

Transport dóbr konsumpcyjnych rurowymiagami – przyszłość systemów transportowych?

Mateusz Turkowski
Roman Szewczyk

Za pomocą istniejących systemów rurowymiagów ciecze i gazy są transportowane na duże odległości – tanio (małe zużycie energii), bezpiecznie, bez kolizji z innymi środkami komunikacji i w sposób mało zagrażający środowisku. W artykule omówiono możliwości wykorzystania tych zalet do transportu rurowymiagami innych niż płyny dóbr konsumpcyjnych. Omówiono warunki oraz niezbędne do wykonania prace badawcze umożliwiające wdrożenie takiego systemu.

Zalety transportu towarów rurowymiagami

Jak dotąd, rurowymiagami transportowane są głównie ciecze (przede wszystkim woda, ropa naftowa i produkty jej przetwarzania) oraz gazy (głównie gaz ziemny). W różnych gałęziach przemysłu stosowany jest także rurowymiagowy transport wewnątrzzakładowy sproszkowanych surowców, paliw i artykułów żywnościowych w postaci sfluidyzowanego złoza oraz szlamów, pulp i innych zawieszin ciał stałych w cieczy. Systemy takie, stosowane w zakładach przemysłu spożywczego i w przemyśle chemicznym, służą do zasilania m.in. mieszalników, młynów, elewatorów i kotłów fluidalnych na pył węglowy [1].

Obecnie żywność i inne towary sprzedawane zwykle w supermarketach (RTV i inna elektronika, komputery, sprzęt AGD, środki czystości) są transportowane głównie dużymi samochodami ciężarowymi. Szacuje się, że blisko 92 % energii niezbędnej do transportowania tych towarów zużywane jest na przemieszczanie pojazdów, a tylko 8 % na przemieszczanie samych towarów [2]. Koncepcja zastąpienia ciężkich pojazdów lekkimi kapsułami poruszającymi się w rurowymiagach bezpośrednio z zakładów przetwórczych i produkcyjnych do centrów logistycznych, hurtowni, supermarketów i większych sklepów wydaje się więc bardzo interesująca.

Około 25 % ciężarówek przewozi żywność i inne towary konsumpcyjne. Można wykazać, że po zastąpieniu ich rurowymiagami możliwe jest zaoszczędzenie miliardów litrów paliw płynnych oraz zmniejszenie o 18 % (4 mld t) w skali roku emisji CO₂ do atmosfery.

Idea transportu rurowymiagami w specjalnych kapsułach innych dóbr konsumpcyjnych stanowi przełom w sposobie myślenia o transporcie rurowymiagowym. Fakt, że dotąd brakuje systemu na dużą skalę, wynika prawdopodobnie z faktu, że w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat elastyczność i niskie koszty transportu drogowego

(niskie płace, niskie ceny paliwa) zniechęcały do inwestowania w alternatywne środki transportu. Obecnie, przede wszystkim z uwagi na wzrost cen paliw i narzucone ogólnie limity emisji CO₂, sytuacja zmieniła się diametralnie.

Dzięki systemowi transportu rurowymiagami istnieje możliwość zaoszczędzenia znacznych ilości paliwa, szacowanych na miliardy litrów w samej Europie. Pierwsze źródło oszczędności to zastąpienie dużych samochodów ciężarowych kapsułami. Można przyjąć, że 30–50 kapsuł zastępuje jedną wielką ciężarówkę o dopuszczalnej w Europie ładowności (od 43 t do 50 t). Przemieszczenie tej samej ilości towaru wymaga od 40- do 80-krotnie mniej paliwa niż transport ciężarówką. Środki napędu kapsuł (pompy, sprężarki, wentylatory) są stacjonarne, podczas gdy układ napędowy ciężarówki wraz z paliwem, kierowcą itp. jest transportowany razem z towarem. Drugie ważne źródło oszczędności paliw to rozładowanie korków dzięki zmniejszeniu ruchu dużych pojazdów ciężarowych na drogach. Umożliwi to zmniejszenie zużycia paliwa przez pozostałych użytkowników dróg o 40–50 %. Zapewnienie płynnego ruchu na konwencjonalnych drogach poprzez ich odciążenie może skrócić czas przejazdu o jedną trzecią, a nawet o połowę. Płynny ruch, bez korków, pozwala na znaczne zmniejszenie ilości wydzielanych na poziomie ulicy trujących gazów spalinowych. Pozytywne efekty dla środowiska są niezaprzeczalne [3]. W efekcie obserwuje się wzrost zainteresowania ideą transportu pneumatycznego rurowymiagami dóbr innych niż ciecze i gazy [4].

