

## Odkrywanie kolei przyszłości – Hyperloop

Janusz POLIŃSKI<sup>1</sup>

### Streszczenie

W artykule opisano dotychczasowe działania dotyczące piątego środka transportu (po pojeździe kolejowym, drogowym, wodnym i lotniczym), jakim staje się system Hyperloop. Technologia tego systemu jest oparta na trzech elementach: rurze (wewnątrz której znacznie zmniejszono ciśnienie powietrza), pojeździe (lewitującej kapsule) i terminalu (miejscu wymiany podróżnych lub czynności ładunkowych). I chociaż ideę rozwiązania rozpowszechnił Elon Musk, to historia pierwszych pomysłów sięga XVIII wieku, o czym świadczą przytoczone przykłady. Artykuł zawiera opisy historycznych rozwiązań, a także pokazuje główne firmy, zajmujące się obecnie rozwojem tego systemu transportu, realizujące badania podstawowe, ukierunkowane na przyszłe wykorzystanie tej ekologicznej technologii do przewozu osób i ładunków.

**Słowa kluczowe:** transport kolejowy, koleje dużych prędkości, lewitacja magnetyczna, system Hyperloop

### 1. Wstęp

Hyperloop to powstający we współczesnych czasach system transportu dużych prędkości zarówno dla transportu publicznego, jak i towarowego. System składa się z trzech zasadniczych elementów: rury, pojazdu (kapsuły) i terminala. Rura to duży, długi i szczelny system niskiego ciśnienia, będący „torem” służącym do przemieszczania kapsuły. Kapsuła jest pojazdem specjalnej konstrukcji, w którym panuje ciśnienie atmosferyczne. Porusza się zasadniczo bez oporu powietrza i tarcia wewnątrz tej rury za pomocą napędu magnetycznego, wzmacnianego w niektórych przypadkach przez wentylator kanałowy [8]. Terminal obsługuje przyjazdy i odprawy kapsuł. Zgodnie z definicją, rozwiązania, niezintegrowane z trzema wymienionymi elementami, nie powinny nazywać się systemem/technologią Hyperloop. Idea dzisiejszego systemu Hyperloop ma swoje korzenie w epoce wiktoriańskiej, kiedy to George Medhurst (1759–1827) w 1799 roku przedstawił koncepcję kolei pneumatycznej, znanej później jako kolej atmosferyczna lub vactrain [1].

W 1812 roku George Medhurst napisał książkę, w której szczegółowo opisał swój pomysł transportu pasażerów i towarów w hermetycznych rurach za pomocą napędu powietrznego. Jego obliczenia i uwagi miały na celu udowodnienie możliwości wykonania, skutków i zalet planu szybkiego transportu towarów i pasażerów żelazną drogą

(w rurze o powierzchni 30 stóp) za pomocą siły i prędkości powietrza. Wyobraził sobie również wagony poruszające się po szynach, napędzane ciąglą rurą pod szynami, tak jak miało to później miejsce w kolejce atmosferycznej. Żaden z tych pomysłów nie został wówczas wprowadzony w życie [14].

Na początku XIX wieku proponowano lub eksperymentowano z innymi podobnymi systemami, które były ogólnie znane jako atmosferyczne projekty kolejowe, chociaż termin ten jest obecnie używany również w odniesieniu do systemów, w których napęd jest dostarczany przez oddzielną rurę pneumatyczną do samego tunelu kolejowego. Jedną z najwcześniejszych konstrukcji była Dalkey Atmospheric Railway, która w latach 1844–1854 działała w pobliżu Dublina.

W pierwszej połowie XIX wieku wybudowano w Zachodnim Londynie pierwszy testowy tor kolei atmosferycznej. Opierał się on na wykorzystaniu różnicy ciśnienia powietrza w tubie znajdującej się pomiędzy szynami. Wewnątrz tuby znajdował się tłok, który za pomocą specjalnej konstrukcji łączył się z ostoją pojazdu kolejowego. Na obu końcach rury umieszczono pompy. Z jednej strony tuby było pompowane powietrze pod dużym ciśnieniem, a z drugiej strony powietrze wypompowywano, tworząc stan zbliżony do próżni.

Rozwiązanie było bardzo przydatne podczas podjazdów pod duże wzniesienia. Dużym problemem były jednak

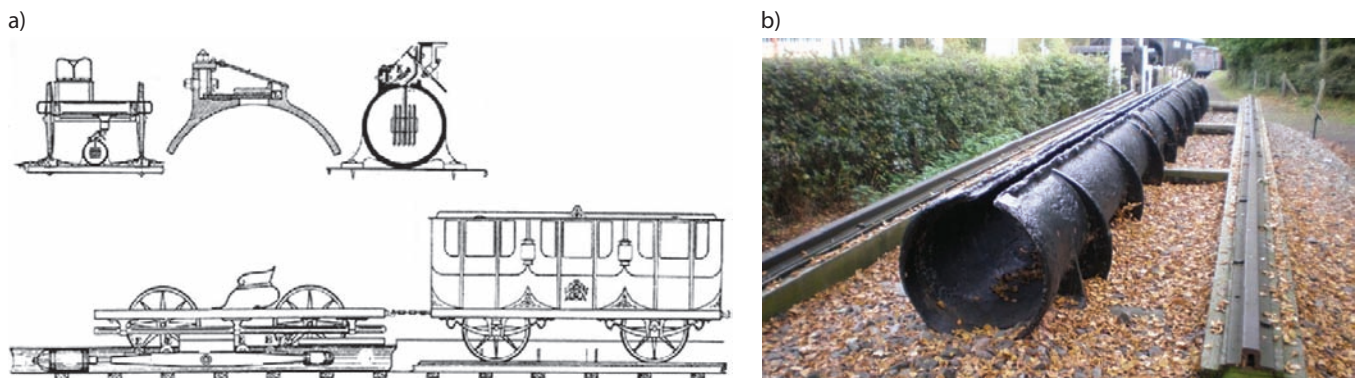
<sup>1</sup> Dr inż.; emerytowany pracownik Instytutu Kolejnictwa; e-mail: jpolin53@vp.pl.

spadki ciśnienia w rurze powodowane nieszczelnościami. Opisano to tak [11]: (...) *Problem polegał na szczelinie w rurze, która musiała się otworzyć, gdy pociąg poruszał się do przodu, a następnie zamykał, aby utworzyć za nią hermetyczne uszczelnienie. Do stworzenia uszczelnienia użyto dobrze nasmarowanej skórzanej kłapy z metalowymi elementami, ale ciągle to zawodziło, ponieważ szczury zjadły natłuszczoną skórę, a mgła solna korodowała metalowe elementy (...)*. Podstawowe elementy systemu pokazano na rysunku 1.

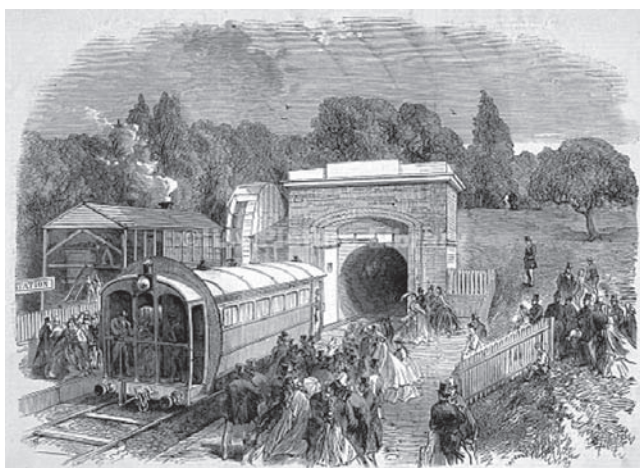
W 1845 roku firma London and Croydon Railway zbudowała eksperymentalną stację towarową, w której między szynami a pociągiem powstała próżnia powodująca, że był przemieszczany przez ciśnienie atmosferyczne. Mimo, że dwa lata później porzucono eksperyment kolejowy w Croydon, już w 1850 roku eksperymentalne pneumatyczne koleje towarowe zaczęły pojawiać się także w innych częściach Europy, takich jak Dublin i Paryż. Innym interesującym rozwiązaniem była kolej pneumatyczna Crystal Palace, która działała w Londynie około 1864 roku i wykorzystywała duże wentylatory o średnicy około 6,7 m napędzane

silnikiem parowym. Linia działała pomyślnie przez ponad rok [16]. Kolej została zaprojektowana przez Thomasa Webstera Rammella (1814–1879), który dla London Pneumatic Despatch Company zbudował kolej pneumatyczną do transportu listów, paczek i lekkich ładunków w wagonach poruszanych różnicą ciśnień w specjalnym tunelu. Podobną zasadę zastosowano w pojeździe do przewozu osób. Do uszczelnienia przestrzeni między tunelem a pojazdem, wagon wyposażono w duży kołnierz z włosia. Wagon był „zasysany” przez hermetyczny tunel o wymiarach 3 na 2,7 m. Kołnierz z włosia służył do utrzymania „częściowej szczelności” tunelu. Kolej działała przez nieco ponad dwa miesiące i była praktycznie linią demonstracyjną, poprzedzającą budowę bardziej znaczącej kolei atmosferycznej, planowanej między Waterloo a Whitehall (rys. 2). Budowę rozpoczęto pod Tamizą, ale nigdy nie ukończono [17].

