

# Model wybranych operacji w intermodalnym terminalu przeładunkowym

Mateusz ZAJĄC<sup>1</sup>, Justyna ŚWIEBODA<sup>2</sup>

## Streszczenie

Transport intermodalny polegający na wymianie kontenerów wymaga sprawnego, wydajnego i niezawodnego funkcjonowania terminali lądowych. W literaturze wiele uwagi poświęca się efektywnej pracy portów, podczas gdy terminale lądowe nie znajdują znaczących rozwiązań naukowych. Wynika to m.in. z ograniczonego potencjału i zasięgu działania lądowych węzłów intermodalnych. Celem artykułu jest przedstawienie praktycznego rozwiązania systemu obsługi kontenerów w relacji wagon – plac w lądowym terminalu kontenerowym według metody porównującej wartości parametrów charakteryzujących kontener przewidziany do przeładunku, plac oraz drogi transportowe. Zaprezentowano przegląd dostępnych rozwiązań naukowych z tego zakresu oraz rozwiązanie ogólne problemu. Przeprowadzono weryfikację skuteczności proponowanego rozwiązania oraz rozwiązania wybranych przypadków rzeczywistych.

Przedstawiono metodę heurystyczną, łączącą zagadnienia harmonogramowania pracy maszyny przeładunkowej oraz pokonywanej przez nią trasy, w realizacji zleceń transportowych w relacji wagon – plac. Metoda była realizowana w trzech etapach: porównanie dat wydania kontenerów do odbiorcy końcowego, wartościowanie realizacji zadań oraz wartościowanie skumulowanej wartości realizacji powierzonych zadań.

Weryfikację metody oparto na rzeczywistych danych zebranych w intermodalnym węźle przeładunkowym. Wartości uzyskane według tej metody umożliwiły zaoszczędzić czas podczas rozładunku kontenerów w stosunku do rzeczywistych wartości. Dalsze prace polegały na zwiększeniu możliwości obliczeniowych przy wyznaczaniu kolejności realizacji zadań oraz wprowadzeniu losowych zakłóceń pracy systemu.

**Słowa kluczowe:** transport intermodalny, plac przeładunkowy, przeładunek kontenerów, harmonogramowanie przeładunków

## 1. Wprowadzenie

Transport intermodalny nie może realizować swoich zadań bez terminali przeładunkowych, gdzie następuje zmiana środka transportu. W transporcie międzykontynentalnym ogromne znaczenie mają porty kontenerowe, w dalszej drodze ładunku ważną rolę odgrywają terminale lądowe (w Europie jest ich kilkaset). Są one zlokalizowane w pobliżu ważnych węzłów komunikacyjnych i ośrodków gospodarczych. Bardzo często stanowią część większego centrum logistycznego.

W terminalach lądowych, które nie są wyposażone w system komputerowego wspomaganie zarządzania miejscami składowymi, zdarzają się przypadki, kiedy na kontenerze przeznaczonym do wydania, składowany jest inny kontener: wymaga to wykonania dodatkowej operacji związanej z odsunięciem górnego kontenera w inne miejsce (gdzie również może blokować kolejne jednostki ładunkowe). Operatorzy terminali

lądowych przyjmują w rachunku kosztów cztery operacje w trakcie przepływu kontenerów przez terminal, podczas gdy przeprowadzone przez autorów badania wykazały, że średnio jest ich prawie 8, a maksymalnie nawet 14 [15].

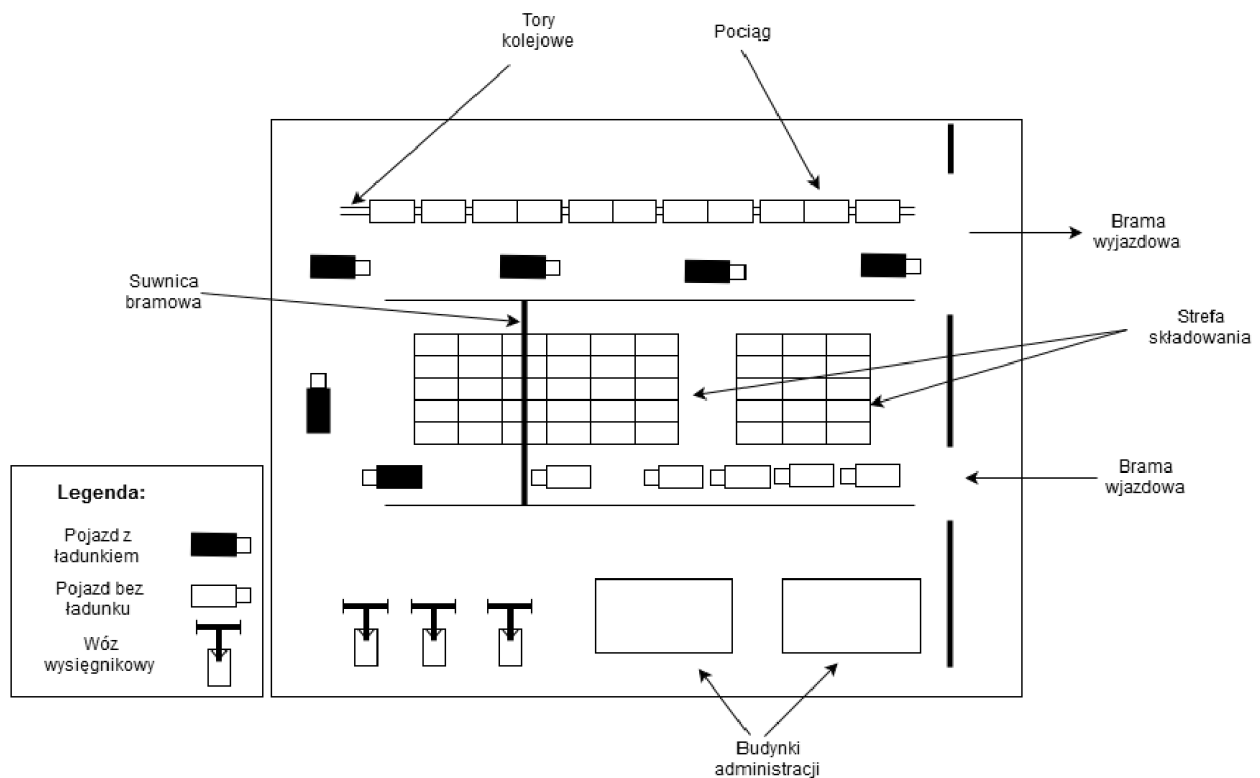
W artykule zajęto się obsługą zgłoszeń związaną z rozładunkiem kontenerów z wagonu na plac. Na rysunku 1 przedstawiono typowe strefy operacyjne kontenerowego terminalu lądowego. W praktyce, po zdjęciu kontenerów z wagonów trafiają one do strefy buforowej, po czym są przestawiane do strefy składowania.

