

Anna GOJLIK-WIŚNIEWSKA\*

## WYKORZYSTANIE TRANSPORTU PODZIEMNEGO W DYSTRYBUCJI TOWARÓW

### Streszczenie

Celem referatu jest wskazanie możliwości wykorzystania transportu podziemnego w dystrybucji towarów jako skutecznej alternatywy dla zatłoczonego ruchu drogowego. Przedstawia on dwa podstawowe rodzaje podziemnych systemów transportu towarowego – wykorzystujące kapsuły do przemieszczania towarów w rurociągach oraz zautomatyzowane pojazdy przewożące towary przez sieć podziemnych tuneli. Omawia ich historię, zalety i wady oraz główne kierunki zastosowań w systemach dystrybucji. Szczególna uwaga została poświęcona przykładom praktycznych rozwiązań, z powodzeniem rozwijanych i niekiedy wdrażanych na świecie.

**Słowa kluczowe:** podziemny transport towarów, transport przesyłowy/rurociągowy kapsułami, zautomatyzowane systemy transportowe

### 1. WPROWADZENIE

Podziemne systemy transportowe umożliwiają przemieszczanie ludzi i ładunków, wykorzystując podziemne tunele oraz rurociągi. Powszechnie znanym ich przykładem jest transport rurociągowy, masowo przesyłający produkty ciekłe i gazowe (takie jak: ropa naftowa, paliwa płynne, gaz ziemny, woda) oraz funkcjonujące w 116 miastach na świecie – według danych Międzynarodowego Stowarzyszenia Transportu Publicznego (UITP) dla 2006 roku – metro, przewożące 155 milionów pasażerów każdego dnia [10]. Marginalną rolę odgrywa natomiast podziemny transport ładunków stałych (towarów), tzw. *Underground Freight Transport* (UFT), posiadający długą, bo liczącą ponad 150 lat historię [3], w praktyce stosowany jednak bardzo rzadko i w odniesieniu do niewielu grup produktów. Wyjątek stanowi węgiel przesyłany rurociągami na odległości przekraczające nawet 50 km (w Polsce ten rodzaj przewozów ma zasięg lokalny) [4].

Wyniki badań naukowych oraz przykłady praktycznych zastosowań UFT wskazują na duży potencjał rozwojowy tego rodzaju transportu, wynikający przede wszystkim z jego niezależności od ruchu drogowego. W warunkach permanentnie rosnącego popytu na przewozy towarowe i towarzyszącej mu eskalacji przepływów towarów, transport dostawczy, zdominowany przez przewozy samochodowe, staje się coraz większym problemem, przede wszystkim ze względu na wysoki poziom kongestii transportowej i związane z nią negatywne efekty zewnętrzne w postaci zanieczyszczenia powietrza, hałasu, zużycia energii, wypadków drogowych. Podziemne systemy transportowe mają szansę wyjść naprzeciw tym uciążliwościom. Ich zalety o charakterze ekologicznym (ograniczenie negatywnego wpływu na środowisko naturalne), społecznym (wzrost poziomu bezpieczeństwa) oraz ekonomicznym (zmniejszenie kosztów dostaw, poprawa ich parametrów jakościowych), wraz z licznymi

---

\* Akademia Morska w Gdyni, Wydział Przedsiębiorczości i Towaroznawstwa

osiągnięciami w dziedzinie automatyzacji transportu, sprzyjają implementacji rozwiązań podziemnych w takich obszarach, jak:

- dystrybucja towarów na obszarach miejskich,
- transport palet i kontenerów na terenach przemysłowych, portów morskich i lotnisk,
- zbiórka i transport na dalekie odległości produktów rolnych, rud oraz odpadów stałych,
- transport kontenerów na terenach trudno dostępnych i słabo zagospodarowanych [6].

Podziemny transport towarowy obejmuje dwa podstawowe systemy - wykorzystujące kapsuły do przemieszczania towarów w rurociągach oraz zautomatyzowane pojazdy przewożące towary przez sieć podziemnych tuneli. Mają one odmienną charakterystykę i zastosowanie, obydwie natomiast cechuje wysoki poziom automatyzacji, niwelujący konieczność pracy kierowcy oraz wykorzystanie podziemnej infrastruktury odizolowanej od potoków ludzi i zarazem ściśle powiązanej z istniejącą infrastrukturą logistyczną [6].

