



Aleksandra Bartosiewicz

Uniwersytet Łódzki
Wydział Ekonomiczno-Socjologiczny
Katedra Badań Operacyjnych
e-mail: aanusik@uni.lodz.pl

PLANOWANIE TRAS PRZEWOZU ŁADUNKÓW Z NABRZEŻA NA PLAC SKŁADOWY W MORSKIM TERMINALU KONTENEROWYM W GDAŃSKU

Streszczenie: W artykule przedstawiona została problematyka właściwego wyboru tras przejazdu lądowych środków transportowych z nabrzeża na plac składowy oraz analiza trafności doboru jednostki transportowej do danego zadania. Badanie przeprowadzono na przykładzie głębokowodnego terminalu kontenerowego DCT Gdańsk.

Słowa kluczowe: planowanie tras przewozu, DCT Gdańsk.

Wprowadzenie

W ostatnich latach armatorzy statków i zarządcy portów borykają się z problemem rosnącej konkurencyjności, wobec czego terminale portowe starają się wykonywać operacje przeładunkowe wzdłuż nabrzeża oraz składowanie pojemników na placach składowych sprawnie, szybko i wydajnie. Konieczna staje się zatem optymalizacja procesów zachodzących na terenie portów z wykorzystaniem metod ilościowych i jakościowych.

Proponowany artykuł to studium przypadku, w którym szczegółowej analizie poddano problem wyboru tras przejazdu lądowych środków transportowych z nabrzeża na plac składowy na terenie morskiego terminalu głębokowodnego DCT w Gdańsku. Głównym celem pracy jest przedstawienie i omówienie możliwych wariantów doboru jednostki transportowej do danego zadania oraz wybranie tego z nich, który jest najmniej czasochłonny, a tym samym umożliwia najszybszy przewóz kontenerów z nabrzeża na plac składowy.

1. Planowanie tras przewozu ładunków

Niewielu badaczy w ostatnim czasie zajmowało się planowaniem tras przewozu ładunków w obrębie morskich terminali kontenerowych. Przykładowo Vis i de Koster [2003] opisali główne procesy logistyczne zachodzące na terenie terminali kontenerowych, Steenken i in. [2004] omówili metody, które mogą być stosowane do optymalizacji operacji portowych, a Chen i in. [2007] zbadali problem magazynowania oraz składowania kontenerów na terenie terminalu portowego.

W przeprowadzonym badaniu do ułożenia tras przewozu pojazdów wykorzystane zostało częściowo zagadnienie przydziału [Kukuła (red.), 2004]. Nawiązano tu też koncepcyjnie do dwóch metod wyznaczania trasy kompletacji zamówień. Warto przypomnieć, że w pierwszej z nich, nazywanej S-shape od linii, po której porusza się magazynier, osoba kompletująca towar wchodzi tylko do tych korytarzy magazynu, w których znajdują się towary z listy kompletacyjnej. Następnie pobierane są wszystkie potrzebne towary z danego korytarza, który opuszczany jest innym końcem niż ten, przez który nastąpiło wejście. Magazynier nigdy nie zawraca, możliwe jest to tylko po zrealizowaniu ostatniego zamówienia. Z kolei w metodzie Midpoint magazyn podzielony jest na dwie części o zbliżonej wielkości. Początkowo podejmowane są wszystkie towary z części, w której znajduje się punkt przyjęcia/wydania. Dopiero później możliwe jest skompletowanie pozostałych towarów znajdujących się w drugiej połowie magazynu [Tarczyński, 2013].

Z założenia obie przedstawione metody wymagają odwiedzenia przynajmniej kilku punktów. Należy zatem jeszcze raz podkreślić, że w niniejszym artykule wykorzystano tylko ogólną koncepcję heurystyk S-shape oraz Midpoint, zgodnie z którą wyznaczono możliwe trasy przewozu pojedynczych kontenerów z nabrzeża na plac składowy.

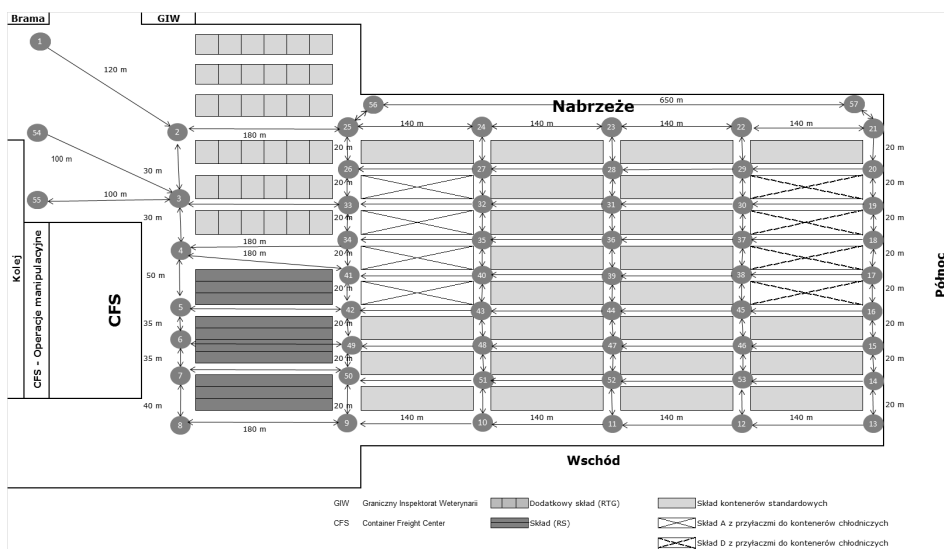
2. Głębokowodny terminal kontenerowy DCT Gdańsk

Na głębokowodnym terminalu kontenerowym DCT w Gdańsku ładunki wyładowywane są ze statku przez suwnice nabrzeżne STS wyposażone w jedną wciągarkę, która przemieszcza kontener bezpośrednio ze statku na pojazdy czekające na nabrzeżu. Suwnice te mogą unosić ładunek o ciężarze do 65 t, a ich chwytaki przystosowane są do pobierania jednego kontenera czterdziestostopowego lub dwóch kontenerów dwudziestostopowych naraz [Liebherr, 2013].

Podjęty ze statku ładunek przenoszony jest na ciągnik terminalowy z naczą kontenerową, który przewozi go na plac składowy. Ciągniki terminalowe mogą jednocześnie przewozić dwa kontenery o długości dwudziestu stóp lub je-

den pojemnik czterdziestostopowy. Pod każdą suwnicą STS znajduje się sześć torów jazdy dla ciągników z naczepami. Szacuje się, że na jedną suwnicę nabrzeżną przypadać powinno od czterech do pięciu pojazdów terminalowych [Urbanyi-Popiołek, 2010].

