

Perspektywy i kierunki rozwoju automatyzacji terminali kontenerowych

Katarzyna Anna Kuźmicz 

Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania

e-mail: k.kuzmicz@pb.edu.pl

Monika Glinko

Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania

e-mail: monika.glinko@gmail.com

Anna Kondraciuk

Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania

e-mail: annakondraciuk97@gmail.com

Łukasz Kowalczuk

Politechnika Białostocka, Wydział Inżynierii Zarządzania

e-mail: ukasz.kowalczuk88@gmail.com

Streszczenie

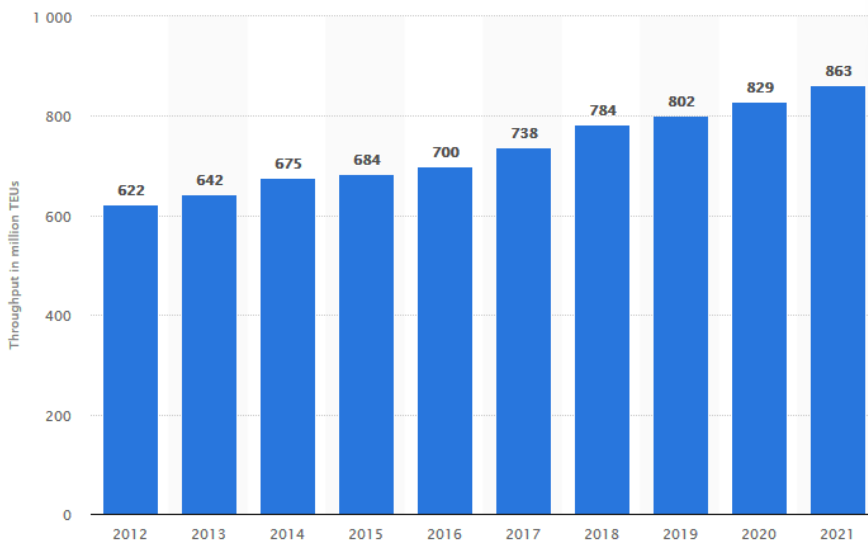
Celem artykułu jest przegląd literatury w zakresie automatyzacji terminali kontenerowych. Dynamiczny rozwój transportu intermodalnego i coraz większa liczba kontenerów w transporcie wymaga wprowadzania nowych rozwiązań technologicznych i organizacyjnych w celu zapewnienia sprawnej obsługi kontenerów. W artykule przedstawiono szerokie spektrum zastosowania automatyzacji w terminalach, w tym również wykorzystanie dronów. Omówiono również korzyści oraz bariery dotyczące automatyzacji.

Słowa kluczowe

terminal kontenerowy, automatyzacja, pojazd autonomiczny, bezałogowy statek powietrzny, dron

Wstęp

Transport kontenerowy odgrywa kluczową rolę w globalnych łańcuchach dostaw. Konteneryzacja zapewnia sprawny przepływ ładunków, a rozwój infrastruktury transportu intermodalnego i jego standaryzacja sprawiły, że proces przeładunku z jednego środka transportu do drugiego i operacje wykonywane wewnątrz terminali stały się szybkie i bezpieczne [Kuźmicz 2020, s. 136]. Z każdym rokiem skala transportu kontenerowego na świecie wyrażona liczbą TEU (twenty-foot equivalent unit – jednostka pojemności równoważna objętości kontenera o długości 20 stóp) się zwiększa (rys. 1). Pandemia Covid-19 z pewnością wpłynie na transport kontenerowy, jednak przewoźnicy i porty na świecie dołożyli wszelkich starań, by zakłócenia były jak najmniejsze i w większości praca portu odbywała się w normalnym trybie.



Rys. 1. Globalna przepustowość transportu kontenerowego 2012-2021

Źródło: <https://www.statista.com/statistics/913398/container-throughput-worldwide/>

Rozwój transportu kontenerowego stał się motorem do budowy coraz większych statków kontenerowych, co stanowi wyzwanie dla morskich terminali kontenerowych związane z koniecznością przeładowywania coraz większej liczby kontenerów w krótkim czasie. Wzrost przepływów towarów przez terminale może doprowadzić do sytuacji, w której stają się one wąskim gardłem w transporcie międzynarodowym [Kuźmicz i Pesch 2019, s. 3965]. Sposobem na radzenie sobie z tymi wyzwaniami

jest automatyzacja operacji wykonywanych w terminalach oraz zastosowanie zaawansowanych narzędzi prognozowania i optymalizacji procesów zachodzących w terminalach przeładunkowych [Masmoudi i in. 2020, s. 2; Kuźmicz i Pesch, 2020, s. 2; Kuźmicz i Pesch 2019, s. 194]. Dzięki automatyzacji terminale mogą zoptymalizować fizyczny przepływ ładunków, a także zwiększyć przejrzystość w łańcuchach dostaw [Szymczak i in., s. 760]. Istotnymi korzyściami z automatyzacji jest eliminacja błędów związanych z pracą człowieka, a także zwiększenie przewidywalności działania obiektu. W odpowiednich warunkach prowadzi to do ograniczenia wypadków na placu oraz w znaczącym stopniu zwiększa bezpieczeństwo personelu pracującego w terminalu.

W artykule dokonano przeglądu literatury dotyczącej najnowszych technologii związanych z automatyzacją terminali kontenerowych oraz przedstawiono przykłady zautomatyzowanych terminali kontenerowych na świecie.

1. Zakres automatyzacji w terminalach kontenerowych

Terminale kontenerowe, pracujące w systemie automatycznym, wykorzystują szereg różnych urządzeń do operacji, takich jak przemieszczanie kontenerów pomiędzy obszarami przeładunku i składowania, jak również do samego składowania. Najczęściej wykorzystywane są [Matczak, 2015, s. 73-74]:

- automatycznie sterowane pojazdy AGVs (*Automatic Guided Vehicles*),
- automatycznie sterowane pojazdy podnoszące ALVs (*Automated Lifting Vehicles*),
- automatyczne urządzenia dźwigowe ASCs (*Automated Stacking Cranes*) lub A-RMG (*Automated Rail Mounted Gantries*),
- automatyczne wozy podsiębierne AShC (*Automated Shuttle Carrier*).

AGVs, czyli automatycznie sterowane pojazdy, to jedno z najbardziej popularnych i najczęściej wykorzystywanych bezzałogowych środków transportu kontenerów w terminalach. Są to pojazdy, poruszające się po wyznaczonych trasach i służące do przemieszczania kontenerów pomiędzy nabrzeżem portowym, a placem składowym. AGVs sterowane są zdalnie poprzez system typu TOS (*Terminal Operating System*) [Kubowicz, 2019, s. 488; <https://www.nauticexpo.com/prod/konecranes/product-30447-509147.html>, 13.05.2020].

Pierwszy automatycznie sterowany pojazd został wprowadzony w 1950 roku przez amerykańską firmę *Barrett Electronics*. Początkowo pojazdy te były wykorzystywane w magazynach i zakładach produkcyjnych. Z upływem czasu zastosowanie AGVs rozszerzyło się. W latach dziewięćdziesiątych XX wieku pojazdy te

zaczęły być wykorzystywane do dużych operacji zewnętrznych w terminalach kontenerowych portów morskich, w których zauważono bardzo efektywną pracę tych urządzeń [Kemme, 2013, s. 27; <https://www.marineinsight.com/guidelines/an-insight-into-the-automated-guided-vehicle-agv-used-in-the-maritime-industry/>, 12.05.2020].

AGV może przewozić jednocześnie dwa kontenery 20-stopowe lub jeden kontener 40/45-stopowy. Pozycjonowanie kontenerów jest bardzo dokładne jak na ładunki o tak dużej masie i rozmiarach i wynosi +/- 5 centymetrów [Kemme, 2013, s. 27, Zhao i in., 2020, s. 61-62]. Długość AGV jest zależna od rodzaju zderzaka i wynosi około 14,8 metrów, szerokość pojazdu to 3 metry, natomiast wysokość sięga 1,7 metra. AGVs mogą poruszać się do przodu, do tyłu, bokiem, a nawet potrafią zawracać w miejscu. Maksymalna prędkość z jaką mogą się poruszać sięga 21,6 km/h, natomiast na zakrętach jest niższa i wynosi 10,8 km/h [Krośnicka, 2015, s. 5696-5697; Kaup i Chmielewska-Przybysz, 2012, s. 517].

