

Hydrogen-powered drives of the rail vehicles (part 2)

Napędy trakcyjne pojazdów szynowych zasilane wodorem (cz. 2)

The paper presents the reasons for launching the efforts aimed at implementing the low-emission rail vehicles. A short history of development of the hydrogen-powered drive solutions is described. It has been pointed out that implementation of hydrogen-powered rail vehicles results in simultaneous development of production and distribution of this fuel. The qualities of new energy sources suitable for use in the rail vehicles are depicted, while further part of the paper presents the rail vehicles already implemented in the world. Another part of the article pertains to domestically undertaken measures related to hydrogen propulsion. Due to topicality of the National Reconstruction Plan, the excerpts from its provisions related to hydrogen production and modern rail transport have been mentioned. The following chapter is devoted to economic aspects, while the last one to measurable environmental benefits resulting from the use of the hydrogen traction. The first part of the paper has been published in the previous issue of the Rail Vehicles.

W artykule przedstawiono powody uruchomienia działań mających na celu wdrożenie niskoemisyjnych pojazdów szynowych. Opisano krótką historię rozwoju napędów zasilanych wodorem. Zwrócono uwagę, że wdrożenie do eksploatacji pojazdów szynowych zasilanych wodorem wiąże się z równoczesnym rozwojem produkcji i dystrybucji tego paliwa. Zostały opisane cechy nowych źródeł energii do stosowania w pojazdach szynowych, a w kolejnej części artykułu zaprezentowano pojazdy szynowe wdrożone na świecie. Następna część artykułu dotyczy podjętych w kraju działań związanych z napędami wodorowymi. Ze względu na aktualność tematu Krajowego Planu Odbudowy przytoczone zostały fragmenty jego zapisów dotyczące produkcji wodoru i nowoczesnego transportu szynowego. Dalszy rozdział został poświęcony aspektom ekonomicznym, a ostatni wymiernym korzyściom dla środowiska z zastosowania napędów trakcyjnych zasilanych wodorem.

Pierwsza część artykułu została opublikowana w poprzednim numerze Pojazdów Szynowych.

Keywords: rail vehicle, traction drive, hydrogen powered

Słowa kluczowe: pojazd szynowy, napęd trakcyjny, zasilanie wodorem

5. The action plans launched domestically

At present, in Poland neither the hydrogen-powered rail vehicles nor any hydrogen fueling station are available. Nevertheless, the Polish rolling stock manufacturers, carriers and fuel producers are starting discussion on this matter. Three consortia notified the attempts to build hydrogen-powered locomotives:

- PESA Bydgoszcz and PKN Orlen. On December 12, 2019, these parties have signed a letter of intent on cooperation. PESA Bydgoszcz and PKN Orlen intend to introduce their locomotives (electric-hydrogen hybrids) to Reda-Hel passenger line (railway line No. 213). This line is located in the Pomeranian Province, where the Gdańsk-Gdynia-Sopot Metropolitan Area Association in 2019 signed a declaration establishing the Pomeranian Hydrogen Valley [23].

5. Plany działań uruchomione w kraju

Obecnie w Polsce nie ma jeszcze pojazdów szynowych napędzanych wodorem ani stacji, w której można zapatrzeć się w takie paliwo, jednak polscy producenci taboru, przewoźnicy i producenci paliwa rozpoczynają rozmowy w tym kierunku. Próbę zbudowania lokomotyw napędzanych wodorem zasygnalizowały trzy konsorcja:

- PESA Bydgoszcz i PKN Orlen. Strony podpisały 12 grudnia 2019 r. list intencyjny w sprawie współpracy. PESA Bydgoszcz i PKN Orlen chcą wprowadzić swoje lokomotywy (hybrydy elektryczno-wodorowe) do obsługi linii pasażerskiej na odcinku Reda - Hel (linia kolejowa nr 213). Linia ta znajduje się na terenie województwa pomorskiego, gdzie w 2019 roku podpisana została deklaracja zakładająca powołanie Pomorskiej

Such an initiative complies with the position of the Office of Rail Transport, assuming a pilot project to be launched, that should engage at least three entities: a hydrogen producer, a rolling stock manufacturer and a railway carrier, which will operate a hydrogen-powered vehicle.

- PKP Cargo (the carrier), Jastrzębska Spółka Węglowa (fuel manufacturer) and Fabryka Pojazdów Szynowych H. Cegielski (rolling stock manufacturer). The project is specifically oriented to freight transport. The main contractors of the project believe that the traction vehicles built by the consortium should use hydrogen extracted from the coke oven gas. This would be conducive to the situation in which the PKP Cargo could increase its energy security, decrease the negative railway impact on the environment and reduce the energy cost by about 30%. The hydrogen locomotives would run on strictly defined, mainly freight routes, delivering coal to the power plants. Taking into account that such transport is highly regular in terms of relation, time and size of the cargo, the problem of hydrogen storage would be solved. The hydrogen fuel storage facilities would be located at the end of the railway line section.
- Lotos Lab and Lotos Kolej. The project is related to hybrid shunting locomotives. Both companies intend to build two prototype locomotives based on shunters. They will be electrically powered with lithium-ion batteries. The alternative drive of one of them will be diesel, while the other will be provided with hydrogen propulsion.

Trajectory of the TEN-T rail corridors through Poland is nearly equal to the network of the car traffic roads. Therefore, hydrogen might be distributed both to TEN-T road and rail networks from the same HRS base stations [17].

The work on hydrogen application is also carried out by PKP Energetyka, that together with Deutsche Bahn presented a fuel cell at the TRAKO railway fair. In the nearest future, it may power the vehicles running on non-electrified sections and displace the diesel locomotives. PKP Energy is involved in several hydrogen projects, including the ones designed for the Reda-Hel railway line, where construction of the traction network is difficult [23], [27].

It is expected that the hydrogen drive may be disseminated in Europe over the period 2030-2050. According to UTK (Rail Transport Office), the time when the first hydrogen-powered railway vehicles shall be launched in Poland depends, first of all, on timing and feasibility of hydrogen supply station construction. According to the information of UTK, the first such investments are planned for 2021, that should enable to put into operation the first hydrogen cells-powered vehicles in 2022.