Ideę nowego rozwiązania transportowego, znanego w Europie, wykorzystano w USA. Była to opracowana przez Alfreda Ely Beacha (1826–1896) w 1869 roku i uruchomiona jako demonstracyjna pierwsza linia metra napędzana



Rys. 1. Kolej atmosferyczna: a) schemat podstawowych elementów systemu [12], b) rura ciśnieniowa [13]



Rys. 2. Kolej pneumatyczna Crystal Palace [17, 18]

pneumatycznie (rys. 3). Linia składała się z jednego przystanku usytuowanego w piwnicy budynku Rogers Peet i była obsługiwana przez jeden pojazd wahadłowy kursujący tam i z powrotem między budynkiem, a ślepym zaułkiem oddalonym o około 91 m. Ten doświadczalny odcinek toru funkcjonował od 1870 do 1873 roku [15], a jego twórca stał się prekursorem nowojorskiego metra. System działał przy ciśnieniu zbliżonym do atmosferycznego, a pojazd osobowy poruszał się za pomocą powietrza o wyższym ciśnieniu doprowadzonym do tylnej części pojazdu, podczas gdy powietrze o stosunkowo niższym ciśnieniu utrzymywano wagonu z przodu. Kryzys na giełdzie w 1873 roku przyczynił się do zaniechania dalszego rozwoju projektu, a bez funduszy Alfred Beach ostatecznie porzucił pomysł. Wejście do tunelu zostało uszczelnione, a stacja, która znajdowała się w piwnicy budynku Rogers Peet, spłonęła w 1898 roku [3].

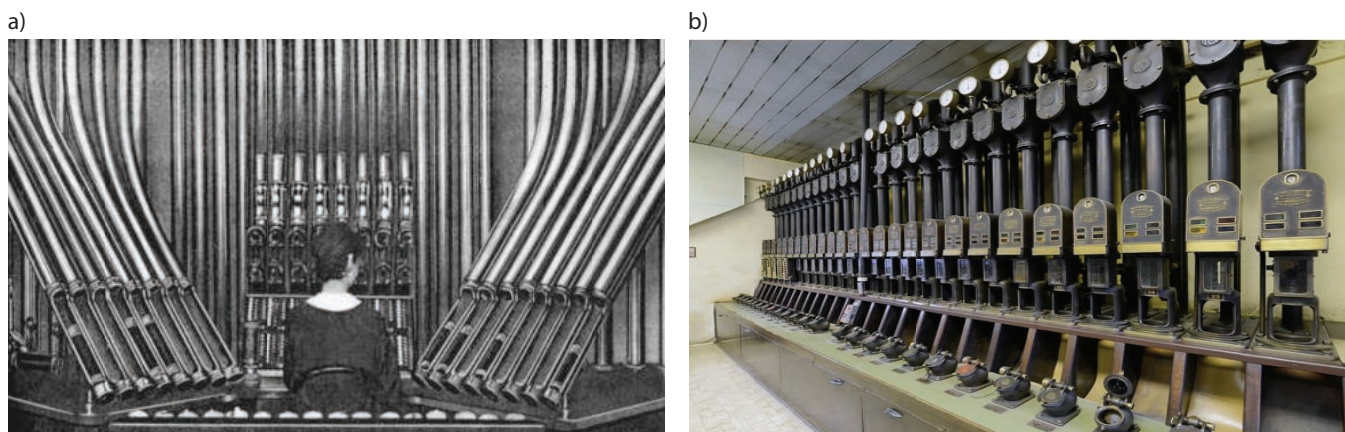
Linia Beach Pneumatic Transit została zapomniana aż do 1912 roku, kiedy robotnicy prowadzący wykopaliska pod

nowoczesne linie metra przekopali się w starym tunelu Beach i odkryli na południowym krańcu pozostałości drewnianego wagonu i osłony tunelu. Firma będąca następcą Beach Pneumatic Transit pozwała nawet miasto za zniszczenie ich własności [22]! Więcej informacji można znaleźć na filmie [21].

Pomimo braku interesujących rozwiązań dotyczących przewozu osób, ideę systemu wykorzystano do nadawania przesyłek pocztowych. Instalacje do tego celu funkcjonowały w wielu miastach europejskich. W 1865 roku poczta w Berlinie rozpoczęła obsługę poczty pneumatycznej (system nazwano Rohrpost, rysunek 4a). Długość sieci wynosiła 400 km i użytkowano ją do 1976 r. [9, 23]. W Paryżu istniało 467 km łącznej długości rur pneumatycznych, które wykorzystywano do 1984 roku. W Pradze poczta pneumatyczna była wykorzystywana aż do 2002 roku (rys. 4b). Długość sieci wynosiła 55 km. Zaprzestano jej stosowania dopiero po uszkodzeniu instalacji przez powódź. Uznaje się, że tego typu system jest najlepiej zachowanym systemem na świecie [24].



Rys. 3. Kolej Beach Pneumatic Transit w Nowym Jorku [20]: a) wnętrze wagonu, b) stacja



Rys. 4. Centrum nadawcze poczty pneumatycznej: a) w Berlinie [23], b) w Pradze [24]

W 1909 roku pociągi próżniowe zostały po raz pierwszy opisane przez Roberta Goddarda (1882–1945), amerykańskiego konstruktora rakiet. W artykule zatytułowanym „The Limit of Rapid Transit” Goddard opisał pociąg, który miałby pokonywać odległość między Bostonem a Nowym Jorkiem w zaledwie 12 minut. Pociąg miał być unoszony za pomocą magnesów w tunelu o specjalnej konstrukcji, z którego wypompowano powietrze. Takie rozwiązanie wyeliminowałoby tarcie zmniejszające prędkość pociągu. Kolej próżniowa Goddarda oczywiście nigdy nie została zbudowana [6, 16].

Po II wojnie światowej podjęto próby budowy systemu podobnego do rozwiązań próżniowych. Obejmowały one Aerotrain, który w latach 1965–1977 opracował francuski naukowiec Jean Bertin (1917–1975). Prototyp Aerotrain był podobny do pociągu lewitującego, ale do napędu wykorzystano poduszki powietrzne zamiast oporu magnetycznego. Jednak brak funduszy, koszt infrastruktury i śmierć Bertina w 1975 roku oznaczały koniec projektu [19].

W następnych latach temat pojazdów poruszających się w środowisku o niewielkim ciśnieniu był omawiany w wielu rozważaniach naukowych, jednak ze względu na koszty nie znalazł praktycznego wykorzystania w transporcie. Nie przeszkadzało to jednak w roztaczaniu futurystycznych przewidywań na przyszłość. W 1955 roku Stanisław Lem, polski pisarz science fiction w powieści „Mgławica Magellana” opisał hipotetyczny, międzykontynentalny pojazd vactrain o nazwie „Organowiec”, który poruszał się w przezroczystej rurze z prędkością przekraczającą 1666 km/h. Kolejny vactrain pojawił się w kwietniu 1962 roku w opowiadaniu Macka Reynoldsa pt. „Mercenary”, w którym wspomina o systemie transportowym wykorzystującym rury próżniowe [30].

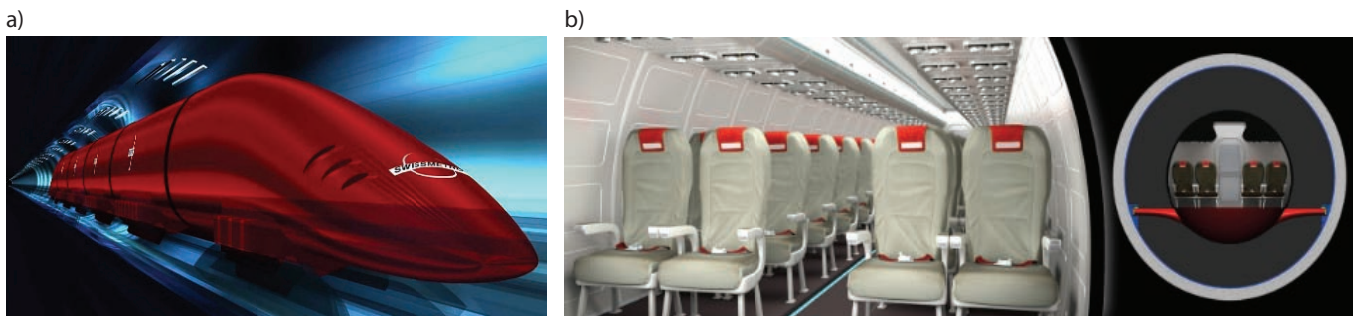
W 1981 roku fizyk Gerard K. O’Neill (1927–1992) z Princeton University napisał w swojej książce pt. „A Hopeful View of the Human Future” (Pełen nadziei pogląd na przyszłość ludzkości) o transkontynentalnych pociągach wykorzystujących napęd magnetyczny. Książka, choć jest dziełem twórczości science fiction, była próbą przewidzenia przyszłych technologii w życiu codziennym. W swoich wizjach autor przewidział pociągi wykorzystujące lewitację magnetyczną i poruszające się w tunelach, z których większość powietrza została usunięta w celu zwiększenia prędkości i znacznego zmniejszenia tarcia. Zademonstrował nawet prototypowe, zminiaturyzowane urządzenie, które za pomocą napędu magnetycznego przyspiesza ten obiekt do dużych prędkości. Urządzenie to było głównym tematem książki pt. „The High Frontier” (Wysoka granica), czyli o kolonizacji kosmosu.

