

Intermodalny transport kapsuł Hyperloop – koncepcja, wymagania, korzyści

Michał RUDOWSKI¹

Streszczenie

W artykule przedstawiono koncepcję rozszerzenia zastosowania Hyperloop w transporcie towarów i osób. Kapsuły Hyperloop mają poruszać się z maksymalną prędkością od kilkuset km/h do prędkości dźwięku, więc powinny znaleźć zastosowanie w szybkim transporcie na odległość od kilkuset do kilku tysięcy kilometrów. Obecnie, takie potrzeby zaspokajają linie lotnicze i linie Kolei Dużych Prędkości (KDP), które oferują przejazdy z mniejszą prędkością, ale mogą odbierać i dowozić pasażerów lub ładunki bliżej miejsca rozpoczęcia podróży oraz miejsca przeznaczenia. Przedstawiona koncepcja polega na skonstruowaniu i wykorzystaniu intermodalnych kapsuł Hyperloop, które pozbawione elementów napędowych mogłyby być wykorzystane, podobnie jak tradycyjne kontenery, do szybkiego transportu towarów, a w dalszej perspektywie osób. W artykule przedstawiono podstawowe wymagania dla kapsuł oraz środków ich transportowania, takich jak pojazdy Hyperloop, specjalizowane samoloty, specjalne (odpowiednio zaprojektowane do przewozu kapsuł) składki pociągów KDP, a także siodłowe ciągniki drogowe lub jednostki pływające wykonujące przewozy w zakresie „ostatniej mili”. Opisano również korzyści wynikające z konstrukcji i zastosowania kapsuł intermodalnych i przeznaczonych dla nich środków transportu. W podsumowaniu oceniono perspektywy wdrożenia nowej gałęzi transportu intermodalnego, która przy jednoczesnym zastosowaniu współczesnych metod i środków informatycznych może przyczynić się do szybszego transportowania towarów i osób nie tylko dzięki skróceniu czasu przejazdu (Hyperloop, KDP, samolot), ale również dzięki skróceniu czasu operacji w punktach przeładunku kapsuł, które mogłyby być transportowane od miejsca początkowego do docelowego bez przesiadek lub przeładunku. Zdaniem autora, takie rozwiązanie w pierwszej kolejności umożliwi szybki transport towarów do ośrodków, gdzie nie będzie terminali Hyperloop, a docelowo przyspieszyć transport osób wzbogacając i uzupełniając rynek przewozów.

Słowa kluczowe: intermodalne kapsuły, Hyperloop, kolej, lotnictwo

1. Wstęp

Hyperloop jest nowatorską koncepcją nowego (piątego) rodzaju transportu, zwanego także koleją próżniową. W tej koncepcji pojazd, będący zamkniętą hermetycznie kapsułą z przewożonym ładunkiem lub pasażerami, porusza się w rurze o obniżonym ciśnieniu. Założenia przyjmowane przez twórców tego transportu mówią o mniejszym niż na kolei dużych prędkości koszcie infrastruktury i oszczędności energii wskutek zmniejszenia oporów ruchu. Mniejsze opory ruchu są spowodowane mniejszym oporem powietrza dzięki obniżonemu ciśnieniu we wnętrzu rury będącej torem jazdy oraz zastosowaniu poduszek magnetycznych lub innych rozwiązań układów jezdných. Zwraca się także uwagę na ekologiczne walory tego rodzaju transportu, ponieważ do napędu miałyby być używane silniki elektryczne obrotowe i / lub liniowe,

które mogłyby być zasilane energią elektryczną pochodzącą między innymi z baterii fotowoltaicznych masowo wytwarzanych dla tego transportu i umieszczanych ponad rurami służącymi do transportu kapsuł. Ten nowy, przyszły rodzaj transportu będzie nazywany Hyperloop.

Oprócz zalet, na które zwracają uwagę entuzjaści tego rozwiązania pojawiają się także liczne problemy do rozwiązania zanim ten transport zaistnieje, a tym bardziej znajdzie szerokie zastosowanie i zyska faktyczne znaczenie na rynku. Hyperloop łączy wiele cech wspólnych przede wszystkim z dwoma rodzajami transportu: kolejowym i lotniczym. W zakresie infrastruktury istnieje wiele podobieństw do transportu kolejowego, ponieważ jest wymagana infrastruktura liniowa od miejsca początkowego do docelowego. Infrastruktura ogranicza jednak dostępność tego transportu do ściśle zdefiniowanych punktów oraz tras,

¹ Dr inż.; Politechnika Warszawska, Instytut Informatyki; e-mail: mrd@ii.pw.edu.pl.

przy czym po jednej trasie na określonym odcinku może poruszać się tylko jeden pojazd w danym kierunku, a wyprzedzanie lub wymijanie może nastąpić wyłącznie w określonych miejscach wyposażonych w specjalną infrastrukturę. Podobnie jest w transporcie kolejowym, przewożącym ładunki lub pasażerów z konkretnych miejsc nadania do konkretnych miejsc docelowych.