Idea polega na tym, aby kontenery zdejmowane z wagonu bezpośrednio trafiały na miejsce docelowe składowania. Pozwoli to zmniejszyć liczbę wykonywanych operacji, skrócić czas obsługi jednostek ładunkowych, a w konsekwencji zwiększyć efektywność pracy. Rozwiązanie powinno umożliwić:

- wskazanie miejsca składowania z najkrótszym czasem realizacji operacji rozładunkowej z uwzględ-

<sup>1</sup> Dr inż.; Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny; e-mail: mateusz.zajac@pwr.edu.pl.

<sup>2</sup> Mgr inż.; Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny; e-mail: justyna.swieboda@pwr.edu.pl.



Rys. 1. Plan operacyjny ładowego terminalu kontenerowego [opracowanie własne]

nieniem wypełnienia kubatury składowiska (skrócenie czasu realizacji operacji),

- wskazanie kolejności realizacji zadań (redukcja czasu przejazdu między operacjami),
- ustalenie kolejności składowania tak, aby kontener przeznaczony do dłuższego składowania nie stał na kontenerze, który opuści terminal wcześniej (redukcja nieproduktywnych operacji).

Sprowadzając wymienione cechy do ogólnego sformułowania problemu, można powiedzieć, że poszukiwane jest rozwiązanie systemu realizacji zleceń, w którym:

- wszystkie zlecenia muszą być zrealizowane,
- każde zlecenie może być zrealizowane w różny sposób (różne miejsca odłożenia kontenera),
- realizacja zgłoszenia będzie wykonana minimalnym nakładem zasobów mierzonym czasem realizacji zadania (z uwzględnieniem kubatury składowiska),
- łączny czas realizacji wszystkich zadań będzie minimalny,
- nie każde zadanie może być wykonane od razu (niektóre kontenery będą składowane na tych, które były wcześniej zdjęte z wagonów); część zadań może być wykonana dopiero po realizacji innych, wcześniej wybranych.
- za każdym razem rozpoczęcie realizacji zadania jest inne.

Celem artykułu jest przedstawienie praktycznego rozwiązania obsługi kontenerów w relacji wagon – plac w ładowym terminalu kontenerowym według metody porównującej wartości parametrów charakteryzujących kontener przewidziany do przeładunku, plac oraz drogi transportowe.

Zaprezentowano przegląd dostępnych modeli z tego zakresu oraz przedstawiono rozwiązanie ogólne problemu. Następnie przeprowadzono weryfikację skuteczności proponowanego rozwiązania oraz rozwiązania wybranych przypadków rzeczywistych.

## 2. Przegląd literatury

Celem przeglądu literatury jest przedstawienie luki w modelowaniu procesów obsługi ładunku w terminalu ładowym. Literatura dotycząca problematyki operacji w terminalach intermodalnych jest obszerna. Opracowane modele są zazwyczaj modelami heurystycznymi lub opartymi na dobrych praktykach. W tych zastosowaniach modele heurystyczne najczęściej opierają się na zagadnieniach badań operacyjnych.

Literatura dotycząca terminali ładowych omawia problematykę routingu kontenerów (ładownych lub próżnych), elementów biznesowych procesu obsługi kontenerów, zagadnień ryzyka procesu transportowego oraz odporności systemów.

W literaturze można spotkać rozwiązania problemów harmonogramowania pracy na terminalach lądowych, są to najczęściej rozwiązania optymalizujące. W pracy [10] autorzy zajęli się harmonogramowaniem pracy suwnicy podczas prac przeładunkowych między pociągami kontenerowymi. Tym samym tematem (przeładunkiem w relacji pociąg – pociąg) zajęli się autorzy [1], proponując jednak rozwiązanie heurystyczne. Harmonogramowanie pracy suwnic w przeładunkach wagon – plac było tematem pracy [2], w której zaproponowano rozwiązanie dla terminali kontenerowych, polegające na podziale przestrzeni na sekcje. Została tam przedstawiona również organizacja realizacji przeładunków. Funkcjonowanie lądowych terminali kontenerowych oraz sposoby ich zarządzania przedstawiono również w pracy [15].

