

PRZEMYSŁAW PASTUSZAK*, GRZEGORZ ZAJĄC**

ANALIZA EFEKTYWNOŚCI PORTOWYCH KONTENEROWYCH SYSTEMÓW PRZEŁADUNKOWYCH

THE ANALYSIS OF HARBOUR CONTAINER HANDLING SYSTEM EFFICIENCY

Streszczenie

W artykule przedstawiono krótki zarys historyczny rozwoju portów kontenerowych i statków do przewozu kontenerów. Omówiono podstawowe procesy zachodzące przy przeładunku kontenerów w portach kontenerowych. Przeanalizowano efektywność 15 najbardziej znaczących z punktu widzenia gospodarki globalnej portów kontenerowych zlokalizowanych w Azji, Europie i USA. Z przeprowadzonej analizy wynika, że systemy przeładunkowe oparte na suwnicach bramowych charakteryzujące się największą wydajnością pozwalają na efektywniejsze wykorzystanie powierzchni portów i pełną automatyzację procesu przeładunku.

Słowa kluczowe: port kontenerowy, efektywność, systemy przeładunkowe

Abstract

Short history of container ports and container ships development is shown in this paper. Furthermore basic processes taking place during container transshipment are presented. Effectiveness of fifteen most meaningful ports over the world is analyzed. The analysis shows that transshipment system based on Rail-mounted gantries offers best efficiency, allowing most effective use of space in ports and enabling full automatization of transshipment process.

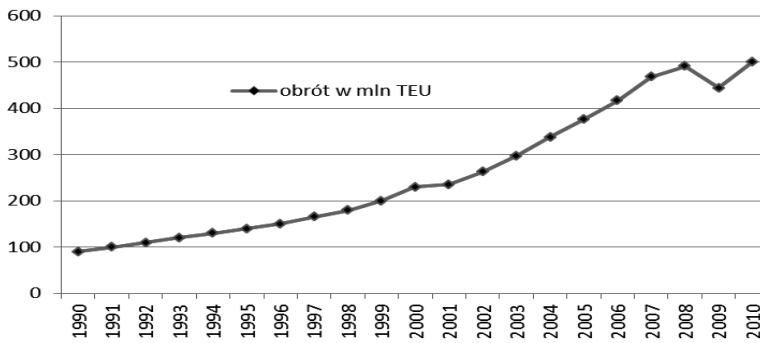
Keywords: container port, efficiency, handling systems

* Mgr inż. Przemysław Pastuszak, Instytut Konstrukcji Maszyn, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska.

** Dr inż. Grzegorz Zajac, Instytut Pojazdów Szynowych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Kontenery zaczęto wykorzystywać na większą skalę w połowie lat pięćdziesiątych, kiedy portowe prace przeładunkowe stawały się coraz bardziej czasochłonne i kosztochłonne. Wdrożona została wtedy koncepcja formowania dużych i jednolitych jednostek ładunkowych, która miała za zadanie przyspieszyć i uprościć prace przeładunkowe w porcie – tak powstał kontener. Dzięki swoim licznym zaletom bardzo szybko znalazł zastosowanie w wielu środkach transportu i gałęziach przemysłu. Od tamtego czasu transport kontenerowy ciągle wzrasta. Na rysunku 1 przedstawiono rozwój obrotów kontenerowych w latach 1990–2010. W 2010 roku zaobserwowano około pięciokrotny wzrost w stosunku do roku 1990, chwilowy spadek w roku 2009 spowodowany był światowym kryzysem finansowym.



Rys. 1. Rozwój obrotów kontenerowych na świecie w latach: 1990–2010 [1, 9]

Fig. 1. Development of world container turnover in the years: 1990–2010 [1, 9]

Wynikiem wzrostu transportu kontenerowego jest znaczne zwiększenie wielkości portów morskich i ładowności kontenerowców (rys. 2). Co za tym idzie, niezbędne jest zapewnienie szybkiego procesu przeładunku przy jednoczesnym zapewnieniu jakości i bezpieczeństwa. Nowoczesne porty kontenerowe, aby sprostać tym wymaganiom, wprowadzają zautomatyzowane systemy przeładunkowe.

Przykładem wzrostu ładowności kontenerowców może być największy obecnie statek tego typu – Emma Maersk, należący do duńskiego przedsiębiorstwa A.P. Moller – Maersk Group, który jest w stanie pomieścić 14770 TEU (*twenty-feet equivalent unit* – kontenerów dwudziestopopowych). Jednak jak już wcześniej wspomniano, notowany jest stały wzrost, zarówno przewozów kontenerowych, jak i wielkości kontenerowców (rys. 1, 2). Wspomniana firma podpisała kontrakt na wykonanie dziesięciu kontenerowców klasy Triple-E do roku 2015, które będą mieścić po 18 tys. TEU każdy. Oprócz tego mają się charakteryzować ekonomią skali, wydajnością oraz być przyjazne dla środowiska [6].

