

Krzysztof Cygańczuk^{a)*}, Paweł Wolny^{b)}

^{a)} *Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute / Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpozarowej – Państwowy Instytut Badawczy*

^{b)} *Łódź University of Technology, Faculty of Process and Environmental Engineering / Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska*

* *Corresponding author / Autor korespondencyjny: kcyganczuk@cnbop.pl*

A Chance for the Climate. Fuel of the 21st Century – Analysis of the Perspective of Climate Neutrality on the Example of the Polish Hydrogen Strategy

Szansa dla klimatu. Paliwo XXI w. – analiza perspektywy neutralności klimatycznej na przykładzie Polskiej Strategii Wodorowej

ABSTRACT

Aim: This article attempts to present the issues related to the search for alternatives to energy resources in all sectors of the economy. The direction of the search is to choose “green energy” (in this case hydrogen), which, due to its potential wide application, is already beginning to be treated as an instrument of carbon neutrality. Most EU countries have agreed that they will be carbon-neutral by 2050, which should result in the reduction of greenhouse gas emissions to the atmosphere by around 95% compared to the beginning of the gas emissions calculation in 1990. However, achieving emission neutrality will require a far-reaching elimination of emissions not only in the power sector, but also in other sectors (including industry, transport and heating). These areas still rely on emission fossil fuels (coal, crude oil and natural gas), which cannot be directly replaced with electricity from RES.

Introduction: Hydrogen is not a source of energy, but it is a very effective carrier. Although it is practically not in the free state, it is very often found in the form of chemical compounds such as CH₄ (methane) or H₂O (water). In order to extract the energy it contains, it must be isolated from the molecules it is composed of. Hydrogen can be transported via gas pipelines (gaseous) or tankers (liquefied). It is currently used in the petrochemical industry, including for oil refining and chemical industry for the production of fertilizers, ammonia or methanol. Recently, hydrogen has become a topic that is often discussed in the public space in the context of climate protection (and thus decarbonisation of the economy). This fuel is credited with extraordinary potential and applicability in so many areas that it should be widely regarded as oil of the 21st century and a key element of the new energy policy. Moreover, the investment in hydrogen should support sustainable growth and job creation, which will be critical when recovering from the COVID-19 pandemic.

Methodology: The article provides an overview of research questions and the most recent results of considerations. It presents a multidimensional and interdisciplinary analysis of the suitability of alternative fuels and the implementation of the related projects. The analysis of the topic was based on, among others, on the project of the Polish Hydrogen Strategy, which is important for the further development of research topics and cooperation in this field.

Conclusions: For the energy sector that processes available forms of energy, hydrogen is probably a good choice for the future. It can be an alternative to natural gas in providing backup capacity for renewable energy sources that produce energy dependent on weather conditions (i.e. sun and wind). Hydrogen, which has the advantage of high energy density, is also a good tool for storing renewable energy and for transmitting and distributing renewable energy over long distances. Due to this, green energy from regions of the world with high insolation and wind energy, such as Australia, Latin America or North Africa, could be transferred over long distances (taking into account losses in energy networks it would be a much more economical solution). It would not require high-cost investments in new infrastructure. The article deals with the aspects relating to all parts of the value chain – production, transmission, storage and use of hydrogen, taking into account the legal conditions at the national (Polish Hydrogen Strategy) and the EU level, and proposing sustainable support systems and measurable goals.

Keywords: green hydrogen, synthetic fuel, renewable energy, solar fuel, hydrogen

Article type: review article

Received: 14.10.2021; **Reviewed:** 29.11.2021; **Accepted:** 30.11.2021;

Authors' ORCID IDs: K. Cygańczuk – 0000-0003-1550-5880; P. Wolny – 0000-0001-6863-338X;

The authors contributed the equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 120–138, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.7>;

This is an open access article under the CC BY-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

ABSTRAKT

Cel: W ramach niniejszego artykułu podjęto próbę przybliżenia kwestii związanych z poszukiwaniem alternatyw dla surowców energetycznych we wszystkich sektorach gospodarki. Kierunek poszukiwań zmierza do wyboru „zielonej energii” (w tym przypadku wodoru), który ze względu na potencjalne szerokie zastosowanie już zaczyna być traktowany jako instrument neutralności emisyjnej. Większość krajów UE uzgodniła, że do 2050 r. uda im się osiągnąć neutralność emisyjną, co powinno skutkować zmniejszeniem emisji gazów cieplarnianych do atmosfery o ok. 95% w porównaniu z początkiem naliczenia emisji gazów w 1990 roku. Osiągnięcie neutralności emisyjnej wymagać będzie jednak daleko idącego wyeliminowania emisji nie tylko w elektroenergetyce, lecz także w pozostałych sektorach (m.in. przemyśle, transporcie czy ciepłownictwie). Obszary te wciąż opierają się na emisyjnych paliwach kopalnych (węglu, ropie naftowej i gazie ziemnym), których bezpośrednie zastąpienie energią elektryczną z OZE jest niemożliwe.

Wprowadzenie: Wodór nie jest źródłem energii, lecz jej bardzo efektywnym nośnikiem. Choć praktycznie nie występuje w stanie wolnym, to bardzo często spotyka się go w postaci związków chemicznych, takich jak CH_4 (metan) czy H_2O (woda). Aby wydobyć zawartą w nim energię, należy go wyizolować z cząsteczek, w których skład wchodzi. Wodór może być transportowany za pomocą gazociągów (w stanie gazowym) lub tankowców i cystern (w stanie skroplonym). Stosowany jest aktualnie w przemyśle petrochemicznym, m. in. do rafinacji ropy naftowej i przemyśle chemicznym do produkcji nawozów, amoniaku lub metanolu. W ostatnim czasie wodór stał się tematem często omawianym w przestrzeni publicznej w kontekście dotyczącym ochrony klimatu (a więc i dekarbonizacji gospodarki). Paliwu temu przypisuje się nadzwyczajny potencjał i możliwości zastosowania w tak wielu obszarach, że powinno być ono traktowane powszechnie jako ropa XXI wieku oraz kluczowy element nowej polityki energetycznej. Ponadto, inwestycja w wodór powinna wspierać zrównoważony wzrost i tworzenie miejsc pracy, które będą miały kluczowe znaczenie w kontekście wychodzenia z kryzysu spowodowanego pandemią COVID-19.

Metodologia: Artykuł zawiera przegląd pytań badawczych i najbardziej aktualnych rezultatów rozważań. Przedstawia wielowymiarową oraz interdyscyplinarną analizę przydatności paliw alternatywnych oraz realizacji związanych z nimi projektów. Podczas analizy tematu oparto się m.in. na projekcie Polskiej Strategii Wodorowej, która jest istotna dla dalszego rozwoju tematów badawczych i współpracy w tej dziedzinie.

Wnioski: Dla energetyki zajmującej się przetwarzaniem dostępnych form energii, wodór to prawdopodobnie dobry wybór na przyszłość. Może on być alternatywą dla gazu ziemnego w zapewnieniu mocy zapasowych dla odnawialnych źródeł energii, które produkują energię zależną od warunków atmosferycznych (tj. słońca i wiatru). Wodór, którego zaletą jest wysoka gęstość energetyczna, jest także dobrym narzędziem do magazynowania energii ze źródeł odnawialnych oraz do przesyłania i dystrybuowania energii ze źródeł odnawialnych na duże odległości. Dzięki niemu zielona energia z rejonów świata o wysokiej insolacji i energii wiatru, takich jak Australia, Ameryka Łacińska czy Płn. Afryka, mogłaby być transferowana na duże odległości (przy uwzględnieniu strat w sieciach energetycznych byłoby to zdecydowanie bardziej ekonomiczne rozwiązanie). Nie wymagałoby to przeprowadzenia wysokonakładowych inwestycji w nową infrastrukturę. W artykule poruszono aspekty dotyczące wszystkich części łańcucha wartości – produkcji, przesyłu, magazynowania i wykorzystania wodoru, biorąc pod uwagę uwarunkowania prawne na poziomie krajowym (Polska Strategia Wodorowa) i unijnym oraz proponując zrównoważone systemy wsparcia oraz mierzalne cele.

Słowa kluczowe: zielony wodór, paliwo syntetyczne, energia odnawialna, paliwo słoneczne, wodór

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 14.10.2021; **Zrecenzowany:** 29.11.2021; **Zaakceptowany:** 30.11.2021;

Identyfikatory ORCID autorów: K. Cygańczuk – 0000-0003-1550-5880; P. Wolny – 0000-0001-6863-338X;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 120–138, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.7>;

Artykuł udostępniany na licencji CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

Introduction

The Polish Hydrogen Strategy (PSW) [1] is one of a number of emerging national and regional policies and strategies driven by changes in the energy and climate policies driven by the shift from fossil fuels to low-carbon technologies. The implementation of its assumptions has been planned in two stages (the first is to last until 2030, the second – until 2040). PSW was created as a result of the changes taking place in the European and global energy landscape, which force technological development in the areas of modern methods of production, transport and exploitation of hydrogen. Hydrogen as a fuel can be an important factor in the decarbonisation of industry and represent a major energy powerhouse to achieve the goals of the Paris Agreement [2].

Modern hydrogen technologies – due to their connections with many branches of industry – should constitute an essential element of the efforts to maintain the competitiveness of the Polish economy. The situation on the current energy market provides an opportunity for hydrogen to play a significant role in creating

Wprowadzenie

Polska Strategia Wodorowa (PSW) [1] jest jedną z licznie powstających krajowych i regionalnych polityk i strategii, których siłą napędową są przemiany w polityce energetycznej i klimatycznej, spowodowane odejściem od paliw kopalnych na rzecz technologii niskoemisyjnych. Realizację jej założeń zaplanowano w dwóch etapach (pierwszy ma potrwać do 2030 r., drugi do 2040 r.). PSW powstała w konsekwencji dokonujących się zmian w europejskim i światowym krajobrazie energetycznym, które wymuszają rozwój technologiczny w obszarach nowoczesnych metod produkcji, transportu i eksploatacji wodoru. Wodór jako paliwo może być ważnym czynnikiem w procesie dekarbonizacji przemysłu i stanowić ważną pozycję w dziedzinie energii, niezbędną dla osiągnięcia celów Porozumienia Paryskiego [2].

Nowoczesne technologie wodorowe – ze względu na powiązania z wieloma gałęziami przemysłu – powinny stanowić zasadniczy element wysiłków na rzecz utrzymania konkurencyjności polskiej gospodarki. Sytuacja na obecnym rynku energii stwarza

a low-carbon economy. The business and technological spheres are conducive to the development of production, transmission and exploitation of hydrogen simultaneously in the power industry, industry and transport.

Fundamentals of hydrogen technologies

Hydrogen is released as a by-product in the refining and chemical industries, and its annual global production is about 120 million tonnes. The main sources of hydrogen production are natural gas and coal. In the process of reforming the natural gas, approx. 75% of the annual global production of hydrogen is generated, and another 23% – from coal [3, 11]. The remaining symbolic production comes from crude oil and electrolysis.