The energy companies intend to launch hydrogen

Doliny Wodorowej przez Stowarzyszenie Obszar Metropolitalny Gdańsk-Gdynia-Sopot [23].

Taka inicjatywa jest zgodna ze stanowiskiem UTK, wg którego należy uruchomić pilotażowy projekt obejmujący przynajmniej trzy podmioty: producenta wodoru, producenta taboru i przewoźnika kolejowego, który będzie wykorzystywał napędzany wodorem pojazd.

- PKP Cargo (przewoźnik), Jastrzębska Spółka Węglowa (producent paliwa) i Fabryka Pojazdów Szynowych H. Cegielski. Projekt jest ukierunkowany na przewozy towarowe. Głównymi wykonawcami tego projektu są: Pojazdy trakcyjne zbudowane przez to konsorcjum wykorzystywałyby wodór wyodrębniony z gazu koksowniczego, dzięki temu przewoźnikowi PKP Cargo udałooby się zwiększyć swoje bezpieczeństwo energetyczne, zmniejszyć negatywne oddziaływanie kolei na środowisko oraz obniżyć koszty energii o około 30%. Lokomotywy wodorowe kursowałyby na ściśle określonych trasach, głównie towarowych, np. dowożąc węgiel do elektrowni. Dzięki temu, że takie przewozy są bardzo regularne pod względem relacji, czasu i wielkości ładunku, rozwiązany byłby problem magazynowania wodoru. Magazyny paliwa wodorowego byłyby zlokalizowane na końcu odcinka linii kolejowej.
- Lotos Lab i Lotos Kolej. Przedsięwzięcie dotyczy hybrydowych lokomotyw manewrowych. W zamierzeniu obu spółek mają powstać dwie prototypowe lokomotywy, które powstaną na bazie lokomotyw manewrowych. Lokomotywy te będą miały napęd elektryczny z bateriami litowo-jonowymi, natomiast napęd alternatywny będzie w jednej z lokomotyw spalinowy, a w drugiej wodorowy.

Przebieg korytarzy kolejowych TEN-T przez Polskę jest niemal tożsamy z drogowymi, zatem lokalizacja bazowych stacji HRS dla potrzeb transportu kolejowego mogłaby połączyć dystrybucję wodoru na obu sieciach TEN-T drogowej i kolejowej [17].

Prace nad wykorzystaniem wodoru prowadzi także PKP Energetyka, która na targach kolejowych TRAKO zaprezentowała ogniwo paliwowe wspólnie z Deutsche Bahn. W niedalekiej przyszłości może zasilać pojazdy na odcinkach niezelektryfikowanych i wyprzedzić lokomotywy spalinowe. PKP Energetyka zaangażowana jest w kilka projektów wodorowych, m.in. dla linii kolejowej Reda – Hel, gdzie budowa sieci trakcyjnej jest utrudniona [23], [27].

Upowszechnienie napędu wodorowego w Europie przewidywane jest w latach 2030÷2050. Według UTK rozpoczęcie eksploatacji w Polsce pierwszych pojazdów kolejowych napędzanych wodorem zależy przede wszystkim od terminu i możliwości budowy stacji

production facilities, allowing to produce 21 kg of hydrogen per hour, but at present recipients of this fuel are missing [19].

JSW is planning to build a manufacturing plant and a production line of the carriages and hydrogen-powered locomotives. Therefore, a letter of intent was signed with PKP Cargo, with a view to develop hydrogen propulsion technology, and another letter of intent with Rail Vehicles Factory (Cegielski) for modernization of diesel locomotives [15].

The project "Energy Policy of Poland" (PEP2040) assumes an increase in the use of waste materials for production of biocomponents and biomethane for transport purposes and dissemination of alternative biogas purification technologies to achieve its parameters equal to biomethane. The biohydrogen so obtained may be used in co-hydrogenation and hydrogenation processes [2].

The Polish fuel concern declares construction of a hydrogen purification installation to be built at the ORLEN Południe plant in Trzebinia. Start-up of production of clean hydrogen fuel, which would be used to power vehicles, including locomotives planned at PESA, is scheduled for 2021.

PKN ORLEN, one of major hydrogen producers in the world, already manufactures nearly 45 tons of high-quality hydrogen per hour and sells it currently for purposes of fueling the automobiles.

Other Polish fuel companies also participate in interesting hydrogen projects. LOTOS begins cooperation with Toyota, with a view to build the refueling stations for supplying this environmentally friendly fuel. Preliminary discussion with Toyota was also undertaken by our gas giant PGNiG, which intends to become one of the leaders in hydrogen technologies development in Poland. The considered activity includes production, storage, vehicle propulsion and distribution network to serve customers.

At PESA Bydgoszcz Inc. a project of a shunting locomotive provided with hydrogen fuel cells is being developed. The hydrogen locomotive is based on the SM42 one, from which the bogie and locomotive frames will be used. The other parts, such as wheelsets, asynchronous traction motors and the transmission, will be new. Two 85 kW fuel cells will be used. Capacity of the tanks is sufficient for 175 kg of hydrogen. Duration of locomotive refueling will not exceed 20 minutes.

What concerns the market potential, the "Eastern Poland" program should be mentioned, which assumes an increase in rail transport availability in this region, as well as the "KolejPlus" program, aiming in deliveries of at least 200 hydrogen-powered vehicles.

Apart from the project of deep modernization of the locomotive and replacement of the drive with hydrogen, PESA also develops an electric multiple unit with two drive types. One will be powered from the over-

zasilania wodorem. Z informacji posiadanych przez UTK wynika, że pierwsze tego typu inwestycje zostały zaplanowane na 2021 rok, co pozwoli na wprowadzenie do eksploatacji pierwszych pojazdów zasilanych ogniwami wodorowymi w 2022 r.

Spółki energetyczne chcą uruchomić instalacje produkcji wodoru, pozwalające na wytworzenie 21 kg wodoru w ciągu godziny, ale dziś brakuje odbiorców tego paliwa [19].

JSW ma w planach budowę fabryki i linii produkcyjnej wagonów oraz lokomotyw z napędem wodorowym. W tej sprawie podpisany został list intencyjny z PKP Cargo, co pozwoli na rozwój technologii napędu wodorowego oraz list intencyjny z Fabryką Pojazdów Szynowych (Cegielski) w zakresie modernizacji lokomotyw o napędzie diesla [15].