W artykułach dotyczących zarządzania lądowymi terminalami kontenerowymi można zaobserwować zastosowania różnego rodzaju podejść: w artykule [14] przedstawiono graf algorytmu hybrydowego SA dla routingu kontenerów, w artykule [12] zaangażowano *tabu search* algorytm w poszukiwaniu optymalnego rozwiązania przewozu kontenerów między terminalami. W artykule [11] przedstawiono zasady zarządzania placem składowym przez kształtowanie opłat za składowanie.

W literaturze przedmiotu są publikacje ukierunkowane na rozwiązywanie problemów decyzyjnych przez poprawę niezawodności lub podniesienie odporności systemów. Zastosowanie modeli stochastycznych w rozważaniach na temat odporności zawarto w pracy [9], a fizyczne postacie zakłóceń w problematyce przeładunków autorzy przedstawili w pracy [16].

W zdecydowanej większości dostępna literatura dotyczy jednak terminali morskich. Można wyróżnić dwa zasadnicze obszary tych prac: harmonogramowanie oraz transport wewnątrz terminali [4, 5], obejmujące takie zagadnienia, jak minimalizacja czasu obsługi statku, wyznaczenie optymalnej trasy przejazdu urządzeń transportowych lub przeładunkowych, harmonogramowanie czasu pracy suwnic na nabrzeżu oraz w blokach składowych.

Temat alokacji kontenerów wewnątrz terminalu intermodalnego jest niezwykle istotny: odpowiednie ułożenie kontenerów zmniejszy liczbę niepotrzebnych ruchów maszyn przeładunkowych. Wydaje się, że podstawowym warunkiem takiego działania systemu przeładunkowego jest odpowiednia (co do treści) i pewna informacja o przewidywanym czasie składowania kontenera. Jak jednak wskazuje praktyka, ta informacja jest dostępna tylko dla części jednostek ładunkowych.

Przykładowo w pracach [7, 8] założono, że kontenery po rozładunku ze środka transportu są następnie składowane w strefie buforowej. W przypadku portów

wydaje się to zupełnie oczywistym sposobem prowadzenia prac. Jednak idea, którą przedstawili autorzy niniejszego artykułu polega na wprowadzeniu zmian dotychczasowego składowania, czyli eliminacji niepotrzebnych przeładunków (alokacji). Praca, bazując na „problemie chińskiego listonosza”, rozwiązuje zagadnienie poruszania się wozu podsiębiernego (*straddle carrier*) na terminalu morskim. Ze względu na zastosowanie maszyny tego typu, rozwiązanie najkrótszej ścieżki jest niepraktyczne – terminale lądowe są najczęściej obsługiwane przez suwnice lub *reachstackery*.

Podsumowując stan wiedzy na temat modeli służących do rozwiązywania problemu planowania kolejności realizacji prac w intermodalnym węzle przeładunkowym w trakcie przeładunków wagon – plac można stwierdzić, że nie ma rozwiązania, które:

- 1) ograniczy problem składowania buforowego,
- 2) zmniejszy liczbę potrzebnych alokacji.

W dalszej części artykułu zaproponowano takie rozwiązanie. Jest to heurystyka zastosowana do zagadnienia harmonogramowania i planowania kolejności realizacji zleceń maszyny przeładunkowej (typu *reachstacker*) w lądowym terminalu kontenerowym podczas rozładunku kontenerów w relacji wagon – plac.

### 3. Opis rozwiązania problemu

#### • Rozwiązanie ogólne

Rozwiązanie problemu polega na realizacji trzech kroków, które można zapisać za pomocą uporządkowanej trójki  $\langle S, V, D \rangle$ , gdzie:

$S$  – status realizacji zadania,

$V$  – wartość realizacji zadania,

$D$  – kolejność realizacji zadania.

#### • Status realizacji zadania

W opisywanym podejściu, po wprowadzeniu zgłoszeń do systemu realizacji zleceń, w pierwszej kolejności sprawdza się, czy zadanie z listy może być zrealizowane, czy najpierw musi być wykonane inne zadanie, o innej wartości statusu. Na potrzeby modelu przyjęto, że zadania o niższej wartości statusu mają niższą rangę. Założono, że wartość parametru może przyjmować wartości w przedziale  $S = \{0, 1, 2, \dots, n\}$ .

W odniesieniu do listy kontenerów, które należy rozładować z wagonu na plac składowy, realizacją tej części metody jest sprawdzenie przewidywanego czasu składowania kontenerów przyjeżdżających i kontenerów już składowanych. Chodzi o to, aby kontenerami rozładowanymi z wagonu nie zastawić tych, które wcześniej będą wydane do dalszego transportowania. Dokonuje się więc porównania statusu kontenerów na wagonach i na placu oraz pomiędzy kontenerami przeznaczonymi do rozładunku. Jeżeli  $i$ -ty kontener

będzie przeznaczony do wydania wcześniej niż kontener  $j$ -ty, wówczas  $S_i > S_j$ .

W przypadku, gdy kontenery mają być wydane w tym samym czasie, wówczas wartości statusów mogą być jednakowe.

#### • Wartość realizacji zadania

Kolejnym parametrem prezentowanego podejścia jest wartość realizacji zadania  $V$ . W ogólnym rozumieniu „wartość” może dotyczyć wybranej przez decydenta obserwowanej wielkości. W praktyce przy harmonogramowaniu czasu pracy zazwyczaj zwraca się uwagę na czas realizacji pojedynczego zadania, jego koszt, odległość, najczęściej w poszukiwaniu minimalnej wartości wymienionych wielkości.