Jako jednostka transportująca, kapsuła Hyperloop ma wiele cech wspólnych z samolotem: hermetycznie zamykane wnętrza, jest ściśle ograniczona pojemność, konstrukcja wykonana z lekkich, lecz wytrzymałych materiałów i zbliżone prędkości. Zapewne pierwsze pojazdy będą osiągać prędkości zbliżone do prędkości KDP oraz samolotów turbośmigłowych, a dopiero w dalszym etapie rozwoju osiąganą prędkości porównywalne do prędkości samolotów odrzutowych. Podobnie jak w transporcie lotniczym, dostępność transportu Hyperloop będzie również ograniczona do lokalizacji z odpowiednią infrastrukturą (lotnisko).

Wymienione cechy, podobieństwa i ograniczenia transportu Hyperloop, w stosunku do istniejących rodzajów transportu powodują, że w istniejących warunkach konkurencji jego uruchomienie nie będzie łatwe. Przewaga wynikająca z większej prędkości nad transportem kolejowym będzie niewielka, w stosunku do transportu lotniczego jej nie będzie, a przynajmniej początkowo koszty będą znacznie wyższe od optymistycznie deklarowanych. Dodatkowo, zdolność przewozowa systemu Hyperloop będzie znacznie ograniczona wymiarami (szerokością rury) oraz odległością pomiędzy kapsułami, niezbędną do bezpiecznego hamowania. Wstępne obliczenia [9] wskazują, że zdolność przewozowa jednej linii (jednej nitki) nie będzie przekraczać 1000 osób lub 100 ton ładunku na godzinę. Odpowiada to jednemu pociągowi pasażerskiemu albo trzem średnim lub dwóm szerokokadłubowym samolotom, a dla transportu towarowego zaledwie kilku wagonom lub samochodom ciężarowym.

W ostatnim okresie koncepcja Hyperloop stała się głośna dzięki zaangażowaniu dwóch znanych biznesmanów: Elona Muska właściciela firm takich, jak SpaceX i Tesla oraz Richarda Bransona właściciela i prezesa grupy Virgin skupiającej kilkaset przedsiębiorstw. Firma SpaceX od 2017 r. organizuje otwarte konkursy na najlepsze prototypy pojazdów. W 2017 r. odbyły się dwa takie konkursy, a najbliższy konkurs będzie zorganizowany latem 2018 r.

W artykule [1] opisano ogólne założenia tego nowego rodzaju transportu i wstępne studium techniczne rozwiązań Hyperloop, w [5] zaś przedstawiono

podstawy technologii Hyperloop. W 2017 r. pełnowymiarowa kapsuła Hyperloop osiągnęła prędkość 387 km/h [2].

W Polsce również obserwuje się zainteresowanie rozwojem tego nowego środka transportu [3, 4, 6–10]. W październiku 2017 r. na konferencji naukowo-technicznej „IT w transporcie szynowym”² większa część sesji poświęconej nowym rozwiązaniom w transporcie dotyczyła technologii Hyperloop [8]. W dyskusji wzięli udział przedstawiciele polskich firm Hyperloop Poland sp. z o.o. i Euroloop sp. z o.o. rozwijających tę technologię, zamierzających realizować projekty z zakresu Hyperloop. Ich działania dostrzegły i doceniły podmioty publiczne operujące na rynku kolejowym. Instytut Kolejnictwa i PKP Informatyka spółka z o.o. podpisały listy intencyjne o współpracy z tymi firmami w dziedzinie rozwoju nowych technologii transportu. W artykule [4] przedstawiono podstawy technologiczne transportu Hyperloop oraz perspektywy zastosowania tych technologii ze szczególnym uwzględnieniem Polski, a w [10] oceniono możliwości zastosowania Hyperloop do transportu pasażerskiego w Polsce. Instytut Kolejnictwa zapowiedział budowę toru doświadczalnego Hyperloop na terenie swojego Ośrodka Eksploatacji Toru Doświadczalnego w Żmigrodzie [4]. Autor niniejszego artykułu również zaprezentował swoje koncepcje i uwagi na dorocznej VI Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Najnowsze technologie w transporcie szynowym” w Warszawie [6, 7]. Ponadto, potencjał rozwoju nowego rodzaju transportu dostrzeżono także w kontekście decyzji o budowie Centralnego portu Lotniczego [3, 9].