Teren głównego placu składowego podzielony jest na 32 rzędy, które obsługiwane są przez automatyczne suwnice bramowe na kołach ogumionych RTG. Dostarczony ładunek przejmowany jest przez jedną z nich i transportowany na miejsce wybrane po uprzedniej awizacji przez system [Szpytko i Hyla, 2010]. Plan gdańskiego terminalu przedstawiono na rys. 1.



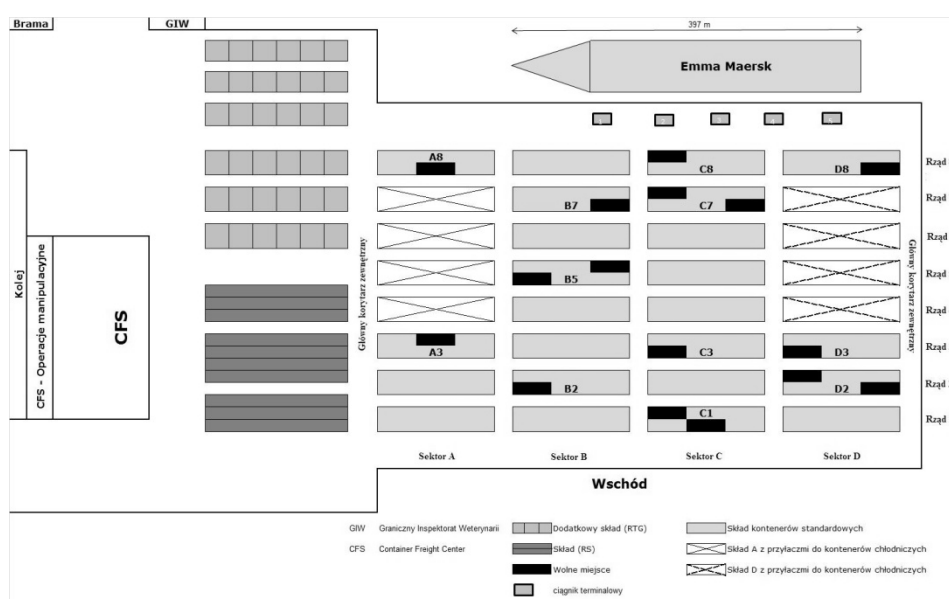
Rys. 1. Plan terminalu DCT Gdańsk

3. Planowanie przewozu kontenerów z nabrzeża na plac składowy na przykładzie DCT Gdańsk

Gdański terminal dysponuje (stan na 2014 r.) pięcioma suwnicami nabrzeżnymi STS, 17 suwnicami placowymi RTG oraz 32 ciągnikami terminalowymi i 28 oznakowanymi naczepami kontenerowymi. W analizowanym przykładzie założono, że ze statku Emma Maersk rozładowywane są kontenery czterdziestostopowe. Pojemniki wyładowywane są tylko z górnego pokładu. Ponieważ jest to początek prac suwnic nabrzeżnych, zgodnie z przyjętą przez DCT Gdańsk oraz Maersk Line zasadą, w rozładunku bierze udział wszystkie pięć suwnic STS. Na potrzeby przykładu założono ponadto, iż w tym czasie pracuje połowa z posiadanych przez terminal ciągników terminalowych (16 pojazdów) oraz 16 suw-

nic placowych RTG. Kontenery przewożone z nabrzeża trafiają na główny plac składowy, gdzie ustawiane są w kierunku wzdłuż nabrzeża. Jest to optymalna pozycja pojemników ze względu na położenie suwnic RTG i wyznaczone pasy ruchu. Przyjęto, że rozładowywane kontenery można postawić na wolnym miejscu na placu składowym. Ponieważ brane są pod uwagę tylko tzw. kontenery zwykłe, nie rozpatrywano w ogóle pól składowych z przyłączami do kontenerów chłodniczych. Pamiętać należy o tym, że na terenie placu składowego ustalony jest kierunek ruchu, a w miejscach, gdzie przecinają się pasy ruchu, na ziemi wyrysowane są znaki ustęp pierwszeństwa. Warto zauważyć, że na terenie terminalu pojazdy operacyjne DCT zawsze mają pierwszeństwo przejazdu względem pojazdów zewnętrznych, a dopuszczalna prędkość maksymalna wynosi 30 km/h [DCT Gdańsk, 2013a, 2013b]. Z kolei maksymalna fabryczna prędkość ciągnika terminalowego to 34 km/h, przy czym zgodnie z dokumentacją techniczną przy skrętach ciągnik taki powinien jechać co najwyżej z połową maksymalnej prędkości. Wreszcie, co istotne, miejsca, w których zatrzymują się kierowcy ciągników pod suwnicami nabrzeżnymi STS, są ustalone. Nie są one odgórnie narzucone przez system (DCT Gdańsk nie posiada modułu pozycjonującego), ale doświadczenie kierowców pozwala im zawsze ustawiać pojazd w tym samym, według nich najlepszym, miejscu na nabrzeżu.

Na rys. 2 przedstawiono wolne miejsca na kontenery w poszczególnych sektorach placu składowego DCT Gdańsk.



Rys. 2. Wolne pola na kontenery na placu składowym DCT Gdańsk

W badaniu rozpatrzonych zostało dziewięć wariantów tras przejazdu pojazdów z nabrzeża na plac składowy. Pierwszy z nich nawiązuje koncepcyjnie do metody S-shape. Z wyjątkiem rzędu nr 8, pojazdy zawsze wracają do głównych korytarzy zewnętrznych, poruszając się po placu składowym wzdłuż linii kształtem przypominających literę S.

Kolejne cztery warianty odnoszą się pośrednio do metody Midpoint. W każdym przypadku pojazdy po dostarczeniu kontenera na odpowiednie pole na placu składowym wracają na nabrzeże nie głównym korytarzem zewnętrznym, jak to miało miejsce w wariacie S-shape, a najbliższym możliwym korytarzem dwukierunkowym. W pierwszym wariacie wszystkie samochody obsługują najpierw rzędy nr 5-8, a następnie nr 1-4. W drugim przypadku podział placu składowego przebiega wertykalnie. Oznacza to, że wszystkie pojazdy terminalowe obsługują najpierw pola oznaczone literami C-D, a potem rzędy A-B. Kolejne dwa warianty są modyfikacją metody horyzontalnej i wertykalnej Midpoint. Pierwsza modyfikacja zakłada, że pojazdy odjeżdżające z nabrzeża z pól oznaczonych numerami 3, 4 oraz 5 obsługują pola składowe od 1 do 4, zaś samochody startujące z nabrzeża spod suwnic STS nr 1 i 2 przewożą kontenery do rzędów 5-8. W modyfikacji metody wertykalnej samochody odjeżdżające spod suwnic STS nr 3, 4 i 5 obsługują rzędy C i D, pojazdy transportujące kontenery z nabrzeża z pól 1 i 2 dojeżdżają natomiast do rzędów A i B. W obu modyfikacjach, jeśli zaistnieje taka konieczność, pierwszy wolny samochód obsługuje najbliższy rząd placu składowego, który sąsiaduje z rzędem odgórnie mu przydzielonym.