W omawianym przypadku operacji rozładunkowych w intermodalnym terminalu kontenerowym, jako wartość porównywaną przyjęto czas realizacji zlecenia, czyli przestawienia kontenera z wagonu na plac biorąc pod uwagę, że jest to cykl składający się z:

- podniesienia kontenera z wagonu,
- przejazdu z kontenerem po placu,
- ustawieniem się do rozładunku na miejscu składowania,
- czynności odłożenia na miejsce składowe.

Zwraca się przy tym uwagę, że zasadniczo inne są wartości realizacji tego samego zadania przez klasyczną suwnicę bramową, inne zaś przy *reachstackerze*, inne przy odłożeniu kontenera na pierwszą warstwę, a jeszcze inne przy odkładaniu wyżej.

#### • Kolejność realizacji zadania

Uzupełnieniem omawianego podejścia do realizacji cyklu zleceń jest wartość kolejności realizacji zadania  $D$ .

Ustalenie wartości realizacji zadania nie wskazuje odpowiedzi w jakiej kolejności należy je wykonać. W związku z tym, jako uzupełnienie omawianego podejścia do realizacji cyklu zleceń jest wartość kolejności realizacji zadania, oznaczona jako  $D$ , przy czym  $D = \{0, 1, 2, \dots, n\}$ .

Ważne jest ustalenie, ile czasu (lub innej „wartości”) jest potrzebne na przebrojenie (lub przygotowanie) do dostosowania się do wymagań realizacji kolejnego zadania. Analiza wymaganych czasów „przygotowań” pozwoli na ustalenie takiej kolejności realizacji zadań, kiedy przyjęta wartość będzie najmniejsza (lub największa w przypadku poszukiwania rozwiązań maksymalnej wartości), która pozwoli na określenie ile czasu zajmie przejazd od miejsca odłożenia kontenera do kolejnych kontenerów przeznaczonych do rozładunku. W ten sposób można przygotować drzewo wariantów realizacji zadań, gdzie węzłem jest przejazd z kontenerem od wagonu do miejsca składowania, gałęzie zaś określają wartości czasu przejazdu

do miejsc pobranych kolejnych jednostek ładunkowych. Wybór ścieżki o najmniejszej sumie wartości pozwoli uzyskać kolejność pokonywanych węzłów, a więc kolejność realizacji zadań.

Reasumując, lista zleceń składa się z pojedynczych zleceń, których realizacja może być opisana za pomocą statusu, wartości i kolejności realizacji.

Status określa kolizje pomiędzy zadaniami, wartość pozwala na ocenę i wybór najlepszego sposobu rozwiązania dla elementarnego zadania, kolejność umożliwia minimalizację (bądź maksymalizację) wartości wszystkich przyjętych do realizacji zleceń.

## 4. Wyniki obliczeń

W dalszej części artykułu przedstawiono wyniki obliczeń oraz dyskusję nad przydatnością jej stosowania. Jako wartość podlegającą ocenie przy obliczaniu parametru  $V$ , przyjęto czas realizacji zadania. Jest to bardzo ważny parametr w pracy terminali kontenerowych.

Do obliczenia czasu trwania realizacji zadania przyjęto wartości deterministyczne, uzyskane na podstawie obserwacji prowadzonych w 2014 r. w lądowych terminalach kontenerowych w Polsce (przedsiębiorstwo Cargosped, terminale Gliwice i Warszawa). Obserwacjom poddano 28 pociągów kontenerowych z rozładunkiem za pomocą dźwigów w relacji wagon – plac. Obserwowany cykl obsługi zlecenia składał się z następujących czynności:

- 1) ustawienie *reachstackera* do pobrania kontenera z wagonu,
- 2) podniesienie kontenera,
- 3) obrót i przygotowanie do jazdy,
- 4) jazda z kontenerem po placu,
- 5) odłożenie ładunku na składowisku,
- 6) przygotowanie się do jazdy (opuszczenie maszty i obrót),
- 7) jazda po kolejny kontener do wagonu.

Zastosowanie metody pozwala na połączenie kilku z wymienionych czynności procesu. Wartość realizacji procesu zależy od następujących czynników:

- odległość, na jaką będzie transportowany kontener,
- wysokości składowania.

Do obliczeń przyjęto, że kontenery można piętrzyć w 1–4 warstwach. Założono różnice pomiędzy czasem odłożenia kontenerów w zależności od wysokości składowania. Wyniki obserwacji zamieszczono w tablicy 1.

W trakcie tych samych badań mierzono prędkość jazdy maszyn przeładunkowych; na podstawie obserwacji przyjęto, że prędkość jazdy (niezależnie czy po prostej czy na zakrętach) wynosi 4,1 m/s (14,8 km/h).



Tablica 1  
Czasy odłożenia kontenera na poszczególne warstwy

Piętro składowania	Czas odłożenia [s]
1	15,3
2	18,4
3	21,9
4	45,5

[Opracowanie własne]

Porównania proponowanej metody z obecnie stosowanym sposobem odkładania kontenerów dokonano w następujący sposób:

- 1) zebrano informacje charakteryzujące plac składowy,
- 2) zebrano informacje charakteryzujące kontenery znajdujące się na placu (w tym oczekiwany termin przekazania kontenera do klienta),
- 3) po wprowadzeniu pociągu kontenerowego na terminal określono miejsca rozpoczęcia ich przeładunku,
- 4) zanotowano miejsca ich faktycznego odłożenia (do składowania buforowego),
- 5) obliczono alternatywne miejsca ich odłożenia według zaproponowanej metody.