Celem artykułu jest przedstawienie koncepcji rozszerzenia zastosowania idei Hyperloop w transporcie ładunków i osób. Zakłada się, że kapsuły Hyperloop mają się poruszać z maksymalną prędkością w zakresie od kilkuset km/h do prędkości dźwięku, powinny zatem znaleźć zastosowanie w warunkach rzeczywistej potrzeby szybkiego transportu. Obecnie, takie potrzeby zaspokajają linie lotnicze oferując przeloty z tą prędkością oraz w niektórych przypadkach linie kolejowe Kolei Dużych Prędkości (KDP) oferujące przejazdy z prędkością 2–3-krotnie mniejszą, ale z możliwością transportu pasażerów i nadania lub odbierania ładunku bliżej miejsca nadania oraz przeznaczenia. Koncepcja autora polega na takim zaprojektowaniu kapsuł Hyperloop oraz środków ich przemieszczania, aby bez przesiadek pasażerów i przeładunków towarów, mogły służyć do transportu także do lokalizacji, w których nie jest dostępna infrastruktura Hyperloop. Umożliwi to uzyskanie następujących korzyści:

² VI Międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna była zorganizowana w Warszawie przez Instytut Kolejnictwa i Politechnikę Warszawską.

- skrócenie czasu transportu w niektórych relacjach,
- uniknięcie przesiadek lub przeładunków, a przez to uniknięcie niebezpieczeństwa uszkodzenia ładunków i bagażu,
- podniesienie komfortu podróży,
- rozszerzenie oferty Hyperloop zwłaszcza w pierwszym okresie eksploatacji,
- udostępnienie nowych możliwości w transporcie *door to door*.

W następnym rozdziale przedstawiono autorską koncepcję intermodalnego transportu kapsuł Hyperloop polegającą na przemieszczaniu kapsuł Hyperloop za pomocą innych środków transportu. W dalszej części artykułu autor przedstawił wymagania, które muszą być spełniane przez poszczególne elementy systemu intermodalnego do transportu kapsuł: kapsuły Hyperloop, środki transportu wykorzystywane do przemieszczania kapsuł, terminale intermodalne oraz dodatkowe wymagania dotyczące organizacji tego transportu warunkujące jakość usług. W rozdziale czwartym, autor podjął próbę oceny możliwości zastosowań intermodalnych kapsuł i możliwych korzyści wynikających ze stosowania różnych rodzajów transportu do przemieszczania. Wnioski przedstawiono w podsumowaniu.

2. Koncepcja intermodalnego transportu kapsuł Hyperloop

Idea rozszerzenia transportu kapsuł Hyperloop na pozostałe rodzaje transportu polega na potraktowaniu kapsuły Hyperloop, pozbawionej części napędowej oraz zapewniającej przemieszczanie się we wnętrzu rury będącej torem jazdy, jako kontenera o przekroju owalnym przeznaczonego do przewozu ładunków lub osób.

Zakładając, że kapsuła spełnia następujące warunki:

- ma przekrój owalny,
 - jest hermetyczna,
 - jest zbudowana z lekkich i wytrzymałych materiałów stosowanych w lotnictwie,
 - zawiera zestaw baterii lub akumulatorów do podtrzymania działania urządzeń technicznych w czasie zmiany środka transportu,
- to takie kapsuły można umieszczać w samolotach specjalnej konstrukcji, na specjalnych platformach kolei dużych prędkości lub kolei konwencjonalnych, a także na naczepach samochodowych i nawet na szybkich jednostkach pływających.

