę pustych i pełnych kontenerów do zaplanowanej wysyłki. Ten podział ma istotne znaczenie w algorytmie optymalizacyjnym, a wynika z doświadczenia pracy spedytorów. Okazuje się, że lista kontenerów pełnych musi być jednoznaczna (konkretny numer kontenera) i zidentyfikowana na placu IWT (precyzyjnie określone miejsce składowania). Natomiast w przypadku kontenerów pustych, wystarczy znaleźć typ kontenera i jego właściciela (np. 40-stopowy kontener należący do konglomeratu duńskiej firmy A.P. Møller-Mærsk A/S).

Mając to na uwadze, działanie algorytmu można ogólnie przedstawić w następujących krokach:

- 1) z posortowanej listy wybiera się na początku kontenery pełne do zaplanowanego składu pociągu, które znajdują się w miejscu pierwszego składowania tzn. nie wymagają innych operacji dźwigowych aby załadować kontener na pociąg,
- 2) następnie wybiera się kontenery, które znajdują się w miejscu kolejnego dostępu tzn. kontener zaplanowany do składu pociągu, który jest zastawiony innym kontenerem,
- 3) jeżeli kontener z listy załadunkowej jest zastawiony innym kontenerem pełnym, to następuje operacja przeładunku czy odstawienie pełnego kontenera, niebędącego na liście do załadunku na bufor lub znając datę jego wyjazdu – na kontener z późniejszą datą wyjazdu (pamiętając o warunkach brzegowych),
- 4) w przypadku, gdy kontener z listy załadunkowej jest zastawiony kontenerem pustym, sprawdza się czy ów kontener pusty nie jest zaplanowany do wysyłki względem typu i właściciela,





Rys. 2. Optymalizacja procesu ładowania kontenerów w intermodalnym węźle terminalowym do zaplanowanego składu pociągu (opracowanie własne)

- 1) jeżeli w pkt. 4), odpowiedź jest pozytywna to kontener jest ładowany do składu pociągu i usuwany z listy pustych kontenerów, natomiast w przeciwnym przypadku zleca się operatorowi dźwigu przestawienie kontenera na bufor lub znając datę jego wyjazdu – na kontener z późniejszą datą wyjazdu (pamiętając o warunkach brzegowych),
- 2) w ujęciu cyklicznym (analizując miejsca kolejnego dostępu) ładuje się kolejne pełne kontenery, pamiętając, że jeżeli pełny kontener jest zastawiony pustym kontenerem zaplanowanym do załadunku i spełniającym ww. warunki, automatycznie zleca się jego ładowanie do składu pociągu i usuwa z listy pustych kontenerów,
- 3) po zamknięciu listy kontenerów pełnych i załadowania ich do składu pociągu wg planu rozpoczyna się proces ładowania kontenerów pustych,
- 4) ładowanie kontenerów pustych, podobnie jak ładowanie kontenerów pełnych zaczyna się od przeszukiwania kontenerów w pierwszym miejscu dostępu (nie wymagających operacji przeładunku) i jeżeli takie znajdują się na placu to wykonywana jest operacja dźwigowa, a w przeciwnym przypadku operacja przeładunkowa z zachowaniem zasad zapisanych w pkt. 3) oraz 5).

Proces trwa do momentu złożenia zaplanowanego składu pociągu. Zaprezentowany algorytm sprowadza do minimum ilość operacji dźwigowych. Można przyjąć, że jego zastosowanie również zredukuje koszty pośrednie, związane z eksploatacją urządzeń dźwigowych.

4. PODSUMOWANIE

Zaprezentowane algorytmy zostały zaimplementowane do modułów systemu informatycznego wdrożonego w trzech węzłach intermodalnych należących do jednego z głównych graczy zajmujących się logistyką dystrybucji przesyłek kontenerowych. Z uwagi na fakt, że każdy z węzłów IWT jest inaczej skonfigurowany tzn. różni się powierzchnią składowana kontenerów, odległościami pomiędzy buforami, rampami wyładowniczymi, rampami załadowniczymi, drogami komunikacyjnymi, a przede wszystkim odległościami pomiędzy sektorami, gdzie składowane są kontenery, efekt w projektowanych algorytmach optymalizacyjnych może być różny. Oznacza to, że mimo redukcji operacji dźwigowych, koszty pracy urządzeń dźwigowych nie muszą zmaleć. Przyczyną takiego stanu rzeczy mogą być długości dróg transportowych i koszty materiałów bezpośrednich w eksploatacji, jakim jest np. paliwo do urządzeń dźwigowych (kalmary). Stąd też opracowane algorytmy, wdrożone w wybranych węzłach intermodalnych, będą wykorzystywane jako narzędzie do badania założonej koncepcji optymalizacji pracy urządzeń dźwigowych na terminalach intermodalnych.

Bibliografia

1. <http://utk.gov.pl/pl/analizy-i-monitoring/statystyka-kwartalna/przewozy-towarowe/4595,Przewozy-intermodalne-w-2014-roku.html>.
2. Massel A.: Będziemy wspierać rozwój transportu intermodalnego, Serwis Prasowy PKP Polskich Linii Kolejowych S.A., nr 62(3382), str. 1, 2013.
3. Stokłosa J., Cisowski T.: Analiza przyczyn powolnego rozwoju w Polsce intermodalnych przewozów kolejowo-drogowych, „Eksploatacja i Niezawodność”, nr 4/2006, str. 44, 2006.
4. Watanabe, Itsuro : Container Terminal Planning—A Theoretical Approach. Leatherhead, UK: World Cargo Publishing, 2001.
5. Zumerchik J., Rodrigue J-P., and Lanigan J. Sr.: Automated transfer management systems and the intermodal performance of North American freight distribution, Journal of the Transportation Research Forum. Vol. 48. No. 3. 2012.
6. Zajac M., Swieboda J.: Analysis of the process of unloading containers at the inland container terminal Source of the Document Safety and Reliability: Methodology and Applications, Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL 2014.
7. Kwasniowski S., Zajac M., Zajac P.: Telematic problems of unmanned vehicles positioning at container terminals and warehouses, In Transport Systems Telematics (pp. 391-399), Springer Berlin Heidelberg, 2010.
8. Bose J.W.: Handbook of Terminal Planning, Springer, Hamburg, 2011.

THE PROPOSAL OF AN ALGORITHM REDUCES TRANSSHIPMENT OPERATIONS IN AN INTERMODAL TRANSPORT NODE

Summary: The article presents the concept of algorithms to optimize the number of transshipment operations of cargo- lifting equipment in an intermodal transport node. Algorithms have been implemented in an integrated system to support management of warehouse process.

Keywords: optimization algorithm, intermodal, terminal node