W projekcie „Polityka Energetyczna Polski” (PEP2040) zakłada się zwiększenie wykorzystania surowców odpadowych do wytwarzania biokomponentów oraz biometanu zużywanego w transporcie oraz upowszechnienie alternatywnych technologii oczyszczania biogazu do parametrów biometanu, a także stosowanie pozyskanego biowodoru do procesów współwodornienia i uwodornienia [2].

Polski koncern paliwowy zapowiada budowę instalacji do oczyszczania wodoru, która powstanie w zakładzie w Trzebinie, należącym do spółki ORLEN Południe. Rozpoczęcie produkcji czystego paliwa wodorowego, które wykorzystywane byłoby do napędu pojazdów, w tym w lokomotywach planowanych w PESA, przewidziane jest na rok 2021.

PKN ORLEN, jeden z największych producentów wodoru na świecie, już teraz w procesie produkcyjnym wytwarza blisko 45 ton wysokiej jakości wodoru na godzinę i na razie prowadzi sprzedaż tego surowca dla aut osobowych.

W ciekawych projektach wodorowych udział biorą także inne polskie firmy paliwowe. LOTOS zaczyna współpracę z Toyotą, na mocy której ma zbudować stacje do tankowania tego ekologicznego paliwa. Wstępne rozmowy z Toyotą podjął również nasz gigant gazowy PGNiG, który chce stać się jednym z liderów rozwoju technologii wodorowych w Polsce. W badanych obszarach jest produkcja, magazynowanie, napędy pojazdów i sieć dystrybucji do klientów.

W PESA Bydgoszcz S.A. powstaje projekt lokomotywy manewrowej z wodorowymi ogniwami paliwowymi. Podstawą do opracowania lokomotywy wodorowej jest lokomotywa SM42, z której wykorzystane zostaną ramy wózków i ostoja pojazdu. Inne elementy, jak zestawy kołowe, trakcyjne silniki asynchroniczne oraz przekładnia, będą nowe. Zastosowane zostaną dwa ogniwa paliwowe o mocy 85 kW, a pojemność zbiorników wystarczy na 175 kg wodoru. Czas tankowania lokomotywy nie przekroczy 20 minut.

W kontekście potencjału rynkowego trzeba jeszcze

head line, while the other from fuel cells. It will be a 3-car version with 172 seating and 182 standing passengers. Its configuration has been agreed with self-governments and complies with their needs. The range of the hydrogen-powered vehicle should amount approximately to 600 kilometers, with the cells' power equal to 340 kW. The Polish manufacturer is currently negotiating the delivery of this type of vehicle with one of the carriers [24].

6. Hydrogen technologies for rail transport in the National Reconstruction Plan (NRP) project

Provisions of the National Reconstruction Plan project (and Resilience Enhancement) [16] related to development of hydrogen fuel technology as an alternative energy source, should be referred to two domains:

- the infrastructure suited to distribute the fuel to various customers;
- the rolling stock using large quantities of the fuel.

By submitting the National Reconstruction Plan to the European Commission, Poland will apply for over EUR 12.1 billion from the Restaurant Revitalization Fund loan. These means will be destined, first of all, to additional financing of the operations related to climate transformation and digitalization. Together with the reforms connected to them, they include such projects as:

- the investments in rail transport in cities;
- the investments in regional passenger rolling stock.

As part of the planned economic recovery, based on the approved strategies described below, the measures related to transport will also be implemented:

- Polish Hydrogen Strategy until 2030, with further course until 2040.

This document will be adopted in the form of a resolution of the Cabinet and will define the main goals of development of a low-emission hydrogen economy in Poland. It will serve as a basis for launching two programs supporting development of the hydrogen economy at the National Fund for Environmental Protection and Water Management, i.e. "New Energy" and "Green Public Transport" (phase I) in 2021.

- Sustainable Development Strategy in Transport until 2030.

Based on this strategy, the investments into hydrogen technologies for the production, storage and transportation of hydrogen will be launched. Hydrogen charging stations will be built, intended for electric vehicles, including the rail ones.

Having in mind proper funding of implementation of the Polish Hydrogen Strategy, the programs are planned to be launched that shall support the research and development of the hydrogen technologies financed from national funds, including start-up, in 2021, of a dedicated Program for Hydrogen Technology Support at the National Center for Research and

wspomnieć o programie „Polska Wschodnia”, który zakłada wzrost dostępności transportu kolejowego dla tego regionu oraz o programie „Kolej Plus”, którego efektem ma być co najmniej 200 pojazdów zasilanych wodorem.

Niezależnie od projektu głębokiej modernizacji lokomotywy i wymiany napędu na wodorowy PESA pracuje również nad elektrycznym zespołem trakcyjnym z dwoma rodzajami napędu. Jeden będzie zasilany z sieci trakcyjnej, a drugi z ogniw paliwowych. Ma być to wersja 3-członowa ze 172 miejscami siedzącymi i 182 stojącymi. Jego konfiguracja została uzgodniona z samorządami i odpowiada ich potrzebom. Zasięg pojazdu zasilanego wodorem ma wynosić ok. 600 kilometrów, a moc ogniw wyniesie 340 kW. Polski producent prowadzi obecnie rozmowy z jednym z przewoźników na dostawy tego typu pojazdów [24].

6. Technologie wodorowe dla transportu szynowego w projekcie KPO

Zapisy projektu Krajowego Planu Odbudowy (i Zwiększenia Odporności) [16] dotyczące rozwoju technologii paliwa wodorowego, jako alternatywnego źródła energii, należy odnieść do dwóch obszarów:

- infrastruktury przystosowanej do dystrybucji dla różnorodnych konsumentów tego paliwa
- taboru szynowego, który będzie wykorzystywał to paliwo w dużych ilościach.

Polska przedkładając KPO do KE będzie wnioskowała o ponad 12,1 mld euro z części pożyczkowej RRF. Środki te zostaną przeznaczone przede wszystkim na dodatkowe finansowanie przedsięwzięć związanych z transformacją klimatyczną i cyfryzacją. Należą do nich wraz z towarzyszącymi im reformami takie przedsięwzięcia jak, m.in.:

- inwestycje w transport szynowy w miastach
- inwestycje w regionalny pasażerski tabor kolejowy.