Pojazdy AGVs poruszają się dzięki czujnikom, tak zwanym transponderom, umieszczonym pod powierzchnią placów manewrowych. W momencie, gdy AGV przekroczy transponder, jego bieżące położenie jest odczytywane i aktualizowane w systemie komputerowym [Kaup i Chmielewska-Przybysz, 2012, s. 517; Krośnicka, 2015, s. 5696-5697].

Pojazdy są też wyposażone między innymi w czujniki ultradźwiękowe i czujniki podczerwieni, które pozwalają wykrywać przeszkody znajdujące się w pobliżu pojazdów, a tym samym uniknąć kolizji [Zhao i in., 2020, s. 61-62; Kemme, 2013, s. 27].

W przypadku, gdy pojazd uderzy w przeszkodę, jego silnik zostaje natychmiast wyłączony. Ponadto, w celu unikania kolizji, sieć drogowa jest podzielona na kilka odcinków. Zanim AGV wyjedzie na dany segment trasy, odcinek ten jest wcześniej zgłaszany w celu „zarezerwowania” go wyłącznie dla danego AGV. Dzięki temu, żaden inny pojazd nie będzie miał dostępu do danego odcinka drogi w tym samym czasie [Kemme, 2013, s. 27].

AGVs mogą być napędzane silnikiem spalinowym, hybrydowym, a także zasilane akumulatorami (kwasowo-ołowiowymi lub litowo-jonowymi). Ten ostatni rodzaj napędu jest coraz częściej wykorzystywany, gdyż pojazdy zasilane w ten sposób charakteryzują się zwiększoną efektywnością ekologiczną i przynoszą szereg korzyści, wśród których można wyróżnić między innymi zmniejszenie emisji CO₂ w terminalu, niższy poziom hałasu, niższe zużycie energii oraz niższe koszty konserwacji [Zhao i in., 2020, s. 61-62; <https://www.konecranes.com/equipment/container-handling-equipment/automated-guided-vehicles>, 16.05.2020].

AGVs to pojazdy, które posiadają wiele zalet. Są one opłacalne i oszczędne czasowo, a także pozwalają na usprawnienie i zwiększenie efektywności procesów odbywających się w terminalach kontenerowych. Ponadto, ze względu na mniejszy ruch pracowników lub jego brak, częstotliwość wypadków z tym związanych jest zdecydowanie mniejsza [<https://www.marineinsight.com/guidelines/an-insight-into-the-automated-guided-vehicle-agv-used-in-the-maritime-industry/>, 12.05.2020].

W pełni zautomatyzowanych terminalach kontenerowych korzysta się również z AGV-L (Lift -AGV). Są to zautomatyzowane pojazdy samozaładowcze wyposażone w dwie platformy, umożliwiające samodzielne podnoszenie i umieszczanie kontenerów na regałach. Są zasilane akumulatorowo, co wpływa na większą wydajność pracy, niższy poziom hałasu, a przede wszystkim wyeliminowanie emisji CO₂. Mogą przewozić jednocześnie dwa kontenery 20 - stopowe lub jeden 40/45 - stopowy. Maksymalna ładowność tych pojazdów to 70 ton. AGV-L są wyposażone w czujniki, które pozwalają na dokładne pozycjonowanie kontenera. W przeciwieństwie do konwencjonalnych pojazdów AGVs, mogą samodzielnie załadować kontener i dzięki temu nie muszą czekać, aż czynność załadowania zostanie wykonana przez dodatkowe urządzenia. Wprowadzenie AGV-L do terminali kontenerowych pozwala na zmniejszenie floty pojazdów automatycznych nawet o 50%. Wśród korzyści można również wyróżnić krótsze przestoje oraz większą częstotliwość pracy [Krośnicka, 2015, s. 5696-5697; <https://www.konecranes.com/equipment/container-handling-equipment/automated-guided-vehicles/lift-agv>, 17.05.2020; Wiśnicki i in., 2017, s. 10].

Kolejnym typem urządzenia wykorzystywanym na terenie terminalu kontenerowego są ALVs, czyli automatycznie sterowane pojazdy podnoszące, które umożliwiają przeładunek na całym terenie terminalu. Są to samozaładowcze pojazdy samobieżne, które posiadają szereg zalet wśród których wyróżnia się przede wszystkim zdolność do samozaładunku, co wiąże się z szybszym procesem rozładunku lub załadunku. Prędkość z jaką ALV jedzie do miejsca przeznaczenia kontenera wynosi około 4 m/s, a jego rozładunek trwa zaledwie 30 sekund. Pojazdy te są sterowane w sposób automatyczny z centrum dyspozycyjno-kontrolnego [Pastuszek i Zajac, 2012, s. 217; Wiśnicki i Czarnecki, 2013, s. 235; Duinkerken i in., 2006, s. 477].

Warto również wspomnieć o zautomatyzowanych suwnicach bramowych natorowych zwanych ASCs lub A-RMG, które służą do układania kontenerów w stopy. Są ustawione prostopadle do nabrzeża i obsługują kontenery znajdujące się w odpowiednim sektorze placu składowego. Wielkość obsługiwanego terenu zależy od długości torów oraz szerokości suwnicy [<https://www.morethanshipping.com/automated-container-terminal/>, 15.05.2020, Kaup i Chmielewska-Przybysz, 2012, s. 517].

Wysokość ASC sięga zazwyczaj około 24 metrów, natomiast szerokość wynosi 33,5 metra. Ich zadaniem jest przenoszenie kontenerów i układanie ich w stopy. Najczęściej suwnice te obsługują stopy składające się z dziesięciu rzędów i sześciu warstw kontenerów. Innowacyjna technologia umożliwia działanie suwnicy bez żadnych operatorów. Jest to możliwe dzięki czujnikom optycznym umieszczonym na suwnicy, które są w stanie rozpoznawać kontenery oraz systemowi TOS. Ten kompletny system zapewnia ogromną poprawę wydajności terminalu, a także niezawodną obsługę kontenera. Bezzałogowe suwnice ASCs mogą ustawiać kontenery z dokładnością +/- 50 mm, dzięki układowi laserowego prowadzenia. Ze względu na to, że kontener może ważyć nawet 40 ton, a suwnica z kontenerem porusza się z prędkością około 5 m/s, można stwierdzić, że jest to bardzo precyzyjne urządzenie. Suwnice ASCs mogą przenosić kontenery 20 - stopowe oraz 40/45 - stopowe. Każda suwnica ma zazwyczaj ponad dwadzieścia trójfazowych silników (460 V), każdy z własnym napędem o zmiennej częstotliwości do zmiany prędkości w obu kierunkach. Czujniki na suwnicy ASC są montowane w celu wykrycia pozycji części ruchomych, ładunku oraz miejsca docelowego. Wśród nich wyróżnia się kodery i dalmierze laserowe. Pozycja suwnicy wzdłuż szyn jest ustalana za pomocą anteny, która odbiera sygnały z transponderów osadzonych w nawierzchni terminalu. Dzięki tym systemom, ASC może automatycznie układać kontenery na stosach, na podstawie instrukcji wydanych przez komputerowy system zarządzania terminalem. Suwnica ASC jest sterowana zdalnie, jednak w przypadku nieoczekiwanych warunków istnieje możliwość przełączenia na sterowanie ręczne. Szeroka gama systemów i kontroli jest niezwykle istotna w zapewnieniu bezpieczeństwa na terenie terminalu kontenerowego [<https://www.tmeic.com/Repository/Media/Large%20Container%20Handling%20Systems-5.pdf>, 15.05.2020, Józwiak i Fidos, 2015, s. 3888].

ASCs są zwykle stosowane w większych terminalach, w których przepustowość jest ważnym i kluczowym wskaźnikiem wydajności. W dłuższej perspektywie mogą być również opłacalnym rozwiązaniem dla terminali o średniej wielkości [<https://www.kalmarglobal.com/en-AU/automation/equipment-automation/asc-terminal/>, 17.05.2020].