Następne dwa warianty przydzielają pojazdy terminalowe do odpowiednich sektorów placu składowego w zależności od pola, z którego samochody startują z nabrzeża (START). W pierwszym przypadku przydział można przedstawić jak następuje: pojazd z pola nr 1 – rząd A, nr 2 – rząd B, nr 4 – rząd C, nr 5 – rząd D. Przydział dla drugiego wariantu to: pojazd z pola nr 1 – rzędy 8-7, nr 2 – rzędy 5-6, nr 4 – rzędy 3-4, nr 5 – rzędy 1-2. W obu przypadkach pojazd startujący z nabrzeża z pola nr 3 wspomaga wszystkie rzędy placu składowego w kolejności od tych z największą liczbą wolnych miejsc na kontenery. Jeśli któryś rząd się wypełni przydzielonymi tam kontenerami, samochód wysyłany jest, by wspomagać najbliższy rząd sąsiadujący. Zasada ta dotyczy również tych pojazdów, które nie mają już wolnych pól składowych w przydzielonych dla siebie uprzednio sektorach. Podobnie jak w wariantach nawiązujących do metody Midpoint, wszystkie pojazdy po dostarczeniu kontenera na pole składowe wracają na nabrzeże najbliższym korytarzem dwukierunkowym.

W ostatnich dwóch wariantach prezentowanych w niniejszej pracy wykorzystana została zasada przydziału pojazdów do najbliższych im wolnych pól na placu składowym (MIN). W obu wariantach kryterium przydziału była odległość

pojazdu od wolnego pola składowego. W pierwszym przypadku trasy wyznaczono tak, aby w miarę możliwości nie blokować pojazdów pod suwnicami placowymi RTG. Oznacza to, że pomimo iż na dane pole można by przydzielić kolejne dwa kontenery pod rząd, to drugi z nich i tak odstawiany jest na następne najbliższe wolne pole składowe. Drugi wariant wyznaczono już w zgodzie z zasadą minimalizacji odległości, przez co pojazdy wysyłane są jeden po drugim na te same sektory placu składowego. Wydłuża to czas rozwoju kontenerów, gdyż pojazdy muszą czekać na pobranie kontenera przez suwnicę placową RTG. W obu przypadkach, po dostarczeniu ładunku na odpowiednie miejsce, pojazdy wracają na nabrzeże najbliższym możliwym korytarzem dwukierunkowym.

We wszystkich wariantach przyjęto, że pojazdy udające się na pola B, C i D, zamiast dojeżdżać do początku placu składowego, skrócą swój przejazd, zwracając zaraz za pierwszą suwnicą. Przydział pojazdów do konkretnych miejsc na placu składowym w każdym z rozpatrywanych w badaniu wariantów przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wykaz tras w rozpatrywanych wariantach w podziale na grupy

Grupa	Nr wariantu	Trasa
S-shape	1	1-D8; 2-C8; 3-A8; 4-B7; 5-C7; 1*-B5; 2*-A3; 3*-C3; 4*-D3; 5*-C7'; 1-B5'; 2-B2; 3-D2; 4-C1; 5-D2'; 1*-C1'
Midpoint	2	1-D8; 2-C8; 3-A8; 4-B7; 5-C7; 1*-B5; 2*-C7'; 3*-B5'; 4*-A3; 5*-C3; 1-D3; 2-B2; 3-D2; 4-C1; 5-D2'; 1*-C1'
	3	1-D8; 2-C8; 3-C7; 4-C3; 5-D3; 1*-C7'; 2*-D2; 3*-C1; 4*-D2'; 5*-C1'; 1-A8; 2-B7; 3-B5; 4-A3; 5-B2; 1*-B5'
	4	1-D8; 2-C8; 3-A3; 4-C3; 5-D3; 1*-A8; 2*-B7; 3*-B2; 4*-D2; 5*-C1; 1-C7; 2-B5; 3-D2'; 4-C1'; 5-C7'; 1*-B5'
	5	1-A8; 2-B7; 3-D8; 4-C8; 5-C7; 1*-B5; 2*-A3; 3*-C7'; 4*-C3; 5*-D3; 1-B5'; 2-B2; 3-D2; 4-C1; 5-D2'; 1*-C1'
START	6	1-A8; 2-B7; 3-C8; 4-C7; 5-D8; 1*-A3; 2*-B5; 3*-C7'; 4*-C3; 5*-D3; 1-B5'; 2-B2; 3-D2; 4-C1; 5-D2'; 1*-C1'
	7	1-D8; 2-B5; 3-C8; 4-A3; 5-B2; 1*-A8; 2*-B5'; 3*-B7; 4*-C3; 5*-D2; 1-C7; 2-D3; 3-C1; 4-D2'; 5-C1'; 1*-C7'
MIN	8	1-C8; 2-D8; 3-A8; 4-B7; 5-C7; 1*-B5; 2*-C3; 3*-D3; 4*-B2; 5*-C7'; 1-D2; 2-C1; 3-A3; 4-B5'; 5-D2'; 1*-C1'
	9	1-C8; 2-D8; 3-A8; 4-B7; 5-C7; 1*-C7'; 2*-B5; 3*-B5'; 4*-C3; 5*-D3; 1-B2; 2-D2; 3-D2'; 4-C1; 5-C1'; 1*-A3

* – w ten sposób, dla ułatwienia, oznaczono nowy cykl wyjazdu pojazdów z nabrzeża;

' – w ten sposób oznaczono konieczność dostarczenia drugiego kontenera na to samo pole składowe.

Najdłuższą z prezentowanych tras jest pierwsza, gdyż w wariantcie S-shape pojazdy zawsze wracają na nabrzeże zewnętrznym korytarzem głównym. Długość pokonanej przez wszystkie pojazdy trasy wynosi w tym przypadku niecałe 26 km. W pozostałych ośmiu przypadkach samochody muszą przejechać niemal 4 km mniej. Długość trasy jest wtedy zawsze taka sama i wynosi 21,88 km. Wy-

nika to z tego, iż w każdym z pozostałych wariantów samochody wracają na nabrzeże najbliższym możliwym korytarzem dwukierunkowym.