W ramach planowanej odbudowy gospodarki w oparciu o zatwierdzone, opisane niżej strategie, będą wdrażane działania także związane z transportem:

- Polska Strategia Wodorowa do roku 2030 z perspektywą do 2040 r.

Dokument ten zostanie przyjęty w formie uchwały Rady Ministrów i określi główne cele rozwoju niskoemisyjnej gospodarki wodorowej w Polsce. Na tej podstawie nastąpi uruchomienie w Narodowym Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej dwóch programów wspierających rozwój gospodarki wodorowej, tj. „Nowa Energia” i „Zielony transport publiczny” (faza I) w 2021 r.

- Strategia Zrównoważonego Rozwoju Transportu do 2030 r.

Na podstawie tej strategii zostaną uruchomione inwestycje w technologie wodorowe dotyczące wytwarzania, magazynowania i transportu wodoru. Budowane będą stacje ładowania wodorem pojazdów elektrycznych, w tym szynowych.

Development.

These endeavours will contribute to reach the target determined by the EU, i.e. reduction of emissivity of the energy-intensive sectors. The investments into the hydrogen technologies development will be launched under the sustainable economic growth, with a view to use hydrogen for transport, industry and energy purposes.

The National Reconstruction Plan, in its part related to the grants, includes the chapter referred to as Component B "Green energy and reduction of the energy intensity". The objective of the measures referred to in this part of the NRP is to reduce negative impact of the economy on the environment, ensuring, at the same time, competitiveness and energy and environmental security of the country.

In the point B2.1. of the Component the improvement of the conditions for development of hydrogen technologies and other decarbonized gases is provided for, inclusive of:

- establishment of a regulatory framework for hydrogen application to the transport in the third quarter of 2021;
- adoption of the legislative hydrogen package in the fourth quarter of 2023.

These steps shall enable achieving the following results of hydrogen technology implementation by the third quarter of 2026:

- approx. 320 MW power of the installation for production of low-emission, renewable hydrogen, inclusive of the accompanying infrastructure;
- 25 refueling stations, including hydrogen bunkering;
- 3 types of innovative hydrogen-powered transport units being a result of the research processes and implementation of building of hydrogen-powered transport units.

The point B2.1.1. provides for the investments into the hydrogen technologies, i.e. hydrogen production, storage and transport. The timeframe for this task is assumed from the first quarter of 2021 to the third quarter of 2026.

The construction of equipment and infrastructure is planned, necessary, among others, in rail transport. Commissioning of the innovative hydrogen-powered transport units ready for use will become justified. These tasks will be implemented from the first quarter of 2021 to the third quarter of 2026. The implementation costs are estimated to € 800 million.

The National Reconstruction Plan, in its part related to the loans, also includes the chapter referred to as Component B "Green energy and reduction of the energy intensity".

One of the items of the Component is the detailed objective referred to in point E1, "Increase in the share of zero- and low-emission transport and preventing and reducing the negative transport impact

Na rzecz zapewnienia finansowania realizacji Polskiej Strategii Wodorowej planuje się uruchomienie programów wspierających badania i rozwój w dziedzinie technologii wodorowych finansowanych ze środków krajowych, w tym uruchomienie od 2021 r. dedykowanego Programu Wsparcia Technologii Wodorowych w Narodowym Centrum Badań i Rozwoju.

Działania te będą wkładem w uzyskanie celu wyznaczonego przez UE, tj. obniżenie emisyjności sektorów energochłonnych. W ramach zrównoważonego wzrostu gospodarczego będą uruchamiane inwestycje w rozwój technologii wodorowych w celu zastosowania wodoru na potrzeby transportu, przemysłu, energetyki.

W część grantowej KPO ujęto rozdział: **Komponent B** „Zielona energia i zmniejszenie energochłonności”. Celem działania opisanego w tej części KPO jest ograniczenie negatywnego oddziaływania gospodarki na środowisko przy jednoczesnym zapewnieniu konkurencyjności i bezpieczeństwa energetycznego oraz ekologicznego kraju.

W ramach tego komponentu w pkt. B2.1. ujęto poprawę warunków dla rozwoju technologii wodorowych oraz innych gazów zdekarbonizowanych, w tym:

- stworzenie ram regulacyjnych funkcjonowania wodoru w transporcie w III kw. 2021 r.
- przyjęcie legislacyjnego pakietu wodorowego w IV kw. 2023 r.

Kroki te pozwolą uzyskać do III kw. 2026 r. następujące efekty wdrożenia technologii wodorowej:

- ok. 320 MW mocy instalacji do produkcji niskoemisyjnego, odnawialnego wodoru wraz z infrastrukturą towarzyszącą
- 25 stacji tankowania, w tym bunkrowania wodoru
- 3 typy innowacyjnych jednostek transportowych zasilanych wodorem, jako wynik procesów badawczych i wdrożenia budowy jednostek transportowych zasilanych wodorem.

W pkt. B2.1.1. określono inwestycje w technologie wodorowe, tj. wytwarzanie, magazynowanie i transport wodoru. Założono, że zakres czasowy realizacji tego zadania to I kw. 2021 r. do III kw. 2026 r.

Uruchomiona zostanie budowa urządzeń oraz infrastruktury niezbędnej m.in. w transporcie kolejowym. Zasadne stanie się rozpoczęcie przekazywanie do eksploatacji zbudowanych innowacyjnych jednostek transportowych zasilanych wodorem. Te zadania będą realizowane od I kw. 2021 r. do III kw. 2026 r. i szacuje się, że koszty realizacji wyniosą 800 mln €.

W część pożyczkowej KPO również ujęto rozdział: **Komponent B** „Zielona energia i zmniejszenie energochłonności”.

Jednym z elementów tego komponentu jest cel szczegółowy ujęty w pkt. E1. „Zwiększenie udziału zero- i niskoemisyjnego transportu oraz przeciwdziałanie i

on the environment". Hereinafter it is specified in point E1.2.1. as "Zero and low-emission collective transport (trams)", in the form of the purchase of approx. 110 modern trams by the second quarter of 2026, and in point E2.3.1 "Passenger rolling stock of regional railways" consisting in delivery of 75 trains planned for the third quarter of 2026.

The support will be granted firstly to the areas in which the clean transport zones have already been or are planned to be introduced.