The costs of producing hydrogen from the natural gas are mainly influenced by: gas price, capital expenditure and the availability of technology. These are the three most important ingredients that we classify as technical and economic factors. Fuel costs – in this case natural gas – are the main component of cash outlays, representing 45% to 75% of the production costs. Low prices of the raw material in the countries that are the largest manufacturers of the natural gas (according to the report of the British Petroleum *Statistical Review of World Energy 2020* [4] are: the United States, Russia, Iran, Qatar) are key to a significant reduction in the cost of hydrogen production. The world's major gas importers such as Japan, South Korea, China (despite being the fifth largest manufacturer of the natural gas) and India will pay more for hydrogen production due to additional transportation costs. High gas prices also apply to Poland.

Key messages of the Polish Hydrogen Strategy

The main recipient of hydrogen is the chemical industry, and to a lesser extent also: refining, metallurgy, transport and energy. This element is obtained in very diverse and different processes: from steam reforming of hydrocarbons, through electrolysis, to bacterial fermentation.

Hydrogen production technologies by primary energy sources:

- Coal
 - coal gasification,
 - CCS (carbon capture and storage of CO₂),
 - CCU (carbon capture and utility of CO₂);
- Natural gas or crude oil
 - steam reforming,
 - by-product in refining processes,
 - separation from coke oven gas,
 - pyrolysis.

It should be remembered that the so-called brown hydrogen is not a low-carbon fuel because its synthesis is related to the extraction and processing of the natural gas. As a consequence, carbon dioxide, a greenhouse gas, is emitted into the atmosphere.

szansę, aby wodór odegrał znaczącą rolę w tworzeniu gospodarki niskoemisyjnej. Sfery biznesowe i technologiczne sprzyjają rozwojowi produkcji, przesyłu i eksploatacji wodoru jednocześnie w energetyce, przemyśle i w transporcie.

Podstawy technologii wodorowych

Wodór wydziela się jako produkt uboczny w przemyśle rafineryjnym i chemicznym, a jego roczna światowa produkcja wynosi ok. 120 mln ton. Głównymi źródłami produkcji wodoru są gaz ziemny i węgiel. W procesie reformingu gazu ziemnego powstaje ok. 75% rocznej światowej produkcji wodoru, a kolejne 23% – z węgla [3, 11]. Pozostała symboliczna część produkcji pochodzi z ropy naftowej i elektrolizy.

Na koszty produkcji wodoru z gazu ziemnego wpływają przede wszystkim: cena gazu, nakłady inwestycyjne i dostępność technologii. To trzy najważniejsze składniki, które klasyfikujemy jak czynniki techniczne i ekonomiczne. Podstawowym składnikiem nakładów pieniężnych, stanowiących od 45% do 75% kosztów produkcji, są koszty paliwa – w tym przypadku gazu ziemnego. Niskie ceny surowca w krajach będących największymi producentami gazu ziemnego (według raportu firmy British Petroleum *Statistical Review of World Energy 2020* [4] są to: Stany Zjednoczone, Rosja, Iran, Katar) są kluczowe dla znaczącego obniżenia kosztów produkcji wodoru. Główni importerzy gazu na świecie, tacy jak Japonia, Korea Płd., Chiny (mimo że są piątym największym producentem gazu ziemnego) i Indie będą płacić więcej za produkcję wodoru ze względu na dodatkowe koszty transportu. Wysokie ceny gazu dotyczą również Polski.

Kluczowe przesłania Polskiej Strategii Wodorowej

Głównym odbiorcą wodoru jest przemysł chemiczny, a w mniejszym stopniu także: rafineryjny, metalurgiczny, transportowy oraz energetyczny. Pierwiastek ten jest pozyskiwany w bardzo różnorodnych i odmiennych procesach: od reformingu parowego węglowodorów, przez elektrolizę, po fermentację bakteryjną.

Technologie produkcji wodoru według źródeł energii pierwotnej:

- Węgiel
 - zgazowanie węgla,
 - CCS (ang. *carbon capture and storage* – wychwytywanie i geologiczne składowanie CO₂),
 - CCU (ang. *carbon capture and utility* – wychwytywanie CO₂ oraz jego utylizacja);
- Gaz ziemny lub ropa naftowa
 - reforming parowy,
 - produkt uboczny w procesach rafineryjnych,
 - separacja z gazu koksowniczego,
 - piroliza.

Należy przy tym pamiętać, że tzw. brązowy wodór nie jest paliwem niskoemisyjnym, ponieważ jego synteza związana jest

- Biomass
 - biomass gasification;
- RES
 - electrolysis;
- Nuclear energy
 - electrolysis,
 - pyrolysis,
 - high temperature reactors (HTR).

From electrolysis powered by electricity from renewable sources comes the so-called green hydrogen, which is the only recognized – from the point of view of decarbonisation – technological process that produces hydrogen. As mentioned above, the further development of this source depends on electricity prices and the improvement of catalyst efficiency, as their current efficiency is far from being satisfactory. The replacement of platinum in electrolyzers with a cheaper and more accessible catalyst seems to be of key importance.

The energy potential of hydrogen and the fact that it is the most popular element on Earth provide grounds for the claim that it will soon become one of the main energy carriers used in the world. Therefore, it is highly probable that the hydrogen market will contribute to the comprehensive development and will enable the achievement of the goal of obtaining climate neutrality in energy-intensive sectors of the economy.

The aim of the Polish Hydrogen Strategy is both the development of central and local competences in the area of producing key elements in the value chain of modern hydrogen technologies. For this purpose, it is necessary to develop electrolyser and fuel cell installations, distribution networks, hydrogen storage facilities and refuelling infrastructure. As a result of appropriate support for research and development, our country has the opportunity to use the scientific potential and expert experience in the field of hydrogen technologies, relying on its own innovative technologies.

The progress of hydrogen technology is both an opportunity and a challenge for many sectors of the economy in Poland. However, for this it is necessary to create appropriate legal and economic conditions related to the possibility of using hydrogen in new areas, such as production, energy storage or transport. At the same time, the hydrogen economy requires developing effective directions. There will be more and more renewable and low-emission sources of generating electricity in the national power system. The photovoltaic sector has been developing intensively for several years, mainly due to the rapidly increasing number of prosumers. In addition, construction of small and large offshore wind farms is underway. The implementation of these activities will significantly change the perception of the entire power system and its functioning. In the future a connected and integrated multi-sector energy system will be based on renewable energy sources and will allow to use this space for hydrogen technologies.

z wydobyciem i przetwarzaniem gazu ziemnego. W konsekwencji do atmosfery emitowany jest dwutlenek węgla będący gazem cieplarnianym.

- Biomasa
 - zgazowanie biomasy;
- OZE
 - elektroliza;
- Energia jądrowa
 - elektroliza,
 - piroliza,
 - reaktory wysokotemperaturowe (HTR).

Z elektrolizy zasilanej energią elektryczną ze źródeł odnawialnych pochodzi tzw. zielony wodór, który jest jedynym uznawanym – z punktu widzenia dekarbonizacji – procesem technologicznym wytwarzającym wodór. Jak wspomniano powyżej, dalszy rozwój tego źródła uzależniony jest od cen energii elektrycznej i poprawy efektywności katalizatorów, ponieważ ich obecna efektywność jest daleko niesatysfakcjonująca. Kluczowe wydaje się zastąpienie platyny w elektrolizerach tańszym i bardziej dostępnym katalizatorem.

Potencjał energetyczny wodoru oraz fakt, że jest najpopularniejszym pierwiastkiem na Ziemi, stanowi podstawę do twierdzenia, że w dość bliskim czasie stanie się on jednym z głównych nośników energii wykorzystywanych na świecie. Jest zatem wysoce prawdopodobne, że rynek wodoru będzie brał udział we wszechstronnym rozwoju i umożliwi realizację celu, jakim jest dążenie do neutralności klimatycznej energochłonnych sektorów gospodarki.

Celem Polskiej Strategii Wodorowej jest zarówno rozwój centralnych, jak i lokalnych kompetencji w obszarze wytwarzania kluczowych elementów z łańcucha wartości nowoczesnych technologii wodorowych. W tym celu konieczny jest rozwój instalacji elektrolizerów i ogniw paliwowych, sieci dystrybucji, magazynów wodoru oraz infrastruktury tankowania. W wyniku odpowiedniego wsparcia badań i rozwoju nasz kraj ma szansę wykorzystać potencjał naukowy i doświadczenie eksperckie w obszarze technologii wodorowych, bazując na własnych innowacyjnych technologiach.

Postęp technologii wodorowej jest jednocześnie szansą, jak i wyzwaniem dla wielu sektorów gospodarki w Polsce. Do tego potrzeba jednak stworzenia odpowiednich warunków prawnych i ekonomicznych związanych z możliwością wykorzystania wodoru w nowych obszarach, takich jak produkcja, magazynowanie energii lub transport. Jednocześnie gospodarka wodorowa wymaga skutecznego określenia kierunków rozwoju. W krajowym systemie elektroenergetycznym będzie się pojawiało coraz więcej odnawialnych i niskoemisyjnych źródeł wytwarzania energii elektrycznej. Od kilku lat intensywnie rozwija się sektor fotowoltaiki, głównie dzięki lawinowo zwiększającej się ilości prosumentów. Ponadto realizowana jest budowa małych i dużych farm wiatrowych na morzu. Realizacja tych działań poważnie zmieni postrzeganie całego systemu elektroenergetycznego oraz jego funkcjonowanie. Połączony i zintegrowany wielosektorowy system energetyczny w przyszłości będzie oparty na odnawialnych źródłach energii i pozwoli zagospodarować tę przestrzeń do wykorzystania technologii wodorowych.

Goals and activities of the Polish Hydrogen Strategy

The main goal of the PSW is to build Polish infrastructure for the hydrogen economy, including through the development and research, acquiring know-how and hydrogen technologies and their use to achieve the goals of climate neutrality and maintain the competitiveness of the Polish economy. Hydrogen technologies are part of the European Green Deal [5].

Strategic importance of the hydrogen economy

The implementation of the hydrogen strategy is essential to increase the capacity of conventional and nuclear power plants and to facilitate their cooperation with unstable sources. Moreover, in the coming years, the construction of a nuclear power plant in Pątnów is planned based on private capital. The power plant will operate on the basis of the most modern and safest technologies, the so-called small modular reactors (SMR), which will be used in the industry as units producing useful heat with high parameters, which can strengthen the decarbonisation of the heating sector and produce hydrogen in a way that does not endanger our planet.

In Poland's energy balance, increasing the share of electricity generated with the use of renewable energy sources (RES) is a great development challenge not only for our country, but also for most developed economies in the world. Due to the problems with energy storage for large powers and services for balancing power systems, further rapid development of renewable energy sources is not possible, taking into account the need to ensure the security of electricity supply. Therefore, the increase in the share of photovoltaics, wind energy and other renewable energy sources in the entire energy system causes problems related to the balance of supply and demand in the area of energy security of the country. Hydrogen is an alternative to RES, which can act as energy storage and thus participate in increasing the possibilities of RES integration in the country's energy system. Hydrogen as an energy source also enables an innovative electricity storage solution.