Do projektów bliższych realnego wykorzystania należy Swissmetro, szwajcarski system transportu, oparty na technologii pociągów próżniowych. System opracowany w 1974 roku przez szwajcarskiego inżyniera Rodolphe’a Nietha jest obecnie promowany i rozwijany jako Swiss Metro-NG. Idea tego rozwiązania narodziła się w celu przełamania nasycenia sieciami drogowymi i kolejowymi. Ze względu na górzysty charakter kraju, dużą gęstość

zaludnienia i restrykcyjne przepisy dotyczące ochrony środowiska, tworzenie nowych naziemnych sieci komunikacyjnych wydawało się bardzo trudne. Stąd przyjęcie podziemnego rozwiązania stało się jedyną możliwą opcją. Szansa realizacji przedsięwzięcia została potwierdzona przez profesora Marcela Jufera, który w latach 1980–2009 prowadził szeroko zakrojone badania na wyższych uczelniach technicznych w Lozannie (*École polytechnique fédérale de Lausanne* – EPFL) i w Zurichu (*Eidgenössische Technische Hochschule Zürich* – ETHZ). Pojazdy wykorzystujące lewitację magnetyczną (zasada Transrapid) miały poruszać się w podziemnym tunelu pod częściowym ciśnieniem powietrza. Celem było połączenie szwajcarskich ośrodków miejskich nowoczesnym, zrównoważonym, ultraszybkim systemem transportowym bez wpływu na historyczne miasta, malownicze krajobrazy i alpejskie ekosystemy. System został pomyślnie opracowany przez EPFL, ETHZ oraz szwajcarskie firmy inżynieryjne i przemysłowe. Wniosek o koncesję na linię pilotażową między Genewą a Lozanną został złożony do rządu federalnego w 1997 roku. Projekt był gotowy do realizacji, w 1998 roku. Kiedy złożono wnioski o koncesję na budowę toru pilotażowego kraj był zajęty innymi projektami infrastrukturalnymi (Rail 2000, Gotthard AlpTransit itp.), przez co rozwiązanie odłożono na później [29]. W kompleksowym raporcie dotyczącym projektu zaproponowano wiele rozwiązań infrastrukturalnych, z których węzeł integracyjny z transportem konwencjonalnym pokazano na rysunku 5.



Rys. 5. Przekrój węzła integracyjnego systemu SwissMetro z naziemnymi środkami transportu [10]



Rys. 6. System SwissMetro: a) widok pociągu [26], b) wnętrze pociągu i położenie pociągu w rurze [26]

System metra jest obecnie promowany do przyszłej realizacji i teoretycznie rozwijany jako SwissMetro-NG („NG” od *New Generation*). SwissMetro-NG, to nowoczesna wersja 2.0 wcześniejszego projektu, którą przygotował Szwajcarski Instytut Badawczy Transportu, odpowiednik polskiego Instytutu Kolejnictwa. W obecnym rozwiązaniu opór powietrza i problemy aerodynamiczne są całkowicie wyeliminowane przez usunięcie całego powietrza z tuneli. Średnicę tunelu zredukowano o 50%, przez co zmniejszono koszty drążenia tuneli. Opracowano nowe rozwiązanie rozgałęzień tuneli (odpowiednik rozjazdu konwencjonalnej kolei), który bez zatrzymywania się umożliwi zmianę kierunku jazdy. Pojawiła się możliwość stosowania długich składów pojazdów o dużych pojemnościach (ponad 1200 miejsc) oraz wyjątkowo dużych prędkości jazdy (powyżej 1000 km/h) [27]. Pojazd obecnego rozwiązania przedstawiono na rysunku 6.

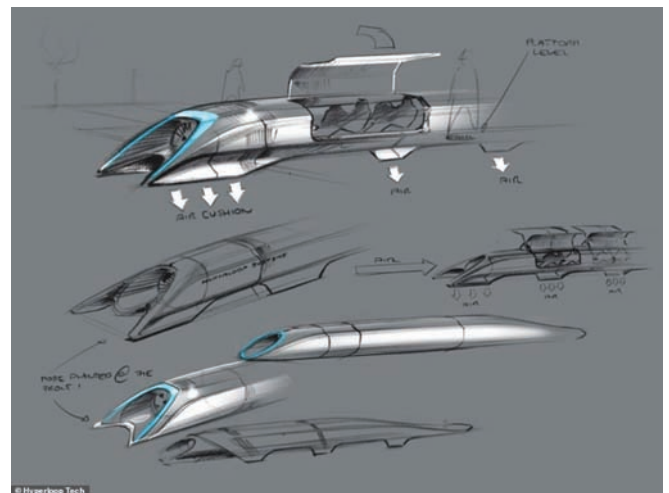
Ze względu na wysoką wydajność i pojemność systemu może on wyeliminować ruch lotniczy na małych dystansach oraz wydatnie zmniejszyć zatłoczenie na autostradach międzymiastowych, a tym samym znacznie ograniczyć emisję CO<sub>2</sub>, przy jednoczesnej poprawie usług transportowych. Czas przejazdu między głównymi szwajcarskimi miastami, m.in. z Genewy do Berna lub z Berna do Zurychu zostanie skrócony do 12 minut. W celu porównania, przejechanie Szwajcarii nadal zajmuje ponad 3 godziny, niezależnie od środka transportu i pomimo niewielkich rozmiarów kraju.

W lipcu 2021 r. Swisspod Technologies, startup Hyperloop, we współpracy z politechniką EPFL, zaprezentował pierwszy w Europie operacyjny ośrodek testujący system Hyperloop. Projekt był finansowany przez rząd szwajcarski. Tor jest zlokalizowany w Lozannie, na terenie kampusu EPFL. Tor testowy wykonany w skali 1:5 skonstruowano w kształcie okręgu, aby symulować „nieskończoną” trajektorię hiperpętli. Ta charakterystyczna cecha zapewnia elastyczność umożliwiającą jednocześnie przeprowadzanie różnorodnych eksperymentów w celu testowania w warunkach różnego ciśnienia i różnych długości toru, a także systemów napędu elektromagnetycznego i lewitacji kapsuły przy średnich prędkościach i na dużych odległościach [16].

W II dekadzie XXI wieku pojawiła się po raz pierwszy nazwa Hyperloop. Kryje się pod nią środek transportu

naziemnego dla transportu pasażerskiego i towarowego. Składa się z kapsuł transportowanych z dużą prędkością przez rury niskociśnieniowe, które mogą być np. uniesione nad ziemią lub zagłębione w teren. Pojazdem można przemieszczać się lub przewozić towary z prędkością przekraczającą 1125 km/h, co może wydatnie skracać czas podróży na odległości do 1500 kilometrów.

W 2013 roku Elon Musk opublikował opracowanie Hyperloop Alpha [7]. Celem opracowania było uświadomienie idei piątego środka transportu (po samochodzie, statku, pociągu i samolocie) i zainicjowanie prac badawczo-rozwojowych tej idei. Należy zauważyć, że pomysł przedstawiony w opracowaniu dotyczy jednej linii łączącej dwa główne miasta w Kalifornii (San Francisco i Los Angeles) [7]. Propozycja Hiperloopa zaprezentowana w 58 stronicowej białej księdze poruszała praktycznie wszystkie niuanse systemu. Szkic sporządzony odręcznie przez autora zamieszczono na pierwszej stronie opracowania (rys. 7).



Rys. 7. Szkic wykonany przez Elona Muska zamieszczony na okładce opracowania Hyperloop Alpha [7]

Warto zauważyć, że do sporządzenia tego dokumentu zainicjował Muska program kolei dużych prędkości w Kalifornii, który zakładał zbudowanie linii KDP wzdłuż zachodniego wybrzeża USA. Problem, który Musk dostrzegł w tym projekcie dotyczył takiego systemu kolei konwencjonalnej,

który wiąże się z dużymi nakładami i ograniczoną prędkością do 350–400 km/h. W amerykańskich warunkach, pociągi KDP będą wolniejsze i droższe od samolotu, stąd system ten nie będzie akceptowany przez podróżnych. W USA wciąż najchętniej korzysta się z połączeń lotniczych. Musk twierdził, że nowa opcja powinna być lepsza niż istniejące pod względem prędkości, bezpieczeństwa, wygody i kosztów, a także powinna być odporna na trzęsienia ziemi i warunki atmosferyczne [4].

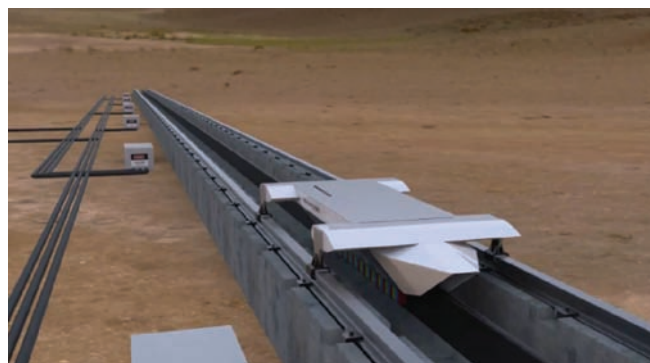
Przedstawiona koncepcja Hyperloopa Alpha, z trasą biegnącą z Los Angeles do zatoki San Francisco mniej więcej wzdłuż drogowego korytarza międzystanowego nr 5, o długości 560 km zakłada, że pojazd miałby rozwijać prędkość do 1200 km/h. Oznaczałoby to czas podróży wynoszący 35 minut – o wiele krócej, niż KDP czy samolotem. Wstępne szacunki wymaganych nakładów na realizację tej trasy wskazały na około 6 miliardów dolarów dla wersji pasażerskiej i 7,5 miliarda dolarów dla wersji o nieco większej średnicy dla ruchu mieszane (pasażerskiego i towarowego).