Wykorzystanie takich kapsuł – kontenerów, przy spełnieniu pewnych warunków, może znacznie rozszerzyć możliwości zastosowania nowego typu trans-

portu dzięki zredukowaniu jego pewnych wad, co może mieć szczególne znaczenie w początkowym okresie jego rozwoju. Założenia pomysłu autora są następujące:

1. Kapsuła Hyperloop charakteryzuje się budową modułową, składa się z osobnych elementów:
 - napędu – silniki, urządzenia zasilające, przenoszenia napędu oraz hamowania,
 - kapsuły pasażerskiej lub towarowej z akumulatorami i wyposażeniem zapewniającym działanie instalacji wewnętrznych.
2. Wymienione elementy mogą być w szybki i zautomatyzowany sposób rozłączane lub łączone na czas transportu w miejscu zmiany środka transportu.
3. Elementy kapsuł są zestandaryzowane, dla różnych typów infrastruktury, dopuszczalnych typów napędu (kapsuły mogą mieć zróżnicowaną pojemność i ładowność).
4. W terminalach, kapsuły mogą być automatycznie przeładowywane na różne środki transportu, jak na przykład na:
 - inny transport Hyperloop, jeśli będą wdrożone różne infrastruktury na przykład o różnych średnicach rury lub innych urządzeniach zasilających, napędzających i / lub hamujących,
 - samolot specjalizowany do przewozu kapsuł,
 - pociąg KDP lub ewentualnie pociąg konwencjonalny przystosowany do przewozu kapsuł,
 - ciągnik siodłowy ze specjalną naczepą,
 - szybki statek (np. wodolot) przystosowany do przewozu kapsuł.

W celu praktycznej realizacji propozycji autora, kapsuły, środki ich przemieszczania oraz terminale (stacje do zmiany środka transportu oraz operacji wsiadania, wysiadania oraz załadunku i wyładunku), muszą spełniać dodatkowe warunki opisane w rozdziale 3 artykułu.

3. Wymagania dla kapsuł, środków ich przemieszczania oraz terminali

W celu możliwie efektywnego wykorzystania różnych rodzajów transportu do przewozu kapsuł, poszczególne elementy systemu transportowego muszą spełniać następujące, dodatkowe wymagania.

3.1. Kapsuły

Aby kapsuły mogły być transportowane połączeniami Hyperloop, transportem lotniczym, lądowym lub wodnym, powinny mieć następujące cechy:

- hermetyczne zamknięcie kapsuł, z możliwością automatycznego otwierania z centrum sterowania,

oraz awaryjnego otwierania z zewnątrz i od wewnątrz,

- własne urządzenia w postaci schodów / trapu ułatwiające wchodzenie do kapsuły, jej opuszczanie oraz załadunek i rozładunek na terminalach lub w przypadku zatrzymań awaryjnych,
- izolacja termiczna i akustyczna do zachowania komfortu podróży w ruchu oraz podróży lotniczych,
- wykonanie z lekkich i wytrzymałych materiałów wykorzystywanych w lotnictwie dla umożliwienia transportu lotniczego oraz zachowania bezpieczeństwa przewozu pasażerów i ładunków w czasie przemieszczania dowolnym środkiem transportu,
- efektywne systemy automatycznego dołączania i odłączania części napędowych kapsuł bez istotnych wstrząsów wpływających na komfort pasażerów lub stan ładunków.

3.2. Środki transportu kapsuł

Każdy ze środków transportu wykorzystywanego do przemieszczania kapsuł, jak: urządzenia Hyperloop, samolot, pociąg, ciągnik z naczepą lub jednostka pływająca musi być dostosowana do przewożenia kapsuł, z czego wynikają kolejne wymagania:

- zbudowanie odpowiednich pojazdów Hyperloop o budowie modułowej z odłączanymi kapsułami oraz samolotów, platform kolejowych, pojazdów drogowych i jednostek pływających do przewozu kapsuł,
- standaryzacja wymiarów kapsuł związana z dopuszczalnymi maksymalnymi wymiarami pojazdów drogowych i / lub skrajni linii kolejowych,
- standaryzacja elementów połączeń kapsuł z poszczególnymi środkami transportu,
- pojazdy, którymi poruszają się kapsuły w infrastrukturze Hyperloop, na stacjach oraz wybranych innych środkach transportu (kolej, pojazdy, jednostki pływające i samoloty) powinny być zdalnie zarządzane, zautomatyzowane i w niektórych przypadkach (Hyperloop, kolej) autonomiczne.

3.3. Terminale

Stacje, na których będą realizowane operacje załadunku i wyładunku, powinny zapewnić oddzielenie ruchu pasażerskiego i towarowego oraz być wyposażone w urządzenia wspomagające wsiadanie i wysiadanie oraz załadunek i wyładunek towarów. Powinny być przewidziane stanowiska do szybkich operacji oraz stanowiska odstawkowe, na których pojazdy i kapsuły różnego zastosowania mogłyby oczekiwać na użycie oraz być przeglądane i naprawiane. Liczba stanowisk musi być powiązana z długością, przepustowością i obciążeniem poszczególnych linii dochodzących do danej stacji tak, aby na niektórych z nich była możliwa obsługa w sytuacjach awaryjnych.