Z kolei przeciętny czas przejazdu (dla średniej prędkości 23,5 km/h) wszystkich pojazdów na trasie S-shape to 66,05 min, zaś na każdej z pozostałych tras, 56,10 min. Wyniki te nie uwzględniają jednak czasu oczekiwania na podjęcie kontenera z pojazdu przez suwnicę placową RTG oraz faktu, że samochody częściowo poruszają się jednocześnie. W przypadku wariantu S-shape czas przejazdu pojazdów jest dłuższy o 10 min z dwóch powodów. Trasa ta jest dłuższa od pozostałych, a przez to występuje na niej więcej punktów zwalniających. Pamiętać należy bowiem, że za każdym razem ciągnik musi zwolnić przed korytarzem dwukierunkowym, aby sprawdzić, czy nie nadjeżdża nim jakiś inny pojazd terminalowy.

Z wcześniejszych obliczeń¹ wiadomo, że suwnica nabrzeżna STS przenosi kontener z pokładu statku na ciągnik terminalowy w czasie $95,0 \pm 2,60$ sek. W badaniu przyjęto, iż praca suwnic jest zsynchronizowana. Oznacza to, że każda z nich odkłada kontener na podstawiony pod nią pojazd w tym samym czasie. Ciągnik odjeżdża po podniesieniu chwytaka na wysokość 3 m, co trwa ok. 6 sek. Założyć można zatem, że czas pobytu pierwszych 5 ciągników pod suwnicą STS wynosi 62 sek. Jednak kolejne wyruszyć będą mogły dopiero po pełnym ruchu wciągarki suwnicy, czyli po ok. 95 sek. (zob. tabela 2).

Z kolei suwnica placowa RTG przenosi kontener z ciągnika terminalowego na plac składowy w czasie $198,4 \pm 12,89$ sek.² Ponieważ pojazd nie czeka na przeniesienie kontenera na miejsce docelowe, ale odjeżdża po podniesieniu ładunku na wysokość 3 m, przyjęć można, że czas pobytu ciągnika przy suwnicy RTG to 33 sek. (zob. tabela 2). Warto przy tym nadmienić, że założono tu, iż podjeżdżając pod suwnicę RTG, ciągnik terminalowy zawsze zatrzymuje się z lewej strony danego pola składowego.

Czasy, na podstawie których przyjęto opisane powyżej założenia, przedstawiono w tabeli 2.

¹ Wyniki obliczeń tu przytoczonych przedstawiono w artykule A. Bartosiewicz (w druku), *Porównanie organizacji procesów rozładowniczych na DCT Gdańsk i Euromax Rotterdam*.

² Jest to wynik uśredniony dla obu rodzajów suwnic RTG pracujących na gdańskim terminalu.

Tabela 2. Czas najkrótszy (t_o), najbardziej prawdopodobny (t_d) oraz najdłuższy (t_p) (w sekundach) dla poszczególnych operacji składających się na rozładunek jednego kontenera na terminalu DCT Gdańsk

Urządzenie	Operacja	t_o	t_d	t_p			
Suwnica nabrzeżna (STS)	Zaczeplenie ładunku	3	3	3			
	Podniesienie ładunku ^{a)}	5	5	5			
	Jazda wózka i opuszczanie ładunku	40	45	50			
	Odczeplenie ładunku	3	3	3			
	Podnoszenie chwytaka i jazda wózka	20	26	32			
	Opuszczenie chwytaka ^{a)}	13	13	13			
Suwnica bramowa na kołach ogumionych (RTG)		Typ 1			Typ 2		
		t_o	t_d	t_p	t_o	t_d	t_p
	Zaczeplenie ładunku	4	4	4	4	4	4
	Podniesienie ładunku ^{b)}	27	27	27	29	29	29
	Jazda bramy suwnicy	20	47	73	20	47	73
	Jazda wózka wciągarki	0	6	11	0	6	12
	Opuszczenie i odczeplenie ładunku	23	29	35	23	30	36
	Podniesienie chwytaka	11	15	19	10	15	19
	Jazda bramy suwnicy i wózka wciągarki ^{c)}	20	47	73	20	47	73
	Opuszczenie chwytaka	22	22	22	23	23	23

a) wszystkie kontenery rozładowywane są z pokładu statku, zatem ładunek zawsze jest podnoszony, a pusty chwytak opuszczany na 3 m; b) suwnica bramowa podnosi każdy ładunek na wysokość 15 m; c) podczas przejazdu suwnicy placowej bez ładunku jazda bramy suwnicy i wózka wciągarki następują jednocześnie.

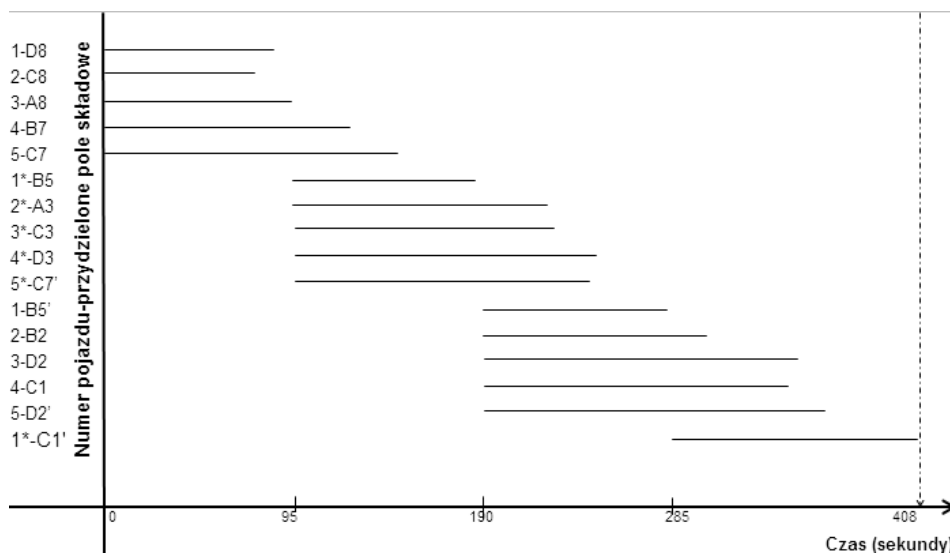
Tabela 3. Czas całkowity (w sekundach) przejazdu na plac składowy wszystkich pojazdów w poszczególnych wariantach w podziale na grupy

Grupa	Nr wariantu	Czas przejazdu	Opóźnienie	Czas całkowity
S-shape	1	540,5	147	687,5
Midpoint	2	470,5	107	577,5
	3	450,5	92	542,5
	4	450,5	82	532,5
	5	470,5	107	577,5
	6	470,5	112	582,5
START	7	445,5	104,5	550,0
MIN	8	470,5	72	542,5
	9	501,8	100,8	602,6

Rezultaty przedstawione w tabeli 3 uzyskano, wyliczając czas jednoczesnego przejazdu pojazdów na poszczególnych trasach. Doliczony został tu czas oczekiwania na załadunek kontenera przez suwnicę STS oraz postój ciągnika pod suwnicą RTG.