Odkąd Elon Musk opublikował swoje opracowanie Hyperloop Alpha, niewielka liczba firm angażowała się w rozwój różnych technologii potrzebnych do praktycznego zmaterializowania się piątego środka transportu. I chociaż ogólna koncepcja systemu jest jedna, to różnice w wielu drobnych rozwiązaniach są duże. Dotyczą one zarówno układu napędowego, jak i zapewnienia określonego ciśnienia w rurze. Warto prześledzić te rozwiązania.

**SpaceX** to producent lotniczy i firma zajmująca się transportem kosmicznym założona przez Elona Muska w 2002 roku, którego ostatecznym celem była „demokratyzacja podróży kosmicznych”, a nawet kolonizacja Marsa. Chociaż SpaceX formalnie nie rozwija żadnej technologii związanej z Hyperloop, to jednak regularnie organizuje konkursy, dotyczące tych pojazdów, na które są zapraszane grupy studentów ze wszystkich krajów świata w celu prezentacji prototypów i przetestowania ich w Kalifornii. Konkurs ten okazał się odskocznią dla wielu młodych naukowców i przedsiębiorców, którzy z powodzeniem założyli własne firmy i pracowali nad rozwojem funkcjonalnej technologii systemu Hyperloop. Uczestnikami tych konkursów byli również Polacy.

**Virgin Hyperloop One** jest jedną z największych firm amerykańskich i pionierem kolejnych rozwiązań technicznych istotnych dla projektu Hyperloop. Od października 2017 roku jest wspólnym przedsięwzięciem pomiędzy międzynarodowym konglomeratem firm Virgin Group a start-upem<sup>2</sup> Hyperloop One założonym w czerwcu 2014 r. przez Shervina Pishevara, znajomego Elona Muska. Pierwotną nazwą start-upa było Hyperloop Technologies z siedzibą w Los Angeles. Virgin Hyperloop One rozpoczął działania od

projektowania i testowania różnych zespołów systemu, co w efekcie prowadziło do opracowania prototypowej technologii systemu Hyperloop. Pracowano także nad rozwojem unikalnych systemów testowych, w tym toru doświadczalnego. W grudniu 2015 roku zbudowano tor na wolnym powietrzu w Nevadzie (rys. 8), umożliwiający przeprowadzanie testów napędu i liniowego silnika napędowego [2].



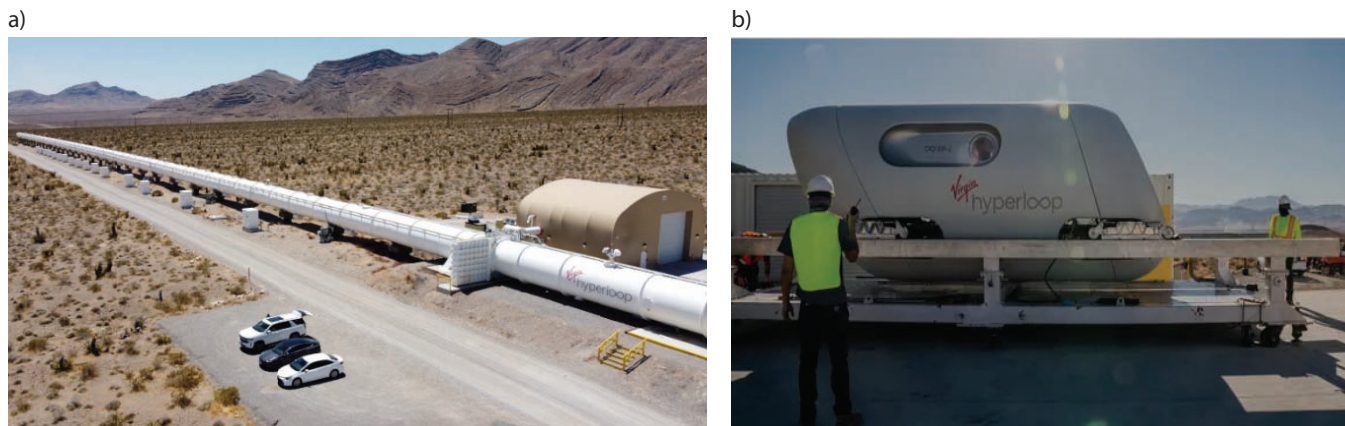
Rys. 8. Tor w Nevadzie do testowania systemu napędowego pojazdów Hyperloop [35]

W maju 2016 roku pomyślnie przeprowadzono testy silnika liniowego, a już dwa miesiące później firma przedstawiła swoje pierwsze studium wykonalności. Udowodniono w nim pozytywny wpływ ekonomiczny i środowiskowy potencjalnego, 500-kilometrowego połączenia Hyperloop między Helsinkami i Sztokholmem, skracającego czas podróży między dwiema stolicami Skandynawii do 28 minut.

W marcu 2017 roku firma pokazała pierwsze zdjęcia miejsca dalszych badań i rozwoju systemu Hyperloop w postaci toru doświadczalnego, który został wybudowany na pustyni Nevada. Cylindryczny tor o średnicy 3,3 m i długość 500 m, był wówczas jedynym na świecie pełnowymiarowym obiektem umożliwiającym praktyczne sprawdzanie zaprojektowanych rozwiązań. Film z toru można zobaczyć pod adresem [33]. Tor pokazano także na rysunku 9a, natomiast pojazd przeznaczony do prób i testów na rysunku 9b. W ciągu ponad pięciu miesięcy zespół 10 inżynierów, techników i wytwórców zamienił jałowy obszar pustyni w centrum aktywności naukowej, będący domem dla pierwszego na świecie pełnowymiarowego miejsca testowego technologii systemu Hyperloop.

W lipcu 2017 roku ogłoszono pomyślne zakończenie pierwszego, pełnego testu systemu Hyperloop w środowisku próżniowym. Przez pierwszą część toru pojazd jechał przez 5,3 sekundy, osiągając przyspieszenie 2 G oraz prędkość 175 km/h. Również w tym roku firma zmieniła nazwę na Hyperloop One, aby zaznaczyć, że byli pierwszą firmą, która rozpoczęła opracowywanie kompleksowego systemu

<sup>2</sup> Start-up (startup) – nowo utworzone przedsiębiorstwo lub tymczasowa organizacja poszukująca modelu biznesowego, który zapewniłby jej zyskowy rozwój.



Rys. 9. Tor doświadczalny systemu Hyperloop w Nevadzie: a) widok toru [31], b) pojazd (kapsuła) przygotowywany do prób [32]

Hyperloop. W sierpniu tego samego roku pojazd firmy Hyperloop One (firma od października 2017 do listopada 2022 była znana jako Virgin Hyperloop lub Virgin Hyperloop One) poruszał się z prędkością około 310 km/h, wykorzystując 300 m toru. Stwierdzono przy tym, że wydłużając tor o 2000 m będzie można osiągnąć prędkość 1000 km/h. Po wielu prezentacjach systemu na całym świecie i przeprowadzeniu demonstracji aplikacji pasażerskich, w listopadzie 2020 roku pojazd pomyślnie zaliczył swój pierwszy test pasażerski z pracownikami firmy, podczas którego osiągnął prędkość 172 km/h [6, 34, 35]. W 2018 roku rozpoczęły się prace nad rozwiązaniem towarowym pojazdu do transportu ładunków na paletach [30].

Latem 2018 roku Virgin Hyperloop One podpisało umowę na otwarcie swojego pierwszego centrum rozwoju w Europie (na południu Hiszpanii), które zostało uruchomione w 2020 roku. Obiekt jest wykorzystywany do opracowywania, testowania i certyfikacji komponentów oraz podsystemów, dotyczących poprawy bezpieczeństwa i niezawodności systemu [6].

W ostatnich latach firma Virgin Hyperloop One koncentrowała się na rozwiązaniach silnika ze stojanem wbudowanym w rurę i wirnikiem zamontowanym w pojeździe. Ta innowacja wraz z bardzo niskim ciśnieniem w rurze oznacza, że tor nie wymaga zasilania na całej trasie, tylko w niektórych punktach. Jednocześnie są prowadzone badania nad wykorzystaniem zasilania ze źródeł odnawialnych. W tym celu zewnętrzną część rury można wykorzystywać do zamontowania paneli fotowoltaicznych [6].

Do rozwoju systemu Hyperloop duży wkład wniosła firma **Hyperloop Transportation Technologies (HTT)**, którą założono w sierpniu 2013 roku, zaledwie kilka tygodni po tym, jak Musk opublikował swoją białą księgę na temat technologii

systemu Hyperloop. W początkowym okresie HTT funkcjonowało w bardzo niekonwencjonalny sposób. Bez pracowników, ale z wieloma współpracownikami, którzy chcieli poświęcić swój wolny czas na badania, sugerowanie rozwiązań i przeprowadzanie symulacji. W ten sposób na rzecz firmy pracowało 100 inżynierów (z dziedziny transportu i technologii), pochodzących z wielu najbardziej prestiżowych firm i instytucji na świecie, takich jak Boeing, NASA, czy UCLA<sup>3</sup>.

W 2015 roku firma HTT uzyskała pozwolenie na budowę „pierwszego na świecie gotowego dla podróżnych systemu Hyperloop”, który miał być zrealizowany w ramach projektu Quay Valley, co umożliwiło w przyszłości połączenie Los Angeles z Kalifornią. Projekt zakładał wybudowanie 8-kilometrowego toru do testowania i demonstracji systemu. Jednak projekt ten nigdy się nie rozpoczął z powodu sporów sądowych [6].