Jeszcze innym rodzajem urządzenia automatycznego pracującego na terenie terminalu kontenerowego są wozy podsiębierne AShC. To urządzenia przeładunkowe wykorzystywane na placach składowych. Podobnie jak suwnice bramowe posiadają budowę opartą o konstrukcję bramy. W porównaniu do suwnic ASCs są jednak bardziej mobilne, gdyż mogą poruszać się po całym terenie terminalu. Dzięki temu, są w stanie bez pomocy innych urządzeń, obsłużyć kontener od momentu zestawienia go na ląd do momentu wydania go z terminalu [Kubowicz, 2019, s. 489]. Ze względu

na to, że mogą być wykorzystywane na różnych etapach pracy terminalu, są elastyczne, wydajne, a przy tym bezpieczne [<https://www.kalmarglobal.com/equipment-services/shuttle-carriers/autosshuttle/> 18.05.2020]. Poziom wykorzystania automatycznych wozów podsiębiernych jest więc niezwykle wysoki, co przyczynia się do zmniejszenia zapotrzebowania na dodatkowy sprzęt, a tym samym zaoszczędzenia środków, potrzebnych na ich zakup i utrzymanie. Mniejsza liczba pojazdów w terminalu prowadzi z kolei do niższego natężenia ruchu, krótszych przestojów i okresów oczekiwania na kontener [http://groundwater.uk.com/wp-content/uploads/2016/10/kalmar_shuttle_carrier_brochure.pdf, 18.05.2020]. Wozy podsiębierne AShC są kontrolowane przez system zarządzania ruchem TLS (*Terminal Logistics System*), który zajmuje się przydzielaniem zadań do poszczególnych urządzeń [Pirhonen, 2011, s. 44].

2. Zastosowanie dronów

Bardzo wnikliwy i szeroki przegląd zastosowań bezzałogowych statków powietrznych (dronów) w transporcie i związanych z tym problemów optymalizacyjnych opracowali Otto i in. 2019. Jednym z przykładów zastosowania dronów w porcie morskim są działania spółki „Hamburger Hafen und Logistik AG” (HHLA). Drony zostały wdrożone do regularnego monitorowania żurawi, suwnic kontenerowych w Terminalu kontenerowym Tollerort (CTT). Zdalnie sterowany dron sprawdza, czy konstrukcje do przetwarzania kontenerowców wykazują ślady zużycia w miejscach spawalniczych oraz w innych obszarach intensywnie użytkowanych. Automatycznie wyznaczający trasę dron wyposażony w aplikację, gromadzi dane, które system analizuje, dając dokładny obraz trudno dostępnych urządzeń portowych. Każdy lot kontrolny i gromadzone przez niego dane są przechowywane. Pozwala to na późniejszą rekonstrukcję starzenia się suwnic kontenerowych w czasie. Zaletą używania dronów jest to, że można w szybki sposób dotrzeć do trudno dostępnych miejsc, do inspekcji których zazwyczaj należało używać lin, drabin i specjalnych platform. Kontrolowane dźwigi nie muszą zatem wyłączać się na zbyt długi czas, co jest bardziej korzystne finansowo [<https://hhla.de/en/magazine/drones-at-the-hhla>, 15.05.2020].

Kolejnymi zastosowaniami dronów HHLA są loty do celów serwisowych wzdłuż fasad historycznego okręgu magazynowego Speicherstadt oraz inspekcje powierzchni transponderów pojazdów AGV w terminalu kontenerowym Altenwerder. Inżynierowie spółki HHLA w ramach projektu Unii Europejskiej z Politechniką Braunschweig są w fazie testowania automatycznego systemu monitorowania torów kolejowych dla suwnic magazynowych. Zautomatyzowane drony będą regularnie

sprawdzać, czy suwnice poruszają się na torach, czy działają nieprawidłowo w wyniku osiadania gruntu. Takie działanie jest niezbędne do zapewnienia działalności biznesowej w porcie. Kolejny nowy projekt dotyczy koncepcji drona, który latając może tworzyć wirtualne modele 3D budynków, urządzeń nabrzeżnych i suwnic kontenerowych. Oprogramowanie cyfrowo nakłada rzeczywisty obraz na zbudowany model i dzięki temu można wykryć wszelkie odchylenia w badanych obiektach [<https://hhla.de/en/magazine/drones-at-the-hhla> 15.05.2020].

Niemieccy operatorzy portowi są zobowiązani do przeprowadzania kontroli bezpieczeństwa w porcie zgodnie z krajową normą w zakresie społecznych ubezpieczeń wypadkowych i europejskimi dyrektywami w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy oraz użytkowania sprzętu roboczego. Stan metalowych konstrukcji jest szczególnie narażony z powodu wilgotnego środowiska. Około 43% wszystkich obszarów i punktów inspekcyjnych w portach jest często kontrolowanych przez wspinaczy przemysłowych, zaś pozostałe 57% jest przeprowadzanych przez personel portowy. Obie operacje wiążą się z pewnym ryzykiem niebezpieczeństwa i obciążeniem ekonomicznym pod względem kosztów zewnętrznych i wewnętrznych. Połączenie kontroli manualnej i bezzałogowej przynosi korzyści ekonomiczne i w zakresie bezpieczeństwa. Duża liczba punktów inspekcyjnych na każdej suwnicy bramowej wymaga opracowania ścisłego planu trasy, koordynacji pomiędzy pilotami dronów, a działem inspekcji portowych oraz modeli 3D suwnic. Podczas przeprowadzania bezzałogowych inspekcji w portach należy liczyć się z barierami. Na możliwość przeprowadzania inspekcji najbardziej wpływają system elektroniczny oraz warunki pogodowe. Opady deszczu stanowią realne zagrożenie dla systemu dronów, a także obniżają jakość obrazów kontrolnych. Wiatr zagraża procesowi inspekcji, ponieważ pozycjonowanie podczas lotu za pomocą systemu GPS może zostać utracone przez zakłócenia do jednostki sterującej. Istotnym aspektem, który należy również wziąć pod uwagę, jest częstotliwość pracy portu. Należy wówczas uwzględnić fakt, że kontrolowana suwnica będzie nieczynna w danym czasie. Należy pamiętać o przestrzeganiu przepisów dotyczących lotów bezzałogowych obowiązujących w danym kraju i ponieść koszty pozwoleń. Mimo barier związanych z kosztami wdrożenia bezzałogowych statków powietrznych i mogących występować przeciwności fizycznych ta innowacyjna technologia przyniesie portom morskim długofalowe korzyści ekonomiczne [Stein, 2018, s. 154-162].

Bezpieczną eksploatację dronów umożliwia zintegrowane centrum sterowania firmy HHLA Sky. Rozwiązanie umożliwia koordynację równoległej pracy ponad 100 dronów do wielu zadań. Przedsiębiorstwo oferuje sprzedaż takiego centrum sterowania wraz z licencją na oprogramowanie oraz wynajem centrum z pełnym zakresem usług wraz ze szkoleniami dla klientów, diagnostyką i konserwacją systemów.

Drony HHLA Sky nadają się do szerokiego zakresu zadań, dzięki odpowiednim adapterom, kamerom i narzędziom. Drony przemysłowe są wyjątkowo wytrzymałe i wyposażone w technologie bezpieczeństwa i cyberbezpieczeństwa [<https://hlla.de/en/customers/services/logistics/drone-operation>, 15.05.2020].

2.1. Drony do monitorowania terminali

Bezzałogowe statki powietrzne mogą być stosowane do monitorowania infrastruktury portowej. Mogą pomóc w nadzorze nad bezpieczeństwem obiektów takich jak magazyny, place, rurociągi, jak również monitorować przestrzeganie procedur bezpieczeństwa przez personel. Drony mogą być stosowane przy prowadzeniu różnych operacji, na przykład przy przemieszczaniu się ciągników terminalowych i wózków widłowych. Stan infrastruktury jest wówczas oceniany zdalnie z powietrza [https://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/about_us/logistics_insights/DHL_TrendReport_UAV.pdf, 16.05.2020]. Drony umożliwiają monitorowanie ruchu naziemnego i morskiego oraz zapewniają świadomość sytuacyjną na obszarach poza linią brzegową do celów bezpiecznej nawigacji statków [<https://www.airoboticsdrones.com/sea-ports/>, 16.05.2020]. Dzięki dronom możliwe jest także monitorowanie objętości składowanych na zewnątrz materiałów sypkich. Drony pozwalają kontrolować procesy przebiegające w całym porcie morskim. Jest to swoista innowacyjna pomoc w prowadzeniu biznesu [<https://www.airoboticsdrones.com/sea-ports/>, 16.05.2020].