The list of the funds allocated to hydrogen technologies from the RRF (*Recovery and Resilience Facility*) grant part and loan part, to be used for purposes of rail transport, is presented in the table below

zmniejszenie negatywnego oddziaływania transportu na środowisko", dalej rozpisany w pkt. E1.2.1. jako „Zero i niskoemisyjny transport zbiorowy (tramwaje)” w formie zakupu ok. 110 nowoczesnych tramwajów z realizacją do II kw. 2026 r. oraz w pkt. E2.3.1 „Pasażerski tabor kolei regionalnej” z realizacją w formie 75 pociągów przewidzianą do III kw. 2026 r.

Wsparcie będzie udzielane w pierwszej kolejności obszarom, gdzie już wprowadzono lub planowane jest wprowadzenie stref czystego transportu.

Zestawienie środków finansowych przeznaczonych na technologie wodorowe z części grantowej RRF i pożyczkowej RRF (*Recovery and Resilience Facility*), które mogą być wykorzystane w obszarze transportu pojazdami szynowymi, zestawione jest w tablicy poniżej.

Środki finansowe przeznaczone na technologie wodorowe
The funds allocated to hydrogen technologies

Tabl. 2
Table 2

WIĄZKI PROJEKTOWE REALIZOWANE W RAMACH KRAJOWEGO PLANU ODBUDOWY	ALOKACJA Z RRF (W MLN EUR)	
	SUMA	SEKTOR INSTYTUCJONALNY
B2.1.1. Inwestycje w technologie wodorowe, wytwarzanie, magazynowanie i transport wodoru	897	SEKTOR PRYWATNY
E 2.1.2. Inwestycje w tabor kolejowy	965	SEKTOR RZĄDOWY/SAMORZĄDOWY (50/50)

THE SETS OF PROJECTS IMPLEMENTED UNDER THE NATIONAL RECONSTRUCTION PLAN	ALLOCATION FROM RRF (IN € MILLION)	
	AMOUNT	INSTITUTIONAL SECTOR
B2.1.1. Investments in the hydrogen technologies, hydrogen production, storage and transport		PRIVATE SECTOR
E2.1.2. Investments in the rolling stock		GOVERNMENT/SELF-GOVERNMENT SECTOR (50/50)

The resources from the RRF loan part designed for the component E "Green Smart Mobility" amount to € 700 million, inclusive of:

- € 200 million to be divided by way of competition for the investments in rail transport (trams) with a view to increase the share of zero- and low-emission transport and to reduce the negative transport impact on the environment. Implementation is planned for the period from the second quarter of 2020 to the third quarter of 2026.

The cost of a single tram was estimated at PLN 8 million, based on the projects carried out under the Cohesion Policy 2014-2020.

- € 500 million to support the investments in regional rolling stock, in order to increase transport accessibility and safety, and to deploy digital solutions

These resources will be used to implement the reforms and investments directly contributing towards the main objective and specific objectives of the component, as listed in the table below.

Środki z części pożyczkowej RRF na komponent E „Zielona inteligentna mobilność” to 700 mln €, w tym:

- 200 mln € do podziału w trybie konkursowym na inwestycje w transport szynowy (tramwaje) w celu zwiększenia udziału zero- i niskoemisyjnego transportu oraz zmniejszenie negatywnego oddziaływania transportu na środowisko. Planowany okres realizacji to II kw. 2020 r. do III kw. 2026 r. Koszt jednego tramwaju został oszacowany na kwotę 8 mln zł na podstawie projektów realizowanych w ramach Polityki Spójności 2014-2020.
- 500 mln € na wsparcie inwestycji w regionalny tabor kolejowy dla zwiększenia dostępności transportowej i bezpieczeństwa oraz wdrażania rozwiązań cyfrowych.

Ze środków tych realizowane będą reformy i inwestycje przyczyniające się bezpośrednio do osiągnięcia celu głównego i celów szczegółowych komponentu, zestawione w tablicy poniżej.

Zestawienie reform i inwestycji wpływające na osiągnięcie celu głównego i celów szczegółowych
Specification of the reforms and investments influencing achievement of the main objective and specific objectives

Tabl. 3
Table 3

Cel szczegółowy komponentu Specific objective of the component	Reformy The reforms	Cel reformy Reform objective	Inwestycje investments	Cel inwestycji Investment objective
E1. Zwiększenie udziału zero i niskoemisyjnego transportu oraz przeciwdziałanie i zmniejszenie negatywnego oddziaływania transportu na środowisko E1. Increase in the share of zero and low-emission transport, preventing and reducing the negative transport impact on the environment	E1.2. Zwiększenie udziału zero i niskoemisyjnego transportu oraz przeciwdziałanie i zmniejszenie negatywnego oddziaływania transportu na środowisko E1.2. Increase in the share of zero and low-emission transport, preventing and reducing the negative transport impact on the environment	Zapewnienie sprawnego transportu zbiorowego na obszarach miast gdzie wprowadzono strefy czystego transportu To ensure efficient public transport in the urban areas where the clean transport zones have been established.	E1.2.1 Zero i niskoemisyjny transport zbiorowy (tramwaje) E1.2.1 Zero and low-emission public transport (trams)	Zwiększenie liczby nowoczesnego transportu szynowego (tramwajowego) w miastach Increase in the number of modern rail (tram) transport vehicles in cities
E2. Zwiększenie dostępności transportowej, bezpieczeństwa i cyfrowych rozwiązań E2. Improvement in transport accessibility, security and digital solutions	E2.3 Zwiększenie dostępności transportowej, bezpieczeństwa i cyfrowych rozwiązań E2.3 Improvement in transport accessibility, security and digital solutions	Zwiększenie roli sektora kolejowego w systemie transportowym Increase in the role of railway sector within the transport system	E2.3.1. Pasażerski tabor kolei regionalnej E2.3.1. Passenger rolling stock of the regional railway	Odnowa taboru pasażerskiego i podniesienie atrakcyjności transportowej regionów poprzez zwiększenie dostępności i komfortu podróży koleją Renewal of the passenger rolling stock and improvement of the transport attractiveness of the regions by way of enhancement of accessibility and comfort of rail travel

The next table presents the impact of the tasks related to hydrogen-powered rolling stock included in the Package E on the ecological and digital transformation.