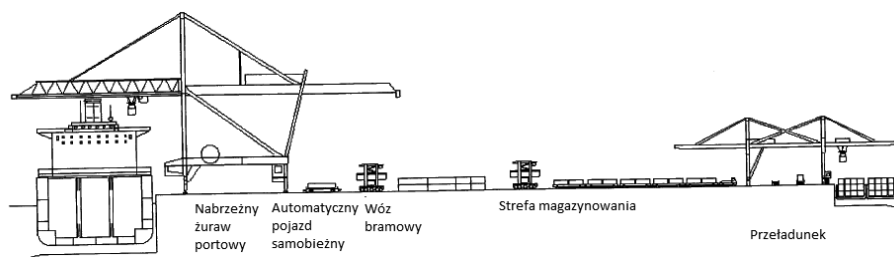


Rys. 2. Wzrost ładowności kontenerowców na przełomie lat: 1996 do 2013 [7]

Fig. 2. The increase of container capacity at the turn of years: 1996 to 2013 [7]

2. Procesy przeładunkowe w porcie kontenerowym

W terminalach kontenerowych kontenery są przeładowywane z jednego środka transportu na inny. Wewnątrz terminalu, do przeładunku kontenerów ze statku na barki, ciężarówki, pociągi i odwrotnie, używane są różne urządzenia. Kontenery mogą być bezpośrednio przeładowane z jednego środka transportu na drugi lub przez pewien okres składowane w porcie, w specjalnie do tego wyznaczonej strefie magazynowej.



Rys. 3. Proces rozładunku i załadunku statku [5]

Fig. 3. Process of unloading and loading a ship [5]

Proces ten może być rozłożony na poszczególne podprocesy. Gdy statek przybywa do portu, importowane kontenery należy rozładować. Odbywa się to dzięki nabrzeżnym żurawiom portowym (*Quay Cranes – QCs*). Następnie kontenery przenoszone są za pomocą specjalnych pojazdów do strefy magazynowania, gdzie w wytyczonych rzędach układane są w stopy. Poszczególne rzędy obsługiwane są przez systemy dźwigów lub wozów bramowych (*Straddle Carriers – SCs*), które mogą jednocześnie transportować kontenery i je składować. Możliwe jest także używanie wyspecjalizowanych pojazdów do transportu kontenerów. Gdy

pojazd przewożący kontener przyjeżdża do strefy magazynowania, może zostawić kontener w wyznaczonym miejscu lub zostać rozładowany przez pracujących w strefie magazynowania żuraw (*Automated Stacking Cranes – ASCs*). Następnie kontenery transportowane są do środków transportu takich jak barki, kontenerowce, ciężarówki czy pociągi. W przypadku eksportu kolejność jest odwrotna. Opisane procesy przedstawione są na rys. 3.

Porty kontenerowe różnią się między sobą układem, wielkością, funkcją, jednak składają się na ogół z takich samych podobszarów. Załadunek i rozładunek statku odbywa się dzięki nabrzeżnym żurawiom portowym. Zarówno kontenery importowane, jak i eksportowane znajdują się w strefie magazynowania. Osobno składowane są kontenery chłodnicze (ponieważ potrzebują energii elektrycznej), kontenery z materiałami niebezpiecznymi oraz kontenery puste. Lądowy obszar obsługi portu zapewnia łączność z zewnętrznym środkami transportu [4].

3. Urządzenia transportu bliskiego

W większości terminali kontenerowych używa się załogowych urządzeń transportu bliskiego. Niektóre są częściowo zautomatyzowane (port w Algeciras *semi-automated*), inne w pełni zautomatyzowane (port w Rotterdamie *fully-automated*). W pierwszym przypadku zautomatyzowany został proces składowania kontenerów w stopy (*Automated Stacking Cranes – ASCs*). Na rysunku 4 pokazano szynową suwnicę bramową działającą w systemie ASCs. Natomiast w drugim przypadku proces transportu kontenerów został zautomatyzowany zarówno w strefie magazynowania, jak i między żurawiami nabrzeżnymi a strefą magazynowania. Odbywa się to za pomocą pojazdów sterowanych automatycznie, bez bezpośredniego zaangażowania człowieka (*Automated Guided Vehicles – AGVs*). Należy jednak zaznaczyć, że w obu przypadkach nabrzeżne żurawie portowe dalej obsługiwane są przez człowieka [5]. Na rysunku 5 przedstawiono nabrzeżny żuraw portowy. Wybór systemu ma zasadniczy wpływ na wzrost efektywności i wielkość poniesionych kosztów. Zautomatyzowane systemy wprowadzane są w krajach, gdzie siła robocza jest droga.