Rozważane są liczne koncepcje zastosowania napędu kapsuł w postaci liniowego silnika elektrycznego [5, 6, 7]. Nie jest jednak wykluczone, że oba systemy (pneumatyczny i z silnikiem liniowym) mogą współdziałać i w takiej czy innej sytuacji lepszy będzie jeden lub drugi system. Nie wiadomo też dzisiaj, który system będzie bardziej efektywny – są więc argumenty, aby na obecnym etapie równolegle testować oba systemy. Jeśli napęd systemu będzie pneumatyczny, można dodatkowo rozważyć zastosowanie układu oddzielania CO₂, a tym samym oczyszczania powietrza będącego medium napędowym. Wówczas uboczną korzyścią będzie zapewnienie dostawy czystego powietrza do centrów miast. Należy podkreślić, że inwestycja w rurowymiagi

prof. nzw. dr hab. inż. Mateusz Turkowski – Instytut Metrologii i Inżynierii Biomedycznej Politechniki Warszawskiej, dr inż. Roman Szewczyk – Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów, Warszawa; Instytut Metrologii i Inżynierii Biomedycznej Politechniki Warszawskiej

i jego eksploatacja są zdecydowanie tańsze niż budowa i ciągłe naprawy istniejących, intensywnie użytkowanych dróg i autostrad.

Transport rurociągowy jest wyjątkowo bezpieczny – zdarzają się wprawdzie kradzieże paliw z rurociągów poprzez wykonanie odwiertów, ale trudno ukraść kapsułę, gdy nie wiadomo, jaka jest lokalizacja kapsuły z towarem o dużej wartości. Rurociągi mogą być prowadzone przez niestabilne politycznie regiony. System może być bezpiecznie rozwijany i rozbudowywany, także za pomocą rurociągów o mniejszych średnicach, aż do dalekich źródeł zaopatrzenia w surowce/produkty rolne (plantacje). Rurociągi można prowadzić przez dzikie tereny, pustynie, góry, rzeki i morza jak też przez gęsto zabudowane aglomeracje i umożliwić w ten sposób transport bezpieczniejszy i taniej niż innymi środkami.

Rurociągi są całkowicie odporne na warunki atmosferyczne (opady śniegu, gołoledź). Niezawodność transportu jest więc wysoka. Nie ma niebezpieczeństwa dla towarów i ludzi (wypadki drogowe).

Technika transportu rurociągami o dużej średnicy i na duże odległości paliw, gazu, wody czy ścieków jest obecnie w pełni rozwoju. Nowoczesne rurociągi o średnicach nawet do 3 m są ciągle budowane w różnych częściach świata. Istnieje wiele firm budownictwa lądowego mających bardzo dobre doświadczenia w tym zakresie, które można i należy wykorzystać przy wdrażaniu sieci rurociągów transportowych.

Nie będzie też prawdopodobnie wymagała wysokich technologii budowa samych kapsuł. Być może wykorzystane zostaną pewne doświadczenia eksploatacyjne operatorów rurociągów, którzy stosują tłoki lub tzw. tłoki inteligentne do czyszczenia, diagnostyki i napraw rurociągów. Należy jednak liczyć się z koniecznością zaprojektowania i zrealizowania inteligentnego, efektywnego i bezkolizyjnego systemu oznaczania i sterowania ruchem kapsuł.

Możliwy do wykorzystania istniejący stan wiedzy i techniki

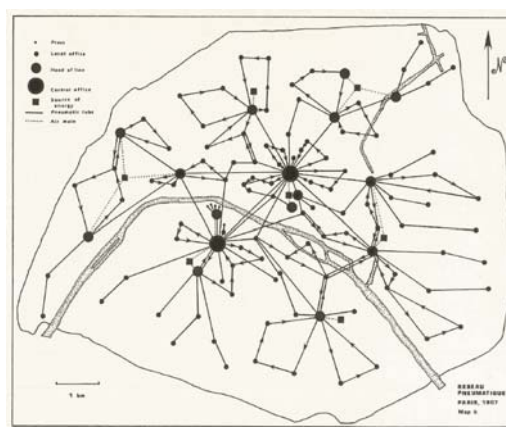
Omawiana koncepcja wykorzystuje idee, doświadczenia praktyczne i zastosowania transportu rurociągowego z ostatnich kilkuset lat. Sama koncepcja, chociaż rewolucyjna, wykorzystuje znane pomysły. Współczesne systemy transportowe (napędzane sprężonym powietrzem lub podciśnieniem) z kapsułami o średnicy ok. 10 cm np. do transportu pieniędzy, dokumentów i innych małych przedmiotów bazują na technologii poczty pneumatycznej pochodzącej z połowy XIX wieku.