Organizacja stacji Hyperloop ma także zapewnić, aby operacje zmiany środka transportu, wsiadania i wysiadania realizowane na stacjach pośrednich, nie wstrzymywały ruchu przelotowego. Konstrukcje stacji i jej otoczenia muszą być dostosowane do zmiany prędkości i dostosowania prędkości do promieni łuków występujących w infrastrukturze.

3.4. Organizacja transportu

Organizacja transportu w punktach początkowych, pośrednich i docelowych powinna zapewnić maksymalne skrócenie czasu koniecznych operacji, zapewnić bezpieczeństwo i komfort pasażerom oraz zagwarantować ładunkom właściwe parametry środowiskowe. Osiągnięcie optymalnej organizacji wymaga wykorzystania najnowszych rozwiązań ICT i przygotowania automatycznych systemów do realizacji operacji transportowych z wykorzystaniem najnowszych technik ICT w tym Internet of Things (IoT), Cloud Computing, 5G oraz metod sztucznej inteligencji. Taka organizacja, która optymalnie zaspokoi potrzeby klientów wykorzystując różne środki transportu jest nowym wyzwaniem. Jego realizacja wymaga, aby producentami sprzętu i operatorami były przedsiębiorstwa cyfrowe [6], które potrafią wykorzystać właściwie osiągnięcia technik ICT do realizacji usług i ich optymalizacji w zakresie jakości i kosztów.

4. Ocena możliwości zastosowań i korzyści z wdrożenia intermodalnych kapsuł

Zdaniem autora, wykorzystanie kapsuł Hyperloop do transportu intermodalnego nie stanowi szczególnego wyzwania, zwłaszcza w porównaniu z innymi wyzwaniami stojącymi przed twórcami nowych technologii. Współczesne technologie sprzęgów w różnych urządzeniach i środkach transportu pozwalają na automatyczne i bezpieczne łączenie i rozłączanie elementów pojazdów. Do realizacji koncepcji konieczne jest przede wszystkim opracowanie nowych konstrukcji samolotów o średnicach kadłubów odpowiadających średnicom kapsuł Hyperloop i pozwalających na sprawny, szybki i komfortowy załadunek i rozładunek kapsuł. Jeden samolot mógłby służyć do transportu jednej lub kilku kapsuł. Zakres szerokości kadłubów obecnie produkowanych samolotów jest na tyle szeroki, że na podstawie dotychczasowych konstrukcji jest możliwe zaprojektowanie i zbudowanie odpowiedniego urządzenia do przenoszenia kapsuł o maksymalnych dopuszczalnych rozmiarach dla transportu kolejowego lub drogowego. Kapsuła dla ruchu lotniczego, kolejowego i drogowego powinna

mieć średnicę nie przekraczającą 260 cm, a przeznaczoną wyłącznie do ruchu lotniczego i kolejowego, może mieć średnicę do około 310 cm. Decydujące jest ograniczenie szerokości kapsuły. Wysokość kapsuły łącznie z podwoziem nie będzie większa od powszechnie używanych pojazdów drogowych i kolejowych jakimi są wagony i piętrowe autobusy. Zakres zastosowań kapsuł może zatem mieć wpływ na średnicę infrastruktury Hyperloop, co należy już obecnie wziąć pod uwagę przy projektowaniu pojazdów oraz infrastruktury. Wynika stąd konieczność opracowania technicznych standardów interoperacyjności (TSI) dla wybranych obszarów i zastosowań na określonych terytoriach.

Mniejszym problemem, niż przygotowanie samolotów, jest przygotowanie pojazdów szynowych i drogowych, gdyż istnieją podobne pojazdy do przewozów kontenerów. Dodatkowe wymagania będą związane ze średnicą i kształtem kapsuły, zasilaniem w energię oraz technikami mocowania kapsuły w pojeździe. W zależności od środka transportu i warunków lokalnych, są różne ograniczenia szerokości pojazdów drogowych i szynowych. Średnice kapsuł, a w konsekwencji odpowiadające im średnice rur stanowiących infrastrukturę Hyperloop, powinny spełniać wymagania wynikające z tych ograniczeń na danym obszarze. Na jednym pojeździe szynowym lub drogowym byłoby również możliwe załadowanie jednej lub kilku kapsuł o jednakowej średnicy w zależności od ich długości. Konieczne jest zapewnienie zasilania kapsuł w trakcie przewozu, niezbędnego dla utrzymania warunków środowiskowych we wnętrzu i pracy urządzeń pokładowych.