Jednym z ważnych obszarów wykorzystania dronów jest szybkie reagowanie w razie katastrofy, na przykład w przypadku pożaru lub powodzi, drony udostępniają zdjęcia i filmy, aby móc sprawnie i bezpiecznie uchwycić sytuację [The port ..., 2020, s. 17]. Wysyłanie dronów na żądanie w sytuacjach zagrożenia pozwala na szybkie działanie. Dobrym przykładem sposobu reagowania na sytuacje awaryjne jest opracowana przez firmę Airobotics platforma, która gromadzi nieograniczoną liczbę danych lotniczych, zapewnia podgląd na obserwowaną przestrzeń w czasie rzeczywistym funkcjonariuszom ochrony i służbom ratowniczym. Rejestracja danych może odbywać się w dzień, jak i w nocy w podczernieni. Powyższe rozwiązania mogą przyczynić się do podejmowania świadomych i precyzyjnych decyzji w przypadku awarii lub rutynowych patroli [<https://www.airoboticsdrones.com/applications/security-and-emergency-response/>, 16.05.2020].

2.2. Drony do monitorowania ścian nabrzeża i osadów Łaby

Zarząd Portu w Hamburgu pomyślnie wykorzystuje bezzałogowe statki powietrzne do inspekcji budynków i murów nabrzeżnych w porcie. Na przykład statki powietrzne zostały użyte do sprawdzania, czy most Köhlbrand na rzece Łabie, który łączy różne części portu, nie jest uszkodzony pod kątem pęknięć [Port of Hamburg Magazine, 2019, s.16]. W kwietniu 2019 r. do testów wykonanych przez naukowców użyto dwa drony, które wyleciały jednocześnie, leciały wzdłuż i pod konstrukcją mostu według ustalonej trasy. Bezzałogowe statki powietrzne zostały wyposażone w technologię telemetryczną i komunikacyjną, która pozwoliła im określić ich lokalizację, a także udostępnić informacje między dronami, a naziemną stacją kontroli. Drony musiały ze sobą współpracować, być dostatecznie blisko, lecz w bezpiecznej odległości. Test został pomyślnie zakończony, ponieważ drony prawidłowo wykryły pęknięcia w moście. Testy tego typu będą nadal kontynuowane, aby nadal rozwijać tę technologię, żeby w przyszłości drony mogły zostać bezpiecznie połączone do ruchu lotniczego nad obszarami miejskimi [<https://innovationorigins.com/dlr-tests-atm-system-for-drones/>, 16.05.2020].

Kontrolowanie głębokości Łaby i basenu portowego jest niezbędne do bezpiecznego funkcjonowania portu morskiego w Hamburgu. Osady w korycie rzeki nieustannie się zmieniają z powodu prądów i pływów rzecznych. Do tego celu obecnie rozmieszczone są tradycyjne statki badawcze. W celu usprawnienia badań Władze Portu w Hamburgu przetestowały w trudnych warunkach dwie wersje wysokowydajnych wodnych systemów pomiarowych. Drony wodne podczas testu były monitorowane z brzegu z powodu zachowania bezpieczeństwa. Pierwszy z nich to bezzałogowy pojazd powierzchniowy (USV), który jest zdalnie sterowany i działa na podstawie poleceń użytkownika. Ich zdolność do samodzielnego podejmowania decyzji jest ograniczona. Drugim systemem pomiarowym jest autonomiczny pojazd powierzchniowy (ASV), który jest zdolny do samodzielnej oceny otoczenia na podstawie zamontowanych czujników. Dron podejmuje decyzje automatycznie dzięki algorytmom analizy sytuacji i zapobiegania kolizjom. Systemy ASV mogą być w przyszłości dobrym narzędziem do standardowych i powtarzalnych zadań. Obecnie przeszkodą we wdrożeniu tego typu rozwiązań są przepisy prawne. Przykładowo, nie jest ustalone prawnie, kto jest odpowiedzialny za kolizję, gdyby dron zderzyłby się ze statkiem. Pomimo obiecujących wyników testu, nie jest określone, czy i kiedy powyższe rozwiązania zostaną wdrożone w Porcie w Hamburgu [<https://www.hamburg-port-authority.de/en/themenseiten/autonomous-measurement-systems/>, 17.05.2020]. W przyszłości do monitorowania ścian nabrzeża i osadów Łaby przewiduje się wykorzystywanie podwodnych dronów [Port of Hamburg ..., 2019, s. 16].

2.3. Drony do transportu dokumentów i ładunków

Drony są szybkim sposobem na transport ładunków i dokumentów w porcie. Urządzenia mogą chwycić ładunek i dostarczyć go do odbiorcy, na przykład drony firmy Amazon mogą posiadać wodoodporny kontener na przesyłki, tak jak skonstruowane są paczkoptery firmy DHL. Drony sterowane w trybie automatycznym wykorzystują nawigację GPS oraz wcześniej zaplanowane trasy do samoczynnego wykonania lotu z ładunkiem. W trybie automatycznym operator może zdalnie zmienić trasę kursu. W przypadku problemu z kontrolą nad dronem, włączany jest tryb automatyczny i statek powietrzny wraca do punktu początkowego. Z kolei, gdy kontrola lotu za pomocą GPS jest niemożliwa, uruchamia się system nawigacji, który wykorzystuje wskazania czujników żyroskopowych i czujników ciśnienia, co przyczynia się do powrotu urządzenia do miejsca startu. Obecnie przeloty platform powietrznych stanowią zagrożenie dla życia i zdrowia ludzi będących w ich pobliżu. Istnieje ryzyko upadku na ludzi, zranienia ciała, kolizji z innymi obiektami. Dlatego trasa dronów powinna być odpowiednio kontrolowana w czasie rzeczywistym. Wykorzystanie dronów do transportu ładunków i dokumentów wymaga od producentów zapewnienia najwyższego poziomu bezpieczeństwa, udoskonalania oprogramowania, aby latające pojazdy były całkowicie bezkolizyjne i omijały przeszkody. Drony wraz z przesyłką powinny być odporne na czynniki atmosferyczne. Wadą latających robotów jest zasięg ich działania, wynikający z pojemności elektrycznej baterii, ciężaru pojazdu oraz ciężaru przewożonego ładunku. Dron Md4-1000, którego średni czas latania wynosi 45 minut, może przewozić ładunki o wadze 1,2 kg. Dron firmy Microdrones GmbH-3000 również o średnim czasie latania 45 minut jest w stanie przewieźć ładunek do 3 kg. Oba drony wykonane są z lekkiego włókna węglowego. W przyszłości należy dążyć do udoskonalenia metod zasilania dronów o większej pojemności baterii lub opracować alternatywne źródło zasilania, na przykład ogniwa paliwowe [Berner i Chojnacki, 2016, s. 233-235].

3. Automatyzacja obsługi kierowców

Są to systemy które mają na celu standaryzację, przyspieszenie i ułatwienie procesu przyjęcia samochodu transportowego do terminalu i przyspieszenia obsługi kierowcy oraz dokumentacji. Posługując się kamerami i sygnalizacją mogą znacząco przyspieszyć całą procedurę.

Przyjęcie i rejestracja pojazdu w celu rozładunku i załadunku jest kluczowym elementem pracy terminalu. Podczas tej procedury następuje kilka powtarzalnych

transakcji, co pozwoliło na to, by był jednym z pierwszych zautomatyzowanych procesów [https://porteconomicsmanagement.org/?page_id=969, 22.05.2020].

Pierwszym elementem systemu są urządzenia identyfikujące kierowcę. Są to najczęściej czytniki kart identyfikacyjnych, dzięki nim system wie, czy dany kierowca ma wstęp na terminal. Jeżeli identyfikacja przebiegnie pomyślnie otwierana jest zaporą, która pozwala na dalszy przejazd.