Perspective

Financial outlays that will be allocated to the development of hydrogen technologies will not only reduce dust emissions (especially in sectors of the economy with high emissions), but also become a driving force for economic growth by providing new jobs in the context of the COVID-19 pandemic and retraining of employees in departments threatened with reduction. New hydrogen technologies will serve the country's development policy, among others, by creating new competences for employees and creating new Polish trademarks and export products.

Cele i działania Polskiej Strategii Wodorowej

Głównym celem PSW jest zbudowanie polskiej infrastruktury dla gospodarki wodorowej, m.in. poprzez rozwój prac badawczo-rozwojowych, pozyskanie know-how i technologii wodorowych oraz ich wykorzystanie na rzecz osiągnięcia celów neutralności klimatycznej i utrzymania konkurencyjności polskiej gospodarki. Technologie wodorowe są składową Europejskiego Zielonego Ładu [5].

Strategiczne znaczenie gospodarki wodorowej

Aby zwiększyć moc elektrowni konwencjonalnych i jądrowych oraz usprawnić ich współpracę ze źródłami niestabilnymi, niezbędna jest realizacja strategii wodorowej. Ponadto w perspektywie najbliższych lat, bazując na kapitale prywatnym, planuje się budowę elektrowni jądrowej w Pątnowie. Elektrownia będzie pracowała w oparciu o najnowocześniejsze i najbezpieczniejsze technologie tzw. małych reaktorów modułowych (ang. *small modular reactors*, SMR), które znajdą zastosowanie w przemyśle jako jednostki produkujące ciepło użytkowe o wysokich parametrach, mogące umacniać dekarbonizację sektora ciepłowniczego oraz wytwarzać wodór w sposób niezagrażający naszej planecie.

W bilansie energetycznym Polski zwiększenie udziału energii elektrycznej wytwarzanej z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii (OZE) jest wielkim wyzwaniem rozwojowym nie tylko dla naszego kraju, ale także dla większości rozwiniętych gospodarek świata. Z powodu problemów z magazynowaniem energii dla dużych mocy oraz usług służących bilansowaniu systemów elektroenergetycznych, dalszy lawinowy rozwój OZE nie jest możliwy, biorąc pod uwagę konieczność zapewnienia bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej. Dlatego wzrost udziału fotowoltaiki, energetyki wiatrowej oraz innych źródeł OZE w całym systemie energetycznym powoduje problemy związane z równowagą podaży i popytu w obszarze bezpieczeństwa energetycznego kraju. Wodór jest alternatywą dla OZE, która może pełnić rolę magazynu energii i dzięki temu uczestniczyć w zwiększaniu możliwości integracji OZE w systemie energetycznym kraju. Wodór jako źródło energii umożliwia również innowacyjne rozwiązanie magazynowania energii elektrycznej.

Perspektywa

Nakłady finansowe, które zostaną przeznaczone na rozwój technologii wodorowych, pozwolą nie tylko na obniżenie emisji pyłów (szczególnie w sektorach gospodarki o wysokiej emisyjności), ale także staną się kołem zamachowym dla wzrostu gospodarczego poprzez zapewnienie nowych miejsc pracy w kontekście kryzysu związanego z COVID-19 oraz przekwalifikowania pracowników w działach zagrożonych redukcją. Nowe technologie wodorowe posłużą polityce rozwojowej państwa m.in. poprzez tworzenie nowych kompetencji dla pracowników i wytworzenie nowych polskich znaków towarowych i produktów eksportowych.

Polish hydrogen economy

The Polish hydrogen economy means combined activities such as: technologies for the production, storage, distribution and use of hydrogen, including micro and macro methods of producing, storing and transporting hydrogen using the transmission grid as well as other forms of transport, and then using it as a final product (transport, industry, heating, industrial and individual power engineering in electricity generation systems).

The priority is to support the demand, including building appropriate technical conditions and discounts and incentives for enterprises, as well as guaranteeing the financing of hydrogen technologies from the support programs of the European Commission, which will allow for their further development. Especially at the beginning of the operations, financial resources are necessary, and in particular at the time of constructing pilot installations, building know-how and conducting advanced research. Due to the appropriate support for research and development, Poland has a unique opportunity to use its scientific potential and expert experience in the hydrogen technology sector, based on domestic, innovative technologies.

Poland's activity for energy and climate

Poland is an active player involved in global efforts for the climate. Our most important international declarations in the field of climate policy include agreements concluded within the framework of the United Nations:

- UNFCCC Convention of 1992,
- Kyoto Protocol of 1997,
- Paris Agreement, effective from 2016.

The priority of the Paris Agreement is to accelerate the global response to the dangers of climate change in the context of sustainable development and efforts to eradicate poverty – reducing the increase in the global average temperature to less than 2°C above pre-industrial levels and taking all measures to reduce growth temperatures up to 1.5°C. According to the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) in its report [6], hydrogen technologies in the decarbonisation of industry and energy may be the last chance to preserve and save a climate that would be friendly to humans and animals.

According to the decision of the European Commission presented in 2018 at COP-24 in Katowice [7], it was announced in the Commission Communication The European Green Deal, the long-term and strategic goal agreed for the European Union (EU) is to achieve climate neutrality by 2050. As it says in the document: "EU industry needs climate and resource pioneers to develop the first commercial applications of breakthrough technologies in key industrial sectors by 2030. Key areas include clean hydrogen, fuel cells and other alternative fuels, energy storage, and capture, storage and utilization of carbon dioxide".

The Committee responded to this demand with a Communication of 8 July 2020 entitled "A Hydrogen Strategy for a Climate Neutral Europe" [8]. This strategy, in conjunction with the EU Strategy

Polska gospodarka wodorowa

Polska gospodarka wodorowa polega na połączonych działaniach, takich jak: technologie wytwarzania, magazynowania, dystrybucji i wykorzystania wodoru, obejmujące mikro i makro sposoby produkowania, magazynowania i transportu wodoru z wykorzystaniem sieci przesyłowej, jak i innych form transportu, a następnie wykorzystanie go jako produktu ostatecznego (transport, przemysł, ciepłownictwo, energetyka przemysłowa i indywidualna w układach wytwarzania energii elektrycznej).

Priorytetem jest wsparcie popytu, w tym zbudowanie właściwych warunków technicznych i ulg oraz zachęt dla przedsiębiorstw, a także zagwarantowanie finansowania technologii wodorowych z programów wspomagających Komisji Europejskiej, co pozwoli na ich dalszy rozwój. Zwłaszcza na początku działalności środki finansowe są niezbędne, a w szczególności w momencie powstawania instalacji pilotażowych, budowania know-how i przeprowadzania zaawansowanych badań. Dzięki właściwemu wsparciu badań i rozwoju Polska ma niepowtarzalną szansę wykorzystać swój potencjał naukowy i doświadczenie eksperckie w sektorze technologii wodorowych, bazując na krajowych, innowacyjnych technologiach.

Aktywność Polski na rzecz energii i klimatu

Polska jest aktywnym graczem zaangażowanym w globalne wysiłki podejmowane na rzecz klimatu. Do naszych najważniejszych deklaracji międzynarodowych w obszarze polityki klimatycznej należą umowy zawarte w ramach Organizacji Narodów Zjednoczonych:

- Konwencja UNFCCC z 1992 r.,
- Protokół z Kioto z 1997 r.,
- Porozumienie Paryskie, obowiązujące od 2016 r.

Priorytetem Porozumienia Paryskiego jest dynamizacja globalnej odpowiedzi na niebezpieczeństwa związane ze zmianami klimatu na tle zrównoważonego rozwoju i starań na rzecz likwidacji ubóstwa – obniżenie wzrostu średniej temperatury globalnej do poziomu niższego niż 2°C powyżej poziomu sprzed epoki przemysłowej oraz podjęcie wszelkich działań mających na celu zmniejszenie wzrostu temperatury do 1,5°C. Jak podaje United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) w swoim raporcie [6] technologie wodorowe w dekarbonizacji przemysłu i energetyki mogą stanowić ostatnią szansę, aby zachować i uratować klimat, który byłby przyjazny dla ludzi i zwierząt.

Zgodnie z decyzją Komisji Europejskiej zaprezentowaną w 2018 r. na COP-24 w Katowicach [7], ogłoszoną w Komunikacie Komisji Europejski Zielony Ład, długoterminowym i strategicznym celem uzgodnionym dla Unii Europejskiej (UE) jest uzyskanie neutralności klimatycznej do 2050 r. Jak napisano w dokumencie: „unijny przemysł potrzebuje pionierów w dziedzinie klimatu i zasobów, którzy do 2030 r. opracowaliby pierwsze komercyjne zastosowania przełomowych technologii w kluczowych sektorach przemysłu. Najważniejsze obszary obejmują czysty wodór, ogniwa paliwowe i inne paliwa alternatywne, magazynowanie energii oraz przechwytywanie, składowanie i utylizację dwutlenku węgla”.

for the Integration of Energy Systems [9], supports the European Union's efforts to achieve a climate neutral economy, based on the intention of the European Green Deal.

Poland also often takes part in the discussion on the future shape of the hydrogen market in the European Union, and the presented SGP aims to accelerate activities both domestically and internationally.

Current sources of hydrogen in Poland and possibilities for the development of hydrogen technology

Poland is at the forefront of the global ranking of hydrogen manufacturers [10], but the share of hydrogen production in the water electrolysis process is symbolic. The annual production of hydrogen in Poland is approximately 1 million tons. Produced by refineries and chemical plants, it is used in the refining and production of mineral fertilizers and chemicals. In Poland, the energy and energy-intensive industry emit annually into the atmosphere approximately 350 million tons of CO₂ [11]. Diversification of energy sources is a long process and currently the vast majority of electricity is generated using fossil fuels. Intersectoral connections (for example, the electricity system with the gas sector or the electricity system with the transport sector) are unfortunately not very common. The use of the potential of renewable energy sources is limited by technical and location conditions, and the production of economically competitive hydrogen from nuclear sources will be possible after the commissioning of the first element. Unfortunately, the date of this investment is constantly postponed. Research and development works on technologies related to the hydrogen economy have been carried out in Poland for years. As part of SGP, goals were formulated to develop the hydrogen economy broken down in accordance with the value chain, which distinguishes three priority areas of hydrogen use: energy, transport and industry.

Polish scientific and research potential

Poland has well-developed research institutes in the field of hydrogen technologies and numerous institutions and research teams, and the industry has significant experience in the design of high-temperature and low-temperature fuel cells and hydrogen storage. The Polish industry has experts in the field of the construction of fuel cells and electrolyzers, starting with the development of electrode materials, electrolyte and technologies for obtaining thin-film ceramics, modelling mass and energy flows through the structure, and ending with issues related to testing the efficiency and life of cells. National chemical plants have many years of experience in the field of production, distribution, storage and use of hydrogen. The launch of an entirely Polish

Reakcją komisji na to zapotrzebowanie był komunikat z 8 lipca 2020 r. zatytułowany „Strategia w zakresie wodoru na rzecz Europy neutralnej dla klimatu” [8]. Strategia ta w połączeniu ze strategią UE na rzecz integracji systemów energetycznych [9] popiera dążenia Unii Europejskiej do uzyskania gospodarki neutralnej dla klimatu, na podstawie zamiaru określonego w Europejskim Zielonym Ładzie.