## 2. TRANSPORT TOWARÓW KAPSUŁAMI W RUROCIĄGACH

Transport przesyłowy (rurociągowy) z wykorzystaniem kapsuł (*capsule pipeline transport*) stanowi jedną z odmian transportu rurociągowego, przewożącą ładunki kapsułami (kontenerami/wózkami specjalnej konstrukcji) napędzanymi przez odpowiednie medium, pompowane wzdłuż rurociągu i wprawiające kapsułę w ruch. Najbardziej popularne są tzw. systemy pneumatyczne (*pneumatic capsule pipeline, PCP*), wykorzystające do tego celu gaz, zwykle sprężone powietrze. Medium ciekłe natomiast, na przykład woda lub olej, umożliwia transportowanie kapsuły w tzw. hydraulicznych systemach rurociągowych (*hydraulic capsule pipelines, HCP*) [3, 6].

Pierwszy system transportu rurociągowego powstał w Londynie w 1853 roku [3]. Jego zadaniem był przewóz poczty na terenie miasta z wykorzystaniem technik pneumatycznych (tzw. poczta pneumatyczna). Kapsuły używane w tym systemie miały małą średnicę (2-8 cali) i osiągały prędkość do 30m/h. Rozwiązanie to powszechnie wdrażano w wielu miastach europejskich (Berlin, Paryż, Wiedeń, Praga, Dublin, Rzym, Mediolan) i amerykańskich (Nowy Jork, Boston, Filadelfia, Chicago) do połowy XX wieku. W Paryżu poczta pneumatyczna funkcjonowała do 1984 roku, w czeskiej Pradze natomiast system ten nadal istnieje, został jednak uszkodzony podczas powodzi w 2002 roku i jego działanie zawieszono na czas nieokreślony [9]. Znaczenie poczty pneumatycznej zaczęło maleć wraz z rozwojem nowoczesnych technologii telekomunikacyjnych. Obecnie, pomimo wielu udoskonaleń w zakresie jej budowy, użytych materiałów i systemów kontroli, rozwiązanie to znajduje zastosowanie jedynie w budynkach do transportu mniejszych i/lub lżejszych ładunków, takich jak produkty medyczne w szpitalach, materiały w fabrykach, dokumenty w biurach czy pieniądze w bankach i sklepach, gdzie określa się je mianem „rur pneumatycznych” [3].

Transport większych i/lub cięższych ładunków na dalsze odległości jest możliwy przy użyciu większych i dłuższych rurociągów pneumatycznych oraz kapsuł na kołach. Ich rozwój również został zapoczątkowany przez londyńską pocztę, która w 1859 roku po raz pierwszy do dystrybucji listów i paczek wykorzystwała rurę o średnicy 30 cali oraz kapsuły wyposażone w koła, o maksymalnej ładowności do 3 ton każda i prędkości ruchu do 40 m/h [6]. System z powodzeniem funkcjonował i rozwijał się przez 15 lat, po czym został zamknięty ze względu na wątpliwości poczty co do niezawodności dostaw i rzeczywistych oszczędności czasu, jakie zapewniał. Przez 11 lat podobny system transportu rurociągowego z kapsułami na kołach działał w niemieckim Hamburgu między głównym urzędem pocztowym oraz stacją kolejową. Umożliwiał on przewóz kontenerów o długości 1,6 m przez rurociąg o średnicy 0,45 m i całkowitej długości 1,8 km z prędkością 30-36 km/h [6].