Porównano czasy realizacji obsługi zgłoszeń dla 24 pociągów kontenerowych przewożących łącznie 846 kontenerów, przy czym wszystkie kontenery miały długość 40'.

Wyniki przedstawione w tablicach 2, 4, 6 dotyczą najkrótszych pociągów, przewożących odpowiednio 24, 27 i 30 kontenerów. Do prezentacji metody wybrano składy najkrótsze, ponieważ ze względu na najmniejszą liczbę operacji najtrudniej było uzyskać satysfakcjonujący, a więc zmniejszony skumulowany czas realizacji wszystkich operacji. W tablicach zamieszczono kolejno:

- numer obsługiwanego kontenera (według kolejności rzeczywistej),
- rzeczywisty czas obsługi kontenera zawierający pełny 7-elementowy cykl, czyli wraz z powrotem po kolejny kontener (w sekundach),
- czas obsługi kontenera (według modelu) zawierający pełny, 7-elementowy cykl (w sekundach),
- oszczędność czasu przy obsłudze jednego kontenera (procentowo),
- oszczędność czasu przy obsłudze jednego kontenera wyrażona w sekundach,
- skumulowaną wartość notowanych oszczędności czasu realizacji zleceń – wyrażoną w sekundach.

W tablicy 2 zamieszczono wyniki realizacji zleceń obsługi kontenerów dla pociągu z 24 kontenerami. Rzeczywisty średni czas obsługi jednego kontene-

ra wyniósł 96,5 s. W przypadku operacji wykonanych według proponowanej metody czas ten wyniósł średnio 92,8 s. Najdłuższy cykl obsługi przypadł na kontener 1, którego obsługa trwała prawie 2 minuty. Zgodnie z metodą, w realizacji wielu przeładunków nie zanotowano lepszego czasu obsługi. Skumulowany łączny czas oszczędności wyniósł prawie 2 minuty. Można więc powiedzieć, że w tym przypadku skuteczność metody jest niewielka.

W tablicy 3 zamieszczono liczności przedziałów oszczędności czasu przy obsłudze kontenerów. Najliczniejszym przedziałem jest ten, w którym oszczędność zawiera się w przedziale  $(-4,5, 2,2 >$ , przy czym pierwsza wartość przedziału może być rozumiana jako strata. Liczność tego przedziału wynosi prawie 74.

W tablicy 4 zamieszczono wyniki realizacji zleceń obsługi kontenerów dla pociągu z 27 kontenerami. Średni czas rzeczywistej obsługi jednego kontenera dla pociągu wyniósł 122,5 s. W przypadku operacji wykonanych według proponowanej metody czas ten wyniósł średnio 90,4 s i zaledwie jedna operacja przeprowadzona zgodnie z metodą przyniosła stratę. Największą oszczędność zanotowano dla ostatniego kontenera: ponad 50% oszczędności czasu, czyli prawie 1,5 minuty.

W tablicy 5 zamieszczono liczności przedziałów oszczędności czasu przy obsłudze 27 kontenerowego składu wagonów. Najliczniejszym przedziałem jest ten, w którym oszczędność zawiera się w przedziale  $(-1,4, 17,0 >$ , przy czym dopełnienie pierwszej wartości przedziału to jedyna wartość ujemna, o czym wcześniej wspomniano. Prawie 35% wszystkich wyników znajduje się w tym przedziale, a prawie 23% w kolejnym  $(17,0, 35,5 >$ . W konkretnym przypadku opisana metoda przyniosła wyniki, na podstawie których można ją ocenić jako skuteczną. Łącznie zaoszczędzony czas to prawie 15 minut.

W tablicy 6 przedstawiono wyniki realizacji zleceń obsługi kontenerów dla pociągu z 30 kontenerami. Rzeczywisty średni czas obsługi jednego kontenera dla pociągu wyniósł 88,2 s, natomiast w przypadku operacji wykonanych według proponowanej metody czas ten wyniósł średnio 83,3 s. W tym przypadku 8 operacji wykonanych według proponowanej metody przyniosło niewielką stratę, podczas gdy 16 razy odnotowano oszczędność. Przy obsłudze tego pociągu rzeczywiste czasy realizacji obsługi kontenerów mieszczą się w przedziale od 89 s do 130 s. Największą wartość zanotowano ponownie dla ostatniego kontenera. Wartości proponowane przez metodę zawierają się w przedziale  $< 89-97,1 >$  z wartością średnią 92,1.

W tablicy 7 zamieszczono liczności przedziałów oszczędności czasu przy obsłudze 30-kontenerowego składu wagonów. Najliczniejszym przedziałem, bo zawierającym prawie 62% wszystkich wartości jest ten, w którym oszczędność mieści się w przedziale  $(-4,6, 3,8 >$ . Pozostałe przedziały nie mają liczności większej niż 7%.