W 2016 roku HTT opatentowało pasywny system lewitacji magnetycznej, który będzie wykorzystywany w infrastrukturze systemu Hyperloop. System ten jest tańszy i bezpieczniejszy niż stosowany w rozwiązaniach takich jak Maglev i eliminuje potrzebę budowy wielu źródeł energii elektrycznej wzdłuż długiej trasy. Kolejną nowością technologiczną tej firmy było zastosowanie materiału pod nazwą Vibranium<sup>4</sup>. Materiał wykonany z włókna węglowego wyposażono w czujniki, które wysyłają do głównego komputera kluczowe parametry w czasie rzeczywistym. Intencją firmy HTT było zastosowanie tego materiału jako zewnętrznej warstwy pojazdu. Poza czujnikami jest to niezwykle wytrzymały i lekki materiał, dzięki czemu gwarantuje bezpieczeństwo i obniża zużycie energii [6].

W 2017 roku HTT podpisało umowę z Aerospace Valley na budowę obiektu na lotnisku Franczal, w tzw. Dolinie Lotniczej położonej w okolicach Bordeaux i Tuluz, w celu

<sup>3</sup> UCLA – University of California, Los Angeles (Uniwersytet Kalifornijski w Los Angeles).

<sup>4</sup> Kompozyt oparty na włóknie węglowym, które ma pokryć kapsuły Hyperloop, według inżynierów z *Hyperloop Transportation Technologies* jest osiem razy mocniejszy niż aluminium i dziesięć razy mocniejszy niż stal.

opracowania i przetestowania technologii Hyperloop. W 2018 roku rozpoczęto i zakończono budowę 320-metrowego toru testowego [6].

W 2018 roku zaprezentowano pierwszy, pełnowymiarowy pojazd. Został zbudowany przez partnera HTT (firmę Airtificial), działającą na południu Hiszpanii, skąd został wysłany do zakładu HTT w Tuluzie, gdzie przed zastosowaniem prototypu do badań poligonowych, dokonano dodatkowego montażu urządzeń oraz ich integracji z systemem. Zewnętrzną warstwę pojazdu wykonano w większości z firmowego materiału Vibranium. Pojazd miał długość 32 m, długość przestrzeni pasażerskiej – 15 m i ważył około 5 ton [5, 6]. Widok pojazdu przedstawia rysunek 10a, a toru testowego rysunek 10b.

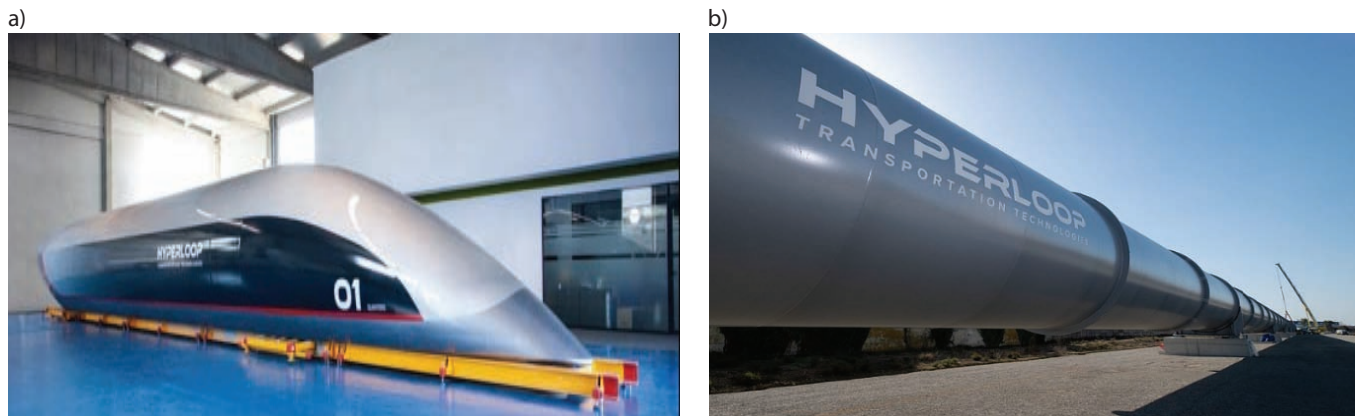
W 2018 roku HTT stworzył specjalny obszar XO Square w Brazylii. Był to obiekt, na którym zorganizowano dział badań logistycznych, laboratorium produkcyjne, będące miejscem dla lokalnych start-upów, uniwersytetów i władz wspierania innowacji w obszarze logistyki. Także w 2018 roku HTT nawiązało współpracę z Tongren Transportation and Tourism, grupą inwestycyjną z Chińskiej Republiki Ludowej, która zamierza zbudować pierwszy tor dla rozwoju technologii Hyperloop w tym kraju [6].

W 2019 roku, HTT we współpracy z TÜV SÜD, firmą zajmującą się testami, certyfikacją oraz inspekcją, przedłożył

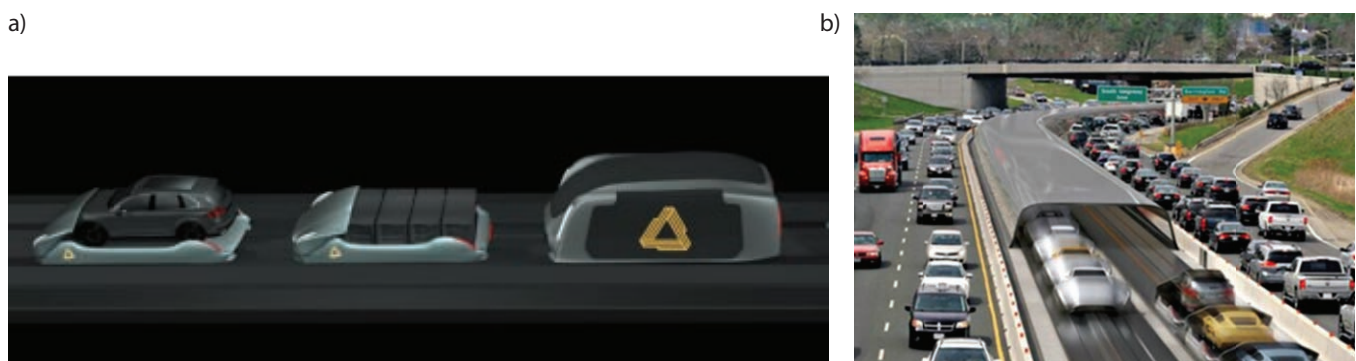
Komisji Europejskiej ogólne wytyczne dotyczące regulacji związanej z eksploatacją systemu Hyperloop. Miało to na celu opracowanie m.in. jednolitych standardów i procedur dotyczących dostaw, certyfikacji bezpieczeństwa i użytkowania systemu. Opracowanie pierwszych wytycznych regulacyjnych i niezbędnych ram prawnych dla systemu Hyperloop powinno przyspieszyć powszechne stosowanie systemu. Dokumentu nie ujawniono [5, 6].

**Arrivo** to kolejna firma, którą założył w 2017 roku Brogan BamBrogan, po odejściu z firmy Hyperloop One. Koncepcja firmy różniła się od dotychczasowego głównego nurtu systemu Hyperloop, przeznaczonego do transportu osób w specjalnym pojeździe poruszającym się w rurze niskociśnieniowej. Tym razem pomysł sprowadzał się do wykorzystania specjalnych platform, na których można zamontować ładunek, pojazd samochodowy, czy nadwozie pasażerskie. Dzięki lewitacji magnetycznej, platformy poruszałyby się z prędkością około 320 km/h [7, 38].

W 2018 roku firma podpisała umowę ze stanem Kolorado na budowę toru testowego w okolicy Denver, inwestując ponad 15 milionów dolarów w prace przygotowawcze. Tor nie został zbudowany. Firmę zamknięto, ponieważ nie była w stanie przyciągnąć wystarczających funduszy, aby kontynuować dalszą działalność [6, 37]. Ideę systemu pokazano na rysunku 11.



Rys. 10. Hyperloop w Tuluzie: a) pojazd [6], b) tor testowy w Aerospace Valley [36]



Rys. 11. Koncepcja Arrivo: a) przykładowe nadwozia dla platform [6], b) przykład dwukierunkowego toru wzdłuż autostrady międzystanowej nr 25 (wizualizacja Departamentu Transportu Kolorado) [37]



**Hardt Hyperloop** to firma, którą w 2017 roku założyli laureaci pierwszego konkursu ogłoszonego przez Muska. Zwycięska grupa z Delft University w Holandii, pracując nad własnym systemem Hyperloop, w ciągu zaledwie 6 miesięcy zbudowała własną placówkę testową. W 2019 roku, Hardt Hyperloop ujawnił pierwszy, w pełni działający europejski system Hyperloop. Główną innowacją tej firmy była możliwość zmiany pasa ruchu bez dodatkowych lub ruchomych komponentów i bez konieczności zmniejszania prędkości. Podczas prezentacji projektu firma ogłosiła, że kolejne kroki firmy będą obejmowały budowę Europejskiego Centrum Hyperloop, wyposażonego w laboratorium badawczo-rozwojowe i 3 km toru testowego. Rozwiązanie może służyć zarówno do przewozu osób, jak i ładunków. Napęd pojazdu jest realizowany przez liniowy silnik elektryczny. Podczas hamowania system oddaje znaczną ilość energii, którą można zmagazynować lub wykorzystać do napędzania innego pojazdu. W tej konstrukcji pojazdy są podwieszane w rurze, na której zamocowano ogniwa fotowoltaiczne [6, 38]. Pojazd pokazano na rysunku 12.