Impulsem dla powstania poczty pneumatycznej było ogromne przyspieszenie w zakresie komunikacji poprzez wprowadzenie telegrafu elektrycznego. Jego głównym zastosowaniem było dostarczanie informacji do celów handlowych i dla maklerów giełdowych, którym otrzymanie informacji z dużym wyprzedzeniem mogło zagwarantować fortunę. Zysk czasowy uzyskany dzięki telegrafowi mógł być jednak łatwo utracony z uwagi na długi czas przesyłania informacji ze stacji telegraficznej na giełdę. Aby zapobiec tym opóźnieniom

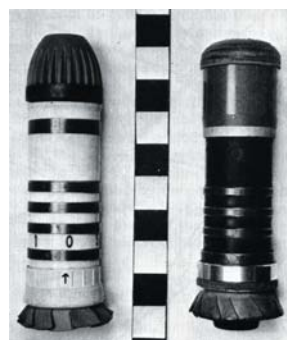
w 1853 r. J. L. Clark zbudował rurociąg pneumatyczny łączący londyńską giełdę z centralną stacją Electric Telegraph Company.

Podobna instalacja została uruchomiona w 1865 r. w Berlinie łącząc tamtejszą giełdę z Centralnym Biurem Telegrafów, co zapoczątkowało pocztę pneumatyczną (Rohrpost) w Berlinie. System miał długość ok. 400 km i był eksploatowany do 1976 r.

W Paryżu połączono w ten sposób giełdę z telegrafem elektrycznym w 1866 r. Zainicjowało to budowę dużej sieci rurociągów (Poste Pneumatique), prawdopodobnie najdłuższej jaką kiedykolwiek zbudowano (rys. 1). Stosowano pojemniki o średnicy 80 mm (rys. 2). W 1934 r. sieć rurociągów osiągnęła maksymalną długość 467 km. Łączyła głównie placówki pocztowe, giełdy, ministerstwa i urzędy. Została wyparta w 80. latach XX wieku przez telefony, a następnie sieć komputerową.



Rys. 1. Mapa sieci poczty pneumatycznej w Paryżu w 1907 r. [www.mylovedone.com]



Rys. 2. Pojemniki stosowane w paryskiej poczcie pneumatycznej¹⁾

Zbudowana w 1887 r. w Pradze sieć poczty pneumatycznej (Pražská Potrubní Posta) o długości ok. 60 km wciąż istnieje. W wyniku wielkiej powodzi w 2002 r. została jednak uszkodzona i nie wiadomo, czy będzie uruchomiona ponownie.

We Włoszech wydawano w latach 1913-1966 znaczki pocztowe specjalnie przygotowane dla celów poczty pneumatycznej, która funkcjonowała w Rzymie, Neapolu i Mediolanie.

¹⁾ Hayhurst J. D.: The Pneumatic Post of Paris, Copyright © 1974, The France & Colonies Philatelic Society of Great Britain.

Na przełomie XIX i XX wieku Nowy Jork miał rozbudowany system transportujący listy i paczki w pętli wokół Manhattanu z przedłużeniem do Brooklynu. Przesyłano pojemniki zawierające 700 listów z prędkością ok. 48 km/h. Były nawet pomysły (niezrealizowane) dostarczania poczty drogą pneumatyczną bezpośrednio do każdego domu w USA (co można traktować jako swego rodzaju pierwowzór Internetu).

Boston, Chicago, Filadelfia, Chicago, St. Louis, Monachium, Rio de Janeiro, Hamburg, Marsylia, Wiedeń i wiele innych miast posiadało podobne sieci, ich eksploatację zarzucono w latach 50. na rzecz transportu samochodowego i innych środków komunikacji.

Technika dopracowana w okresie poczty pneumatycznej jest obecnie dość często stosowana, ale na małą skalę (rys. 3). Duże szpitale mają systemy pneumatycznego transportu leków, dokumentów i próbek do badań laboratoryjnych z gabinetu zabiegowego do laboratorium.