System PCP wykorzystujący kapsuły na kołach okazał się skutecznym rozwiązaniem w transporcie wapnia między kopalnią a zakładami cementowymi w Japonii, gdzie podjęto próbę zastąpienia nim transportu kolejowego jako źródła hałasu i wypadków [3, 6]. W metalowym rurociągu o długości 3,18 km i średnicy 1 m od 1983 roku przewożone są kapsuły o ładowności 1,6 tony (pusta kapsuła waży drugie 1,6 tony), zapewniając poziom dostępności materiałów równy 95%. Japończycy wykorzystują rurociągi pneumatyczne również do tymczasowych projektów budowlanych, na przykład do przewozu ziemi i innych materiałów niezbędnych do budowy tuneli i autostrad. Wcześniej w USA, Wielkiej Brytanii i Rosji zbudowano prototypy systemów PCP do transportu m.in. skruszonych skał, żwiru, piasku, minerałów i odpadów [6], które z powodzeniem były wykorzystywane do celów komercyjnych.

Hydrauliczne systemy rurociągowo wykorzystujące najczęściej wodę jako źródło napędu kapsuły (kontenera) w rurach mają najkrótszą historię i, jak dotąd, nie zostały skomercjalizowane, chociaż, jak wskazują wyniki badań, są coraz bliższe tego celu, w szczególności w zakresie przewozu surowców mineralnych, materiałów budowlanych i produktów rolnych, zwłaszcza zbóż [8]. Bardzo ciekawym i obiecującym rozwiązaniem jest tutaj system HCP bez użycia kontenera, tzw. *container-less HCP* lub „*coal log pipeline*” [6], w którym ładunek do przewozu zostaje uformowany w twardą kapsułę (*log*, czyli kłoc, pień) i bezpośrednio wpuszczany do napełnionej wodą rury, wyznaczającej miejsce przeznaczenia. Warunkiem powodzenia tego rodzaju transportu jest umiejętność utworzenia wodoodpornej i trwałej kapsuły, co udało się przede wszystkim dla węgla (stąd nazwa „*coal log*”), jak również kilku innych specyficznych produktów: koksu naftowego, popiołu oraz większości minerałów i nierozpuszczalnych odpadów stałych. Główną zaletą tego rozwiązania jest eliminacja niemałych kosztów kontenera oraz drugiego rurociągu umożliwiającego powrót pustych kontenerów. Szczegółowe analizy ekonomiczne pokazały, iż przewóz węgla z wykorzystaniem bezkontenerowych systemów hydraulicznych może być bardziej ekonomiczny niż transport samochodowy, kolejowy i tradycyjny rurociągowy [6].

Do przyszłości systemów przesyłowych, zarówno pneumatycznych jak i hydraulicznych, należy wykorzystanie napięcia elektromagnetycznego do napędzania kapsuły wzdłuż rurociągu, jej przyspieszania bądź zwalniania w odpowiednich momentach oraz kontroli w punktach rozgałęzień i na terminalach [6], co jest przedmiotem zaawansowanych badań i projektów. Zmiana napędu na napięcie elektromagnetyczne pozwoliłaby znacznie zwiększyć przepustowość systemu i jego efektywność, a w konsekwencji konkurencyjność współczesnych rurociągów pneumatycznych w stosunku do samochodów dostawczych i ciężarowych [8].

Innowacyjną koncepcję systemu rurociągowego opracowano w 1999 roku na uniwersytecie w Bochum w Niemczech [8]. Rozwiązanie to, znane pod nazwą *CargoCap*, polega na transporcie towarów rurociągami o średnicy 1,6 m, ulokowanymi pod ulicami i autostradami, z wykorzystaniem sterowanych komputerowo pojazdów (*caps*) o napędzie indywidualnym, rozwijających prędkość do 40 km/h i przewożących po dwie palety europejskie (800x1200x1050 mm) [2]. W zależności od ilości towarów przewozy mogą być dokonywane przez pojedyncze kapsuły (np. dostawy do sklepów) lub większą liczbę kapsuł, połączonych w „wirtualne pociągi” (np. dostawy do dużych centrów handlowych, części do fabryk). Nowoczesny system zwrotnic umożliwia wyłączenie z takiego „pociągu” pojedynczych kapsuł i przesyłanie ich do różnych punktów docelowych [2]. Wstępnie zaprojektowano dwururową trasę o długości 80 km, łączącą kilka głównych miast regionu Ruhry, z zamiarem ich późniejszego przedłużenia.