Rys. 4. Szynowe suwnice bramowe
Fig. 4. Rail-mounted gantry (RMG)



Rys. 5. Nabrzeżny żuraw portowy
Fig. 5. Quay Crane

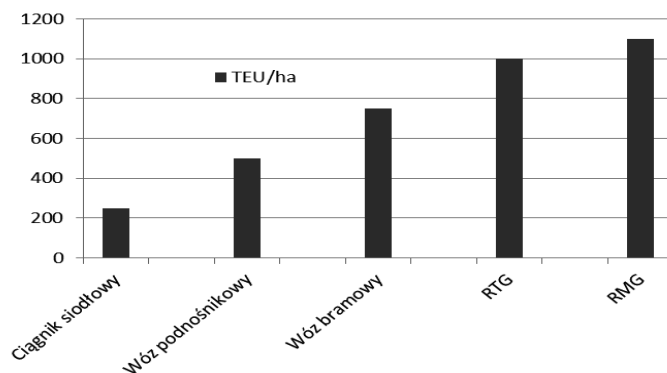
Różnego typu pojazdy mogą być używane do transportu kontenerów pomiędzy nabrzeżem a strefą magazynowania. Podobna sytuacja zachodzi przy transporcie kontenerów pomiędzy strefą magazynowania a zewnętrznymi środkami transportu. Najbardziej popularnym sposobem transportu są załogowe ciągniki siodłowe z kilkoma naczepami bądź zautomatyzowane pojazdy samobieżne (*Automated Guided Vehicles AGV*) lub samozaładowcze pojazdy samobieżne (*Automated Lifting Vehicles – ALVs*). Mimo swoich zalet pojazdy typu ALV (zdolność do samozaładunku, tym samym przyspieszenie procesu rozładunku/załadunku) niestety nie są na razie rozpowszechnione [10].



Rys. 6. Wozy bramowe

Fig. 6. Straddle carriers (SCs)

Na rysunku 7 przedstawiono dane porównawcze wydajności różnego typu urządzeń przeładunkowych pracujących w strefie magazynowania wyrażone w liczbie TEU, które mogą być składowane na jednym hektarze. Zaobserwowano, że najbardziej wydajna okazała się szynowa suwnica bramowa RMG (*rail-mounted gantry*) pracująca w systemie ASCs. Nieznacznie mniejszą wydajność ma suwnica RTG (*rubber tyred gantry*). Kolejne urządzenia pod względem wydajności charakteryzuje znaczna dysproporcja w stosunku do suwnicy bramowej RMG.



Rys. 7. Wydajność urządzeń przeładunkowych w porcie kontenerowym [10]

Fig. 7. Efficiency of handling systems in container port [10]

Dodatkowy rodzaj transportu to wozy składownicze (*reach stackers*). Zazwyczaj stosowane do transportu kontenerów na krótkich odległościach, tym samym rozpowszechnione w małych i średnich punktach przeładunkowych. Ich zaletami są mobilność i możliwość składowania kontenerów w stosy. Owe środki transportowe nie były brane pod uwagę przy analizie efektywności portów kontenerowych.