Podane w tabeli 3 wyniki obliczone zostały w przypadku wykorzystania 16 ciągników terminalowych. Pojazdy powinny być najpierw wysyłane do sektorów położonych najgłębiej w danym rzędzie, aby nie blokować pasa ruchu dla kolejnego pojazdu. Przy planowaniu przydziału ciągników do pól składowych

powinno się także unikać sytuacji, w której dawane są zlecenia dwóm pojazdom wyjeżdżającym jeden po drugim na to samo pole. Ponadto, ze względu na czas rozładunku kontenerów na placu, nawet ciągniki, które nie są wysyłane bezpośrednio po sobie, mogą oczekiwać w kolejce na suwnicę RTG. Przykładowo, w wariacie S-shape do czasu przejazdu pojazdów dodać trzeba 147 sek. opóźnienia wynikającego z faktu, iż na pole C1 wysłane zostaną w krótkim odstępie czasu dwa samochody, spod suwnic STS nr 4 i 1. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że drugi z pojazdów przyjedzie pod suwnicę placową 20 sek. po pierwszym, a zgodnie z przyjętym wcześniej założeniem rozładunek kontenera na placu trwa ok. 200 sek. Samochód musi bowiem poczekać, aż suwnica RTG odstawi kontener na wskazane przez system miejsce i wróci po znajdujący się na nim kontener³. Zależność tę można przedstawić na rys. 3.



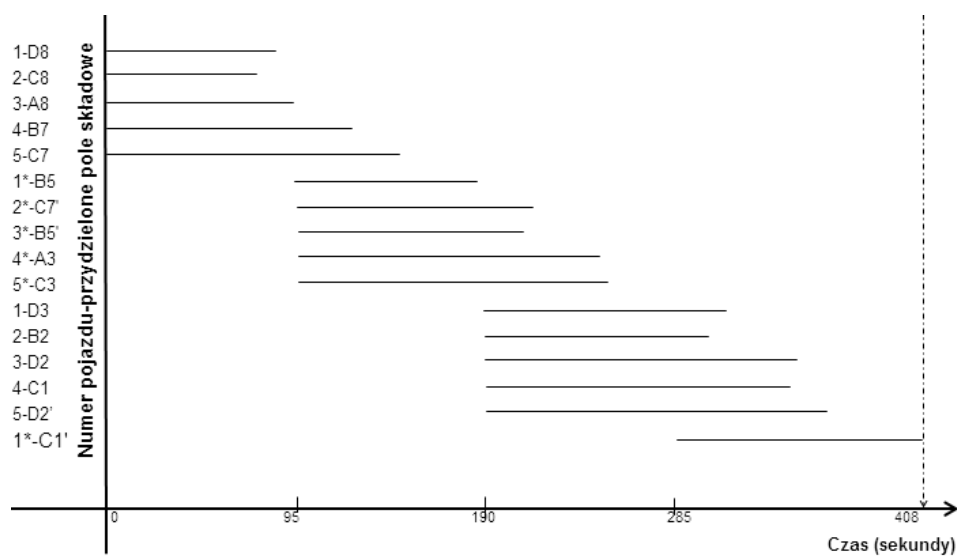
Rys. 3. Czasy przejazdu z nabrzeża pod suwnicę RTG w wariacie 1

Na wykresie na osi pionowej zaznaczono numery pojazdów i przydzielone im pola składowe. Na osi poziomej odliczany jest czas (w sekundach). Zgodnie z przyjętym wcześniej założeniem, kolejne ciągniki terminalowe ruszają z nabrzeża po 95 sek. Linie poziome wyznaczają czas dojazdu pojazdów na plac składowy i oczekiwania na rozładunek przez suwnicę RTG. W wariacie S-shape ostatni pojazd odjedzie spod suwnicy placowej po 408 sek. (6,8 min). Wykreślając linię

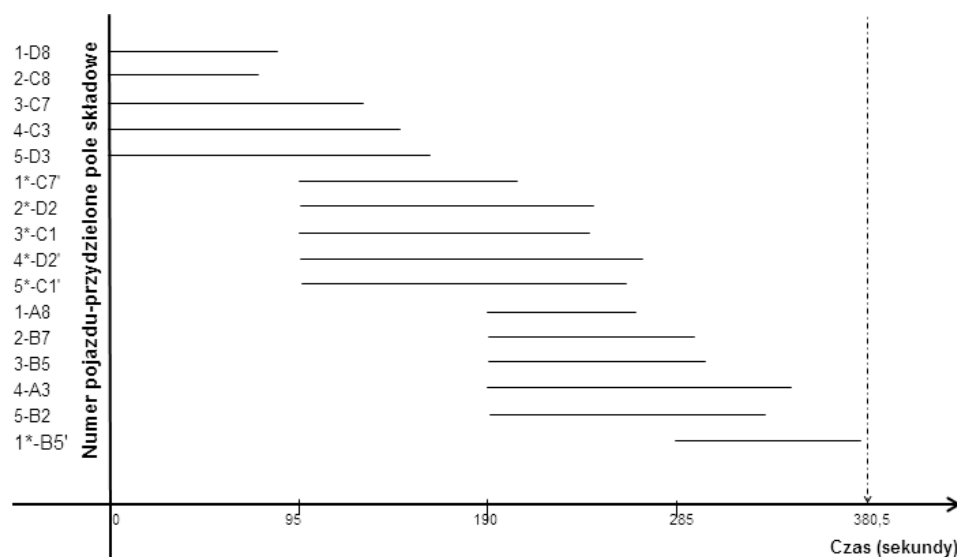
³ W wariacie tym opóźnienia wystąpią również w sektorach D2, B5 i C7, ale do czasu całkowitego liczy się tylko opóźnienie ostatniego z powracających z placu składowego pojazdów.

prostopadłą do osi poziomej sprawdzić można, w których miejscach pojazdy terminalowe będą musiały oczekiwać na suwnicę placową RTG.

Na kolejnych rysunkach przedstawiono czasy przejazdu pod suwnicę RTG na trasach wyznaczonych w pozostałych 8 wariantach.