Rys. 3. Współczesne systemy lokalnej, wewnętrznej poczty pneumatycznej dla supermarketów, szpitali itp.

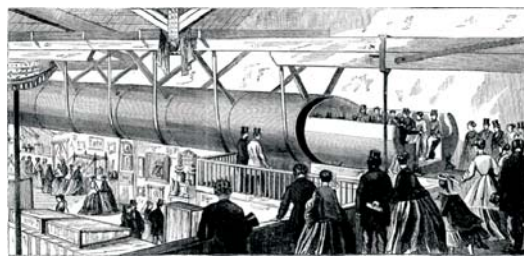
Wiele fabryk stosuje systemy pneumatyczne do transportu części do odległych miejsc na terenie zakładu. Duże sklepy stosują transport pneumatyczny do przesyłania gotówki ze stanowisk kasowych do pomieszczeń biurowych i w razie potrzeby przesyłania z powrotem pieniędzy na wydanie reszty.

Lotnisko w Denver (USA) wyposażone jest w system transportu pneumatycznego składający się z rurociągów o średnicach do 250 mm do transportu części zamiennych samolotów do odległych warsztatów oraz rurociągów o średnicy 100 mm do obsługi biletowej pasażerów i pobierania opłat parkingowych.

Także pierwsze projekty podziemnego transportu osobowego oparte były na koncepcji kapsuł pneumatycznych. Nie zostały one wdrożone, gdyż rozwiązanie było mało konkurencyjne w stosunku do naziemnych pojazdów szynowych, gdzie koszty robocizny były niewielkie, paliwa (węgiel) pod dostatkiem, a zanieczyszczenia środowiska nikt nie brał poważnie pod uwagę.

W 1861 r. London Pneumatic Despatch Company zbudował system wystarczająco duży, aby transportować nim ludzi, chociaż w zasadzie przeznaczony był do paczek. Podczas inauguracji, prezes firmy w towarzystwie kilku dyrektorów zostali przetransportowani rurą z Holborn do Euston (podróż trwała 5 min). W 1864 r. z okazji wystawy światowej, 550-metrową koleją pneumatyczną zbudowano w Crystal Palace.

W 1867 r., na wystawie American Institute w Nowym Jorku, Alfred E. Beach zademonstrował rurociąg o śred-



Rys. 4. Odcinek próbny kolei pneumatycznej w Nowym Jorku [commons.wikimedia.org]

nicy 1,8 m i długości 32,6 m pozwalający przewozić 12 pasażerów wraz z konduktorem (rys. 4). W 1869 r. jego firma zbudowała w tajemnicy w Nowym Jorku podziemny odcinek długości 95 m, o średnicy 2,7 m, który prawdopodobnie tkwi jeszcze pod ziemią. Linia była testowana przez kilka miesięcy, do chwili, gdy okazało się, że władze miasta odmówiły zezwolenia na jej rozbudowę. Rekonstrukcję linii przedstawiono w filmie „Ghostbusters 2”.

W 1960 r. Lockheed wraz z Massachusetts Institute of Technology wykonali etap studyjny systemu napędzanego podciśnieniem wytwarzanym przez pojazdami i „wspomagany przez wahadło grawitacyjne” (*gravitational pendulum assist*), łączącego miasta wschodniego wybrzeża USA. System miał służyć do transportu różnorodnych towarów z prędkością kilkuset km/h, jego realizację porzucono jednak z uwagi na wysokie koszty.

W ubiegłym wieku zrealizowano na skalę przemysłową transport oparty na kapsułach hydraulicznych. Są to wodoszczelne cylindryczne kontenery do transportu towarów w rurociągach wypełnionych wodą, która unosi i napędza kontenery. Prędkość od 2 m/s do 3 m/s jest znacznie mniejsza niż w przypadku kapsuł pneumatycznych. Mogą jednak przewozić większą masę towarów. Infrastruktura (śluzę, zwrotnice) jest też trudniejsza do realizacji, gdyż urządzenia muszą być całkowicie szczelne. Kapsuły hydrauliczne nadają się do transportu dużych ilości materiałów masowych, sypkich, jak ziarno i inne produkty rolne czy minerały i materiały budowlane.