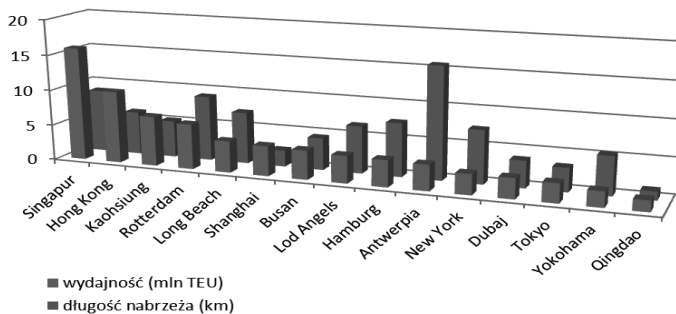
4. Wydajność portów kontenerowych

Porty kontenerowe są dostawcami usług dla linii żeglugowych i przedsiębiorstw zajmujących się transportem lądowym. Wydajność nie może być wyrażona jedną wartością, ponieważ musi stanowić odniesienie dla wielu odbiorców. Na Konferencji Narodów Zjednoczonych do spraw Handlu i Rozwoju (UNCTAD) w 1976 roku zasugerowano podział wskaźników efektywności portów kontenerowych na finansowe i operacyjne. Wśród wskaźników finansowych znalazły się między innymi: dochód pieniężny miejsca postoju statku na tonę ładunku, koszt siły roboczej czy koszty sprzętu na tonę ładunku. Natomiast wskaźniki operacyjne zostały podzielone na: opóźnienie statku, czas oczekiwania na wejście do portu, czas obsługi, liczbę zatrudnionych robotników potrzebnych do obsługi jednego statku, liczbę przeładowanych ton ze statku na godzinę.

Główne prace prowadzone w celu zwiększenia efektywności portów kontenerowych są prowadzone w kierunku:

- optymalnej długości nabrzeża (ilości miejsc postoju statków),
- wykorzystaniu nabrzeżnych żurawi portowych,
- czasu rozładunku kontenerowców,
- odpowiedniego rozmieszczenia ładunku na kontenerowcach,
- optymalizacji prac prowadzonych w strefie magazynowania [2].

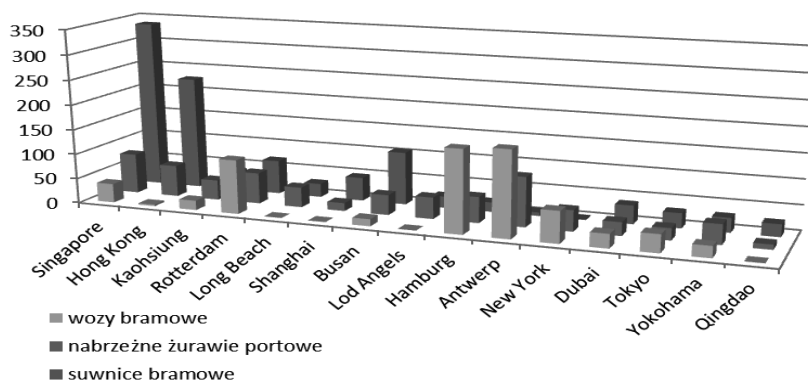
Do analizy wybrano dane dotyczące piętnastu największych portów leżących na głównych trasach morskich na świecie. Na rysunku 8 porównano wydajność w mln TEU do długości nabrzeża. Jak pokazano, długość nabrzeża ma znaczny wpływ na wzrost wydajności portów kontenerowych.



Rys. 8. Zestawienie wydajności w mln TEU i długości nabrzeża wybranych portów kontenerowych na świecie [2]

Fig. 8. Statement performance in million TEUs and length of the quay selected container ports in the world [2]

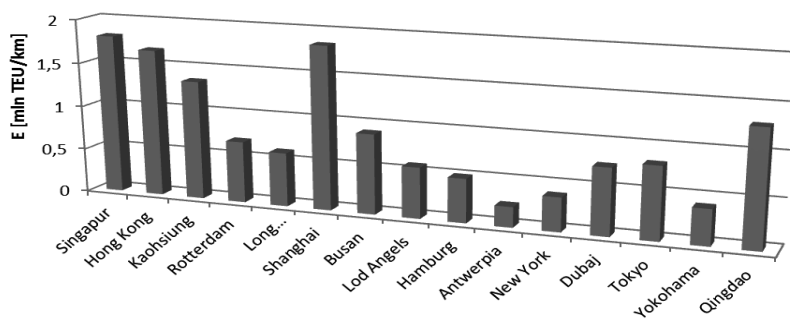
Następny wykres obrazuje liczbę wozów bramowych, nabrzeżnych żurawi portowych oraz suwnic w wybranych portach kontenerowych na świecie. Zaobserwowano, że porty które użytkują większą ilość urządzeń przeładunkowych są wydajniejsze, tym samym w większości przypadków czas obsługi statków jest krótszy.



Rys. 9. Ilość urządzeń przeładunkowych w wybranych portach kontenerowych na świecie [2]

Fig. 9. Number of handling facilities at selected container ports in the world [2]

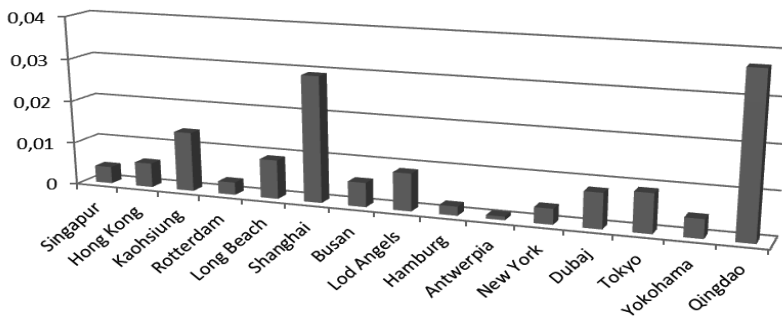
Następnie wprowadzono pomocniczy współczynnik efektywności E w celu lepszego zobrazowania wydajności wybranych portów kontenerowych (rys. 11).