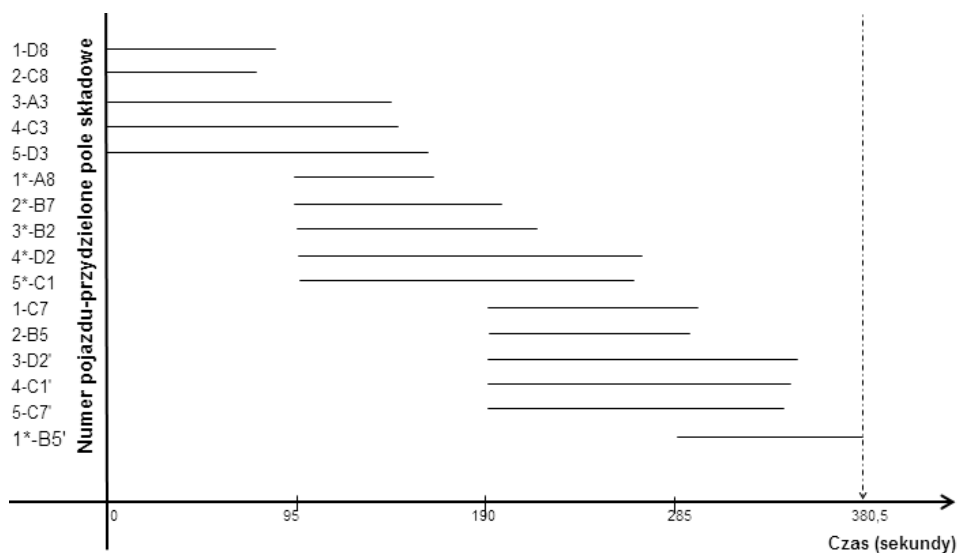


Rys. 4. Czasy przejazdu z nabrzeża pod suwnicę RTG w wariantcie 2

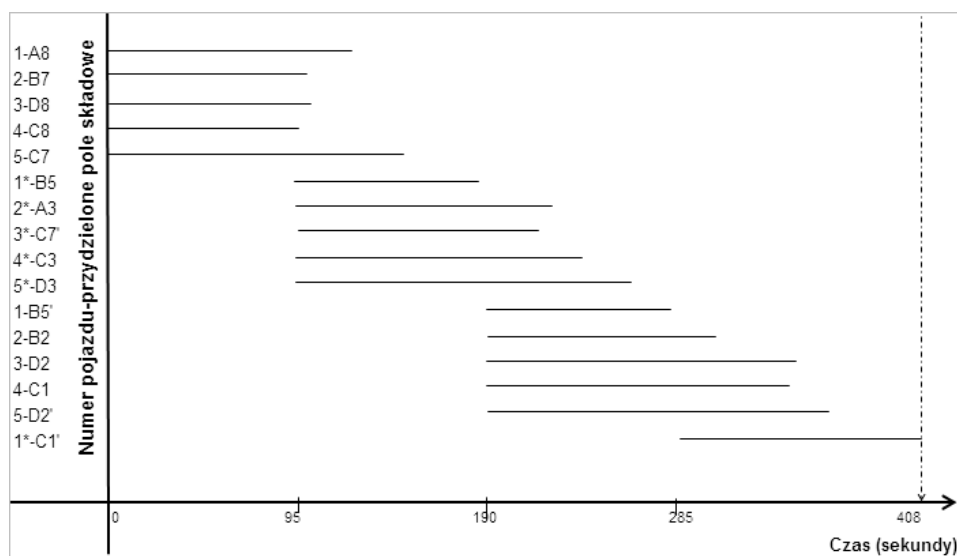


Rys. 5. Czasy przejazdu z nabrzeża pod suwnicę RTG w wariantcie 3

W wariancie drugim wystąpi 107-sekundowe opóźnienie. Po jego uwzględnieniu ostatni z placu składowego odjedzie pojazd z pola D2. W wariancie trzecim 92-sekundowe opóźnienie spowodowane zostanie przez samochody wysłane z nabrzeża spod suwnic STS nr 3 oraz 1 do sektora B5. Drugi z tych samochodów dojedzie na miejsce w 75 sek. po pierwszym i będzie musiał poczekać na przeniesienie kontenera przez suwnicę RTG.