Polska także często zabiera głos w dyskusji o przyszłym kształcie rynku wodoru na forum Unii Europejskiej, a zaprezentowana PSW ma na celu przyspieszenie działań zarówno na arenie krajowej, jak i międzynarodowej.

Obecne źródła wodoru w Polsce i możliwości rozwoju technologii wodorowej

Polska plasuje się w czołówce globalnego rankingu producentów wodoru [10], lecz udział produkcji wodoru w procesie elektrolizy wody jest symboliczny. Roczna produkcja wodoru w Polsce wynosi ok. 1 mln ton. Wytwarzany przez rafinerie oraz zakłady chemiczne jest wykorzystywany w procesach rafinacji i produkcji nawozów mineralnych oraz chemikaliów. W Polsce energetyka i energochłonny przemysł emitują rocznie do atmosfery ok. 350 mln ton CO₂ [11]. Dywersyfikacja źródeł energii jest procesem długotrwałym i obecnie zdecydowana większość energii elektrycznej wytwarzana jest poprzez użycie paliw kopalnych. Połączenia międzysektorowe (przykładowo systemu elektroenergetycznego z sektorem gazowniczym lub systemu elektroenergetycznego z sektorem transportu) są niestety niezbyt często spotykane. Wykorzystanie potencjału źródeł OZE jest ograniczone warunkami technicznymi i lokalizacyjnym, a produkcja konkurencyjnego pod względem ekonomicznym wodoru ze źródeł jądrowych będzie możliwa po uruchomieniu pierwszego bloku. Niestety termin tej inwestycji jest ciągle przesuwany. Prace badawczo-rozwojowe nad technologiami związanymi z gospodarką wodorową realizowane są w Polsce od lat. W ramach PSW sformułowano cele odnośnie rozwoju gospodarki wodorowej w podziale zgodnym z łańcuchem wartości, który wyróżnia trzy priorytetowe obszary wykorzystania wodoru: energetykę, transport i przemysł.

Polski potencjał naukowo-badawczy

Polska posiada instytuty naukowo-badawcze dobrze rozwinięte w dziedzinie technologii wodorowych oraz liczne instytucje i zespoły badawcze, ponadto przemysł dysponuje znaczącym doświadczeniem w sferze projektowania wysokotemperaturowych i niskotemperaturowych ogniw paliwowych oraz przechowywania wodoru. Polski przemysł posiada ekspertów w dziedzinie zagadnień dotyczących konstrukcji ogniw paliwowych i elektrolizerów, rozpoczynając od opracowania materiałów elektrodowych, elektrolitu oraz technologii otrzymywania cienkowarstwowych tworzyw ceramicznych, modelowania przepływów masy i energii poprzez konstrukcję, a kończąc na zagadnieniach związanych z testowaniem efektywności i okresu życia ogniw. Krajowe zakłady chemiczne dysponują wieloletnim

hydrogen research program, the ultimate goal of which will be the construction and implementation of a system of electrolyzers, fuel cells and other components for hydrogen apparatus, will enable the launch of the national specialty of hydrogen management. It will be necessary to ensure participation in the program of the best scientific and research centres, universities, research institutes, units of the Polish Academy of Sciences and private entities interested in the subject of hydrogen technologies. Poland – with due legal and financial support – has a chance to use its scientific potential and experience of specialists in the field of hydrogen technologies, and to rely on its own innovative technologies independent in terms of raw materials.

Production and categories of hydrogen

Hydrogen currently accounts for an insignificant part of the global and European energy portfolio. It is produced from fossil fuels, in particular natural gas (steam reforming) or coal (thermal coal conversion processes). The Hydrogen Strategy Policy assumes that climate neutrality will be achieved by implementing hydrogen production with the use of zero-emission technologies.

The largest manufacturer of hydrogen in Poland is Grupa Azoty S.A., which produces approx. 420 thousand tons of this raw material, which accounts for approx. 42% of the total hydrogen production. The remaining companies use virtually all production for their own needs (see Figure 1):

- Grupa LOTOS, with a market share of approx. 14%, production of approx. 145 thousand tons/year,
- PKN Orlen, with a share of approx. 14%, production of approx. 145 thousand tons/year,
- Jastrzębska Spółka Węglowa, with a share of approx. 7%, production of approx. 75 thousand tons/year,
- other plants, approx. 23% [12].

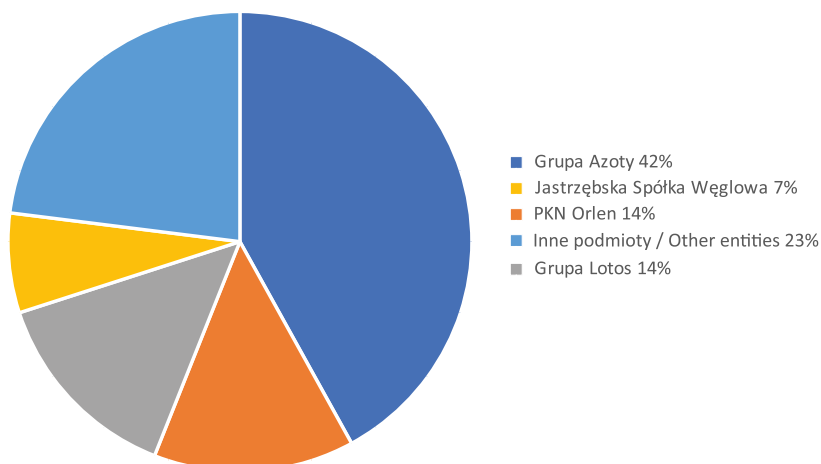


Figure 1. Hydrogen production in Poland in 2020
Rycina 1. Produkcja wodoru w Polsce w 2020 r.

Source: Polish Hydrogen Strategy [1].
Źródło: Polska Strategia Wodorowa [1].

doświadczeniem w sferze produkcji, dystrybucji, przechowywania oraz wykorzystania wodoru. Uruchomienie całościowo polskiego wodorowego programu badawczego, którego ostatecznym celem będzie skonstruowanie i wykonanie systemu elektrolizerów, ogniw paliwowych i pozostałych komponentów dla aparatury wodorowej, pozwoli na uruchomienie krajowej specjalności, jaką będzie gospodarka wodorowa. Niezbędnym będzie zapewnienie uczestnictwa w programie najlepszych ośrodków naukowo-badawczych, uczelni wyższych, instytutów badawczych, jednostek PAN oraz podmiotów prywatnych zainteresowanych tematyką dotyczącą technologii wodorowych. Polska – przy należytych wsparciu prawnym i finansowym – ma szansę wykorzystać swój potencjał naukowy i doświadczenie specjalistów w zakresie technologii wodorowych oraz bazować na własnych, niezależnych surowcowo, innowacyjnych technologiach.

Produkcja i kategorie wodoru

Wodór obecnie stanowi nieznaczną część światowego i europejskiego portfela energetycznego. Wytwarzany jest z paliw kopalnych, w szczególności z gazu ziemnego (reforming parowy) lub węgla (procesy termicznego przekształcania węgla). Polityka Strategii Wodorowej zakłada, że neutralność klimatyczną uda się osiągnąć poprzez wdrożenie produkcji wodoru przy zastosowaniu technologii bezemisyjnych.

Największym producentem wodoru w Polsce jest Grupa Azoty S.A., która wytwarza ok. 420 tys. ton tego surowca, co stanowi ok. 42% udziału w całej produkcji wodoru. Pozostałe spółki właściwie całość produkcji wykorzystują na własne potrzeby (zob. ryc. 1):

- Grupa LOTOS, z udziałem w rynku ok. 14%, produkcja ok. 145 tys. ton/rok,
- PKN Orlen, z udziałem ok. 14%, produkcja ok. 145 tys. ton/rok,
- Jastrzębska Spółka Węglowa, z udziałem ok. 7%, produkcja ok. 75 tys. ton/rok,
- inne zakłady, ok. 23% [12].

Polish Hydrogen Strategy classifies hydrogen into three harvesting categories with different emission levels:

1. Conventional hydrogen – hydrogen produced in the following fossil fuel processing processes: steam reforming of the natural gas, coal gasification and coke oven gas separation. Currently, almost all conventional hydrogen is obtained in Poland, which is produced by the industry. The emissivity of CO₂ in these processes is respectively: above 5.8 kg CO₂ eq/kg H₂ when using natural gas and above 10 kg CO₂ eq/kg H₂ when the primary energy product is coal [13]. Given this important emissivity difference, the production of hydrogen from natural gas is projected to continue during the transition period. With currently available technologies, obtaining conventional hydrogen is cheaper than others, because it is waste in both described cases. Increasing the profitability of alternative hydrogen sources is influenced by the constantly increasing costs of natural gas and the fees for CO₂ emissions applied in the European Union.
2. Low-emission hydrogen – hydrogen produced from non-renewable or renewable energy sources with a negligible carbon footprint. The value of this footprint has not been definitively formulated, but scientific sources report the value below 5.8 kg CO₂ eq/kg H₂ [13].
3. Renewable hydrogen – it is produced during the electrolysis of water, which uses electricity from renewable sources. During its production, CO₂ emissions are at a low level – less than 1 kg CO₂ eq/kg H₂. The advantage of this technology is the probability of achieving a very high purity of the produced gas (at least 99.999%, so-called hydrogen 5.0). An additional method of producing renewable hydrogen are P2G (Power to Gas) installations, in which the overproduction of electricity from RES is used to produce hydrogen.

Currently, there are 300 electrolyzers operating in the EU, which provide about 4% of the total hydrogen production [13]. At present in Poland there are only prototype installations, built as part of research and development projects. At the same time, many entrepreneurs plan to implement pilot studies and demonstrations of this technology in the short term [14]. The application of the potential of renewable energy to generate hydrogen in Poland is currently difficult due to the scarcity of appropriate installations and the low level of commercialization of existing technologies. Unfortunately, comprehensive solutions aimed at the proper use of surplus electricity from renewable energy sources by generating hydrogen in the electrolysis process in the period of decline in energy demand also do not work. The reason is the high cost of electrolyser installation and the system's high demand for electricity from renewable energy sources. The process of water electrolysis is one of the simplest methods of hydrogen production, however, due to its low profitability (expensive and ineffective catalysts), it is not widely used. This is the effect of lower costs of the technology of producing hydrogen from natural gas using methods burdened with CO₂ emission to the atmosphere [15].