Wykorzystanie kapsuł Hyperloop, po odłączeniu części napędowych do transportu innymi środkami transportowymi stwarza wiele możliwości, które mogą nie tylko przyspieszyć i ułatwić rozwój nowego środka transportu, ale także rozszerzyć na nowe terytoria korzyści z wykorzystania tego środka i powiększyć docelową grupę klientów. Jednocześnie takie rozwiązanie da możliwość wykorzystania tych środków transportu, które na danym obszarze, na konkretnych odcinkach mają najwięcej zalet, w tym najlepszą w danym miejscu i czasie infrastrukturę. Postulowane przez autora artykułu rozwiązanie umożliwia wykorzystanie zalet różnych środków transportu, które w określonym czasie i miejscu dla określonych osób i ładunków mają największe znaczenie. Stwarza to warunki do częściowego zastąpienia konkurencji międzygałęziowej współpracą różnych środków transportu stwarzającą warunki do zrównoważonego rozwoju i efektywnego wykorzystania różnych dostępnych środków transportu i infrastruktury. Każdy z wymienionych zasobów będzie mógł być wykorzystany w miejscu i czasie, w którym może przynieść maksymalne korzyści,

Autor pragnie zwrócić uwagę na następujące korzyści zastosowania transportu intermodalnego kapsuł Hyperloop:

1. Realizacja szybkich przewozów ładunków i pasażerów od drzwi do drzwi (*door to door*), bez przeładunków i przesiadek, dzięki zastosowaniu różnych środków.
2. Skrócenie operacji w dotychczasowych punktach przesiadkowych – długi czas przesiadek w portach lotniczych i na dworcach jest spowodowany:
 - skomplikowanymi procedurami,
 - brakiem skomunikowań wynikającym często z małego potoku pasażerów lub ładunków.
3. Skrócenie operacji w punktach przesiadkowych umożliwia zwiększenie prędkości handlowej, niezależnie od wykorzystywanych środków transportu.
4. Transport Hyperloop docelowo jest najszybszym (wraz z transportem lotniczym) środkiem transportu, pozostała część podróży może być zrealizowana środkami transportu optymalnymi na danej trasie.
5. Ułatwienie tranzytu – dzięki stałemu monitoringowi jest możliwe pominięcie operacji związanych z przekraczaniem granic, jeśli nie są konieczne przeładunki i przesiadki.
6. Rozszerzenie oferty transportowej w zakresie dużych prędkości o porty lotnicze oraz stacje KDP.
7. Zwiększenie zasięgu Hyperloop o przeloty samolotami i przejazdy KDP, a na krótkich odcinkach także z wykorzystaniem transportu drogowego, wodnego i kolejowego, a przez to niemal nieograniczona dostępność szybkiego i komfortowego transportu ludzi i ładunków.
8. Poszerzenie zakresu oddziaływania transportu Hyperloop dzięki połączeniu konwencjonalnych środków transportu.
9. Zmniejszenie zakresu poszczególnych środków transportu do linii i obszarów ich największej efektywności ekonomicznej, co jest zgodne ze strategią zrównoważonego rozwoju, umożliwia lepsze wykorzystanie infrastruktury poszczególnych rodzajów transportu.
10. Lepsze wykorzystanie dotychczasowej infrastruktury tam, gdzie nie jest dostępny transport Hyperloop.
11. Korzyści z punktu widzenia ochrony środowiska naturalnego ze względu na planowaną niskoemisyjność i efektywność energetyczną Hyperloop.

5. Podsumowanie

Rozwiązanie proponowane przez autora, polegające na wykorzystaniu kapsuł Hyperloop bez elementów napędowych do transportu intermodalnego, daje szansę na wykorzystanie zalet różnych rodzajów transportu w przemieszczaniu osób i ładunków. Będzie to szansa na zwiększenie dostępności szybkiego