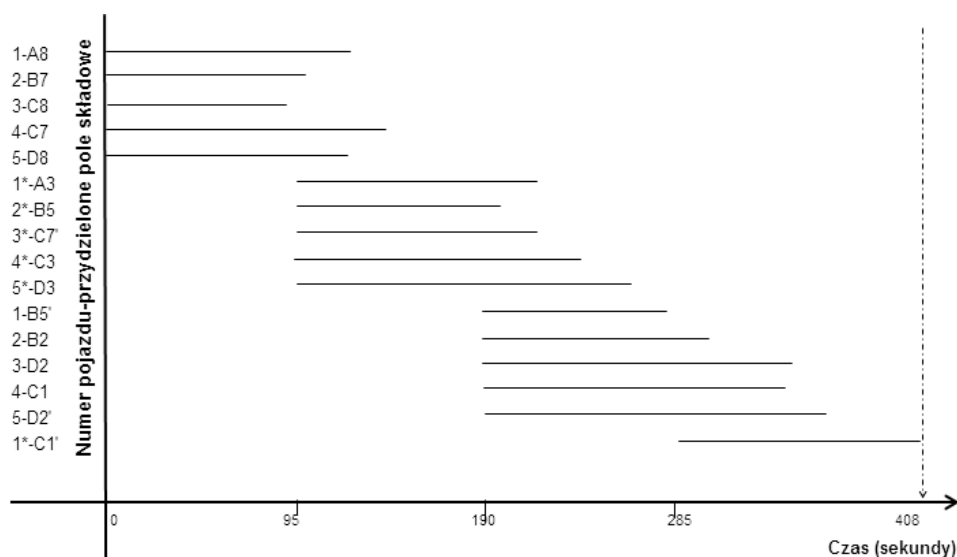


Rys. 6. Czasy przejazdu z nabrzeża pod suwnicę RTG w wariancie 4

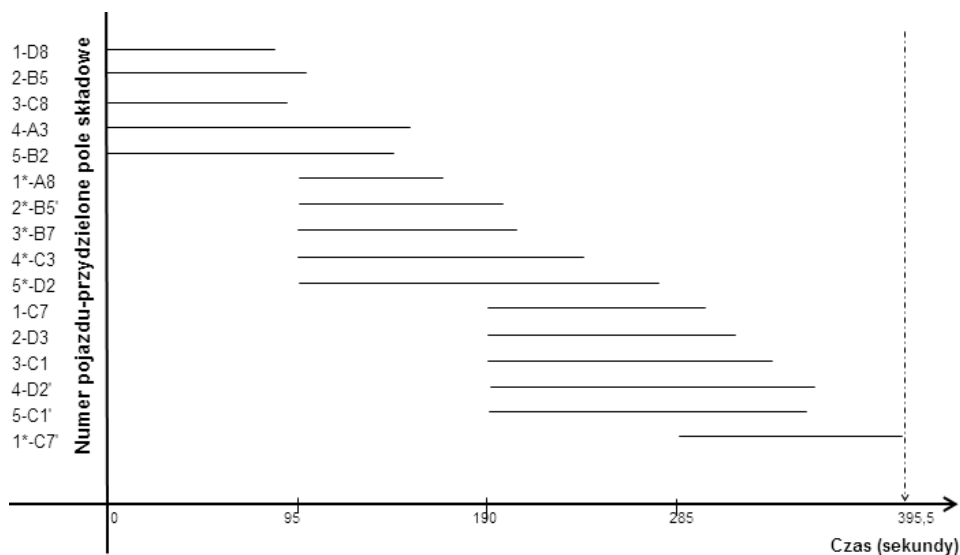


Rys. 7. Czasy przejazdu z nabrzeża pod suwnicę RTG w wariancie 5

Wariant czwarty ma opóźnienie trwające 82 sek. Jest ono spowodowane koniecznością czekania na suwnicę RTG przez pojazdy znajdujące się w sektorach B5 i C7. Natomiast w wariantcie nr 5 opóźnienie spowodowane zostanie przede wszystkim koniecznością czekania pojazdów na rozładunek kontenerów w sektorze D2.

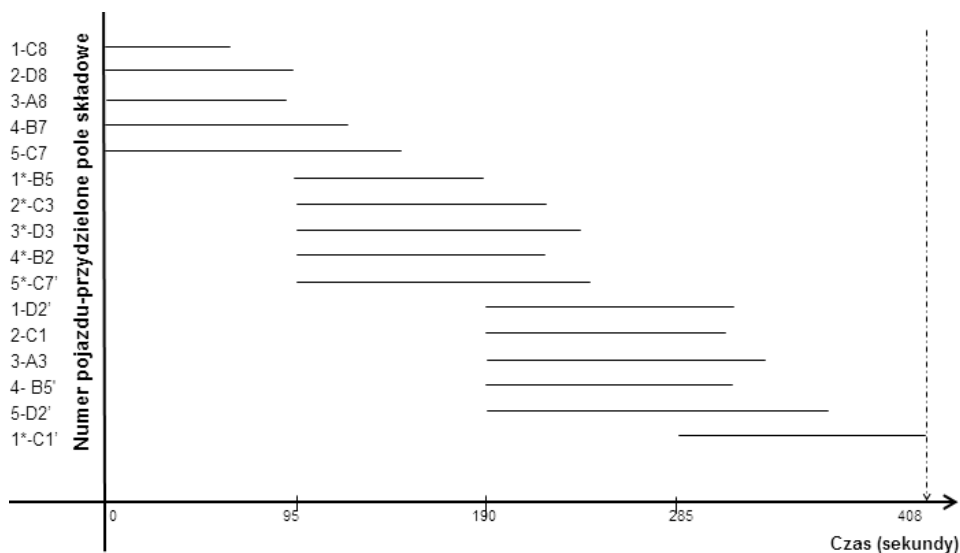


Rys. 8. Czasy przejazdu z nabrzeża pod suwnicę RTG w wariantcie 6

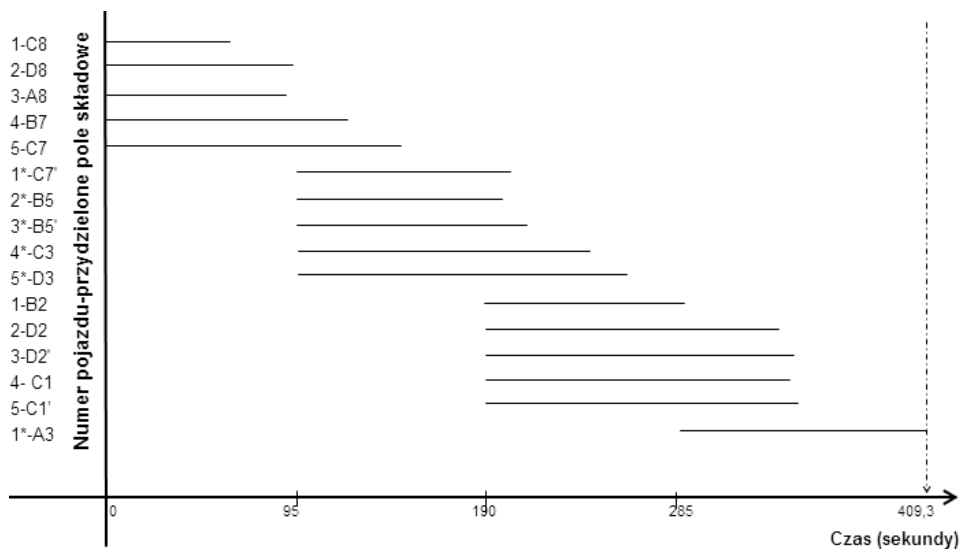


Rys. 9. Czasy przejazdu z nabrzeża pod suwnicę RTG w wariantcie 7

Okolo 112 sek. opóźnienia wystąpi w wariantcie nr 6 głównie ze względu na konieczność oczekiwania na suwnicę placową w sektorze D2, zaś na kolejnej trasie należy doliczyć 104,5 sek. oczekiwania na rozładunek przez suwnicę RTG pracującą w sektorze C1.



Rys. 10. Czasy przejazdu z nabrzeża pod suwnicę RTG w wariantcie 8



Rys. 11. Czasy przejazdu z nabrzeża pod suwnicę RTG w wariantcie 9

Wariant nr 8 jest tym, w którym wystąpi najmniejsze opóźnienie wynoszące 72 sek. Natomiast drugą najdłuższą ze względu na czas całkowity (po wariancie S-shape) jest trasa ostatnia. Opóźnienia wystąpią tu w sektorach C1, D2, D3, B5 oraz C7. Dotyczy to szczególnie tych pól składowych, gdzie dostarczane są dwa kontenery, a pojazdy wysyłane są jeden po drugim do tego samego rzędu. Jako ostatni z placu zjedzie w tej sytuacji ciągnik terminalowy dostarczający kontener na pole C1.

Zauważmy, że powyższe stwierdzenie jest prawdziwe, gdy w mocy utrzymamy założenie, iż wszystkie samochody ruszają spod suwnic STS jednocześnie. Gdyby do pracy na terminalu użytych zostało mniej ciągników, w praktyce mogłoby nastąpić przesunięcie rozpatrywanych czasów ze względu na różny czas przejazdu przez plac składowy.