W kolejnej tabeli przedstawiono wpływ na transformację ekologiczną i cyfrową zadań dotyczących taboru szynowego z napędem wodorowym ujętych w pakiecie E.

Wskaźniki osiągnięcia celu reformy/inwestycji (w 0, 40 lub 100%)
Indicators of attainment of the reform/investment target (0, 40 or 100%)

Tabl. 4
Table 4

Krótki tytuł	Cele ekologiczne				Cele cyfrowe
	Klimatyczne	Środowiskowe	Obszar interwencji dla inwestycji	DNSH	
	Tag	Tag			
E1.2.1. Zero i niskoemisyjny transport zbiorowy (tramwaje)	100%	40%	073/ 074// 077	tak	0%
E2.3.1. Pasażerski tabor kolei regionalnej	100%	40%	072a	tak	0%

A concise title	Ecological objectives				Digital objectives
	Climate objectives	Environmental objectives	Intervention area for the investments	DNSH	
E1.2.1. Zero and low-emission public transport (trams)					
E2.3.1. Passenger rolling stock of the regional railway					

Applications for the rolling stock have already been submitted to the National Reconstruction Plan, among others for financial support of the purchase of 20 new five-unit electric multiple units and 12 new hydrogen-powered vehicles, all of them designed for handling the regional and agglomeration traffic [27].

7. Economic aspects

In order to analyze this aspect, the CAPEX (Capital Expenditures) and TCO (Total Cost of Ownership) should be taken into account, i.e. the total costs of acquisition, installing, using, maintaining and completing the investment. The cost of retrofitting of the trains becomes important in this case. At present it is estimated at around € 6 million per a single train, including the FCH system (Fuel Cells and Hydrogen) and its relevant components, such as:

- fuel cell stacks of the batteries, enabling more optimum way of fuel cell operation;
- the cells of a certain capacity, amounting approximately to 300 ÷ 400 kW
- on-board hydrogen storage tanks of a specific capacity (e.g. vehicle roof-mounted), designed for example for 180 kg or more, e.g. 350 kg of hydrogen.

Moreover, the infrastructure expenses should be taken into account, inclusive, first of all, of the costs resulting from refueling the train tanks with hydrogen. For example, in the case of producing hydrogen by electrolysis on site, a fuel cost of € 1.50/km should be envisaged, based on the price estimated with reference to achieved power of € 76/MWh [0].

According to RailEngineer and Alstom, the 10 MW wind farm is able to produce 2.5 ton of hydrogen daily. It is enough to power a fleet of 14 iLint trains at the distance of 600 km/day [4].

Construction cost of a single hydrogen charging station ranges from PLN 1 to 2.5 million. Therefore, according to the Rail Transport Office, the approach consisting in construction of bimodal stations, intended both for road and rail transport, is worthy of consideration. In result, it would be reasonable to adopt, at the government level, a strategy promoting and popularizing the hydrogen propulsion, which might be conducive to reduction in the costs [19].

The self-governments say openly that without financial compensation they would be able to order only limited number of the hydrogen passenger trains, since at present they are expensive. Due to high cost of hydrogen transport implementation, over the next 5 years it will need to be constantly and largely co-financed. At the same time, the price of hydrogen is expected to decrease as hydrogen will be produced on a larger scale and from cheaper sources, including among others the wastes.

The debate devoted to this subject took place as part of the Wodór2030.pl project, whose main partner is PKN ORLEN, the leader in the field of hydrogen

Do Krajowego Planu Odbudowy złożono już wnioski dotyczące taboru szynowego, m.in. na dofinansowanie zakupu 20 sztuk nowych pięciocłonowych elektrycznych zespołów trakcyjnych, które miałyby obsługiwać ruch regionalny i aglomeracyjny oraz na zakup 12 sztuk nowych pojazdów o napędzie wodorowym do obsługi ruchu regionalnego i aglomeracyjnego [27].

7. Aspekty ekonomiczne

Analizując ten aspekt należy wziąć pod uwagę wydatki inwestycyjne CAPEX (*Capital Expenditures*) oraz TCO (*Total Cost of Ownership*), czyli całkowite koszty pozyskania, instalowania, użytkowania, utrzymania i zakończenia inwestycji. Ważne będą tutaj koszty modernizacji pociągów, szacowane obecnie na ok. 6 mln € w odniesieniu do jednego pociągu, włączając system FCH i jego odpowiednich składników, takich jak:

- stopy ogni w paliwowych baterii umożliwiających bardziej optymalną pracę ogniwa paliwowego
- ogniwa o określonej mocy ok. 300 ÷ 400 kW
- pokładowe zbiorniki magazynowania wodoru (mocowane np. na dachu pojazdu) o określonej pojemności, przykładowo na 180 kg wodoru lub większej np. na 350 kg wodoru.

Ponadto należy uwzględnić koszty związane z infrastrukturą, w tym przede wszystkim koszty związane z napełnianiem zbiorników pociągu wodorem. Przykładowo przy produkowaniu wodoru na miejscu na drodze elektrolizy należy przewidywać koszt paliwa na poziomie 1,50 €/km, w oparciu o szacunkową cenę 76 €/MWh [0].

Według Rail Engineer i Alstom, farma wiatrowa o mocy 10 MW jest w stanie produkować 2,5 tony wodoru dziennie, a to wystarczy, aby zasilić flotę 14 pociągów iLint na dystansie 600 km dziennie [4].

Koszt budowy jednej stacji ładowania wodoru jest rzędu 1÷2,5 mln zł, dlatego zdaniem UTK warte rozważenia są rozwiązania polegające na budowie stacji bimodalnych, przeznaczonych jednocześnie dla transportu drogowego i kolejowego. Zasadne byłoby zatem przyjęcie na szczeblu rządowym strategii promującej napęd wodorowy i jego popularyzację, a przełoży się na zmniejszenie kosztów [19].

Samorządy mówią wprost, że bez dofinansowania będą w stanie zamówić tylko pojedyncze sztuki pociągów pasażerskich na wodór, bo ich zakup jest obecnie drogi. Ze względu na duży koszt wdrożenia transportu wodorowego będzie musiał w ciągu najbliższych 5 lat być stale i w dużym stopniu dofinansowywany. Jednocześnie należy przewidywać, że cena wodoru będzie malała, ponieważ będzie on produkowany na większą skalę i z tańszych źródeł, m.in. takich jak odpady.