### 3. PODZIEMNE ZAUTOMATYZOWANE SYSTEMY TRANSPORTOWE

Podziemne systemy transportowe wykorzystujące zautomatyzowane pojazdy do przewozu towarów przez sieć podziemnych tuneli rozpoczęły swój rozwój na początku XX wieku. Pierwszy taki system, oparty na podziemnej sieci kolejowej powstał w Chicago do przewozu różnego typu ładunków, w praktyce głównie węgla i z powodzeniem działał ponad 50 lat [7]. W 1915 roku w Tokio zbudowano kilkusetmetrowy podziemny system kolejowy łączący dworzec główny z pocztą główną. W Londynie natomiast tzw. kolej pocztowa, funkcjonująca od 1927 roku do dnia dzisiejszego, przewozi pocztę między kilkoma urzędami pocztowymi w centrum miasta z wykorzystaniem bezałogowych, kierowanych elektrycznie pojazdów kolejowych [3]. Jest to jeden z najstarszych działających automatycznych podziemnych systemów transportu towarowego na świecie.

Automatyzacja środków transportu stanowi istotny czynnik stymulujący rozwój podziemnego transportu towarowego. Pojazdy takie, podobnie do tradycyjnych, mogą przewozić ładunki różnego rodzaju w rozmaitych ilościach, przy czym działają bez zakłóceń, co wywiera bezpośredni wpływ na sprawność i efektywność realizowanych przewozów. Wykorzystanie napędu elektrycznego wzmacnia ich walory społeczno-środowiskowe, związane przede wszystkim z prowadzeniem działalności transportowej pod ziemią, w separacji od miejsc codziennego życia ludzi i intensywnego transportu naziemnego. Poważnym minusem są natomiast wysokie koszty inwestycji w infrastrukturę podziemną (możliwe do ograniczenia w przypadku jej istnienia) i długi czas realizacji, co może zostać częściowo zrekomensowane przez stosunkowo niskie koszty zmienne i eksploatacyjne oraz niezależną działalność przewozową przez 24 godziny na dobę.

Jeden z pierwszych projektów transportu podziemnego wykorzystującego zautomatyzowane niewielkie samochody ciężarowe został opracowany w Japonii w latach 80-tych. W rozwiązaniu proponowanym dla Tokio wprowadzono bimodalne pojazdy dostawcze, tzw. *Dual Mode Trucks*, które są sterowane automatycznie w podziemnych tunelach zasilanych energią elektryczną, z drugiej zaś strony - korzystając z własnych akumulatorów - mogą być prowadzone przez kierowców po normalnych drogach kołowych [5]. Takie rozwiązanie pozwala w sposób optymalny połączyć zalety transportu kolejowego i samochodowego w obsłudze transportowej miasta. Budowę całego systemu podzielono na trzy dziesięcioletnie etapy, w których miało powstać odpowiednio: 70 km, 32 km oraz 99 km specjalnych podziemnych dróg kolejowych, tworząc w rezultacie sieć o łącznej długości 201 km. I chociaż rozwiązanie to nigdy nie zostało wdrożone, przeprowadzone badania wskazały na jednoznaczne korzyści z zastosowania podziemnego systemu dystrybucji towarów w postaci zmniejszenia emisji dwutlenku węgla o 18% i tlenków azotu o 10%, ograniczenia zużycia energii o 18% oraz zwiększenia przeciętnej prędkości jazdy o 24% [5]. Przewidywano także znaczące zmniejszenie liczby środków transportu towarowego korzystających z miejskiej sieci dróg i, w konsekwencji, wzrost poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego. Podobny do japońskiego pojazdu bimodalnego był *CombiRoad* zaprojektowany w połowie lat 90-tych w Holandii do transportu kontenerów [3].