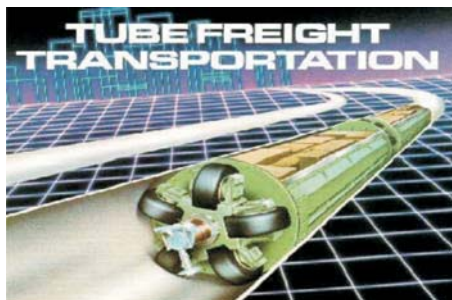


Rys. 5. Kapsuły uformowane z zagęszczonego materiału transportowanego [www.freightpipelinecompany.com]

Odmianą tej metody jest transport kapsuł z zagęszczonego materiału transportowanego, materiał ten musi być jednak odporny na kontakt z wodą. W ten sposób można transportować takie materiały, jak węgiel, popiół, minerały, biomasę czy materiały odpadowe (rys. 5). Wylimowany jest problem przesyłania pustych kapsuł.

Najbliższy omawianej tu koncepcji jest system transportujący rudę żelaza w Sumitomo Metal Industries w Japonii [5, 6, 7] (rys. 6). Ciężkie ładunki rudy transportowane są na odległość kilku kilometrów, w kapsułach w stalowych pojemnikach wyposażonych w koła, stalowymi rurami.

Kapsuła o średnicy 3 stóp może przewieźć ładunek ok. 2 t z prędkością ok. 40 km/h (11 m/s). System napędzany jest dmuchawami usytuowanymi przy wlocie rurociągu i jest w wysokim stopniu zautomatyzowany przy zastosowaniu komputerów i programowalnych sterowników logicznych (PLC). System jest stosowany z dobrym skutkiem, przy wysokim poziomie niezawodności [4]. Podobny system o nazwie Transprogress stosowano w byłym ZSRR do transportu kruszywa a także odpadów komunalnych (rys. 7).



Rys. 6. System transportujący rudę żelaza w Sumitomo Metal Industries w Japonii



Rys. 7. Kapsuły systemu Transprogress opracowanego w 80. latach w byłym ZSRR [www.capsu.org]

Istnieją też inne podobne systemy wykorzystujące kapsuły o średnicach ok. 1 m napędzane próżniowo, stosowane we współczesnym przemyśle do transportu rudy, węgla, wapienia do cementowni i innych surowców na niewielkie odległości.

Warunki wdrożenia systemu na skalę przemysłową

Analizę SWOT – silne i słabe strony oraz szanse i zagrożenia realizacji omawianej koncepcji, przedstawiono w [4]. W pewnym stopniu wykorzystane zostały niektóre elementy istniejącej wiedzy. Przede wszystkim chodzi o nowoczesne technologie drążenia tuneli, a także doświadczenia w budowie rurociągów: technologia wykonywania gładkich połączeń i łagodnych, niezwalizowanych łuków. Cenne mogą być też doświadczenia z budowy i eksploatacji inteligentnych tłoków stosowanych do inspekcji rurociągów. Jednak pełne rozwiązanie zagadnienia obejmuje też szeroki zakres zadań dotychczas nieopracowanych [2], takich jak m.in.:

a) Opracowanie założeń ogólnych, dla nowej infrastruktury budownictwa lądowego i przemysłowego,

systemu logistycznego do transportu, magazynowania, przechowywania i składowania artykułów żywnościowych i innych dóbr konsumpcyjnych stosującej kapsuły poruszające się w rurociągu, opracowanie zaleceń dla optymalnego projektu systemu, opracowanie układów zaworów, zwrotnic, stacji zasilania i stacji nadawczo-odbiorczych. Należy przewidzieć taką standaryzację, aby poszczególni operatorzy byli w stanie wykorzystywać infrastrukturę innych operatorów, tak jak to się dzieje w przypadku kolei. Chodzi o dzielenie między sobą wykorzystania kapsuł (podobnie jak w przypadku wagonów), rurociągów (podobnie jak torów kolejowych), standardów sterowania oraz źródeł energii i osiągnięcie dzięki temu zasięgu globalnego. Wzajemne udostępnianie sieci przez różnych operatorów będzie korzystne dla wszystkich i wszystkim przyniesie wartość dodaną. Należy też zapewnić koordynację z tradycyjnymi systemami transportu (drogowy, kolejowy, morski, rzeczny). Staranne oszacowanie liczby ciężarówek i furgonetek obsługujących dany obszar przy wykorzystaniu istniejącej sieci drogowej umożliwi zaplanowanie optymalnej przepustowości sieci i liczby kapsuł, które zastąpią konwencjonalny transport. Obliczona liczba kapsuł powinna być zwiększona z uwagi na kapsuły zaparkowane, puste i uszkodzone.