Następnie pojazd przejeżdża przez skanery pozwalające na identyfikację ciężarówki, kontenera oraz określenie ich stanu. Tymi elementami najczęściej są kamery identyfikujące tablice rejestracyjne pojazdu i bramy wykonujące panoramiczne zdjęcia ciężarówki i ładunku. Pierwszy pozwala na identyfikację pojazdu, niekiedy występuje również w dalszych częściach terminalu po to, by ułatwić systemowi pokierowanie danego ładunku we właściwe miejsce. Brama służy do wykonywania zdjęć stanu ładunku oraz identyfikowania kodów znajdujących się na kontenerach. Wykonują one panoramiczne zdjęcia prawej, lewej i często górnej części przejeżdżającego pojazdu. Ten element jest również wykorzystywany do robienia fotografii kontenerom na bocznicach kolejowych przy terminalach. Do identyfikacji kontenerów niekiedy jest również stosowany czytnik RFID. Do ochrony tych grup czytników przed negatywnym wpływem pogody stosuje się wiaty. Tego typu proste rozwiązania gwarantuje również lepszą jakość wykonywanych zdjęć i skanów a co za tym idzie ogranicza błędy systemu [http://www.intermodal-terminals.eu/content/e2/e299/inhalte309/5AGORA_2010-11-09-CamcoPresentationCombinantIFB_eng.pdf, 22.05.2020].

Często stosowanym elementem jest również system świateł, który pozwala na pokierowanie pojazdu do odpowiedniego miejsca oczekiwania i wyładunku. Ten element może również ułatwiać pracę terminalu. Ciężarówka parkuje w odpowiednio oznaczonym miejscu, a oznaczenia te mogą ułatwić pracę automatycznych maszyn przeładunkowych.

Podczas rozładunku ciężarówki, kierowca jest proszony o opuszczenie pojazdu dla jego bezpieczeństwa. Przy zastosowaniu automatycznych maszyn przeładunkowych można wykorzystać system, w którym kierowca kieruje się do odpowiedniej wiaty, gdzie wykorzystując swoją kartę identyfikacyjną rozpoczyna proces rozładunku. Ta czynność daje pewność systemowi, że kierowcy są w bezpiecznej odległości od maszyn, co zapewnia im bezpieczeństwo [https://www.porttechnology.org/news/friday_focus_automated_gates_at_apm_terminals_gothenburg/, 22.05.2020].

Te systemy dla przewoźników pozwalają na zmniejszenie czasu ich obsługi w terminalu oraz zwiększenie przewidywalności czasu spędzonego w terminalu. Pozwala to na lepsze, bardziej optymalne i bardziej pewne planowanie transportu.

Dla terminalu automatyzacja obsługi przyjęć kierowców pozwala na ograniczenie personelu obsługującego bramy. Pozwala na zwiększony nadzór i kontrolę nad przepływem ruchu przez bramy. Automatyzacja przyjęć pozwala na zbieranie bardziej precyzyjnych danych o przepływie ciężarówek przez terminal. Automatyzacja pozwala na ograniczenie powierzchni, jaką zajmuje brama wjazdowa przy jednoczesnym zwiększeniu przepływów przez nią. Pod tym względem automatyzacja terminalu oznacza sytuację win-win dla przewoźników i centrów logistycznych [http://www.intermodal-terminals.eu/content/e2/e299/inhalte309/5AGORA_2010-11-09-CamcoPresentationCombinantIFB_eng.pdf, 22.05.2020].

4. Automatyczne czujniki i śledzenie sprzętu i kontenerów

Tego typu technologie pozwalają na większy nadzór oraz lepszą integrację różnych operacji wykonywanych w terminalach. Umożliwiają dokładną i aktualną lokalizację statków, sprzętu, dźwigów czy kontenerów w terminalach. Te systemy pozwalają również na lokalizację ładunków i środków transportu na całym świecie, ale gęstsza lokalizacja infrastruktury czujników pozwala na zdecydowanie bardziej dokładną lokalizację na terenie terminalu.

Jedną z głównych zalet tego systemu jest aktualne informowanie osób zajmujących się obsługą kontenerów o lokalizacji ładunków i sprzętu. Na tej podstawie system może na bieżąco tworzyć instrukcję dotyczącą kolejnych kroków wymaganych w procesie. Ogranicza to pomyłki osób, które muszą uczestniczyć w obsłudze terminalu. Niweluje on również pomyłki związane z ręcznym wprowadzaniem danych dotyczących lokalizacji i wykonywanych zadań [<http://www.portautomation.com/solutions/gps-tracking/g-pos/>, 22.05.2020].

Szczegółowe dane dotyczące procesu pozwalają na znacznie dokładniejszą analizę działania terminalu. Dzięki tym informacjom można znacznie precyzyjniej planować strategię działania. Łatwiej jest zidentyfikować wąskie gardła, problemy czy wypadki. Ta technologia pozwala również na dokładniejszą kontrolę nad wykorzystywanym sprzętem, a co za tym idzie znacznie szybszym składowaniem lub odbieraniem kontenerów [https://porteconomicsmanagement.org/?page_id=969, 22.05.2020].

Smart shipping containers jest to technologia, która wykracza poza samo śledzenie ładunków. Kontenery wyposaża się w znaczniki GPS oraz RFID, jak również są zaopatrzone w całą serię czujników pozwalających na stały monitoring ładunków. Dzięki tym technologiom zdecydowanie łatwiejszy jest proces rejestracji przychodzących kontenerów.

Wykorzystując bramki i technologie identyfikacji za pomocą fal radiowych nadzór nad ładunkami przychodzącymi i odchodzącymi jest ułatwiony. Kontener po przekroczeniu czujnika RFID jest rejestrowany w systemie, co ogranicza czas i błędy związane z ręczną ewidencją. Dzięki tym systemom możliwy jest również automatyczny przesył dokumentów. Jest to szczególnie ważne w procedurach celnych [<https://www.theautomationengineer.com/markets-sectors/port-automation-container-ports/>, 22.05.2020].

Kontenery są wyposażone również w chipy, które podają dane dotyczące lokalizacji, czasu, ruchu, fluktuacji temperatury. Mogą posiadać również czujnik wykrywający niechciane ingerencje w ładunek. System może informować o nieautoryzowanym wywozie kontenera oraz o próbach usunięcia czujnika. Możliwe jest również automatyczne informowanie o kontenerach, które przekroczyły określony czas składowania w terminalu [<https://www.avantetech.com/products/shipping/yard-monitoring/>, 22.05.2020].

5. Integracja automatycznych technologii od statku do bramy

Jednym z kluczowych aspektów automatyzacji terminali jest integracja sprzętu i wszystkich systemów. Operacje oparte na wielu różnych, niezintegrowanych technologiach mogą prowadzić do zamętu szczególnie, że przepływ towarów przez terminale oraz rozmiary statków rosną. W związku z tym terminale muszą obsługiwać statki o większych ładunkach, ale rzadziej. W tego typu realiach optymalizacja procesów związanych z obsługą kontenerów ma kluczowe znaczenie. Integracja i automatyzacja muszą iść ramię w ramię.

Kluczowym elementem, który pomaga w integracji automatycznych technologii jest podjęcie odpowiednich decyzji w fazie planowania projektu. Wykorzystywanie gotowych technologii do usprawnienia działania terminalu jest bardzo trudne. W większości przypadków systemy i technologie należy dostosować do wymogów konkretnego przypadku. Tego typu przedsięwzięcia, oprócz kosztów samych technologii i ich implementacji, wymagają również dużych nakładów na projekty informatyczne scalające poszczególne systemy.

Utrudnieniem jest również konieczność współpracy wielu sprzedawców przy wprowadzeniu nowego systemu. Poszczególne jednostki uczestniczące w procesie integracji wielu technologii muszą wiedzieć, jaki będzie efekt końcowy i jak będzie on działał. To oznacza, że przy pracy nad zintegrowanym systemem, może się zdarzyć, że konkurencyjne jednostki będą zmuszone do współpracy.