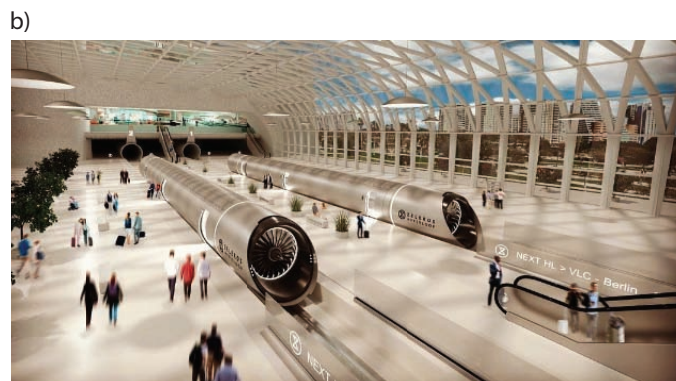
Rys. 12. Rozwiązanie systemu Hardt Hyperloop [38]

**Zeleros** to start-up założony w 2016 roku w hiszpańskiej Walencji przez grupę studentów z Universidad Politécnica de Valencia (UPV). Podobnie jak w przypadku Hardta, grupa studentów i współzałożyciele Zeleros wzięli udział w konkursie SpaceX w Teksasie i otrzymali dwie nagrody.

W pierwszym roku istnienia Zeleros zbudowano 12-metrową rurę w celu przeprowadzenia testów, a we współpracy z University of Purdue – prototyp pojazdu, który zaprezentowano w 2017 roku w konkursie firmy Hyperloop Pod. W 2018 roku firma Zeleros otrzymała duże wsparcie od akceleratorów biznesu, spółek venture capital i programów finansowania publicznego. W 2020 roku Zeleros był jedną z firm, które podpisały z Hardt Hyperloop umowę o współpracy, do której włączyły się inne podmioty, takie jak Unia Europejska, w celu zdefiniowania, ustanowienia i ujednolicenia metodologii i standaryzacji systemów Hyperloop. Zeleros planuje utworzenie Europejskiego Centrum Rozwoju Hyperloop w Hiszpanii, obejmującego trzykilometrowy tor testowy, a także przestrzeń laboratoryjną do walidacji różnych technologii Hyperloop, takich jak m.in. lewitacja, napęd, hamowanie, magazynowanie energii, energoelektronika, materiały torów itp. Wizualizację Centrum pokazano na rysunku 13a, natomiast przyszłej stacji pasażerskiej przedstawiono na rysunku 13b [6, 39].

**TransPod** to kolejna znacząca firma zajmująca się rozwojem systemu Hyperloop, którą założono w 2015 roku w Toronto. W 2016 roku firma TransPod zaprezentowała swój system na targach InnoTrans Rail w Berlinie. Targami zainteresowało się kilku inwestorów, w tym włoska firma Angelo specjalizująca się w zaawansowanych technologiach systemów transportowych. Inne kluczowe partnerstwa zawiązały się w 2017 roku. Firma Ikos, która włączyła się w opracowanie ogólnej instalacji elektrycznej i inżynierii bezpieczeństwa, a także firma Liebherr Aerospace zadeklarowały współpracę w badaniach, rozwoju i produkcji nowej kabiny i układu termicznego pojazdu. Partnerstwa zostały oparte na założeniu, że Hyperloop jest środkiem transportu, który jest pewnym rodzajem hybrydy między samolotem a pojazdem kolejowym, stąd należy czerpać technologie i standardy z obu branż [6].

Do marca 2017 r. TransPod otworzył biura we Francji i we Włoszech, stając się międzynarodową firmą Hyperloop z biurami w Ameryce Północnej i Europie. Po wielu analizach stwierdzono, że koszt infrastruktury systemu może być o połowę niższy niż szacunki projektu KDP dla linii



Rys. 13. System Zeleros: a) wizualizacja Europejskiego Centrum Rozwoju Hyperloop w Walencji [32], b) wizualizacja przyszłej stacji pasażerskiej z pociągami systemu Zeleros [40]

Toronto – Windsor w Kanadzie. Kilka miesięcy później, we wrześniu 2017 roku, TransPod opublikował recenzowany artykuł naukowy, przedstawiający fizykę i mechanikę poszczególnych układów systemu, co zaprezentowano na konferencji EASD (*European Association for Structural Dynamics*) EURO DYN [6].

W czerwcu 2018 roku TransPod podpisał umowę z Hardtem i Zelerosem, aby rozwijać prace nad systemem Hyperloop w Unii Europejskiej. Partnerstwo jest wciąż otwarte dla każdego, kto chce dołączyć do konsorcjum. W styczniu 2019 TransPod ogłosił, że zbuduje 3-kilometrowy tor testowy we Francji, gdzie utworzono spółkę o nazwie TransPod France i przeniesiono biura z Tuluzy do Limoges. Testy różnych rozwiązań rozpoczęto w 2020 roku po przystąpieniu do przedsięwzięcia nowych firm, m.in. ArcerlorMittal i Electricite de France.

Pojazdy TransPod są budowane jak kadłuby samolotów odrzutowych, mają sprężarkę osiową z przodu, aby skierować strumień powietrza do tyłu pojazdu, co zmniejsza opór powietrza. Napęd jest realizowany za pomocą liniowych silników indukcyjnych, w pełni elektrycznych, w celu zmniejszenia współczesnej zależności transportu od paliw kopalnych i wykorzystuje lewitację magnetyczną. Pojazdy mogą poruszać się z prędkością 1000 km/h, przewożąc zarówno pasażerów, jak i ładunki. Najnowszą konstrukcją jest pojazd nazwany FluxJets. Pojazdy TransPod pokazano na rysunku 14.

W marcu 2022 roku firma TransPod zawarła porozumienie w sprawie finansowania pierwszych kosztów przedsięwzięcia, które wyceniono na 550 mln USD. Koszty te pokryją inwestorzy brytyjscy i chińscy. Środki zostaną przeznaczone na bieżące badania i rozwój, a także plany budowy toru testowego i przeprowadzenia testów dużych prędkości w latach 2023–2027. Firma zamierza do 2027 roku rozpocząć budowę linii dla pojazdów FluxJet prowadzącą z Calgary do Edmonton w Albercie. TransPod twierdzi, że finalnie projekt będzie kosztował nawet 18 miliardów

dolarów, co oznacza, że należy uzyskać znaczną część tej kwoty od prywatnych inwestorów, a także pozyskać finansowanie rządowe. Założono jednocześnie, że w przypadku przewozu osób, koszt przejazdu pojazdami FluxJet będzie o 44% niższy niż koszt biletu lotniczego. Na początek firma planuje zbudować prawie 200-kilometrową sieć rur próżniowych między kanadyjskimi miastami Edmonton i Calgary. Zgodnie z tym planem pojazdy odjeżdżałyby co dwie minuty, przewożąc podczas jednego kursu maksymalnie 54 pasażerów i 10 ton ładunku [6, 41, 42].

Badania nad rozwojem pojazdów poruszających się w środowisku o małym ciśnieniu lub w próżni są prowadzone także w Chinach. Firma **Zhejiang Geely Holding Group** (Geely Holding) w 2018 roku podpisała strategiczną umowę ramową z **China Aerospace Science and Industry Corporation** (CASIC) w celu współpracy w zakresie rozwoju pociągów naddźwiękowych i powiązanych technologii. Od tego czasu wykonano wiele opracowań teoretycznych z zakresu rozwoju technologii mobilności nowej generacji [43].

W maju 2021 roku poinformowano, że w Datong w prowincji Shanxi rozpoczęto budowę systemu testowego z uszczelnioną rurą – torem o bardzo niskim ciśnieniu, w której pojazd byłby zdolny osiągnąć prędkość 1000 km/h. Początkowy odcinek o długości 2 km został ukończony w 2022 roku. Cała linia testowa o długości 60 km budowana w trzech etapach, ma być ukończona w ciągu najbliższych kilku lat. Linia jest budowana przez firmy **North University of China** i Third Research Institute of China Aerospace Science and Industry Corporation [43]. Testowany pojazd na torze w Datong pokazano na rysunku 15a, natomiast wizualizację przyszłego pojazdu w powszechnej eksploatacji na rysunku 15b.