Debata na ten temat odbyła się w ramach projektu *Wodór2030.pl*, którego partnerem głównym jest PKN ORLEN, lider w obszarze technologii wodorowych w Polsce [24].

technologies in Poland [24].

8. Quantifiable benefits for environmental protection

The data shown in Table 5, obtained from the carrier, enabled making the basic assessments and assumptions aimed at reducing the CO₂ emission on the Gdynia-Hel-Gdynia route by replacing the previously used trains with compression-ignition (CI) engines with the ones equipped with hydrogen fuel cells. [17].

Zmniejszenie emisji CO₂ przez zastąpienie obsługi trasy przejazdowej Gdynia-Hel-Gdynia przez pociągi wyposażone w ogniwo paliwowe zamiast pociągów napędzanych silnikiem spalinowym z ZS. Tabl. 5

Reduction of the CO₂ emission on the Gdynia-Hel-Gdynia route by replacing the trains with compression-ignition (CI) engines with the ones equipped with hydrogen fuel cells. Table 5

Wyszczególnienie Specification	Zużycie wodoru 0,36 [kg/km] Hydrogen consumption 0.36 kg/km		Zużycie wodoru 0,22 [kg/km] Hydrogen consumption 0.22 kg/km	
	Produkcja ze źródeł odnawialnych (farmy wiatrowe) Production from renewable sources (wind farms) 1[kgH ₂]=1[kg CO ₂]	Produkcja z gazu ziemnego Production based on natural gas 1[kgH ₂]=10 [kg CO ₂]	Produkcja ze źródeł odnawialnych (farmy wiatrowe) Production from renewable sources (wind farms) 1[kgH ₂]=1[kg CO ₂]	Produkcja z gazu ziemnego Production based on natural gas 1[kgH ₂]=10 [kg CO ₂]
Rozkład jazdy wiosenny – roczne zmniejszenie emisji CO ₂ Spring timetable – annual reduction of the CO ₂ emission	1641 [ton]	162 [tony]	1705 [ton]	800 [ton]
Rozkład jazdy letni – roczne zmniejszenie emisji CO ₂ Summer timetable – annual reduction of the CO ₂ emission	769 [ton]	44 [tony]	800 [ton]	354 [tony]
Sumarycznie zmniejszenie emisji CO ₂ w roku Total reduction of annual CO ₂ emission	2410 [ton]	206 [ton]	2505 [ton]	1154 [tony]

Taking into account a single electrolyser and maximum daily hydrogen demand in the considered case (i.e. 876 kg H₂ per day), the electrolyser capacity could amount e.g. to 2.5 MW delivering 850 ÷ 900 kg H₂ per day, at a pressure of 350 bar. Mass of the stored hydrogen delivered by HRS could reach double daily demand i.e. the refueling capacity (approx. 1.700 ÷ 1.800 kg), with a view to be enough for two full days or operation of two trains.

In Poland, other studies and analyzes have been also carried out based on operation of 10 shunting locomotives used on the 35 km Gdańsk – Gdynia route. At present they are used mainly on sidetracks for unloading, filling, sorting and shipping petrochemical tanks used at the Lotos refinery. Replacement of the existing shunting locomotives powered by combustion engines with those using hydrogen fuel cells would allow, among others, to reduce the CO₂ emission by 339 ton in 2022 [17].

9. Summary

Further development of rail transport may aim towards the following goal:

8. Wymierne korzyści dla ochrony środowiska

Dane uzyskane od przewoźnika, przedstawione w tabl. 5, pozwoliły na przyjęcie następujących zasadniczych ocen i założeń dla oszacowania zmniejszenia emisji CO₂ dzięki wykorzystaniu pociągów wyposażonych w wodorowe ogniwa paliwowe na trasie przejazdowej Gdynia-Hel-Gdynia, zamiast dotychczas wykorzystywanych pojazdów z silnikami z zapłonem samoczynnym (ZS) [17].

W odniesieniu do elektrolizera, biorąc pod uwagę maksymalne zapotrzebowanie dzienne na wodór w analizowanym przypadku (876 kg H₂ dziennie), mógłby to być np. 1 elektrolizer o mocy 2,5 MW z możliwością napełnienia 850÷900 kg H₂ dziennie przy ciśnieniu 350 bar, przy tym masa do magazynowania dla HRS mogłaby być na poziomie podwójnego zapotrzebowania dziennego lub pojemności tankowania (ok. 1.700 kg÷1.800 kg) w celu zapewnienia dwóch pełnych dni lub pracy dwóch pociągów.

W odniesieniu do Polski były jeszcze prowadzone także inne badania i analizy na podstawie wykorzystania 10 lokomotyw manewrowych na 35 km trasie Gdańsk – Gdynia. Operują one obecnie głównie na bocznicach i są używane do rozładowania, napełniania, sortowania i wysyłki cystern petrochemicznych używanych w rafinerii Lotos. Zastąpienie dotychczasowych lokomotyw manewrowych napędzanych silnikami spalinowymi na wykorzystujące wodorowe ogniwa paliwowe umożliwiłoby zmniejszenie m.in. emisji CO₂ o 339 ton w 2022 r. [17].

- electrification of non-electrified lines, with improvement, at the same time, of the renewable energy availability;
- putting the hydrogen-powered vehicles into service. The relatively new vehicles should be modernized, while the older ones should be progressively withdrawn and replaced with the modern hydrogen-powered vehicles. Such an approach results from advanced age of the combustion vehicles in Poland.

It is important to remark that the national strategies [21] and [22] include no plans for financing the development and purchase of hydrogen powered railway vehicles. Similar situation occurs in most provincial strategies, as by 2030 the purchase of hydrogen-powered railway vehicles is not foreseen in any of them, except for Great Poland and Pomeranian provinces. It should be noticed that Great Poland is one of the first Polish regions considering seriously the purchase of hydrogen-powered railway vehicles. The second area where such plans are considered is the Pomeranian province. The interest in rail vehicles with an innovative drive is observed there [11].

The presented review of the situation related to the development of hydrogen-powered rail vehicles shows only a small share of this technology with reference to the trams to be provided with such a drive.