Pomimo trudności w implementacji, koncepcja obejmująca wszystkie procesy terminalu jest bardzo atrakcyjna. Wymaga ona eliminacji, nieprzewidywalnych i ryzykownych elementów z procesu. Konieczność efektywnej lokalizacji jednostek ładunkowych wymaga dokładnych danych, a błędy człowieka mogą być znaczącym utrudnieniem w takiej sytuacji. Ręczna obsługa dźwigów, podnośników i innych urządzeń, stwarza większe ryzyko błędów, co jest niedopuszczalne w coraz bardziej dynamicznych terminalach. Manualna obsługa przy bramach przychodzących transportów może często być wąskim gardłem w procesie. Jest to spowodowane ilością procedur wymaganych podczas przyjęcia towaru. Dzięki automatyzacji może być ona przeprowadzona znacznie szybciej, efektywniej oraz infrastruktura potrzebna w tym procesie może zajmować znacznie mniejszą powierzchnię. Dzięki temu ciężarówki mogą znacznie płynniej przywozić lub odbierać kontenery. Poprawna integracja tych wszystkich technologii może pozwolić na znacznie płynniejszą i bardziej przewidywalną obsługę terminalu.

Ciekawą funkcją nowoczesnych, zintegrowanych systemów jest możliwość symulacji działania terminalu. Pozwala ona na przeprowadzenie analiz na wielu różnych opcjach operacyjnych, planach zarządzania, czy nieprzewidzianych zdarzeniach. Symulacje mogą przedstawić opcje rozwiązania problemów związanych z niepewnością w przybyciu statków. Mogą pokazać skutki tych zdarzeń na pojemność pól składowych i infrastruktury terminalu. To daje zdecydowanie więcej czasu decydom na podjęcie odpowiednich przygotowań z tym związanych. Dzięki temu można podejmować decyzje na podstawie znacznie większej liczby dostępnych informacji. Umożliwia to również dokładne dostrojenie procesu do wymogów oraz jego optymalizację [<https://www.pema.org/wp-content/uploads/downloads/2016/06/PEMA-IP12-Container-Terminal-Automation.pdf>, 22.05.2020].

System organizujący pracę terminalu zajmuje się planowaniem obsługi statków, organizacją konserwacji kontenerów, tworzeniem planów pracy, obsługą składowania kontenerów i obsługą bram. Główną zaletą pracy z tym systemem jest jego przewidywalność, pracownicy mogą popełniać błędy lub improwizować co prowadzi do opóźnień. Zautomatyzowane maszyny działające w jednym systemie, mają tę zaletę, że bardzo łatwo mogą się ze sobą komunikować. Oznacza to zmniejszenie ryzyka różnych wypadków.

Te systemy pozwalają przenieść personel z niebezpiecznego placu do centrów sterowania terminalem. Dotyczy to szczególnie pracowników działających na wysokościach. Automatyzacja pozwala na znaczące ograniczenie niebezpieczeństwa wypadków [<https://new.abb.com/marine/generations/technology/automated-container-terminals-are-taking-off>, 22.05.2020].

W związku z tym integracja systemów w zautomatyzowanym terminalu jest dużym wyzwaniem. Jednak to przedsięwzięcie może znacząco ułatwić jego operacje oraz zaoferować wiele udogodnień.

6. Przykłady automatycznych terminali kontenerowych

Porty na świecie obserwują rozwój swoich partnerów i konkurentów w zakresie stosowanych technologii oraz w sposób formalny lub nieformalny dokonują benchmarkingu stosowanych rozwiązań i adaptują te rozwiązania do swoich warunków [Kuźmicz, 2015, s. 491; Nazarko et al., 2007; Vought et al., 2008]. Yangshan Deep Water Port, znajdujący się w porcie w Szanghaju, to największy zautomatyzowany port na świecie. Jest on kluczowym elementem Inicjatywy Pasa i Szlaku. Ma możliwość obsługi największych statków kontenerowych. Jest on obsługiwany przez 130 automatycznych pojazdów elektrycznych, które transportują kontenery w miejscach do których dźwigi nie mają dostępu. Jest on wyposażony w serie, różnych typów, dźwigów szynowych, które pozwalają na bardzo gęste składowanie kontenerów, jednocześnie minimalizując konieczność transportu w poziomie. Ruch ciężarówek został zorganizowany w sposób jednokierunkowy, co ogranicza kongestię w porcie. Ruch ciężarówek przechodzi przez bramy między którymi są zlokalizowane strefy buforowe po to, by móc obsłużyć zmienną liczbę ładunków. Port jest zarządzany przez System Operacyjny Terminalu (Terminal Operation System – TOS). Pozwala on na tworzenie prognoz działania, obsługuje dokumentację związaną z działaniem portu, zarządza operacjami w czasie rzeczywistym oraz jest zdolny do monitoringu i strojenia procesów do potrzeb [Luo, 2019, s. 459-461].

Maasvlakte 2 jest terminalem kontenerowym w porcie w Rotterdamie. Jest to kontynuacja projektu Maasvlakte 1 który prace rozpoczęły się w latach 60 ubiegłego wieku. W tamtym okresie zakładano, że infrastruktura będzie używana głównie do obsługi masowców i tankowców. Jednym z celów drugiego etapu projektu jest dostosowanie akwenów do wymagań kontenerowców. Na stanie terminalu znajduje się [Krośnicka, 2014, s. 143]:

- 12 suwnic półautomatycznych do obsługi statków oceanicznych oraz 4 do obsługi barek i feederów;
- 96 wozów automatycznych, sterowanych laserowo, do transportu kontenerów na linii nabrzeże – bloki składowe;
- 58 szynowych suwnic automatycznych do obsługi bloków składowych;
- 2 suwnice kolejowe;
- 12 zautomatyzowanych bram do obsługi samochodów trasowych.

Victoria International Container Terminal, znajdujący się w porcie w Melbourne, jest pierwszym australijskim w pełni zautomatyzowanym terminalem kontenerowym. Port wykorzystuje pięć suwnic do obsługi kontenerowców. Są one operowane przez personel oddalony o 1,2 kilometra. Wykorzystuje się do tego połączenie światłowodowe. Do transportu kontenerów między nabrzeżem, a blokami składowymi wykorzystywane są automatyczne wozy kontenerowe napędzane silnikiem diesla. Kierują się one wykorzystując magnesy zamontowane w podłożu placu. Do obsługi bloków składowych wykorzystywane jest 20 automatycznych urządzeń dźwigowych. Dźwigi są zdolne również do automatycznej rejestracji wagi kontenerów. Wszystkie te systemy zdolne są do komunikacji między sobą w celu optymalizacji działania terminalu [<https://www.vict.com.au/about-us/our-technology/#articlestart>, 22.05.2020].

Spółka „Hamburger Hafen und Logistik AG” (HHLA) jako największy operator terminali kontenerowych w porcie w Hamburgu zajmuje się testowaniem i wdrażaniem nowoczesnych rozwiązań logistycznych. Razem z Centrum Logistyki Morskiej Instytutu Fraunhofera trwają prace nad projektem bezzałogowych statków powietrznych (UAV) do transportu pustych kontenerów między terminalami. Studium wykonalności Instytutu pokazuje, że latające drony mają być technicznie wykonalne w dającej się przewidzieć przyszłości. Drony znacząco usprawnią funkcjonowanie terminalu. Spółka HHLA w swoich rozwiązaniach ma bazować w 100% z odnawialnych źródeł energii [<https://intermodalnews.pl/2019/09/20/drony-pojazdy-baterie-i-hyperloop-innowacje-terminali-w-hamburgu/>, 09.05.2020].