Polska Strategia Wodorowa klasyfikuje wodór w trzech kategoriach pozyskiwania o różnych poziomach emisyjności:

1. Wodór konwencjonalny – wodór wyprodukowany w następujących procesach przetwarzania paliw kopalnych: reformingu parowym gazu ziemnego, zgazowaniu węgla oraz separacji z gazu koksowniczego. Aktualnie w Polsce pozyskuje się niemal w całości wodór konwencjonalny, wyprodukowany na zapotrzebowanie ze strony przemysłu. Emisyjność CO₂ w tych procesach wynosi odpowiednio: powyżej 5,8 kg CO₂ eq/kg H₂ przy użyciu gazu ziemnego oraz powyżej 10 kg CO₂ eq/kg H₂, gdy produktem energii pierwotnej jest węgiel [13]. Uwzględniając tę ważną różnicę emisyjności, prognozuje się, że produkcja wodoru z gazu ziemnego w okresie przejściowym będzie utrzymana. Przy obecnie dostępnych technologiach, pozyskiwanie wodoru konwencjonalnego jest tańsze od innych, ponieważ stanowi on odpad w obu opisywanych przypadkach. Na zwiększenie opłacalności alternatywnych źródeł wodoru wpływają stale wzrastające koszty gazu ziemnego oraz opłaty za emisję CO₂ stosowane w Unii Europejskiej.
2. Wodór niskoemisyjny – wodór wyprodukowany z nieodnawialnych lub z odnawialnych źródeł energii ze znikomym śladem węglowym. Wartość tego śladu nie została ostatecznie sformułowana, lecz w źródłach naukowych podaje się wielkość poniżej 5,8 kg CO₂ eq/kg H₂ [13].
3. Wodór odnawialny – wytwarzany jest w trakcie elektrolizy wody, podczas której wykorzystano energię elektryczną pochodzącą z OZE. Podczas jego wytwarzania emisja CO₂ znajduje się na niewielkim poziomie – poniżej 1 kg CO₂ eq/kg H₂. Zaletą tej technologii jest prawdopodobieństwo osiągnięcia bardzo wysokiej czystości wytworzonego gazu (przynajmniej 99,999 %, tzw. wodór 5,0). Dodatkowym sposobem wytworzenia odnawialnego wodoru są instalacje P2G (ang. *Power to Gas*), w których nadprodukcja energii elektrycznej pochodzącej z OZE spożytkowana jest do wyprodukowania wodoru.

Aktualnie w UE pracuje 300 elektrolizerów zapewniających ok. 4% całkowitej produkcji wodoru [13]. W Polsce obecnie działają jedynie instalacje prototypowe, zbudowane w ramach projektów badawczo-rozwojowych. Jednocześnie wielu przedsiębiorców planuje w krótkiej perspektywie czasowej realizację badań pilotażowych i pokazów tej technologii [14]. Zastosowanie potencjału OZE do wytworzenia wodoru w Polsce jest aktualnie utrudnione ze względu na niedostatek odpowiednich instalacji i słaby poziom komercjalizacji istniejących technologii. Niestety nie działają także rozwiązania kompleksowe, skierowane w stronę właściwego spożytkowania nadwyżki energii elektrycznej z OZE przez wytworzenie wodoru w procesie elektrolizy w okresie spadku zapotrzebowania na energię. Przyczyną są wysokie koszty instalacji elektrolizerów oraz duże zapotrzebowanie systemu na prąd z OZE. Proces elektrolizy wody jest jedną z najprostszych metod wytwarzania wodoru, jednak ze względu na niską opłacalność (drogie i mało efektywne katalizatory) nie jest ona powszechnie stosowana. Jest to efekt niższych kosztów technologii wyprodukowania wodoru z gazu ziemnego metodami obciążonymi emisją CO₂ do atmosfery [15].

Hydrogen as a product of electrolysis can be used in various ways. Due to the use of fuel cells, it can be converted into electricity again. When compressed, it can be stored and utilized as transport fuel, and it is likely that it can become a component for chemical syntheses. By reacting with carbon dioxide, hydrogen can be converted into synthetic methane and distributed via gas networks. Depending on the used infrastructure and the target applications, in some amounts pure hydrogen can be combined with a conventional gas fuel. The production of electrolytic hydrogen is possible in the vicinity of wind farms or photovoltaic farms, as well as coal, gas or nuclear power plants (e.g. in the USA, Great Britain) [15].

Further perspective

It is predicted that after 2030 there will be real progress in the production of hydrogen by connecting electrolyzers in nuclear power plants. All types of reactors can be used in the hydrogen production process. However, this requires serious legislative and organizational changes to enable the implementation of this project. Around 2030, the production of hydrogen manufactured in the nuclear power plants is to be based not only on zero emissions, but also on an increased scale of production. The production of hydrogen in nuclear power plants is certainly justified, especially during the so-called night restrictions, in which the nuclear blocks reduce their power, which adversely affects their work. The proposed solution is to use the surplus energy while reducing the power demand by powering the electrolyzers, which will result in almost no-cost production of hydrogen. Its acquisition will be a permanent process – as opposed to that from RES. This will allow the electrolyzers to work more efficiently and will certainly extend their service life. This solution is being implemented in three nuclear power plants in the USA. It is planned for several such power plants to be opened in Great Britain, and at the same time this technology is being launched in older AGR facilities and in newly built EPR facilities (HPC, Sizewell C). The French government is also interested in obtaining hydrogen from electricity produced by the nuclear power plants and renewable energy (it has allocated EUR 7 billion for this purpose).

In the near future, producing hydrogen using heat from high-temperature reactors (HTR) is also planned. The technology of producing hydrogen due to the use of heat from high-temperature reactors in the pyrolysis process in obtaining hydrogen from water or methane shows high efficiency due to low losses in energy conversion.

Strategy objectives

The strategy includes designated priority areas that will allow the sectors to be linked, which will allow:

- increasing the consumption of electricity from RES, and
- its management by designated areas of the economy (some sectors of industry, transport and heat and power generation).

Wodór jako wytwór elektrolizy można wykorzystać na różne sposoby. Dzięki wykorzystaniu ogniw paliwowych może zostać powtórnie konwertowany w energię elektryczną. Skompresowany może być przechowywany i zagospodarowany jako paliwo transportowe i prawdopodobnym jest, że może zostać składnikiem do syntez chemicznych. W reakcji z dwutlenkiem węgla wodór może zostać przemieniony w metan syntetyczny i być rozsyłany za pomocą sieci gazowych. W zależności od użytej infrastruktury i docelowych zastosowań, w pewnych ilościach czysty wodór może zostać połączony z konwencjonalnym paliwem gazowym. Produkcja wodoru elektrolitycznego jest możliwa w okolicach farm wiatrowych lub fotowoltaicznych, a także elektrowni węglowych, gazowych czy jądrowych (np. w USA, Wielkiej Brytanii) [15].

Dalsza perspektywa

Przewiduje się, że po 2030 roku realny będzie postęp w produkcji wodoru poprzez podłączenie elektrolizerów w elektrowniach jądrowych. W procesie produkcji wodoru można wykorzystywać wszystkie typy reaktorów. Wymusza to jednak poważne zmiany legislacyjne i organizacyjne umożliwiające realizację tego przedsięwzięcia. Około 2030 r. produkcja wodoru wytwarzanego w elektrowniach jądrowych ma opierać się nie tylko na zerowej emisyjności, ale także na zwiększonej skali produkcji. Wytworzenie wodoru w elektrowniach jądrowych z pewnością jest uzasadnione, szczególnie w czasie tzw. ograniczeń nocnych, w których bloki jądrowe zmniejszają swoją moc, co niekorzystnie wpływa na ich pracę. Proponowanym rozwiązaniem jest wykorzystanie nadwyżek energii w czasie zmniejszenia zapotrzebowania na moc poprzez zasilanie elektrolizerów, co spowoduje niemalże bezkosztową produkcję wodoru. Jego pozyskiwanie będzie procesem stałym – w przeciwieństwie do tego z OZE. Pozwoli to na efektywniejszą pracę elektrolizerów i z pewnością wydłuży ich żywotność. Rozwiązanie to wdrażane jest w trzech elektrowniach atomowych w USA. Planowane jest otwarcie kilku takich elektrowni w Wielkiej Brytanii, a jednocześnie technologia ta uruchamiana jest w starszych obiektach typu AGR oraz w nowobudowanych typu EPR (HPC, Sizewell C). Rząd francuski jest również zainteresowany otrzymaniem wodoru z prądu wytwarzanego przez elektrownie jądrowe i OZE (przeznaczył na ten cel 7 mld euro).

W niedalekiej przyszłości planuje się również wytwarzanie wodoru z wykorzystaniem ciepła z reaktorów wysokotemperaturowych (HTR). Technologia wytwarzania wodoru dzięki wykorzystaniu ciepła z reaktorów wysokotemperaturowych w procesie pirolizy w pozyskiwaniu wodoru z wody lub metanu wykazuje wysoką skuteczność dzięki niskim stratom w konwersji energii.

Cele strategii

Strategia obejmuje wyznaczone obszary priorytetowe, które umożliwią łączenie sektorów, co pozwoli na:

- zwiększenie konsumpcji energii elektrycznej pochodzącej z OZE oraz
- zagospodarowanie jej przez wyznaczone obszary gospodarki (niektóre sektory przemysłu, transportu oraz elektrociepłownictwo).

Objective no. 1: launching hydrogen technologies in the energy sector

The intensification of the share of low-emission hydrogen technologies in the energy and heating sectors will enable the reduction of the emission intensity of the energy sector and the diversification of the energy production area. This will reduce the consumption of fossil fuels and reduce imports, which is expected to lead to an increase in the level of energy security. The use of hydrogen technologies in the economy is by all means desirable due to the rapid increase in electricity from renewable energy sources (RES) in Poland's energy resources (due to the problems described above with its storage). According to the forecast of renewable energy consumption, the share of renewable energy sources in electricity production in 2030 will be no less than 32%. Most of the power obtained from RES depends on weather conditions, which is why it is so important to enable the use of overproduction of electricity to produce hydrogen (using the electrolysis process), which can be used to produce electricity during periods of shortage of this generated from RES.

Cel nr 1: uruchomienie technologii wodorowych w energetyce

Zintensyfikowanie udziału niskoemisyjnych technologii wodorowych w energetyce i ciepłownictwie pozwoli na zmniejszenie emisyjności sektora energetycznego i dywersyfikację obszaru produkcji energii. Pozwoli to na obniżenie zużycia paliw kopalnych i redukcję importu, co ma doprowadzić do podniesienia poziomu bezpieczeństwa energetycznego. Zastosowanie technologii wodorowych w gospodarce jest ze wszech miar pożądane ze względu na lawinowy przyrost energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii (OZE) w zasobach energetycznych Polski (ze względu na opisywane powyżej problemy z jej magazynowaniem). Według prognozy zużycia energii odnawialnej, udział OZE w produkcji energii elektrycznej w 2030 r. wyniesie nie mniej niż 32%. Większość mocy uzyskanej z OZE zależy od warunków pogodowych, dlatego tak ważne jest, aby umożliwić wykorzystanie nadprodukcji energii elektrycznej do produkcji wodoru (z wykorzystaniem procesu elektrolizy), który zmagazynowany będzie mógł być wykorzystany do produkcji energii elektrycznej w okresach niedoboru tej wytwarzanej z OZE.