10. Bibliography/Bibliografia

- [1] *Are hydrogen-powered trains the future?* <https://www.independent.co.uk/news/science/hydrogen-powered-trains-transport-future-transport-diesel-cost-uk-a8786306.html>
- [2] *Biowódór może zwiększyć udział OZE w transporcie.* <https://wysokienapiecie.pl/15922-biowodor-moze-zwiekszyc-udzial-oze-w-transporcie/>
- [3] D'Ovidio G., Carpenito A., Masciovecchio C., Ometto A.: *Preliminary analysis on advanced technologies for hydrogen light-rail train application in sub-urban non electrified routes. National Scientific Seminar SIDT. Politecnico Di Bari. 14-15.09.2017. University of L'Aquila ITALY*
- [4] *Droga droga do samochodów wodorowych w Polsce.* 4.03.2019. <https://wysokienapiecie.pl/17436-samochody-wodorowe-w-polsce-ceny-tankowanie/>
- [5] Durzyński Z., Orczyk M.: *Tram-train elementem proekologicznego systemu transportu zbiorowego w aglomeracji poznańskiej.* *Pojazdy Szynowe* nr 4/2019. <https://doi.org/10.53502/RAIL-138542>
- [6] Durzyński Z.: *Stan obecny i perspektywy niezelektryfikowanego transportu kolejowego w Polsce.* *Pojazdy Szynowe* nr 1/2020. <https://doi.org/10.53502/RAIL-138558>
- [7] *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych - 2014/94/UE*
- [8] https://ec.europa.eu/clima/policies/transport_pl
- [9] https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/pl/fs_19_6726
- [10] <https://elektrosystemy.pl/?p=31955>
- [11] <https://www.nakolei.pl/wielkopolska-zainteresowana-kupnem-pociagow-wodorowych-i-hybrydowych/>
- [12] <https://www.wnp.pl/logistyka/chinczycy-prezentuja-drugi-tramwaj-z-napedem-wodorowym,272461.html>
- [13] *Hydrail.* <https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrail>
- [14] *Hydrogen-powered trains could replace diesel engines in Germany.* <https://edition.cnn.com/2020/11/23/business/hydrogen-train-siemens/index.html>
- [15] *JSW chce być czołowym producentem wodoru.* 10.12.2018. <https://niezalezna.pl/249644-jsw-chce-byc-czolowym-producentem-wodoru>
- [16] *Krajowy Plan Odbudowy i Zwiększania Odporności. Projekt. Ministerstwo Funduszy i Polityki Regionalnej. Warszawa, kwiecień 2021 r.*
- [17] Orczyk M. i inni: *Circumstances of Railway Transport Hydrogenization in Poland. SAE Technical Paper 2020-01-2131, 2020.* <https://doi.org/10.4271/2020-01-2131>

9. Podsumowanie

Kierunki dalszego rozwoju transportu kolejowego mogą być następujące:

- elektryfikacja linii niezelektryfikowanych przy równoczesnym zwiększaniu dostępu do OZE
- wprowadzanie do eksploatacji pojazdów zasilanych wodorem, przy czym w miarę nowe należy modernizować, a starsze sukcesywnie wycofywać i zastępować nowoczesnymi z napędem wodorowym. Ten kierunek wynika z zaawansowanego wieku pojazdów spalinowych w Polsce.

Należy podkreślić fakt, że w strategiach krajowych [21] i [22] nie przedstawiono planów finansowania rozwoju i zakupów pojazdów kolejowych z napędem wodorowym. Podobnie jest w strategiach województw, za wyjątkiem wielkopolskiego i pomorskiego, bowiem do roku 2030 prawie wszystkie nie planują zakupów pojazdów kolejowych z napędem wodorowym. Warto zaznaczyć, że Wielkopolska jako jeden z pierwszych rejonów w Polsce poważnie rozważa zakup pojazdów kolejowych zasilanych wodorem. Drugim województwem rozważającym takie plany jest województwo pomorskie, które wyraża zainteresowanie pojazdami szynowymi z innowacyjnym napędem [11].

Z przedstawionego w artykule przeglądu sytuacji związanej z rozwojem pojazdów szynowych z napędem wodorowym wynika mały udział tej technologii w rozwoju tramwajów z takim napędem.

- [18] Pielecha i inni: *Ultrakondensatory i ogniwa paliwowe w układach napędowych pojazdów szynowych. Pojazdy Szynowe nr 2/2019.* <https://doi.org/10.53502/RAIL-138526>
- [19] Radomski M.: *Pociągi wodorowe na polskich torach? To możliwe już w 2022 roku, ale do rozwiązania jest kilka problemów.* *Fleetguru.* 12.09.2018
- [20] *Spain's first hydrogen train to feature Hexagon Purus technology.* <https://www.h2-view.com/story/spains-first-hydrogen-train-to-feature-hexagon-purus-technology/>
- [21] *Strategia na rzecz odpowiedzialnego rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030 r.).* Warszawa 2017
- [22] *Uchwała nr 110/2019 Rady Ministrów z dnia 17 września 2019 r. zmieniająca Uchwałę w sprawie ustanowienia Krajowego Programu Kolejowego do 2023 roku*
- [23] Usidus. M.: *Wsiąść do pociągu... wodorowego.* <https://mlodytechnik.pl/technika/30054-wsiasc-do-pociagu-wodorowego>
- [24] *Wodór – samorzady potrzebują systemowego wsparcia finansowego i nowego modelu współpracy.* <https://www.rynekinfrastruktury.pl/mobile/wodor--samorzady-potrzebuja-systemowego-wsparcia-finansowego-i-nowego-modelu-wspolpracy-74524.html>
- [25] *Wodór jako paliwo konwencjonalne.* https://pl.wikipedia.org/wiki/Wod%C3%B3r_jako_paliwo_konwencjonalne
- [26] *Wodór, prąd, biopaliwa. Dekarbonizacja transportu będzie kosztowna.* <https://wysokienapiecie.pl/19529-wodor-prad-biopaliwa-dekarbonizacja-transportu-bedzie-kosztowna/>
- [27] Woźniak. A.: *Transport zamierza tankować wodór.* 15.10.2020. <https://energia.rp.pl/nowa-energia/elektromobilnosc/24738-transport-zamierza-tankowac-wodor>