Spółki Hamburger Hafen und Logistik AG (HHLA) i Hyperloop Transportation Technologies (HTT) opracowują technologię hiperpętli do transportu kontenerów i ludzi. Za pomocą technologii lewitacji magnetycznej stosowane kapsuły transportowe będą wysyłane przez tunel, w którym występuje częściowa próżnia powietrza. Kapsuły mają przekraczać prędkość 1000 km/h i będą transportowane przez ląd i morze [<https://www.hafen-hamburg.de/en/news/hhla-and-hyperloop-transportation-technologies-establish-joint-venture---36101>, 18.05.2020]. Obecnie trwają prace nad koncepcją prototypu hiperpętli. Projekt ma obejmować również stworzenie punktu przeładunkowego do celów testowych w terminalu kontenerowym HHLA Altenwerder (CTA) [Port of Hamburg magazine, 2020, s. 26]. Ten przyszłościowy, bardzo szybki środek transportu ma przyczynić się do odciążenia dotychczasowej infrastruktury transportowej. Hiperpętla ma być bezpiecznym środkiem transportu kontenerów, ponieważ nie będą im zagrażać czynniki zewnętrzne. Co więcej, transport będzie energooszczędny, ponieważ przy osiągnięciu pewnej prędkości zużycie energii będzie zerowe, a dodatkowo będzie następował odzysk energii z hamowania. Nowa technologia ma być w przyszłości sprzedawana w logistyce

portowej i transportowej na całym świecie [<https://hhla.de/unternehmen/innovation/zukunftsweisend-und-digital/hyperloop>, 18.05.2020].

Podsumowanie

Celem artykułu był przegląd literatury dotyczącej automatyzacji terminali kontenerowych oraz przedstawienie zautomatyzowanych terminali na świecie. Zwiększająca się przepustowość transportu kontenerowego świadczy o rosnącej popularności kontenerów i ich częstszym zastosowaniu w transporcie intermodalnym. W związku z tym, wprowadzenie zautomatyzowanych rozwiązań do terminali kontenerowych pozwoli na ich szybszą pracę i efektywniejszą obsługę terminali, a tym samym umożliwi wyeliminowanie potencjalnych wąskich gardeł w transporcie międzynarodowym.

Wśród rozwiązań wdrażanych do terminali przeładunkowych wyróżnia się między innymi automatycznie sterowane pojazdy, drony, automatyzację obsługi kierowców, automatyczne czujniki, a także integrację wdrażanych technologii. Automatycznie sterowane pojazdy i urządzenia umożliwiają szybsze przemieszczanie kontenerów na terenie terminali oraz pozwalają usprawnić procesy składowania. Są wydajne, oszczędne czasowo, dlatego też usprawniają i zwiększają efektywność procesów odbywających się w terminalach. Ponadto, ze względu na wyeliminowanie bezpośredniego udziału pracowników do obsługi takich urządzeń, zmniejsza się liczba wypadków, a tym samym zwiększa się bezpieczeństwo pracy terminalu. Kolejnym rozwiązaniem jest wykorzystywanie bezzałogowych statków powietrznych. Zastosowanie dronów jest bardzo szerokie. Służą między innymi do monitorowania terminali, monitorowania ścian nabrzeża i osadów czy też do transportu dokumentów i ładunków. Zaletą wykorzystywania dronów jest szybkie dotarcie do miejsc docelowych w tym trudnodostępnych. Do wad tego rodzaju rozwiązań należą natomiast wysokie koszty wdrożenia oraz wysoka podatność na warunki atmosferyczne. Mimo barier i wad stosowanie dronów przyniesie portom morskim wiele korzyści ekonomicznych. Jeszcze innym rozwiązaniem jest automatyzacja obsługi kierowców. Dzięki temu proces przyjęcia samochodu transportowego do terminalu jest znacznie szybszy i łatwiejszy. Na cały system składa się kilka elementów takich jak czytniki kart identyfikacyjnych, skanery identyfikujące ciężarówki i kontenery czy system światła. Wdrożenie takiego systemu pozwala na sprawniejszą obsługę bramy oraz na kontrolę przepływu ruchu. Wykorzystywanie czujników w terminalach pozwala natomiast na określenie dokładnej lokalizacji statków, czy kontenerów i umożliwia zaplanować proces działania bez ryzyka jakichkolwiek pomyłek, jak to

ma miejsce przy ręcznym wprowadzaniu lokalizacji. Wyposażone w czujniki kontenery są stale monitorowane, mogą nawet informować o niechcianej ingerencji w ładunek i próbach kradzieży. Istotną kwestią jest również integracja wszystkich systemów w zautomatyzowanym terminalu, co pozwala na jeszcze większe usprawnienie i ułatwienie operacji w nim zachodzących.

W artykule omówiono również działanie największych zautomatyzowanych terminali na świecie (Yangshen Deep Water Port, w Szanghaju, Maasvlakte 2 w Rotterdamie, czy Victoria International Container Terminal w Malbournie). Jako przykłady najlepszych praktyk w zakresie automatyzacji portów.

Oprócz istniejących już nowoczesnych rozwiązań w terminalach kontenerowych trwają prace nad wdrożeniem jeszcze bardziej zaawansowanych koncepcji. Wśród nich wyróżnia się projekt bezzałogowego statku powietrznego, który pozwoli na transport pustych kontenerów między terminalami, a także technologię hiper pętli umożliwiającą bezpieczny i energooszczędny transport kontenerów i ludzi przez tunel w specjalnych kapsułach. Wprowadzanie tak nowoczesnych i zaawansowanych rozwiązań do terminali kontenerowych z pewnością przyczyni się do jeszcze większego rozwoju transportu kontenerowego.

ORCID iD

Katarzyna Anna Kuźmicz: <https://orcid.org/0000-0002-6897-0375>

Literatura

1. ABB, „Automated container terminals are taking off”, <https://new.abb.com/marine/generations/technology/automated-container-terminals-are-taking-off> [22.05.2020]
2. AIROBOTICS, *Automated Drone Solution for Sea ports*, <https://www.airoboticsdrones.com/sea-ports/> [16.05.2020]
3. AIROBOTICS, *Drone Solution For Security & Surveillance*, <https://www.airoboticsdrones.com/applications/security-and-emergency-response/> [16.05.2020]
4. Avate, „Port Terminal, Container Yard and Warehouse Monitoring”, <https://www.avantetech.com/products/shipping/yard-monitoring/> [22.05.2020]
5. Berner B., Chojnacki J. (2016), *Wykorzystanie dronów do transportu towarów*, *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe* 8, s. 233-235
6. Blaiklock P., *Automated Container Handling in Port Terminals*: <https://www.tmeic.com/Repository/Media/Large%20Container%20Handling%20Systems-5.pdf> [22.05.2020]

7. CAMCO Technologies (2010), „*Gate Automation*”, Final Conference, Frankfurt, http://www.intermodal-terminals.eu/content/e2/e299/inhalte309/5AGORA_2010-11-09-CamcoPresentationCombinantIFB_eng.pdf [22.05.2020]
8. Duinkerken M. B., Dekker R., Kurstjens S. T. G. L., Ottjes J. A., Dellaert N. P. (2006), *Comparing transportation system for inter-terminal transport at the Maasvlakte container terminals*, OR Spectrum 28, pp. 469-493
9. Hamburg Port Authority, *Autonomous measurement systems*, <https://www.hamburg-port-authority.de/en/themenseiten/autonomous-measurement-systems/> [17.05.2020]
10. Heutger M., *Unmanned Aerial Vehicles in logistics – a DHL perspective on implications and use cases for the logistics industry*, https://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/about_us/logistics_insights/DHL_TrendReport_UAV.pdf [16.05.2020]
11. HHLA, *High-flyers*, <https://hhla.de/en/magazine/drones-at-the-hhla> [15.05.2020]
12. HHLA, *Drone operation*, <https://hhla.de/en/customers/services/logistics/drone-operation> [22.05.2020]
13. HHLA, *Hyperloop - Containertransport durch die Röhre*, <https://hhla.de/unternehmen/innovation/zukunftsweisend-und-digital/hyperloop> [18.05.2020]
14. Huang E. (2015), *AUTOMATED CONTAINER TERMINAL*, <https://www.morethanshipping.com/automated-container-terminal/> [22.05.2020]
15. Józwiak Z., Fidos D. (2015), *Logistyka obsługi ładunków skonteneryzowanych w wybranych portach Regionu Morza Bałtyckiego*, Logistyka 4, s. 3883-3890
16. KALMAR, *Automatic Stacking Crane Application*, <https://www.kalmarglobal.com/en-AU/automation/equipment-automation/asc-terminal/> [22.05.2020]
17. KALMAR, *Kalmar AutoShuttle™*, <https://www.kalmarglobal.com/equipment-services/shuttle-carriers/autosshuttle/> [22.05.2020]
18. KALMAR, *Shuttle Carrier. The fastest way between ship and stack*: http://groundwater.uk.com/wp-content/uploads/2016/10/kalmar_shuttle_carrier_brochure.pdf [18.05.2020]
19. Kaup M. (2012), Chmielewska – Przybysz M., *Wpływ wdrażania nowoczesnych rozwiązań w terminalu kontenerowym na podwyższenie efektywności obsługi kontenerów w porcie szczecińskim*, Logistyka 5, s. 514-519
20. Kemme N. (2013), *Design and Operation of Automated Container Storage Systems*, Wydawnictwo Physica-Verlag, Hamburg
21. KONECRANES, *Lift AGV*, <https://www.konecranes.com/equipment/container-handling-equipment/automated-guided-vehicles/lift-agv> [22.05.2020]
22. Krośnicka K. (2015), *Comparison of technical parameters of automated container terminals in Europe*, Logistyka 3, s. 5695-5703