Tablica 2

Tablica wyników obsługi pociągu z 24 kontenerami

Nr kontenera	Czas obsługi rzeczywisty [s]	Czas obsługi według metody [s]	Oszczędność czasu przy obsłudze kontenera [%]	Oszczędność czasu przy obsłudze jednego kontenera [s]	Skumulowana oszczędność czasu [s]
1	114,8	90,5	21,1	24,2	24,2
2	89,8	92,0	-2,5	-2,2	22,0
3	89,4	90,5	-1,3	-1,1	20,9
4	114,4	92,0	19,5	22,3	43,2
5	94,0	93,6	0,4	0,4	43,6
6	114,0	98,6	13,5	15,4	59,0
7	114,0	98,6	13,5	15,4	74,4
8	114,0	97,0	14,8	16,9	91,3
9	94,0	98,5	-4,8	-4,5	86,8
10	94,0	94,0	0,0	0,0	86,8
11	94,0	94,0	0,0	0,0	86,8
12	94,0	94,0	0,0	0,0	86,8
13	94,0	94,0	0,0	0,0	86,8
14	94,4	93,5	0,9	0,9	87,7
15	94,4	92,0	2,5	2,3	90,0
16	89,8	92,0	-2,5	-2,3	87,7
17	89,0	89,0	0,0	0,0	87,7
18	89,0	89,0	0,0	0,0	87,7
19	89,0	89,0	0,0	0,0	87,7
20	94,0	92,0	2,1	1,9	89,6
21	89,4	90,5	-1,3	-1,1	88,5
22	94,0	90,5	3,7	3,5	92,0
23	90,2	92,0	-2,1	-1,9	90,1
24	89,4	90,5	-1,3	-1,1	89,0

[Opracowanie własne]

Tablica 3

Częstość oszczędności czasu w przedziałach dla pociągu z 24 kontenerami

Przedział	Częstość	Łączna wartość [%]
<-4,5	1	4,6
(-4,5÷2,2 >	16	73,9
(2,2÷8,9 >	2	82,6
(8,9÷15,6 >	2	91,3
> 15,6	2	100,0

[Opracowanie własne]

Tablica 4

Tablica wyników obsługi pociągu z 27 kontenerami

Nr kontenera	Czas obsługi rzeczywisty [s]	Czas obsługi według metody [s]	Oszczędność czasu przy obsłudze 1 kontenera [%]	Oszczędność czasu przy obsłudze jednego kontenera [s]	Skumulowana oszczędność czasu [s]
1	94,4	90,5	4,1	3,8	3,8
2	114,8	89,0	22,5	25,8	29,6
3	89,8	89,0	0,9	0,8	30,4
4	94,4	89,0	5,7	5,4	35,8
5	114,8	89,0	22,5	25,8	61,6
6	98,2	92,1	6,2	6,1	67,7
7	118,6	93,6	21,1	25	92,7
8	90,6	92,1	-1,6	-1,5	91,2
9	150	89,0	40,7	61,0	152,2
10	155	89,0	42,6	66,0	218,2
11	95,6	92,1	3,7	3,4	221,6
12	110,0	92,1	16,3	17,2	238,8
13	110,0	95,2	13,5	14,6	253,4
14	150,0	90,5	39,6	59,5	312,9
15	140,0	94,0	32,9	46,0	355,9
16	93,2	89,0	4,5	4,1	360,0
17	97,4	89,0	8,6	8,4	368,4
18	117	89,0	23,9	28,0	396,4
19	132,4	89,0	32,8	43,4	439,8
20	92,8	89,0	4,1	3,8	443,6
21	118,2	89,0	24,7	29,2	472,8
22	132,6	89,0	32,9	43,6	516,4
23	165,0	92,1	44,2	72,9	589,3
24	140,0	90,5	35,3	49,5	638,8
25	150,0	90,5	39,6	59,5	698,3
26	165,0	89,0	46,1	76,0	774,3
27	180,0	89,0	50,6	91,0	865,3

[Opracowanie własne]

Tablica 5

Częstość oszczędności czasu w przedziałach dla pociągu z 27 kontenerami

Przedział	Częstość	Łączna wartość [%]
<-14	1	3,8
(-14, 170>	8	34,6
(170, 355>	6	57,7
(35,5, 5,4,0>	4	73,1
(54,0, 72,5>	4	88,5
>72,5	3	100,0

[Opracowanie własne]

Tablica 6

Tablica wyników obsługi pociągu z 30 kontenerami

Nr kontenera	Czas obsługi rzeczywisty [s]	Czas obsługi według metody [s]	Oszczędność czasu przy obsłudze 1 kontenera [%]	Oszczędność czasu przy obsłudze jednego kontenera [s]	Skumulowana oszczędność czasu [s]
1	89,0	89,0	0,0	0,0	0,0
2	114,4	90,5	20,9	23,9	23,9
3	114,0	94,0	17,5	20,0	43,9
4	89,8	90,5	-0,8	-0,7	43,2
5	89,8	92,1	-2,5	-2,3	40,9
6	94,0	94,0	0,0	0,0	40,9
7	89,0	89,0	0,0	0,0	40,9
8	94,4	90,5	4,1	3,9	44,8
9	89,4	90,5	-1,3	-1,1	43,7
10	89,4	94,0	-5,2	-4,6	39,1
11	94,8	92,1	2,9	2,7	41,8
12	115,2	93,6	18,7	21,6	63,4
13	97,4	95,2	2,3	2,3	65,7
14	114,4	94,0	17,8	20,4	86,1
15	94,8	97,1	-2,4	-2,3	83,8
16	114,4	95,5	16,5	18,9	102,7
17	94,0	93,6	0,4	0,4	103,1
18	94,0	94,0	0,0	0,0	103,1
19	94,4	92,1	2,5	2,3	105,4
20	94,4	89,0	5,7	5,4	110,8
21	89,4	90,5	-1,3	-1,1	109,7
22	114,8	92,1	19,8	22,7	132,4
23	89,4	93,6	-4,7	-4,2	128,2
24	94,0	94,0	0,0	0,0	128,2
25	94,0	93,6	0,4	0,4	128,6
26	89,0	92,0	-3,4	-3,0	125,6
27	114,4	92,0	19,6	22,4	148,0
28	94,0	92,0	2,1	2,0	150,0
29	94,0	93,6	0,4	0,4	150,4
30	129,4	92,1	28,8	37,3	187,7