b) Zaprojektowanie lekkich, długodystansowych, adresowanych elektronicznie, komputerowo sterowanych kapsuł do transportu towarów z uwzględnieniem odpowiedniego zagospodarowania wnętrza kapsuły dla różnych produktów i zaleceń co do eliminacji obcych roślin, owadów i zwierząt oraz innej niepożądaney flory i fauny a także zanieczyszczeń, które mogłyby wnikać do kapsuły. Z uwagi na konieczność połączenia transportu rurociągowego z transportem kontenerowym należy tak dobrać wymiary, aby kapsuły mieściły się dobrze upakowane w standardowych kontenerach. Każda kapsuła musi być identyfikowana elektronicznym kodem, co umożliwi jej skierowanie w wymaganym kierunku przez zwrotnice. Sama kapsuła powinna ważyć jak najmniej – ok. 30 kg i powinna być tak skonstruowana, aby mogła być użytkowana przez ok. 30 miesięcy. Bardziej solidna wersja mogłaby służyć jako regał w sklepie, bez konieczności rozpakowania, klienci pobieraliby towar bezpośrednio z kapsuły, podobnie jak w sklepach dyskontowych artykuły pobierane są bezpośrednio z palet transportowych. W tym przypadku kapsuła byłaby ustawiana w sklepie pionowo.

c) Analiza i zalecenia co do sposobu napędu kapsuł: pneumatyczny, hydrauliczny czy indukcyjny liniowy; opracowanie metod zmniejszenia tarcia (łożyska, lewitacja magnetyczna, zawieszenie w cieczy/gazie). Możliwe jest zastosowanie napędu pneumatycznego lub indukcyjnego silnika liniowego. W tym drugim przypadku kapsuły mogłyby być prowadzone w rurociągu na zasadzie lewitacji magnetycznej. Prawdopodobnie będzie konieczne ułożenie co kilka kilometrów stacji zasilania, a co kilkadziesiąt kilometrów – budynków mieszczących stacje węzłowe ze zwrotnicami.

d) Określenie sposobu i środków adresowania, śledzenia i kontrolowania kapsuł za pomocą komunikacji

przewodowej lub bezprzewodowej, sensorów i skomputeryzowanego sterowania, sposoby interwencji w razie awarii (kapsuły serwisowe).

e) Określenie optymalnego materiału na rurociągi. Obliczenie współczynników zużycia (czas życia materiałów) podczas normalnego użytkowania. Polipropylen lub polietylen o dużej gęstości (HD) zapewniają 50-letnią eksploatację w przypadku gazociągów. Mimo wszystko, koszt budowy, chociaż wielokrotnie mniejszy niż dróg kołowych, jest znaczny, a więc optymalizacja trasy jest bardzo ważna. Do optymalizacji trasy można zastosować algorytm komiwojażera.

f) Obliczenie czynników energetycznych dla całego systemu przy uwzględnieniu prędkości, grawitacji (nachylenie rur w stosunku do poziomu, czy system powinien naśladować przebieg terenu czy powinien śledzić istniejące poziome kanały i linie kolejowe), wpływ procesu startu i zatrzymania dla kapsuł o różnych masach [8], obliczenie optymalnych prędkości oraz możliwych przyspieszeń (dodatnich i ujemnych). Dla oszacowania kosztów eksploatacji systemu należy przeprowadzić obliczenia zapotrzebowania energii uwzględniając całą masę transportowaną przez system – pełnych i pustych kapsuł, ponadto tarcie zależne od materiału rurociągu i zastosowanego łożyskowania oraz gradienty wznoszenia/opadania terenu. Być może korzystne będzie prowadzenie rurociągów wzdłuż obiektów mających przebieg poziomy, jak istniejące kanały oraz linie kolejowe, nawet kosztem wydłużenia trasy. W miastach rurociągi powinny być usytuowane jednak na tyle głęboko pod ziemią, aby uniknąć kolizji z istniejącą infrastrukturą (wodociągi, gazociągi, kanalizacja, kable energetyczne i komunikacyjne, filary budynków, metro). W określonych miejscach niezbędne będzie wybudowanie wind do transportu towarów z podziemnych stacji na powierzchnię.