Table 1. Forecast of renewable energy consumption in Poland in 2020–2040
Tabela 1. Prognoza zużycia energii odnawialnej w Polsce w latach 2020–2040

		2020	2030	2040
Share of renewable energy in gross in final energy consumption / Udział energii ze źródeł odnawialnych w konsumpcji ostatecznej energii brutto	Share of renewable energy in gross in final energy consumption / Udział energii z OZE w zużyciu końcowym energii brutto	15.0%	23.0%	28.5%
Gross final energy consumption from renewable sources in the power industry / Konsumpcja energii ostatecznej brutto ze źródeł odnawialnych w elektroenergetyce	Share of renewable energy in the power industry / Udział energii z OZE w elektroenergetyce	22.1%	31.8%	39.7%
Gross final energy consumption from renewable sources in heating and cooling / Konsumpcja energii ostatecznej brutto ze źródeł odnawialnych w ciepłownictwie i chłodnictwie	Share of renewable energy in heating and cooling / Udział energii z OZE w ciepłownictwie i chłodnictwie	17.4%	28.4%	34.4%
Gross final energy consumption from renewable sources in transport / Konsumpcja energii ostatecznej brutto ze źródeł odnawialnych w transporcie	Share of renewable energy in transport / Udział energii z OZE w transporcie	10.0%	14.0%	22.0%

Source: Draft Energy Policy of Poland until 2040.

Źródło: Projekt Polityki Energetycznej Polski do 2040 r.

The next stage is planned for 10 years and, as a result, research and development works from the perspective of the first 5 years should be implemented and launched as hydrogen installations. In addition, at this stage, it is planned to create a smart-scale fuel cell installation for housing estates, single-family houses in the suburbs, as well as public utility facilities as, for example, an emergency power source.

Następny etap zaplanowany jest na 10 lat i w efekcie prace badawczo rozwojowe z perspektywy pierwszych 5 lat powinny zostać wdrożone i uruchomione jako instalacje wodorowe. Rok 2030 powinien być początkiem wykorzystania wodoru jako magazynów energii dla systemów energetycznych wchodzących w skład OZE. Dodatkowo na tym etapie przewiduje się stworzenie instalacji ogniw paliwowych w skali smart dla osiedli mieszkaniowych, domów jednorodzinnych na przedmieściach, a także obiektów użyteczności publicznej w charakterze np. źródła zasilania awaryjnego.

Table 2. Activities in the area of implementing hydrogen in the energy sector for 2020–2030
Tabela 2. Działania w zakresie wdrożenia wodoru w energetyce na lata 2020–2030

ACTIVITIES / CZYNNOŚCI	
<p>2025</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. The use of hydrogen technologies in the energy sector, including the definition of the legal framework for their operation. / Zastosowanie technologii wodorowych w energetyce, w tym określenie ram prawnych ich funkcjonowania. 2. Commissioning of P2G installation of class 1 MW based on Polish technologies – support for stabilizing the operation of distribution networks; such an installation will manufacture 3,150 MWh of hydrogen/year. / Uruchomienie instalacji P2G klasy 1 MW na bazie polskich technologii – wsparcie dla stabilizacji pracy sieci dystrybucyjnych; instalacja taka wyprodukuje 3 150 MWh wodoru/rok. 3. Co-combustion of hydrogen in gas turbines (depending on the technical capabilities of the turbine). / Współspalanie wodoru w turbinach gazowych (w zależności od możliwości technicznych turbiny). 4. R&D support in the creation of co- and polygeneration systems for apartment blocks, small housing estates and public utility buildings from 10 kW to 250 kW using fuel cells. / Wsparcie B+R w zakresie tworzenia układów ko- i poligeneracyjnych dla bloków mieszkalnych, małych osiedli oraz obiektów użyteczności publicznej od 10 kW do 250 kW z wykorzystaniem ogniw paliwowych. 5. Technical analysis and the possibility of developing large-scale salt caverns for hydrogen storage. / Dokonanie analizy technicznej i możliwości zagospodarowania wielkoskalowych kavern solnych pod magazynowanie wodoru. 	<p>2030</p> <ol style="list-style-type: none"> 6. Commissioning of co- and polygeneration installations, e.g. medium-sized combined heat and power plants (50 MWt), where the main fuel is hydrogen (demand approx. 580 GWh per year). / Uruchomienie instalacji ko- i poligeneracyjnych, np. elektrociepłowni średniej wielkości (50 MWt), gdzie głównym paliwem będzie wodór (zapotrzebowanie ok. 580 GWh rocznie). 7. Start using hydrogen as an energy storage – approx. 4,700 MWh of electricity generated with the input of 11 GWh of energy. / Rozpoczęcie wykorzystania wodoru jako magazynu energii – ok. 4700 MWh wytworzonej energii elektrycznej przy wkładzie 11 GWh energii. 8. Installation of systems for apartment blocks, small estates and public utility buildings from 10 kW to 250 kW using fuel cells. / Instalacja układów dla bloków mieszkalnych, małych osiedli oraz obiektów użyteczności publicznej od 10 kW do 250 kW z wykorzystaniem ogniw paliwowych.

Source: Polish Hydrogen Strategy.

Źródło: Polska Strategia Wodorowa.

Objective no. 2: use of hydrogen as an alternative fuel in transport

One way to reduce CO₂ emissions is to use hydrogen for transport. This element can replace conventional fuels, primarily in urban (buses), road (heavy and long-distance transport), rail (electric locomotives and traction vehicles equipped with fuel cells and batteries) and sea transport, as well as in aviation and unmanned aerial vehicles (UAV).

Currently, technologies are being implemented in transport, the use of which is expected to reduce CO₂ emissions into the atmosphere. These include, for example, battery electric vehicles (BEV), hybrid electric vehicles (HEV) and plug-in hybrid electric vehicles (PHEV). However, the source of electricity, i.e. hard coal, lignite and natural gas, remains a problem. To fully decarbonise this sector, the use of fuel cell electric vehicles (FCEVs) will be necessary. FCEVs have a special role to play in the areas of public transport as well as heavy and long-distance road transport, where the use of BEVs is limited. It is important due to the enormous fuel consumption in these types of transport, especially in large agglomerations.

The future of hydrogen in transport lies not only in the automotive sector, but also in the aviation, rail and maritime sectors. There are plans to use this raw material in the rail transport sector at the level of regional transport. The proposal to use this fuel on longer routes (e.g. cargo transport) seems to be particularly rational. However, the most fuel-consuming units are in maritime transport – powerful cruise ferries with high energy and power

Cel nr 2: wykorzystanie wodoru jako paliwa alternatywnego w transporcie

Jednym ze sposobów redukcji emisji CO₂ jest użycie wodoru w transporcie. Pierwiastek ten może zastąpić paliwa konwencjonalne przede wszystkim w transporcie miejskim (autobusy), drogowym (transport ciężki i długodystansowy), kolejowym (elektrowozy i pojazdy trakcyjne wyposażone w ogniwa paliwowe i baterie) oraz morskim, a także w lotnictwie i bezałogowych statkach powietrznych (BSP).

Obecnie w transporcie wdrażane są technologie, których wykorzystanie ma wpłynąć na redukcję emisji CO₂ do atmosfery. Należą do nich np. pojazdy elektryczne (ang. *battery electric vehicle*, BEV), hybrydowe pojazdy elektryczne (ang. *hybrid electric vehicle*, HEV) i hybrydowe pojazdy elektryczne typu plug-in (ang. *plugin hybrid electric vehicle*, PHEV). Jednak w dalszym ciągu problemem zostaje źródło energii elektrycznej, czyli węgiel kamienny, brunatny i gaz ziemny. Aby dokonać całkowitej dekarbonizacji w tym sektorze, niezbędnym będzie zastosowanie pojazdów na ogniwa paliwowe (ang. *fuel cell electric vehicle*, FCEV). Szczególną rolę pojazdy FCEV mają do spełnienia w obszarach transportu publicznego oraz drogowego transportu ciężkiego i długodystansowego, gdzie możliwość wykorzystania BEV jest ograniczona. Jest to istotne ze względu na ogromne zużycie paliwa w tych typach transportu, zwłaszcza w dużych aglomeracjach.

Przyszłość wodoru w transporcie to nie tylko sektor samochodowy, ale także lotniczy, kolejowy i morski. W planach jest zastosowanie tego surowca w sektorze transportu kolejowego na

requirements, enormous fuel consumption requirements and limited options for choosing a low CO₂ fuel.

Currently, the use of hydrogen in the maritime and river transport sector is symbolic – limited to small demonstration projects. However, worth mentioning is the emerging GreenPort program. Some port authorities are actively creating infrastructure for providing services in terms of alternative fuels, including hydrogen.

It is estimated that in the planned 5-year period it is possible to organize an appropriate platform enabling the technical conditions for the use of 500 hydrogen-powered zero-emission buses manufactured in Poland. These buses would generate a demand for approximately 3,232 tons of hydrogen per year. It is estimated that this investment would additionally require the construction of 32 hydrogen refuelling stations and a hydrogen purification installation to the purity level of 99.999%. At the beginning – due to transport needs – public transport buses should be provided for large agglomerations and densely populated areas. At the same time, within 5 years, works related to the operation of passenger trains and hydrogen-powered locomotives should be supported (due to the plan to replace them with diesel locomotives, which run on sections difficult to electrify).

In the next 10 years, using hydrogen in heavy road transport, rail transport, sea and river transport is planned. Increasing the number of hydrogen buses to 2,000 and the further development of refuelling infrastructure and treatment installations is planned. It is also planned to replace diesel trains with hydrogen ones. According to forecasts of the demand for hydrogen, in 2030 consumption in the transport sector will reach approx. 32,500 tons per year.

poziomie przewozów regionalnych. Szczególnie racjonalna wydaje się być propozycja wykorzystania tego paliwa na dłuższych trasach (np. przewozy cargo). Jednak najbardziej paliwożerne jednostki funkcjonują w transporcie morskim – potężne promy wycieczkowe, charakteryzujące się wysoką energochłonnością i zapotrzebowaniem na moc, mają potężne wymagania w zakresie zużycia paliwa i ograniczone możliwości w wyborze paliwa o niskiej emisyjności CO₂.

Aktualnie wykorzystanie wodoru w sektorze transportu morskiego i rzeczno jest symboliczne – ogranicza się do małych projektów demonstracyjnych. Warty wspomnienia jest jednak powstający program GreenPort. Kapitanaty niektórych portów aktywnie tworzą infrastrukturę umożliwiającą świadczenie usług w zakresie paliw alternatywnych, w tym wodoru.

Szacuje się, że w zaplanowanym okresie 5 lat możliwe jest zorganizowanie odpowiedniej platformy umożliwiającej techniczne warunki do użytkowania 500 wyprodukowanych w Polsce autobusów zeroemisyjnych napędzanych wodorem. Autobusy te generowałyby zapotrzebowanie na ok. 3232 ton wodoru rocznie. Ocenia się, że inwestycja ta wymagałaby dodatkowo wybudowania 32 stacji tankowania wodoru oraz instalacji do oczyszczania wodoru do poziomu czystości 99,999%. Na początku – ze względu na potrzeby transportowe – powinno się zapewnić autobusy komunikacji miejskiej dla dużych aglomeracji i obszarów gęsto zaludnionych. Równolegle w ciągu 5 lat należałoby wspierać prace dotyczące eksploatacji pociągów osobowych oraz lokomotyw napędzanych wodorem (ze względu na plan zastąpienia nimi lokomotyw spalinowych, które kursują na odcinkach trudnych do elektryfikacji).