W styczniu 2023 roku zakończono pierwsze testy na torze w Datong. W trakcie pierwszych trzech jazd pojazd osiągnął prędkość 50 km/h, w kolejnych 130 km/h. Celem testów nie było osiągnięcie dużych prędkości, tylko sprawdzenie nowych rozwiązań napędu magnetycznego [43, 44].

a)



b)



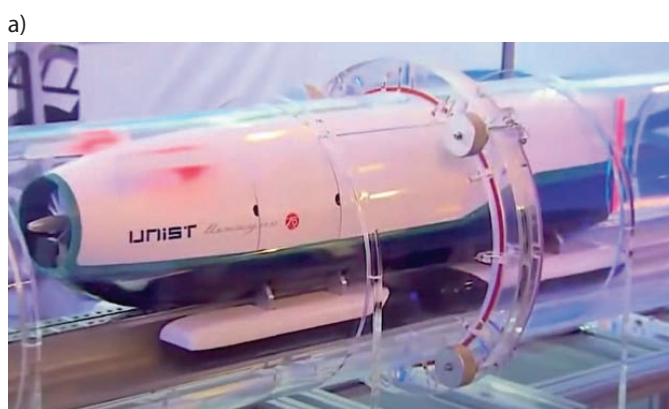
Rys. 14. Pojazdy TransPod: a) potężny wentylator na przodzie pojazdu [41], b) pojazd FluxJets [42]

**Korean Railroad Research Institute (KRRI)**<sup>5</sup> – odpowiednik polskiego Instytutu Kolejnictwa ogłosił, że jego pociąg Hyper-Tube osiągnął prędkość 1000 km/h podczas testów z wykorzystaniem modelu pociągu. Jest to duże osiągnięcie w wyścigu o stworzenie najszybszego na świecie systemu kolejowego Hyperloop. Korea południowa pracuje nad projektem Hyper-Tube od 2017 roku. We wrześniu 2020 roku pojazd testowy osiągnął prędkość 714 km/h w warunkach półpróżniowych. Problemem do rozwiązania było powstające tarcie powodowane gwałtownym przyspieszeniem. Obecnie Instytut KRRI rozwiązał wszystkie pojawiające się z tym problemy. Po wykonaniu stosownych poprawek podczas kolejnego testu aerodynamicznego, model pociągu (w skali 1:17) osiągnął prędkość 1000 km/h przy poziomie ciśnienia bliskiego próżni. W 2022 roku rozpoczęto prace umożliwiające badania pojazdu w naturalnej wielkości. Korea Południowa zakłada uruchomienie pierwszego pociągu Hyperloop między Seulem a Pusan pod koniec 2024 roku [45]. Pojazdy pokazano na rysunku 16.

Ostatnim przykładem jest **Hyper Poland**, polska firma założona przez grupę studentów, którzy brali udział w konkursie ogłoszonym przez E. Muska. Studenci byli również finalistami konkursu dotyczącego globalnych wyzwań zaproponowanych przez Hyperloop One. W 2020 roku firma zmieniła nazwę na Nevomo. Firma rozwija technologię kolei magnetycznej – MagRail, która umożliwi szybką, etapową implementację technologii transportu inspirowanego Hyperloopem z wykorzystaniem istniejącej infrastruktury kolejowej. Do badań nad tym rozwiązaniem miał posłużyć tor testowy, którego budowę przewidywano na terenie Okręgu Doświadczalnego Instytutu Kolejnictwa w Żmigrodzie. MagRail, oparty na lewitacji magnetycznej, silniku liniowym i autonomicznych systemach sterowania, może być następnie przekształcony w wersję próżniową Hyperloop. Oryginalna technologia dla systemu MagRail umożliwi pojazdowi wykorzystanie lewitacji przy prędkości do 550 km/h po istniejących torach kolejowych. To hybrydowe rozwiązanie umożliwi także funkcjonowanie zarówno systemu MagRail, jak i konwencjonalnych pociągów na tych samych liniach [6].



Rys. 15. Chińskie rozwiązanie technologii Hyperloop, a) próby na torze w Datong [43], b) wizualizacja przyszłego rozwiązania [44]



Rys. 16. Koreańskie projekty Hyperloopa: a) model w skali 1:17 poddawany testom [46], b) wizualizacja przyszłego pojazdu [45]

<sup>5</sup> KRRI został powołany w ramach Ministerstwa Nauki i Ministerstwa Komunikacji i Technologii (ICT) przez Rząd Korei Południowej w celu przyczyniania się do rozwoju przemysłu państwowego i biznesowego przez ciągłe badania i rozwój w dziedzinie kolei, transportu publicznego, logistyki i rozpowszechniania wyników swojej pracy.



Rys. 17. Europejskie Centrum Hyperloop (EHC) w Groningen [49]: a) budynek administracyjny, b) tor wraz z rurowym systemem zwrotnicowym technologii Hyperloop

Dla dalszego rozwoju technologii Hyperloop, duże znaczenie będzie miała podjęta w 2020 roku inicjatywa zorganizowania **Europejskiego Centrum Hyperloop** (EHC) (rys. 17a), będącego częścią Programu Rozwoju Hyperloop, partnerstwa publiczno-prywatnego pomiędzy holenderskimi Ministerstwami Gospodarki i Klimatu oraz Infrastruktury i Gospodarki Wodnej, prowincją Groningen oraz grupą podmiotów branżowych i instytucji badawczych, zajmujących się rozwojem transportu w tej technologii. Obiekt będzie miejscem badań dla naukowców z całego świata, w którym przemysł i nauka będą wspólnie wspomagać przyspieszenie rozwoju technologii Hyperloop, jako przyszłej metody przewozu ładunków i pasażerów, uwzględniającej wymagania ekologiczne współczesnego świata. Stanie się również miejscem wspomagającym opracowanie regulacji i standardów specyficznych dla tej technologii transportu i jej bezpiecznego działania. Jednocześnie założono, że obiekt stanie się miejscem pracy dla programistów z całego świata, którzy będą mogli testować i weryfikować technologie Hyperloop. Tor testowy będzie otwarty dla każdej firmy i ośrodka naukowego, który chce opracować, zademonstrować i/lub zweryfikować swoje rozwiązanie pod względem technologii Hyperloop lub technologii pokrewnych. Obecnie trwa budowa 420-metrowego toru doświadczalnego (rys. 17b). Tor jest pierwszym miejscem, na którym będzie można przetestować technologię przełączania możliwości jazdy pojazdu Hyperloop przy prędkościach do 100 km/h w różnych kierunkach. Dzięki temu Groningen będzie odgrywać wiodącą rolę w rozwoju technologii Hyperloop w Europie. Otwarcie toru testowego planowane jest na drugą połowę 2023 roku. Docelowo tor będzie miał długość 2,6 km [49].

Pierwszym krokiem w tworzeniu ogólnoeuropejskiej sieci Hyperloop były rozpoczęte w 2021 roku badania w Holandii. Od ich wyników zależy budowa trasy pilotażowej w największym obszarze miejskim Holandii, między Rotterdamem a Amsterdamem. Liczne samorządy lokalne, lotnisko Schiphol i inne firmy, głównie z sektora świeżych produktów, takich jak kwiaty, zawarły porozumienie w sprawie

zbadań warunków wstępnych i skutków połączenia hiperpętli dla ładunków. Celem badania eksploracyjnego jest zidentyfikowanie wyzwań i dostarczenie rozwiązań, przed którymi stoją podobne obszary miejskie w innych częściach Europy, a tym samym ugotowanie drogi do inwestowania w infrastrukturę Hyperloop na całym kontynencie. Taka sieć umożliwiłaby (w całej Europie) wysyłanie towarów w ciągu godzin, a nie dni, podczas gdy sieć globalna skróciłaby czas transportu do zaledwie kilku dni. Wizualizację linii pokazano na rysunku 18.



Rys. 18. Wizualizacja linii Hyperloop między linią kolejową a autostradą na ciągu transportowym Rotterdam – Amsterdam [50]

Badania obejmują takie tematy, jak: wymagania dla autonomicznych pojazdów cargo, integracja z pozostałymi środkami transportu w węzłach multimodalnych, społeczno-ekonomiczne koszty i korzyści, operacyjne systemy ładunkowe, konserwacja i bieżące utrzymanie, a także proces podejmowania decyzji dotyczących ewentualnych kolejnych kroków związanych z rozpowszechnieniem systemu opartego na technologii Hyperloop.

Firmy zajmujące się rozwojem technologii Hyperloop, w grudniu 2022 roku postanowiły połączyć siły, tworząc pierwsze na świecie **The Hyperloop Associaton** (Międzynarodowe Stowarzyszenie Hyperloop) [47]. Pionierskie firmy Hyperloop Hardt, Hyperloop One, Hyperloop TT,

Novemo, TransPod, Swisspod Technologies i Zeleros połączyły siły tworząc The Hyperloop Association, globalne stowarzyszenie w branży Hyperloop. Akt założycielski podpisano 14 grudnia 2022 roku. Stowarzyszenie ma na celu stymulowanie rozwoju i wzrostu rodzącego się rynku transportowego. Jednocześnie ma wspierać instytuty badawcze we współpracy z agencjami rządowymi i regulacyjnymi w zakresie kształtowania przyszłej polityki transportowej. Głównymi celami stowarzyszenia reprezentującego branżę Hyperloop będą następujące założenia:

- służyć jako punkt wejścia dla sektora, z którym można się kontaktować we wszystkich sprawach związanych z technologią Hyperloop,
- reprezentowanie, popieranie, obrona interesów członków stowarzyszenia we wszystkich przedsięwzięciach związanych z technologią Hyperloop,
- wykorzystywanie wiedzy do zapewnienia decydom, a także interesariuszom udzielania wskazówek i spostrzeżeń na temat technologii Hyperloop i powiązanych tematów.

Siedzibą stowarzyszenia została Bruksela, co zapewnia możliwość ścisłej współpracy z Komisją Europejską, Parlamentem Europejskim, europejskimi przedsięwzięciami kolejowymi, ośrodkami badawczymi, środowiskiem akademickim. Powinno to ułatwić rozpowszechnianie tego innowacyjnego systemu transportowego w Europie i na świecie oraz wpłynąć na dalszy rozwój systemu. Stowarzyszenie będzie reprezentowane przez współzałożyciela polskiej firmy Novomo (pierwotna nazwa Hyper Poland), który został wybrany na pierwszego prezesa organizacji. Działalność stowarzyszenia jest ważna także dlatego, że w 2023 roku Komisja Europejska rozpoczęła prace nad ramami regulacyjnymi dla tego piątego systemu transportu, co jest znaczącym kamieniem milowym dla całej branży. Atutem dla takich działań jest m.in. fakt, że system jest ekologicznym rozwiązaniem mobilności w nadchodzących czasach [48].