g) Obliczenie niezbędnej przepustowości systemu – w tym celu można przyjąć, że wyżywienie określonej populacji, np. w skali kraju, wymaga określonej minimalnej masy środków żywnościowych, którą można obliczyć, podobnie jak innych produktów stałych i płynnych zużywanych codziennie w kuchni i łazience, kupowanych cotygodniowo. Statystyczna rodzina konsumuje więc policzalną ilość dóbr, które należy jej dostarczyć. Wiodącym parametrem jest jednak nie masa lecz objętość. Ciężarówki mają zwykle znacznie większą niż niezbędna ładowność jeśli chodzi o masę. To samo dotyczy kapsuł. Teoretycznie kapsuła wypełniona całkowicie piwem czy napojem gazowanym może przewieźć znacznie więcej napoju niż gdyby była wypełniona napojem w puszkach czy butelkach. Podobnie masa płatków śniadaniowych, opakowanych i gotowych do sprzedaży będzie wielokrotnie mniejsza niż płatków przewożonych luzem. Zadaniem systemu będzie więc transport oszacowanej objętości towarów, codziennie, po konkurencyjnej cenie. Można przyjąć koncepcję opartą na modelu pocztowym, gdzie większość przesyłek ma stałą cenę znaczka pocztowego, niezależnie od odległości. Inna koncepcja opłat może uwzględniać objętość towaru i odległość.

Podsumowanie

Opisane w artykule zagadnienia umożliwią zupełnie nowe podejście do transportu rurociągami, zmieniając diametralnie utarte poglądy, że nadaje się on jedynie do cieczy i gazów, a w przypadku ciał stałych jedynie do ich sfluidyzowanej postaci. Realizacja koncepcji przyczyni się do powstania nowej gałęzi nowoczesnego przemysłu, zmniejszającej ceny żywności i innych produktów konsumpcyjnych dzięki zmniejszeniu kosztów transportu. Stworzy tysiące stanowisk pracy na miarę XXI wieku, przejmując pracowników z innych, tradycyjnych, energochłonnych sektorów (produkcja i serwis pojazdów, transport lądowy oraz budowa i remonty dróg).

Zdaniem autorów wprowadzenie omawianej technologii jest tylko kwestią czasu i to niezbyt odległego, albowiem wiele instytucji podjęło już badania w tym kierunku. Należy poważnie zastanowić się nad podjęciem takich badań w kraju, tak aby znaleźć się w czołówce, współuczestniczyć w ustalaniu standardów i w przyszłości korzystać z komercjalizacji tej techniki.

Bibliografia

1. Liu H., Gandhi R. L., Carstens R., Klinzing G.: *Freight Pipelines: Current status and anticipated future of use*. Journal of Transportation Engineering, July/August 1998, p. 300–310.
2. Hodson N.: *Foodtubes – Energy saving pipeline capsule goods transport*. 5th International Symposium on Underground Freight Transportation by Capsule Pipelines and Other Tube/ Tunnel Systems ISUFT 2008, Arlington, Texas, March 20-22, 2008, 19 p.
3. Greene D.L., Wegener M.: Sustainable transport. Journal of Transport Geography, Vol. 5, 1997. p. 177–190.
4. Egbunke O., Potter A., Found P., Packianather M.: *Are capsule pipelines a pipe dream: A critical review* (2008), Proceedings of the 13th Logistics Research Network Conference, Liverpool, September 10–12, 2008, p. 563–568.
5. Liu H., Lenau C.W.: *An Advanced Electromagnetic Capsule Pipeline System for Conveying Minerals and Mine Wastes*. 4th International Symposium on Underground Freight Transport (ISUFT), Shanghai, China, October 20-21, 2005, 12 p.
6. Liu H., Lenau C.W.: *An Electromagnetic Pneumo Capsule System for Conveying Minerals and Mine Wastes*, Final Report of the US Department of Energy project No.: DE-FG26-03NT41928.
7. Liu H.: *Transporting Freight Containers by Pneumatic Capsule Pipeline (PCP): Port Security and Other Issues*. Invited presentation at Summer Meeting of US Transportation Research Board (TRB) LaJolla, California, July 10, 2006.
8. Zhao Y., Lundgren T. S.: *Dynamics and Stability of Capsules in Pipeline Transportation*. Minnesota Dept. of Transportation, Office of Research Administration, 200 Ford Building MS 330, 117 Univ. Ave., St. Paul, MN 55155, Report No. 96–17. ■