W ciągu najbliższych 10 lat przewiduje się zagospodarowanie wodoru w ciężkim transporcie samochodowym, przewozach kolejowych, transporcie morskim i rzeczno. Planuje się powiększenie liczby autobusów wodorowych do 2000 oraz dalszy rozwój infrastruktury tankowania i instalacji do oczyszczania. Przewiduje się wymianę pociągów spalinowych na wodorowe. Jak wynika z prognoz zapotrzebowania na wodór, w 2030 r. zużycie w sektorze transportu sięgnie ok. 32 500 ton rocznie.

Table 3. Activities in the field of implementing hydrogen as an alternative fuel in transport for the period 2020–2030
Tabela 3. Działania w zakresie wdrożenia wodoru jako paliwa alternatywnego w transporcie na lata 2020–2030

ACTIVITIES / CZYNNOŚCI	
2025	2030
<p>9. Starting the use of zero-emission hydrogen-powered buses – 500 new hydrogen buses manufactured in Poland, generating a demand for 3,232 tons, i.e. 108 GWh of hydrogen per year. / Rozpoczęcie eksploatacji autobusów zeroemisyjnych napędzanych wodorem – 500 nowych autobusów wodorowych wyprodukowanych w Polsce, generujących popyt na 3232 ton, tj. 108 GWh wodoru rocznie.</p> <p>10. Development of a network of hydrogen refuelling stations – 32 new stations. / Rozwój sieci stacji tankowania wodoru – 32 nowe stacje.</p> <p>11. Establishment of a hydrogen purification installation up to the purity standard of 99.999%. / Powstanie instalacji do oczyszczania wodoru do standardu czystości 99,999%.</p> <p>12. Production of the first hydrogen trains / locomotives that will replace their diesel counterparts on routes difficult to electrify. / Produkcja pierwszych pociągów/lokomotyw wodorowych, które zastąpią ich spalinowe odpowiedniki na trudnych do zelektryfikowania trasach.</p>	<p>15. Further development of the hydrogen refuelling infrastructure. / Dalszy rozwój infrastruktury tankowania wodoru.</p> <p>16. Starting the use of 2,000 hydrogen buses manufactured in Poland. /Rozpoczęcie eksploatacji 2000 autobusów wodorowych wyprodukowanych w Polsce.</p> <p>17. Further development of the hydrogen purification plant to the purity standard of 99.999% / Dalszy rozwój instalacji do oczyszczania wodoru do standardu czystości 99,999%.</p> <p>18. Gradual replacement of diesel trains with hydrogen trains. / Stopniowe zastępowanie pociągów spalinowych pociągami wodorowymi.</p> <p>19. Development of using hydrogen in heavy, rail, sea and river transport (total demand for 32,462 tons, i.e. 1081 GWh of hydrogen per year, which is approx. 3% of the current production from fossil fuels). / Rozwój wykorzystania wodoru w transporcie ciężkim, kolejowym, morskim i rzeczno (łączne zapotrzebowanie na 32 462 ton, tj. 1081 GWh wodoru rocznie, co stanowi ok. 3% obecnej produkcji z paliw kopalnych).</p>

13. Researching the possibility and profitability of using synthetic gases in the transport of hydrogen methanation. / Zbadanie możliwości i opłacalności zastosowania w transporcie gazów syntetycznych powstałych w procesie metanizacji wodoru.
14. Launching pilot programs for using hydrogen in heavy road, rail, sea and river transport. / Uruchomienie programów pilotażowych wykorzystania wodoru w transporcie ciężkim kołowym, kolejowym, morskim i rzeczny.
20. Production of synthetic fuels through the reaction of hydrogen with CO, CO₂, N₂ (demand approx. 240 GWh per year). / Wytwarzanie paliw syntetycznych w reakcji wodoru z CO, CO₂, N₂ (zapotrzebowanie ok. 240 GWh rocznie).

Source: Polish Hydrogen Strategy [1].

Źródło: Polska Strategia Wodorowa [1].

Objective no. 3: supporting the decarbonisation of the industry

Poland is one of the largest CO₂ emitters in Europe – it emits approximately 350 million tons of CO₂ equivalent annually into the atmosphere. Heavy industry, mining and metallurgy are among the sectors of the economy in which achieving climate neutrality is the most difficult. The use of low-emission hydrogen in this sector would be a great success for our country and would allow a significant reduction in greenhouse gas emission to the atmosphere.

Most of the hydrogen on the Polish market is not used in energy or transport, but is consumed by the industry (mainly chemical and refining). In the chemical industry, hydrogen is necessary for the production of ammonia, while in the refining industry it is used in the refining process – it effectively removes sulphur and binds unsaturated compounds that adversely affect the quality of fuels. Hydrogen is also used in other sectors of the economy, such as the textile, pharmaceutical, tanning and confectionery industries, and is used for the production of plastics, hydrogen peroxide and OXO alcohols. In the industry, we can see the greatest progress in the consumption of low-emission hydrogen. Electrolysis with the use of RES will reach cost parity for selected products and processes after 2030 with a further increase in the prices of CO₂ certificates [17].

Cel nr 3: wsparcie dekarbonizacji przemysłu

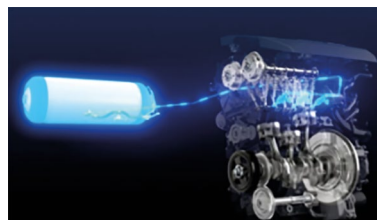
Polska należy do największych w Europie emitentów CO₂ – rocznie emituje do atmosfery ok. 350 mln ton ekwiwalentnego CO₂. Przemysł ciężki, górnictwo i hutnictwo należą do gałęzi gospodarki, w której osiągnięcie neutralności klimatycznej jest najtrudniejsze. Zastosowanie wodoru niskoemisyjnego w tym sektorze byłoby wielkim sukcesem naszego kraju i pozwoliłoby na znaczącą redukcję emisji gazów cieplarnianych do atmosfery.

Większość wodoru na polskim rynku nie znajduje zastosowania w energetyce lub transporcie, lecz jest konsumowane przez przemysł (głównie chemiczny i rafineryjny). W przemyśle chemicznym wódór jest niezbędny do produkcji amoniaku, natomiast w przemyśle rafineryjnym stosuje się go w procesie rafinacji – skutecznie usuwa siarkę i wiąże związki nienasycone, które niekorzystnie wpływają na jakość paliw. Wódór ma także zastosowanie w innych sektorach gospodarki, takich jak przemysł włókienniczy, farmaceutyczny, garbarski, cukierniczy oraz służy do produkcji tworzyw sztucznych, nadtlenu wodoru czy alkoholi OXO. W przemyśle możemy zauważyć największy progres w zużyciu niskoemisyjnego wodoru. Elektroliza z wykorzystaniem OZE osiągnie parytet kosztów dla wybranych produktów i procesów po 2030 r. przy dalszym wzroście cen certyfikatów CO₂ [17].

Table 4. Activities in the field of industrial decarbonisation, through the use of hydrogen, for the years 2020–2030

Tabela 4. Działania w zakresie dekarbonizacji przemysłu, poprzez wykorzystanie wodoru, na lata 2020–2030

ACTIVITIES / CZYNNOŚCI	
<p>2025</p> <p>21. Supporting activities aimed at obtaining and applying low-emission hydrogen for petrochemical production processes, chemical and fertilizer based on green industrial energy. / Wsparcie działań na rzecz pozyskania i zastosowania niskoemisyjnego wodoru do procesów produkcji petrochemicznej, chemicznej oraz nawozowej w oparciu o zieloną energetykę przemysłową.</p> <p>22. Introduction of difference carbon contract as an instrument to support the climate transformation of the industry. / Wprowadzenie węglowego kontraktu różnicowego jako instrumentu wsparcia transformacji klimatycznej przemysłu.</p> <p>23. Pilot technological projects for sectors where it is difficult to achieve climate neutrality – in particular steel production in the primary smelting process (Dąbrowa Górnicza). / Pilotażowe projekty technologiczne dla sektorów, w których trudno jest osiągnąć neutralność klimatyczną – w szczególności produkcja stali w procesie pierwotnego wytopu (Dąbrowa Górnicza).</p> <p>24. Financial and organizational support for feasibility studies of industrial hydrogen valleys as part of the construction of industrial closed-loop processes. / Wsparcie finansowe i organizacyjne studiów wykonalności przemysłowych dolin wodorowych w ramach budowy przemysłowych procesów o obiegu zamkniętym.</p>	<p>2030</p> <p>25. At least 5 hydrogen valleys will be created with a significant element of hydrogen transmission infrastructure (pipelines). / Powstanie co najmniej 5 dolin wodorowych ze znaczącym elementem infrastruktury przesyłowej wodoru (rurociągi).</p>



Source: Institute for Chemical Processing of Coal. / Źródło: Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla.

Source: Polish Hydrogen Strategy [1].

Źródło: Polska Strategia Wodorowa [1].

Objective no. 4: hydrogen production in new installations

Hydrogen production methods depend on many factors, including cost, energy system structure, technology readiness level, financial conditions and legal stability. They determine how and in which areas hydrogen is used in individual countries.

The European Green Deal and the EU's Hydrogen Strategy have set a direction, the strategic goal of which for Poland until 2030 is to ensure conditions for launching installations for the production of hydrogen from low- and zero-emission sources. This direction does not have an obligatory production condition and does not constitute a criticism of our current hydrogen production methods, but is intended to mobilize the Polish industry to transform towards a low-emission economy. It is an incentive for innovative activities that will allow Polish entrepreneurs to choose an appropriate development moment – which include obtaining funds from the EU and international financial institutions – on the basis of global climate action.

Cel nr 4: produkcja wodoru w nowych instalacjach

Metody produkcji wodoru są zależne od wielu czynników, takich jak koszty, struktura systemu energetycznego, poziom gotowości technologicznej oraz warunki finansowe i stabilność prawna. Od nich zależy w jaki sposób i na jakich terenach w poszczególnych krajach stosuje się wodór.

Europejski Zielony Ład i Strategia wodorowa UE wyznaczyły kierunek, którego celem strategicznym dla Polski do 2030 r. jest zapewnienie warunków dla uruchomienia instalacji do produkcji wodoru ze źródeł nisko- i zeroemisyjnych. Kierunek ten nie ma obligatoryjnego warunku produkcji i nie oznacza krytyki naszych dotychczasowych metod wytwarzania wodoru, lecz ma na celu zmobilizowanie polskiego przemysłu do transformacji w kierunku gospodarki niskoemisyjnej. Jest to zachęta do działań nowatorskich, które pozwolą polskim przedsiębiorcom wybrać odpowiedni momentu rozwojowy – w tym pozyskanie środków finansowych, oferowanych przez UE i międzynarodowe instytucje finansowe – na podstawie globalnych działań na rzecz klimatu.