[Opracowanie własne]

Tablica 7

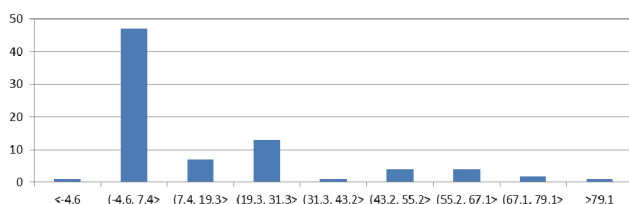
Częstość oszczędności czasu w przedziałach dla pociągu z 30 kontenerami

Przedział	Częstość	Łączna wartość [%]
<-4,6	1	3,4
(-4,6, 3,8>	18	65,5
(3,8, 12,2>	2	72,4
(12,2, 20,6>	3	82,8
(20,6, 28,9>	4	96,6
>28,9	1	100,0

[Opracowanie własne]

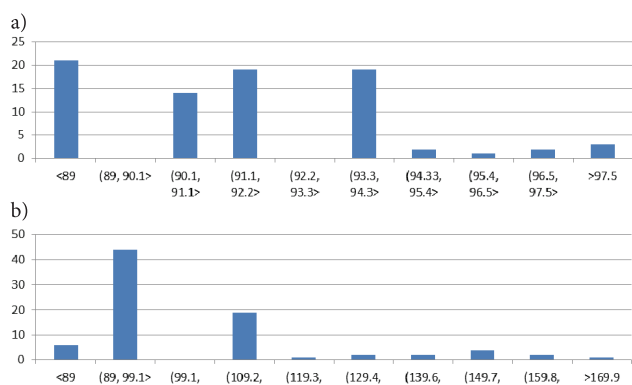


Opisane przypadki charakteryzują skuteczność metody. Na rysunku 2 zamieszczono histogram, na którym zaznaczono licznosc przedziałów przypadków oszczędności czasu dla wybranych pociągów kontenerowych. Można zauważyć, że najliczniejsza grupa zawiera się w przedziale  $(-4,6, 7,4>$ . Na 81 przypadków zaledwie 1 jest poza lewą stroną tego przedziału, a 32 zawierają się w przedziałach o większych wartościach. Osiągane przypadki dają oszczędność czasu jednej operacji średnio o 14,5 s, a maksymalnie 91 s.



Rys. 2. Histogram oszczędności czasu realizacji zadań zgodnie z proponowaną metodą [opracowanie własne]

Korzystny jest również czas realizacji zleceń: na rysunku 3 zamieszczono histogramy czasów trwania zadań (rzeczywiste i osiągnięte za pomocą metody). Jak można zauważyć, rzeczywiste czasy realizacji zadań mieszczą się przeważnie w przedziale 89–99 s, jednak są również przypadki realizacji zadań powyżej 150 s. Zastosowanie metody pozwala na wyrównanie czasów realizacji zadań. Prawie wszystkie są realizowane w czasie poniżej 99 s (przy minimalnej wartości 88,5 s).



Rys. 3. Histogramy czasów trwania realizacji zadań: a) rzeczywiste, b) według proponowanej metody [opracowanie własne]

## 5. Wnioski i podsumowanie

W artykule przedstawiono praktyczne rozwiązania obsługi kontenerów w relacji wagon – plac w lądowym terminalu kontenerowym, które umożliwia:

- wskazanie miejsca składowania z najkrótszym czasem realizacji operacji rozładunkowej z uwzględnieniem wypełnienia kubatury składowiska (skrócenie czasu realizacji operacji),

- wskazanie kolejności realizacji zadań (redukcja czasu przejazdu między operacjami),
- ustalenie kolejności składowania tak, aby kontener przeznaczony do dłuższego składowania nie stał na kontenerze, który opuści terminal wcześniej (redukcja nieproduktywnych operacji),
- minimalizację drogi powrotne do kolejnych kontenerów.

Weryfikację metody przeprowadzono na rzeczywistych danych zebranych w intermodalnym węźle przeładunkowym. Uzyskane tą metodą wartości, pozwoliły na oszczędność czasu podczas rozładunku kontenerów w stosunku do rzeczywistych wartości.

Dalsze prace polegają na zwiększeniu możliwości obliczeniowych przy wyznaczaniu kolejności realizacji zadań oraz wprowadzeniu losowych zakłóceń pracy systemu.