23. Krośnicka K. A. (2014), *Nowoczesne terminale kontenerowe w porcie Rotterdam*, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni., <https://sj.umg.edu.pl/sites/default/files/ZN319.pdf> [22.05.2020]
24. Kubowicz D., *Zarządzanie procesami przepływu ładunków na morskim terminalu kontenerowym z wykorzystaniem systemów informatycznych typu TOS*, *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe* 20(1-2), s. 487-492
25. Kuś Ł. (2019), *Drony, pojazdy-baterie i Hyperloop: innowacje terminali w Hamburgu*, <https://intermodalnews.pl/2019/09/20/drony-pojazdy-baterie-i-hyperloop-innowacje-terminali-w-hamburgu/> [09.05.2020]
26. Kuźmicz K. A. (2015), *Benchmarking in omni-channel logistics*, *Research in Logistics & Production* 5(5), pp. 491-501
27. Kuzmicz K. A., Pesch E. (2019), *Approaches to empty container repositioning problems in the context of Eurasian intermodal transportation*, *Omega – the International Journal of Management Science* 85, pp. 194-213
28. Kuzmicz, K. A. (2020), *Problems in Eurasian container supply chains*, [in:] M.H. Bilgin, H. Danis (Eds.), *Eurasian Economic Perspectives*, *Eurasian Studies in Business and Economics* 13/1, Springer
29. Kuzmicz, K. A., Pesch E. (2020), *Container depot location problem in the frame of the Polish part of the New Silk Road*, *MATEC Web of Conferences*, 312, 02004
30. List F. (2019), *DLR tests ATM system for drones*, <https://innovationorigins.com/dlr-tests-atm-system-for-drones/> [16.05.2020]
31. Luo J.X. (2019), *Fully automatic container terminals of Shanghai Yangshan Port phase IV*. *Front. Eng. Manag.* 6, 457-462, doi: 10.1007/s42524-019-0053-0
32. Marine Insight (2019), *An Insight into the Automated Guided Vehicle (AGV) Used in the Maritime Industry*, <https://www.marineinsight.com/guidelines/an-insight-into-the-automated-guided-vehicle-agv-used-in-the-maritime-industry/>
33. Masmoudi M.A., Kuzmicz K.A., Pesch E., Demir E., Hosny M., (2020), *Container truck transportation routing as a Mixed Fleet Heterogeneous Dial-a-Ride Problem*, *MATEC Web of Conferences* 312, 02005
34. Matczak M. (2015), *Innowacyjne rozwiązania dla automatyzacji terminali kontenerowych – koncepcja RCMS*, *Studia i Materiały Instytutu Transportu i Handlu Morskiego* 12, s. 72-80
35. NauticEXPO, *AGV autmatic guided vehicle*, <https://www.nauticexpo.com/prod/konecranes/product-30447-509147.html> [22.05.2020]
36. Nazarko J., Kuźmicz K., Szubzda E., Urban J. (2007), *Basic benchmarking concepts and conditions for their introduction in the corporate and public sectors*, [w:] J. Woźnicki

- (red.), Założenia dotyczące rozwoju systemu informacji zarządczej w szkołach wyższych w Polsce, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, s. 212-228
37. Pastuszek P., Zając G. (2012), *Analiza efektywności portowych kontenerowych systemów przeladunkowych*, Czasopismo techniczne. Mechanika 109(7-M), s. 213-221
38. PEMA (2016), *Container Terminal Automation*, <https://www.pema.org/wp-content/uploads/downloads/2016/06/PEMA-IP12-Container-Terminal-Automation.pdf> [22.05.2020]
39. Pirhonen J., *Automated Shuttle Carrier Concept*, [w:] J. Böse (Ed.), *Handbook of Terminal Planning, Operations Research/Computer Science Interfaces Series*, New York 2011, pp. 41-59
40. Port Automation, *G-POS GPS Tracking*, <http://www.portautomation.com/solutions/gps-tracking/g-pos/> [22.05.2020]
41. Port Economics, Management and Policy *Diffusion of Key Port Terminal Automation Technologies*, https://porteconomicsmanagement.org/?page_id=969 [22.05.2020]
42. Port of Hamburg (2018), *HHLA and Hyperloop Transportation Technologies establish joint venture*, <https://www.hafen-hamburg.de/en/news/hhla-and-hyperloop-transportation-technologies-establish-joint-venture---36101> [18.05.2020]
43. Port of Hamburg magazine (2019), *Port of Hamburg trailblazing digital integration*, Nr 1, p. 16
44. Port of Hamburg magazine (2020), *The port as digital testbed*, 1
45. Port Technology (2018), *Friday Focus: Automated Gates at APM Terminals Gothenburg*, https://www.porttechnology.org/news/friday_focus_automated_gates_at_apm_terminals_gothenburg/ [22.05.2020]
46. Stein M. (2018), *Conducting safety inspections of container gantry cranes using Unmanned Aerial Vehicles*, *Dynamics in Logistics*
47. Szymczak M., Ryciuk U., Leończuk D., Piotrowski W., Witkowski K., Nazarko J., Jakuszczyk J. (2018), *Key factors for information integration in the supply chain – measurement, technology and information characteristics*, *Journal of Business economics and Management*, 19(5), s. 759-776
48. The Automation Engineer (2019), *The automation of container ports*, <https://www.theautomationengineer.com/markets-sectors/port-automation-container-ports/> [22.05.2020]
49. Victoria International Container Terminal, *„Our Technology”*, <https://www.vict.com.au/about-us/our-technology/#articlestart> [22.05.2020]
50. Vught F. van, Brandenburg U., Burquel N., Carr D., Federkeil G., Kuźmicz K., Nazarko J., Rafael J., Sadlak J., Urban J., Wells P., Westerheijden D. (2008), *A practical guide:*

Benchmarking in European Higher Education, European Centre for Strategic Management of Universities, Brussels 2008

51. Wiśnicki B., Chybowski L., Pietrzyk B. (2015), *Systemy informatyczne wspomagające pracę portowych terminali kontenerowych*, [w:] J. Brodny, Ł. Dziemba (red.), *Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji – Inżynieria Systemów Technicznych*, Wydawnictwo P.A. NOVA, Gliwice
52. Wiśnicki B., Czarnecki M. (2013), *Procesy logistyczne portowego terminalu kontenerowego*, [w:] Salmonowicz H. (red.), *Systemy zarządzania logistycznego w transporcie morskim*, Wydawnictwo Zapol, Szczecin, s. 233-240
53. Zhao N., Liu Y., Mi W., Shen Y., Xia M. (2020), *Operation Management in the Container Terminal*, [in:] *Digital Management of Container Terminal Operations*, Springer, Singapore, s. 47-73

Prospects and directions of the development of automation in container terminals

Abstract

The aim of the paper is a review of the literature on the automation of container terminals. The dynamic development of intermodal transport and the increasing number of containers require the introduction of new technological and organizational solutions to ensure efficient container handling. The article presents a wide spectrum of application of automation in terminals, including the use of drones. It also discusses benefits and barriers of automation.

Keywords

container terminal, automation, autonomous vehicle, unmanned aerial vehicle, drone