transportu na obszarach bez infrastruktury Hyperloop, ale z dostępem do infrastruktury lotniczej lub KDP. W większości ośrodków, infrastruktura lotnicza lub kolejowa jest dostępna. Dodatkowo istnieje możliwość transportu kapsuł w zakresie „ostatniej mili” transportem samochodowym lub wodnym, co znacząco rozszerza dostęp do szybkiego transportu z wyeliminowaniem przesiadek lub przeładunków, a więc realizację przewozów od drzwi do drzwi (*door to door*). Mocne i lekkie konstrukcje kapsuł mogą mieć również pozytywny wpływ na bezpieczeństwo. Niska emisyjność nowego rodzaju transportu daje nadzieję na jego rozwój i ekonomiczną efektywność. Zaletą tego pomysłu jest także możliwość, że konkurencja między gałęziami transportu przynajmniej w pewnym zakresie będzie zastąpiona współdziałaniem polegającym na wykorzystaniu różnych środków transportu tam, gdzie ze względów ekonomicznych i handlowych jest to najbardziej korzystne przy wyeliminowaniu pewnych rodzajów transportu na odcinkach, gdzie ich zastosowanie jest nie ekonomiczne, powoduje wzrost czasu przewozu albo dyskomfort pasażerów lub konieczność dodatkowego przeładunku. Zatem transport Hyperloop z rozszerzeniem intermodalnym:

1. Istotnie zwiększa zasięg oddziaływania szybkiego transportu w stosunku do osobnych linii lotniczych, linii KDP oraz linii Hyperloop, co ułatwi zwrot kosztów inwestycji w nowy rodzaj transportu.
2. Może znaleźć zastosowanie w szybkim transporcie dla:
 - podróży służbowych,
 - turystyki,
 - przewozów VIP,
 - przewozu przesyłek pocztowych i kurierskich,
 - transportu ładunków o szczególnych wymaganiach w stosunku do czasu transportu i warunków środowiskowych, jak ładunki niebezpieczne i ładunki o krótkim czasie trwałości lub specjalnych wymaganiach środowiska na przykład: tkanki ludzkie, zwierzęce i inne materiały biologiczne lub chemiczne.
3. Przy wykorzystaniu transportu drogowego lub wodnego w zakresie tzw. „ostatniej mili” umożliwia obsługę szybkim transportem *door to door* praktycznie każdej lokalizacji na świecie.

Wdrożenie intermodalnych kapsuł Hyperloop może przynieść wymienione korzyści, wymaga jednak realizacji następujących zadań:

1. Przyjęcie standardów (techniczne standardy interoperacyjności – TSI) w zakresie:
 - średnicy rur do transportu Hyperloop zgodnego ze skrajnią kolejową i / lub przepisami drogowymi,
 - systemów mocowania kapsuł w pojazdach różnych środków transportu,
 - zasilania i komunikacji.

2. Zaprojektowanie i wykonanie intermodalnych kapsuł oraz pojazdów do ich przemieszczania (napędów Hyperloop, samolotów, platform kolejowych, ciągników i naczip drogowych, jednostek transportu wodnego).
3. Zaprojektowanie i realizacja terminali intermodalnych dla transportu pasażerskiego i towarowego.
4. Tworzenie standardów kapsuł, pojazdów, infrastruktury transportowej i terminali musi uwzględniać osiągnięcia współczesnych technik informacyjnych, aby była możliwa taka organizacja transportu, która zapewni maksymalną realizację potrzeb klientów.

Realizacja tych zadań otworzy drogę do integracji szybkiego transportu pasażerskiego i towarowego, umożliwiając szybszy niż dotychczas transport *door to door* i tym samym realizację potrzeb klientów.

Literatura

1. Hyperloop Alpha, www.spacex.com/sites/spacex/files/hyperloop_alpha.pdf [dostęp 8 lutego 2018].
2. Hyperloop One, <https://hyperloop-one.com/> [dostęp 8 lutego 2018].
3. Koncepcja przygotowania i realizacji inwestycji Port Solidarność – Centralny Port Komunikacyjny dla Rzeczypospolitej Polskiej, 2017, Załącznik nr 4.
4. Informacja dotycząca potencjału wdrożenia na terytorium RP systemu kolei próżniowej opartej o Centralny Port Komunikacyjny lata 2018–2030.
4. Polak K.: *Technologia Hyperloop i perspektywy jej zastosowania*, Prace Instytutu Kolejnictwa, 156, Warszawa 2017.
5. Shinde R.T., Rajjade V.B., Lahare A.S., Sarode V.B.: *Hyperloop Transportation System*, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) Vol.: 04 Issue: 04, April – 2017.
6. Rudowski M.: *Cyfrowe systemy wspierające technologie Hyperloop*, „Najnowsze technologie w transporcie szynowym”, materiały konferencyjne, Warszawa 2017, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, ss. 107–108.
7. Rudowski M.: *Rozszerzenie zastosowania kapsuł Hyperloop w transporcie towarów i osób*, „Najnowsze technologie w transporcie szynowym”, materiały konferencyjne, Warszawa 2017, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, ss. 105–106.
8. Rudowski M.: II Konferencja naukowo-techniczna „IT w transporcie szynowym”, Prace Instytutu Kolejnictwa, 2017, zeszyt 156.
9. Żurkowski A.: *Centralny Port Komunikacyjny – warianty obsługi transportem naziemnym*, „Najnowsze technologie w transporcie szynowym”, materiały konferencyjne, Warszawa 2017, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, ss. 141–142.