## Bibliografia

1. Buchanan R.A.: *The Atmospheric Railway of I.K. Brunel*, Social Studies of Science. 22 (2) May 1992. Artykuł dostępny na stronie: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/030631292022002003> [dostęp: 29.04.2023].
  2. Business Wire. Hyperloop Technologies Inc. Announces Land Deal For Propulsion Open Air Test in North Las Vegas, Nevada. 2015, WWW: <https://www.businesswire.com/news/home/20151208006339/en/Hyperloop-Technologies-Inc.-Announces-Land-Deal-For-Propulsion-Open-Air-Test-in-North-Las-Vegas-Nevada> [dostęp: 01.05.2023].
  3. Daley R.: *Alfred Ely Beach And His Wonderful Pneumatic Underground Railway*, American Heritage, 1961, WWW: <https://www.americanheritage.com/alfred-ely-beach-and-his-wonderful-pneumatic-underground-railway>:
  4. Garfield L.: *15 remarkable images that show the 200-year evolution of the Hyperloop*. Business Insider, 2018, WWW <https://www.businessinsider.nl/history-hyperloop-pneumatic-tubes-as-transportation-2017-8/?international=true&r=US> [dostęp: 01.05.2023].
  5. Hyperloop Transportation Technologies Reveals Full-Scale Passenger Capsule, 2018, <https://www.prnewswire.com/news-releases/hyperloop-transportation-technologies-reveals-full-scale-passenger-capsule-300722775.html> [dostęp: 02.05.2023].
  6. Marta de Castro Pérez: *Hyperloop: An analysis of its fit in the European Union*. Politecnico di Milano, School of Industrial and Information Engineering, 2019.
  7. Musk E.: *Hyperloop Alpha*. Tesla 12 August 2013, WWW [https://www.tesla.com/sites/default/files/blog\\_images/hyperloop-alpha.pdf](https://www.tesla.com/sites/default/files/blog_images/hyperloop-alpha.pdf) [dostęp: 29.04.2023].
  8. Opgenoord M.M.J.: *How does the aerodynamic design implement in hyperloop concept?* Mechanical Engineerin, Massachusetts Institute of Technology, SAGE Journals, 2019 WWW <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1687814021999528?icid=int.sj-challenge-page.citing-articles.3> [dostęp: 29.04.2023].
  9. Rydzek M.: *Kolej niskociśnieniowa – nowa generacja transportu. Ocena możliwości wdrożenia koncepcji podróżowania z wykorzystaniem tuneli próżniowych*, TTS Technika Transportu Szynowego, 2019, nr 6.
  10. Swissmetro, Hauptstudie 1994–1998, WWW <https://swissmetro-ng.org/wp-content/uploads/Swissmetro-Hauptstudie-1994-%E2%80%93-1998-Finanzierung.pdf> [dostęp: 01.05.2023].
- Strony internetowe
11. [https://www.devonheritage.org/stentiford/Issue\\_17/AtmosphericRailway/3May2art2.htm](https://www.devonheritage.org/stentiford/Issue_17/AtmosphericRailway/3May2art2.htm) [dostęp: 30.04.2023].
  12. <https://www.railwaywondersoftheworld.com/atmospheric-railway.html> [dostęp: 30.04.2023].
  13. <https://www.hows.org.uk/personal/rail/wwr/atm/ap3.jpg> [dostęp: 30.04.2023].
  14. [https://en.wikipedia.org/wiki/George\\_Medhurst](https://en.wikipedia.org/wiki/George_Medhurst) [dostęp: 30.04.2023].
  15. [https://en.wikipedia.org/wiki/Beach\\_Pneumatic\\_Transit](https://en.wikipedia.org/wiki/Beach_Pneumatic_Transit) [dostęp: 30.04.2023].
  16. [https://en.wikipedia.org/wiki/Hyperloop#cite\\_note-141](https://en.wikipedia.org/wiki/Hyperloop#cite_note-141) [dostęp: 30.04.2023].
  17. [https://en.wikipedia.org/wiki/Crystal\\_Palace\\_pneumatic\\_railway](https://en.wikipedia.org/wiki/Crystal_Palace_pneumatic_railway) [dostęp: 30.04.2023].
  18. [https://www.reddit.com/r/london/comments/grfco9/the\\_crystal\\_palace\\_pneumatic\\_railway\\_between/](https://www.reddit.com/r/london/comments/grfco9/the_crystal_palace_pneumatic_railway_between/) [dostęp: 30.04.2023].
  19. <https://en.wikipedia.org/wiki/A%C3%A9rotrain> Aérotrain [dostęp: 30.04.2023].
  20. <https://sometimes-interesting.com/first-subway-pneumatic-transit-system/> [dostęp: 30.04.2023].
  21. [https://www.youtube.com/watch?v=kJv4G\\_F8u2w](https://www.youtube.com/watch?v=kJv4G_F8u2w) [dostęp: 30.04.2023].

22. [https://www.nycsubway.org/wiki/Beach\\_Pneumatic\\_Transit](https://www.nycsubway.org/wiki/Beach_Pneumatic_Transit) [dostęp: 30.04.2023].
23. <https://kihm2.wordpress.com/2013/10/25/rohrpost/> [dostęp: 30.04.2023].
24. <https://www.smartage.pl/praska-poczta-pneumatyczna/> [dostęp: 30.04.2023].
25. <https://geste.group/en/swissmetro-en/swissmetro> [dostęp: 30.04.2023].
26. <https://swissmetro-ng.org/en/> [dostęp: 30.04.2023].
27. <https://www.wiki3.en-us.nina.az/Swissmetro.html> [dostęp: 01.05.2023].
28. <https://www.youtube.com/watch?v=7vD-XC-DL00> [dostęp: 01.05.2023].
29. <https://swissmetro-ng.org/en/history/> [dostęp: 01.05.2023].
30. <https://botland.com.pl/blog/hyperloop-i-hyperpoland-przyszlosc-transportu/> [dostęp: 01.05.2023].
31. <https://www.dailysabah.com/life/science/future-of-transport-floating-pods-in-tubes-not-flying-cars> [dostęp: 01.05.2023].
32. <https://www.theguardian.com/technology/2020/nov/09/first-passengers-travel-in-virgins-levitating-hyperloop-pod-system> [dostęp: 01.05.2023].
33. <https://www.youtube.com/watch?v=3TKp64d8ieE> [dostęp: 01.05.2023].
34. <https://www.railway-technology.com/features/timeline-tracing-evolution-hyperloop-rail-technology/> [dostęp: 02.05.2023].
35. <https://electrek.co/2015/12/08/hyperloop-tech-announces-a-new-open-air-test-track-in-nevada-capable-of-335-mph-by-early-2016/> [dostęp: 02.05.2023].
36. [https://en.wikipedia.org/wiki/Hyperloop\\_Transportation\\_Technologies#/media/File:Toulouse\\_France\\_HTTP.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Hyperloop_Transportation_Technologies#/media/File:Toulouse_France_HTTP.jpg) [dostęp: 02.05.2023].
37. <https://www.westword.com/news/hyperloop-inspired-arrivo-test-track-denver-location-9695871> [dostęp: 02.05.2023].
38. <https://dutchmobilityinnovations.com/spaces/86/dutch-mobility-innovations/wiki/view/22211/hardt> [dostęp: 02.05.2023].
39. <https://www.chinatravelnews.com/article/138209> [dostęp: 02.05.2023].
40. <https://www.picuki.com/media/3040843790197907755> [dostęp: 02.05.2023].
41. <https://constructiondigital.com/construction-projects/transpod-signs-mou-300km-hyperloop-line> [dostęp: 02.05.2023].
42. <https://www.cnn.com/2022/09/11/transpod-wants-to-build-fluxjet-train-plane-hybrid-that-goes-620-mph.html> [dostęp: 02.05.2023].
43. <https://www.scmp.com/news/china/science/article/3207355/chinas-hyperloop-completes-first-test-runs-pushing-ahead-race-ultra-fast-land-transport> [dostęp: 03.05.2023].
44. [https://zgh.com/media-center/news/20181106\\_1/?lang=en](https://zgh.com/media-center/news/20181106_1/?lang=en) [dostęp: 03.05.2023].
45. <https://www.urbantransportnews.com/news/south-korea-records-hyperloop-train-test-over-1000-kmph-speed> [dostęp: 03.05.2023].
46. <https://t3n.de/news/hyperloop-koreanisch-erreicht-1339288/> [dostęp: 03.05.2023].
47. <https://www.urbantransportnews.com/news/hyperloop-companies-join-hand-to-form-the-first-international-hyperloop-association> [dostęp: 03.05.2023].
48. <https://www.nevomo.tech/pl/> [dostęp: 03.05.2023].
49. [https://europeanhyperloopcenter-com.translate.google/?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=pl&\\_x\\_tr\\_hl=pl&\\_x\\_tr\\_pto=sc](https://europeanhyperloopcenter-com.translate.google/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pl&_x_tr_hl=pl&_x_tr_pto=sc) [dostęp: 03.05.2023].
50. <https://www.railtech.com/innovation/2021/01/22/the-netherlands-explores-hyperloop-for-its-busiest-freight-corridor/> [dostęp: 03.05.2023].