Szerokie możliwości rozwoju podziemnego transportu towarowego dała kolejna, bardziej zaawansowana generacja zautomatyzowanych środków transportu towarowego – pojazdy sterowane automatycznie (*Automated Guided Vehicles, AGVs*), które jeżdżą przez tunele i są automatycznie załadowywane i rozładowywane [1]. Początkowo były one sterowane przewodowo przy użyciu sensorów mierzących pole magnetyczne indukowane przez umieszczony w podłodze przewód elektryczny. Obecnie stosowane są nowoczesne technologie bezprzewodowe takie, jak czytniki magnetyczne i radiowe, triangulacja laserowa i radarowa czy kamery cyfrowe [3].

Spektakularnym przykładem wykorzystania AGVs i rozwoju podziemnego systemu transportowego jest tzw. podziemny system logistyczny (*Underground Logistical System, ULS*), projektowany od 1995 roku w Holandii do obsługi handlu detalicznego, punktów usługowych, biur i klientów indywidualnych na obszarach miejskich, z drugiej natomiast strony obsługujący i łączący tereny przemysłowe, centra logistyczne i węzły transportowe, takie jak porty lotnicze i morskie [7]. System ten ma zatem działać dwukierunkowo – wspierać dystrybucję towarów w miastach (objęto nim cztery holenderskie ośrodki miejskie: Twente, Utrecht, Leiden i Tilburg) oraz uzupełnić brakującą sieć kolejową lub wodną śródlądową i tym samym rozwijać transport intermodalny na bliższe i dalsze odległości. Największą część ULS stanowi projekt przewozu pod ziemią kwiatów i innych towarów wrażliwych na czynnik czasu między giełdą kwiatową w Aalsmeer, lotniskiem Schiphol i terminalem kolejowym Hoofddorp (stąd jego nazwa ULS-ASH) [3]. Rozwijany w Holandii system zautomatyzowanego transportu podziemnego docelowo ma obejmować swym zasięgiem cały kraj [6].

Podobne rozwiązanie wykorzystujące automatycznie sterowane pojazdy do przewozu towarów przez sieci podziemnych tuneli proponowane jest również w Londynie, gdzie modernizacja i rozwój istniejących tuneli Poczty Królewskiej umożliwiłaby wprowadzenie tzw. metra towarowego (*Metrofreight*) jako podstawy zautomatyzowanego systemu dystrybucji towarów, przede wszystkim do punktów sprzedaży detalicznej w zatłoczonym mieście [6].

Duże możliwości rozwojowe upatrywane są w wykorzystaniu kolei dużych prędkości do transportu niektórych ładunków. Francuskie koleje państwowe SNFC opracowują projekt szybkiego przewozu towarów wysokowartościowych, łatwo psujących się oraz wrażliwych na czynnik czasu (TGV Fret) [3]. Zalety podziemnego transportu kolejowego bez wątpienia sprzyjają takim rozwiązaniom.

#### 4. PODSUMOWANIE

Przedstawione w referacie systemy podziemnego transportu towarowego wraz z przykładami ich praktycznych zastosowań wskazują na bardzo duży potencjał tego rodzaju transportu. Do niekwestionowanych zalet rozwiązań podziemnych zaliczyć należy: niewielki wpływ na środowisko przyrodnicze, skutkujący ograniczeniem hałasu, zanieczyszczenia powietrza i emisji spalin, zmniejszenie poziomu kongestii transportowej, mniejsze zużycie energii, wzrost poziomu bezpieczeństwa, intensywniejsze wykorzystanie przestrzeni. Aspekty ekonomiczne w postaci niskich kosztów zmiennych, krótszego czasu i większej niezawodności dostaw również przemawiają za ich implementacją jako rzeczywistej alternatywy dla naziemnych przewozów towarowych, szczególnie na zatłoczonych obszarach miast. Transport podziemny, zwłaszcza systemy zautomatyzowane wydają się najbardziej predestynowane do wykorzystania w miejskich systemach dystrybucji towarów. Doskonale zdają one egzamin w złożonej sieci z wieloma skrzyżowaniami, terminalami oraz miejscami nadania, załadunku, rozładunku i przeznaczenia [3]. Rozwój systemów podziemnych coraz częściej wymieniany jest jako jedno z działań z zakresu logistyki miasta (*city logistics, urban logistics*), umożliwiających racjonalizację transportu dostawczego oraz wyeliminowanie szeregu problemów społeczno-ekologicznych miast.