10. Żurkowski A.: *Rozwój technologii Hyperloop w Polsce – zastosowania w przewozach pasażerskich*, Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK „Nowoczesne

technologie i systemy zarządzania w transporcie szynowym, Część II Transport szynowy. Sterowanie ruchem kolejowym, nr 2 (113), 2017, str. 199–208.

Intermodal Transport of Hyperloop Capsules – Concept, Requirements, Benefits

Summary

The paper presents the concept of extending the use of Hyperloop in the transport of goods and people. Hyperloop capsules are to move at a maximum speed from a few hundred km/h to a speed of sound, so they should be used in the event of the necessity of fast transport for a distance of several hundred to several thousand kilometers. Currently, such needs are met by airlines and High Speed Railways, which offer rides at a slower speed, but can receive and deliver a passenger or cargo closer to the point of departure and destination. The presented concept is based on the construction and use of intermodal Hyperloop capsules, which without drive components could be used similarly to traditional containers for fast transport of goods, and in the longer term for people. The paper presents basic requirements for capsules and means of transporting them, such as Hyperloop vehicles, specialized planes, dedicated trains of High Speed Railways, as well as road tractors or ships performing transport in the „last mile” area. The paper discusses the benefits resulting from the design and use of intermodal capsules and means of transport dedicated to them. In the summary, the prospects for the implementation of a new intermodal transport mode were assessed, while using modern IT methods and IT means, may contribute to faster transport of goods and people not only due to shortened travel time (Hyperloop, High Speed Railways, planes), but also due to shortened operation time in points reloading capsules that could be transported from the starting point to the destination without changing or reloading. Such a solution can first solve the problem of fast transport of goods to places, where there will be no Hyperloop terminals, and ultimately accelerate the transport of people. This solution enriching and completing the transport market.

Keywords: intermodal transport, capsule, Hyperloop, railways, aviation

Интермодальный транспорт капсул Hyperloop – концепция, требования, преимущества

Резюме

В работе представлена концепция расширения употребления капсул Hyperloop в пассажирском и грузовом транспорте. Капсулы Hyperloop должны двигаться с максимальной скоростью от нескольких сотен км/ч до скорости звука, и поэтому должны быть использованы в случае потребности скорого транспорта на дистанцию от нескольких сотен до нескольких тысяч километров. Ныне такие потребности исполняют авиакомпании и высокоскоростные железные дороги, которые предлагают перевозки со скоростью по меньше, но могут принять и доставить пассажиров и груз ближе места начала перевозки и места предназначения. Представлена концепция позволяет построить и использовать интермодальных капсул Hyperloop, которые лишены элементов привода, могли бы быть использованы в виде традиционный контейнеров для скорого транспорта грузов, а в дальнейшей перспективе также пассажиров. В работе представлены основные требования для капсул и способов их передвижения как транспортные средства Hyperloop, специализированные самолеты, специальные подвижные составы высокоскоростных поездов, а также седельные тягачи или судна обеспечивающие перевозки „последней мили”. В работе рассмотрены преимущества по постройке и употреблению интермодальных капсул и предназначенных для них средств транспорта. В итогах сделана оценка перспектив внедрения

новой области интермодального транспорта, которая при одновременным употреблении современных методов и средств связи может способствовать более скорому транспорту грузов и пассажиров не только благодаря сокращению времени перевозки (Hyperloop, высокоскоростные железные дороги, самолет), но также благодаря сокращению времени перегрузки в пунктах перегрузки капсул, которые могли бы транспортироваться с места начала до места назначения без пересадок и перегрузок. По мнению автора такое решение может во первых решить вопрос скорого транспорта грузов в места, где отсутствуют терминалы Hyperloop, а в конечном счете ускорить транспорт обогащая и дополняя рынок перевозок.

Ключевые слова: интермодальные капсулы, Hyperloop, железная дорога, авиация