Rys. 10. Wydajność wybranych portów kontenerowych wyrażona w mln TEU w stosunku do długości nabrzeża

Fig. 10. Efficiency of selected container ports, expressed in million TEUs in relation to the length of the quay

Kolejny wykres ilustruje stosunek efektywności E do ilości urządzeń przeładunkowych w porcie kontenerowym (rys. 11).



Rys. 11. Stosunek wydajności E do ilości urządzeń przeładunkowych w wybranych portach kontenerowych

Fig. 11. E-performance ratio to the amount of handling equipment in selected container ports

5. Wnioski

Obserwowany jest stały wzrost obrotów kontenerowych na świecie. W latach 2000–2001 w wyniku pogorszenia światowej koniunktury gospodarczej został on chwilowo spowolniony. Widoczny spadek odnotowano w roku 2009 podczas ogólnoswiatowego kryzysu gospodarczego, jednak wystarczył rok, aby obrót kontenerowy zaczął znowu wzrastać. Podobna tendencja utrzymuje się w rozwoju portów kontenerowych i kontenerowców. Statki nowej klasy nie tylko charakteryzują się skalą, ale także ekonomią i ekologią. Co za tym idzie, koszty transportu towarów między kontynentami maleją, a produktywność portów kontenerowych staje się bardzo ważnym elementem światowej gospodarki.

Podstawą do zwiększenia efektywności jest zrozumienie procesów zachodzących w porcie, dlatego też poszczególne operacje są bardzo szczegółowo analizowane. Kluczową rolę tutaj odgrywa zastosowanie technologii informacyjnych. Kolejnym aspektem jest położenie terminalu kontenerowego w łańcuchu dostaw. W dużym stopniu jest on zależny od zewnętrznych środków transportu.

Jednym ze sposobów zwiększenia efektywności portów kontenerowych jest ich zautomatyzowanie. Można jednak zauważyć, że następuje to tylko w krajach, gdzie siła robocza jest droga w stosunku do inwestycji, jakie muszą być poczynione na zakup nowych urządzeń. Przykład może stanowić nowoczesny port w Rotterdamie. Wydajność urządzeń pracujących w systemach AGVs lub ASCs jest znacznie wyższa od załogowych urządzeń przeładunkowych, jednak wymaga dużych nakładów finansowych.

Ograniczeniem przy zwiększaniu efektywności mogą się okazać czynniki naturalne. Obszar portów, wielkość cieśnin i kanałów morskich czy głębokość są limitowane. Przykładowo istnieją tylko dwa porty, na świecie, które są w stanie obsłużyć statki o zanurzeniu do 21 m, mianowicie Rotterdam i Singapur. Ponadto, wraz ze wzrostem wielkości maleją możliwości manewrowe statków.

Literatura

- [1] Bildarchiv-hamburg (<http://www.bildarchiv-hamburg.de>).
- [2] Cullinane K., Dong-Wook S., Wang T., *The Application of Mathematical Programming Approaches to Estimating Container Port Production Efficiency*, Journal of Productivity Analysis, 24, 2005, 73-92.
- [3] Daszkiewicz A., *Kontenery i konteneryzacja w transporcie morskim*, Wirtualny leksykon transportu i logistyki.
- [4] Günther H.O., Kap-Hwan Kim., *Container terminals and terminal operation*, Springer-Verlag 2006.
- [5] Iris F.A. Vis, Rene de Koster., *Transshipment of containers at a container terminal: An overview*, European Journal of Operational Research, 147 (2003), 1-16.
- [6] Moller A.P. – Maersk Group (<http://www.maersk.com>).
- [7] Next Big Future (<http://www.nextbigfuture.com>).
- [8] Steenken D, Voß S., Stahlbock R., *Container terminal operation and operations research – a classification and literature review*, OR Spectrum 26: 3–49, 2004.
- [9] The World Bank – Container port traffic (<http://www.worldbank.org>).
- [10] Vis I.F.A., Harika I., *Comparison of vehicle types at an automated container terminal*, OR Spectrum, 26, 2004, 117-143.