Na wszystkich trasach można by użyć mniej niż 16 samochodów. Zawsze potrzebnych jest minimum 10 pojazdów, aby utrzymać ciągłość rozładunku kontenerów na nabrzeżu. W wariancie nr 6 wszystkie pięć pierwszych ciągników mogłoby wykonać kolejny kurs, ale wydłużyłoby to czas rozładunku o 62 sek. W wariantach nr 2, 5, 8 oraz 9 cztery pojazdy zdążyłyby wykonać drugi kurs. Byłyby to ciągniki powracające z sektorów A8, B7, C8 i D8. Przy użyciu 12 pojazdów terminalowych czas transportu kontenerów na plac składowy wydłużyłby się jednak o odpowiednio 62 sek. (warianty 2, 8, 9) lub 47 sek. (wariant 5). Wynika to z faktu, że wspomniane samochody mogłyby rozpocząć załadunek kontenerów na nabrzeżu dopiero po swoim powrocie, a więc później niż pojazdy czekające już na nabrzeżu w wariancie z 16 ciągnikami. W wariantach 1, 3, 7 do przewozu kontenerów na plac składowy użyć można by 13 pojazdów, ale wydłużyłoby to czas rozładunku o odpowiednio 17,52 oraz 47 sek. Wreszcie w wariancie nr 4 tylko dwa pojazdy mogą wykonać dwa kursy. Gdyby powtórny kurs wykonały ciągniki powracające z sektorów C8 i D8, czas transportu na całej trasie w ogóle by się nie wydłużył. Wynika to z tego, że oba pojazdy przybyłyby na wybrzeże zaledwie 10 sek. później niż ciągniki i tak czekające na nabrzeżu na zakończenie pracy suwnicy STS. Jest to jednocześnie jedyny z rozpatrywanych wariantów, który przy użyciu mniejszej liczby ciągników terminalowych na pewno nie opóźni pracy suwnicy STS. Te ostatnie w pozostałych przypadkach musiałyby być może czekać na nabrzeżu na podstawiane pod nie pojazdy. Pamiętać należy jednak, że w przypadku użycia mniej niż 16 pojazdów zaburzone zostanie założenie o synchronicznej pracy suwnic nabrzeżnych. Należałoby wobec tego jeszcze raz przeliczyć czasy przejazdu pojazdów na poszczególnych odcinkach i sprawdzić, czy nie tworzą się kolejki przy oczekiwaniu na suwnicę RTG lub STS.

Podsumowanie

W artykule szczegółowej analizie poddano problem wyboru tras przejazdu lądowych środków transportowych z nabrzeża na plac składowy na terenie morskiego terminalu głębokowodnego DCT w Gdańsku. Omówiono w nim dziewięć możliwych wariantów doboru jednostki transportowej do danego zadania.

Najlepszym okazał się wariant nr 4, w którym pojazdy odjeżdżające z nabrzeża z pól oznaczonych numerami 3, 4 oraz 5 obsługują pola składowe od 1 do 4, zaś samochody startujące z nabrzeża spod suwnic STS nr 1 i 2 przewożą kontenery do rzędów 5-8. Jeśli zaistnieje taka konieczność, pierwszy wolny samochód obsługuje najbliższy możliwy rząd placu składowego, który sąsiaduje z rzędem odgórnie mu przydzielonym. Czas przejazdu wszystkich pojazdów terminalowych jest w tym przypadku najkrótszy i wynosi 532,5 sek. (ok. 8,9 min). Z przeprowadzonych badań wynika, że właśnie taki wariant można by zastosować na terenie DCT Gdańsk, aby zoptymalizować czas rozładunku kontenerów ze statku.

W kolejnych badaniach należałoby przeprowadzić symulację dla większych potoków napływających z nabrzeża ładunków i sprawdzić tym samym, czy wybrany wariant ponownie okazałby się najlepszy. Ponadto warto byłoby także szczegółowo rozpatrzeć warianty użycia mniejszej liczby pojazdów, przy której zaburzone zostaje założenie o synchronicznej pracy suwnic nabrzeżnych.

Literatura

- Bartosiewicz A. (w druku), *Porównanie organizacji procesów rozładowczych na DCT Gdańsk i Euromax Rotterdam*.
- Chen L., Bostel N., Dejax P., Cai J., Xi L. (2007), *A tabu search algorithm for the integrated scheduling problem of container handling systems in a maritime terminal*, „European Journal of Operational Research”, Vol. 181.
- DCT Gdańsk (2013a), *Regulamin współpracy – Operacje bramowe*, http://dctgdansk.pl/upload/files/regulamin_wspolpracy_operacje_bramowe.pdf (dostęp: 6.10.2013).
- DCT Gdańsk (2013b), *Regulamin współpracy – Ruch samochodowy*, http://dctgdansk.pl/upload/files/regulamin_wspolpracy_ruch_samochodowy.pdf (dostęp: 6.10.2013).
- Kukuła K. (red.) (2004), *Badania operacyjne w przykładach i zadaniach*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Liebherr (2013), *Technical Description Ship To Shore Gantry Cranes*, [Liebherr_Ship_to_Shore_STS_Technical_Description_12469.pdf](http://liebherr.com/Ship_to_Shore_STS_Technical_Description_12469.pdf) (dostęp: 1.10.2013).
- Steenken D., Voss S., Stahlbock R. (2004), *Container terminal operation and operations research – a classification and literature review*, „OR Spectrum”, Vol. 26.

-
- Szpytko J., Hyla P. (2010), *Model funkcjonalny terminala kontenerowego ukierunkowany na środki transportu*, „Logistyka”, t. 2.
- Tarczyński G. (2013), *Wielokryterialna ocena procesu kompletacji towarów w magazynie*, „Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach”, nr 163.
- Urbanyi-Popiołek I. (2010), *Obsługa ładunków skonteneryzowanych. Wybrane zagadnienia*, Akademia Morska w Gdyni, Gdynia.
- Vis I.F.A., Koster R. de (2003), *Transshipment of containers at a container terminal: An overview*, „European Journal of Operational Research”, Vol. 147.

ROUTE PLANNING FOR CARGO TRANSPORT FROM THE QUAY TO THE YARD IN MARITIME CONTAINER TERMINAL IN GDAŃSK

Summary: In the article there is presented a problem of finding best routes for terminal tractors transporting containers from the quay to the yard. The paper also includes an analysis of how accurately transport units are selected for their job. The study covers the Deepwater Container Terminal DCT Gdańsk.

Keywords: route planning, DCT Gdańsk.