## Literatura

1. Boysen N., Fliedner M.: *Determining crane areas in intermodal transshipment yards: The yard partition problem*. European Journal of Operational Research, 204(2), pp. 336–342, 2010.
2. Boysen N., Fliedner M., Kellner M.: *Determining fixed crane areas in rail–rail transshipment yards*. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 46(6), pp. 1005–1016, 2010.
3. Caris A., Macharis C., Janssens G.K.: *Planning problems in intermodal freight transport: accomplishments and prospects*. Transportation Planning and Technology, 31(3), pp. 277–302, 2008.
4. Carlo H.J., Vis I.F., Roodbergen K.J.: *Transport operations in container terminals: Literature overview, trends, research directions and classification scheme*, European Journal of Operational Research, 236(1), pp.1–13, 2014.
5. Carlo H.J., Vis I.F., Roodbergen K.J.: *Storage yard operations in container terminals: Literature overview, trends, and research directions*. European Journal of Operational Research, 235(2), pp. 412–430, 2014.
6. Crainic T.G., Kim K.H.: *Intermodal transportation*. Transportation, 14, pp. 467–537, 2006.
7. Lee D.H., Cao J.X. et al.: *A heuristic algorithm for yard truck scheduling and storage allocation problems*. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 45(5), pp. 810–820, 2009.
8. Lee Y., Lee Y.J.: *A heuristic for retrieving containers from a yard*. Computers & Operations Research, 37(6), pp.1139–1147, 2010.
9. Pant R., Barker K., Ramirez-Marquez J. E., Rocco C. M.: *Stochastic measures of resilience and their application to container terminals*. Computers & Industrial Engineering, 70, pp.183–194, 2014.

10. Pap E., Bojanic G., Ralevic N., Georgijevic M., Bojanic V.: *Crane scheduling method for train re-loading at inland intermodal container terminal*. In Intelligent Systems and Informatics (SISY), 2012 IEEE 10th Jubilee International Symposium on, pp. 189–192.
11. Qiu X., Lam J.S.L., Huang G.Q.: *A bilevel storage pricing model for outbound containers in a dry port system*. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 73, pp. 65–83, 2015.
12. Sterzik S., Kopfer H.: *A tabu search heuristic for the inland container transportation problem*. Computers & Operations Research, 40(4), pp. 953–962, 2013.
13. Vis I.F., Roodbergen K.J.: *Scheduling of container storage and retrieval*. Operations Research, 57(2), pp. 456–467, 2009.
14. Wang W.F., Yun W.Y., Ha B.H.: *A hybrid SA algorithm for inland container transportation*. International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice, 20(1–2), (2013).
15. Zajac M., Świeboda J.: *An Unloading Work Model at an Intermodal Terminal*. In Theory and Engineering of Complex Systems and Dependability, pp. 573–582, Springer International Publishing 2015.
16. Zajac M., Świeboda J.: *Analysis of the process of unloading containers at the inland container terminal*. In Safety and Reliability: Methodology and Applications-Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL pp. 1237–1241, 2014.

## Model of Implementation of Selected Operation at an Inland Terminal

### Summary

Intermodal transport based on the exchange of containers needs efficient, performance and reliable operation at inland terminals. In the literature a lot of attention focused on the efficient operation of ports, whereas in a land-based terminals is not developing as much scientific solutions. This is due to with limited capability and range inland intermodal hubs. This article presents a practical solution container handling in relation wagon – yard at the inland container terminal according to the method of comparing the values of the parameters characterizing the container intended for handling, yard and road transport. The rest of this article presents a review of available scientific solutions from the discussed range. This paper presents a general solution for the problem. Then a verification effectiveness of the proposed solutions and solutions for some real cases.

The paper presents heuristic method for linking the issue of work scheduling machine and traveled by her route in transportation orders in relation wagon – yard. The method is implemented in three stages: compared dates of the containers to the end user, evaluating the implementation of tasks and evaluating the cumulative value of the given tasks.

Verification method was based on actual data collected at an intermodal transshipment node. The obtained value method allowed us to save time during the unloading of containers in relation to the actual value. Further work involves an increase in computing capabilities when determining the order of execution of tasks and the introduction of random failures of the system.

**Keywords:** intermodal transport, container yard, container handling, scheduling of handling

## Модель избранных операций в интермодальном перегрузочном комплексе

### Резюме

Интермодальный транспорт, основан на обмене контейнеров требует эффективного и надежного функционирования сухопутных перегрузочных комплексов. В технической литературе внимание сосредоточено на эффективной работе портов, в то время как в области сухопутных перегрузочных комплексов научные решения так значительно не развиваются. Это возникает из ограниченных возможностей и дальности действия сухопутных перегрузочных комплексов. Целью статьи является представление практических решений обслуживания контейнеров в отношении вагон – площадка в сухопутном комплексе перегрузки контейнеров методом сравнения значения параметров контейнера предназначенного для перегрузки, площадки и транспортных путей. В дальнейшей части статьи указан просмотр доступных научных решений в обсуждаемой области. Указано общее решение этой проблемы. Затем была проведена проверка эффективности предлагаемого решения и решений для избранных фактических случаев.

В статье представлен эвристический метод соединяющий вопросы планировки работы перегрузочного устройства и пройденный им путь для выполнения транспортной работы в отношении вагон – площадка. Метод реализуется в трех этапах: сравнения дат выдачи контейнеров конечному грузополучателю, оценки выполнения задач и оценки совокупной стоимости выполнения порученных задач. Проверка метода была основана на фактических данных собранных в интермодальном перегрузочном комплексе. Полученные благодаря методу значения позволили сэкономить время выгрузки по отношению к фактическим значениям. В дальнейшем работа заключается в увеличении вычислительных возможностей для установления порядка выполнения задач и введении случайных помехов режима работы системы.

**Ключевые слова:** интермодальный транспорт, перегрузочная площадка, перегрузка контейнеров, планировка перегрузок