Oprócz skali lokalnej, przedstawione rozwiązania mogą znaleźć zastosowanie na poziomie regionalnym, a nawet krajowym i międzynarodowym. Systemy rurociągowe o większej długości i średnicy przeznaczone są do przewozu na dalekie odległości w prostych strukturach sieciowych, od punktu do punktu, np. od miasta do miasta. Zakres ładunków możliwych do przewiezienia przez kapsuły w rurociągach jest na razie niewielki, ale stale się

poszerza i, jak pokazuje przykład niemieckiego *CargoCap*, może obejmować również produkty spaletyzowane.

Podziemny transport towarowy może zatem uzupełnić i częściowo zastąpić tradycyjne rozwiązania transportowe, obejmujące przede wszystkim przewóz samochodami i koleją. Trzeba jednak podkreślić, iż niezbędna do jego rozwoju infrastruktura wymaga dużych inwestycji, ocenianych jako wysoce ryzykowne [2], co stanowi istotną barierę przy wchodzeniu na rynek i tłumaczy zatrzymanie niektórych rozwiązań, przedstawionych w referacie, na etapie badań i projektów. Należy jednak spodziewać się stopniowego ich wdrażania, co stymuluje coraz bardziej powszechne postulaty zrównoważonego rozwoju transportu, z którymi idea systemów podziemnych koresponduje we wszystkich szczegółach.

## LITERATURA

- [1] Boerkamps J.: *State-of-the-art of city logistics in the Netherlands: Research framework and research activities*. [W:] *City Logistics II*. Ed. by E. Taniguchi and R.G. Thompson. Institute for Systems Science Research, Kyoto 2001.
- [2] Kersting M., Klemmer P., Stein D.: *CargoCap - wirtschaftliche Transportalternative im Ballungsraum*. „Internationales Verkehrswesen“ 2004, nr 11. [Za:] Ostaszewicz J.: *CargoCap – ekonomiczna alternatywa przewozów na obszarach aglomeracji*. Główna Biblioteka Komunikacyjna, Biuletyn 2005, nr 2.
- [3] Pielage B.-J., Rijsenbrij J.: *Developments in underground freight transportation*. [W:] *The Future of Automated Freight Transport: Concepts, Design and Implementation*. Ed. by R. Konings, H. Priemus, P. Nijkamp. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, Northampton 2005.
- [4] *Podstawy geografii ekonomicznej*. Pod red. J. Wrony i J. Rek. PWE, Warszawa 2001.
- [5] Taniguchi E., Thompson R.G., Yamada T., van Duin R.: *City Logistics. Network Modelling and Intelligent Transport Systems*. Elsevier Science Ltd, Oxford 2001.
- [6] Visser J.: *Underground freight transport systems*. [W:] *Innovations in Freight Transport*. Ed. by E. Taniguchi and R.G. Thompson. WIT Press, Southampton, Boston 2003.
- [7] Visser J.: *Underground logistics systems for goods distribution in urban areas: perspectives in the Netherlands*. [W:] *City Logistics II*. Ed. by E. Taniguchi and R.G. Thompson. Institute for Systems Science Research, Kyoto 2001.
- [8] <http://www.capsu.org/capsule>
- [9] [http://pl.wikipedia.org/wiki/Poczta\\_pneumatyczna](http://pl.wikipedia.org/wiki/Poczta_pneumatyczna)
- [10] <http://www.uitp.org/Public-Transport/metro>

## THE USE OF UNDERGROUND TRANSPORT IN GOODS DISTRIBUTION

### Abstract

The aim of the paper is to indicate an ability of the use of underground transport in goods distribution as an efficient alternative to congested road traffic. It presents two basic kinds of underground freight transport systems – using capsule pipelines and automated vehicles carrying goods through subterranean tunnels networks. Their history, advantages and disadvantages are discussed as well as the main directions of applications in distribution systems. Particular attention is given to the examples of practical solutions successfully developed and sometimes implemented in the world.

**Keywords:** underground freight transport, capsule pipeline transport, automated vehicle systems