Table 5. Hydrogen production activities for 2020–2030**Tabela 5. Działania w zakresie produkcji wodoru na lata 2020–2030**

ACTIVITIES / CZYNNOŚCI	
2025	2030
<p>26. Launching an installation for the production of hydrogen from low-emission sources with a total capacity of min. 50 MW:</p> <ul style="list-style-type: none"> – in the process of electrolysis, – from biomethane, – waste gases, – from natural gas using CCS/CCU, – by pyrolysis and other alternative hydrogen production technologies. / Uruchomienie instalacji do produkcji wodoru ze źródeł niskoemisyjnych o łącznej mocy min. 50 MW: – w procesie elektrolizy, – z biometanu, – gazów odpadowych, – z gazu ziemnego z wykorzystaniem CCS/CCU, – na drodze pirolizy oraz innych alternatywnych technologii pozyskiwania wodoru. <p>27. Launching the production of synthetic gases in the hydrogen methanation process and the use of low-emission hydrogen in the production of NH₃. / Uruchomienie wytwarzania gazów syntetycznych w procesie metanizacji wodoru oraz wykorzystanie niskoemisyjnego wodoru w produkcji NH₃.</p>	<p>28. Using the installed capacity in RES for the production of hydrogen and synthetic fuels based on the electrolysis process; the installed capacity of the electrolyzers will reach 2 GW, which will allow to generate approx. 6,415 GWh, i.e. 193,643 tons of hydrogen per year, i.e. approx. 20% of the total current hydrogen production in Poland. / Wykorzystanie mocy zainstalowanej w OZE dla potrzeb produkcji wodoru i paliw syntetycznych w oparciu o proces elektrolizy; zainstalowana moc elektrolizerów sięgnie 2 GW, co pozwoli wytworzyć ok. 6415 GWh, tj. 193,643 ton wodoru rocznie czyli ok. 20% całkowitej obecnej produkcji wodoru w Polsce.</p> <p>29. Providing conditions for the construction of hydrogen production installations at nuclear power plants. / Zapewnienie warunków do budowy instalacji do produkcji wodoru przy elektrowniach jądrowych.</p>

Source: Polish Hydrogen Strategy [1].

Źródło: Polska Strategia Wodorowa [1].

Objective no. 5: efficient and safe distribution of hydrogen

For the effective development of the hydrogen economy, effective distribution of the raw material from the production site to the final recipient and its safe storage are necessary. Currently, hydrogen transport is divided into pipelines, roads and railways.

As part of the transmission, it is possible to transport hydrogen in the current natural gas distribution networks, after adapting them to the transport of hydrogen admixture. According to the International Energy Agency, a 5% hydrogen admixture in the natural gas transmission network would increase the interest in this fuel. At the same time, it would lower the costs of bringing the fuel to the market [18]. It would not require large investment expenditures, as the conditions of the entire process are in line with the

Cel nr 5: skuteczna i bezpieczna dystrybucja wodoru

Dla efektywnego rozwoju gospodarki wodorowej konieczna jest skuteczna dystrybucja surowca z miejsca produkcji do odbiorcy finalnego oraz jego bezpieczne magazynowanie. Aktualnie transport wodoru jest podzielony na rurociągowy, drogowy i kolejowy.

W ramach przesyłu istnieje możliwość transportowania wodoru w obecnych sieciach dystrybucyjnych gazu ziemnego, po dostosowaniu ich do transportu domieszki wodoru. Według Międzynarodowej Agencji Energetyki 5% domieszka wodoru w sieci przesyłowej gazu ziemnego zwiększyłoby zainteresowanie tym paliwem. Jednocześnie obniżyłoby to koszty wprowadzenia paliwa na rynek [18]. Nie wymagałoby to dużych nakładów inwestycyjnych, ponieważ warunki całego procesu są zgodne z regulacjami Unii

European Union regulations. According to them, the gas network is to enable the injection of renewable gases, such as: biomethane, biogas, synthetic methane, coal gas and hydrogen [19].

The implementation of Objective 5 is related to the gradual expansion of the hydrogen transmission and distribution network. However, before starting its implementation, it is necessary to analyse the most effective methods of energy transmission for the development of the hydrogen economy by assessing, among others, the economic justification for the location of hydrogen production sources – whether near the largest recipients or the largest RES manufacturers, or the production of synthetic natural gas (SNG) transmitted through existing gas pipelines. In the next 5 years, it will be necessary to evaluate the existing infrastructure in terms of the possibility of injecting hydrogen and transporting hydrogen-gas mixtures. However, in the time perspective until 2030, it is planned to implement the conclusions of the analyses.

Europejskiej. Według nich sieć gazociągowa ma umożliwić załączanie gazów odnawialnych, takich jak: biometan, biogaz, metan syntetyczny, gaz z pokładów węglowych oraz wodór [13].

Wykonanie celu 5. wiąże się z sukcesywną rozbudową sieci przesyłu i dystrybucji wodoru. Jednak przed przystąpieniem do jego realizacji należy wykonać analizy najskuteczniejszych metod przesyłu energii dla rozwoju gospodarki wodorowej poprzez ocenę m.in. uzasadnienia ekonomicznego lokalizacji źródeł pozyskiwania wodoru – czy w pobliżu największych odbiorców, czy największych producentów OZE, bądź produkcji syntetycznego gazu ziemnego (SNG) przesyłanego istniejącymi gazociągami. W najbliższych 5 latach niezbędne będzie dokonanie oceny istniejącej infrastruktury pod względem możliwości załączania wodoru i przesyłu mieszanin wodoru z gazem. Natomiast w perspektywie czasowej do 2030 r. planuje się wdrożenie wniosków z przeprowadzonych analiz.

Table 6. Hydrogen distribution activities for 2020–2030

Tabela 6. Działania w zakresie dystrybucji wodoru na lata 2020–2030

ACTIVITIES / CZYNNOŚCI	
2025	2030
30. Development of hydrogen transmission and distribution network – development of an analysis of the most optimal form of energy transmission for the development of the hydrogen economy; electricity transmission / hydrogen transmission / SNG with the existing gas network / hydrogen transmission through dedicated pipelines. / Rozwój sieci przesyłu i dystrybucji wodoru – opracowanie analizy w zakresie najbardziej optymalnej formy przesyłu energii na rzecz rozwoju gospodarki wodorowej: przesył energii elektrycznej/przesył wodoru/SNG istniejącą siecią gazową/przesył wodoru dedykowanymi rurociągami.	33. Adapting the selected sections of the gas network to the transmission and distribution of hydrogen doped with gas. / Dostosowanie wybranych odcinków sieci gazowej do przesyłu i dystrybucji wodoru domieszkowanego do gazu.
31. “Hydrogen Highway” – feasibility study for the North-South pipeline. / „Autostrada wodorowa” – opracowanie studium wykonalności rurociągu północ-południe.	34. Construction of dedicated pipelines for hydrogen transmission and distribution or expansion of the power grid to transmit electricity. / Budowa dedykowanych rurociągów do przesyłu i dystrybucji wodoru lub rozbudowa sieci elektroenergetycznej w celu przesyłu energii elektrycznej.
32. Examination of the existing gas infrastructure in terms of the possibility of injection of hydrogen and transmission of hydrogen-gas mixtures. / Zbadanie istniejącej infrastruktury gazowej pod kątem możliwości załączania wodoru i przesyłu mieszanin wodoru z gazem.	35. Feeding into gas networks SNG manufactured in P2G systems. / Wprowadzenie do sieci gazowych SNG wyprodukowanego w systemach P2G.

Source: Polish Hydrogen Strategy [1].

Źródło: Polska Strategia Wodorowa [1].

Objective no. 6: creating a stable regulatory environment

The most important activities aimed at creating a stable regulatory environment are presented in Table 7.

Cel nr 6: utworzenie stabilnego otoczenia regulacyjnego

Najważniejsze działania w celu utworzenia stabilnego otoczenia regulacyjnego przedstawia tabela 7.

Table 7. Activities to create a stable regulatory environment for the years 2021–2022

Tabela 7. Działania w zakresie utworzenia stabilnego otoczenia regulacyjnego na lata 2021–2022

ACTIVITIES / CZYNNOŚCI	
2021	2022
36. Developing a regulatory framework for the functioning of hydrogen as an alternative fuel in transport. / Opracowanie ram regulacyjnych funkcjonowania wodoru jako paliwa alternatywnego w transporcie.	38. Developing a legislative hydrogen package – regulations specifying the details of the functioning of the market, implementing EU law in this area and implementing a system of incentives for the production of low-emission hydrogen (work to start in 2021) / Opracowanie legislacyjnego pakietu wodorowego – przepisów określających szczegóły funkcjonowania rynku, implementujących prawo UE w tym zakresie oraz wdrażających system zachęt do produkcji niskoemisyjnego wodoru (rozpoczęcie prac jeszcze w 2021 r.)
37. Establishing the foundations for the functioning of the hydrogen market. / Utworzenie podstaw funkcjonowania rynku wodoru.	

Source: Polish Hydrogen Strategy [1].

Źródło: Polska Strategia Wodorowa [1].

Horizontal activities

In addition to the basic activities set out in the PSW objectives, the following activities are planned:

- Using Polish research and development potential for the development of hydrogen technologies (detailed plans for the support of research and development are specified in section 3.3. of the PSW).
- Achieving the status of a state supplier of electrolysers, pyrolysis installations, fuel cells and hydrogen tanks, reactors and catalysts for methanation (P2G) [20], or for P2L technology [21] and other components (including pipelines, valves, gaskets, compressors, pumps, protection automatics).

Due to the initial stage of the development of the hydrogen economy, the activity of submitting applications will be important throughout the entire process of implementing the strategy – from the beginning to the end of the process. Only projects that are part of the activities presented in the PSW – addressed to the entrepreneurs, business environment institutions, research and scientific units and public administration institutions for the implementation of innovative projects related to hydrogen technologies will be positively assessed. The enactment of support programs for the investors is aimed at the development of the Polish economy based on innovative solutions using modern hydrogen technologies.

Projected investment outlays

By 2025, the implementation of the objectives related to the implementation of hydrogen technologies in energy and transport as well as ensuring the planned production (50 MW of electrolysers) will require investments of approximately PLN 2 billion. This estimate does not take into account the costs of electricity needed to produce hydrogen, the maintenance costs of hydrogen buses (fuel, service), and the development of transmission and distribution.

In the perspective of 2030, the available knowledge allows to estimate only the costs related to the investments in electrolysers (approx. PLN 9 billion), depending on the selected technology (alkaline/PEM/SOE) and the purchase of further buses (approx. PLN 4.4 billion) and refuelling stations (about PLN 1.2 billion).

Table 8. Summary of the necessary investment outlays
Tabela 8. Podsumowanie koniecznych nakładów inwestycyjnych

Summary of the necessary financial outlays [PLN million] / Podsumowanie koniecznych nakładów finansowych [mln PLN]				
	until 2025 / do 2025		until 2030/ do 2030	
500 hydrogen buses / 500 autobusów wodorowych	1,452		1,500 buses / 1500 autobusów	4,356
32 refuelling stations / 32 stacje tankowania	256		150 refuelling stations / 150 stacji tankowania	1,200
50 MW of electrolysers / 50 MW elektrolizerów	288		2GW of electrolysers / 2GW elektrolizerów	9,160
Sum / Suma	1,996		Sum / Suma	14,716

Source: Polish Hydrogen Strategy [1].
Źródło: Polska Strategia Wodorowa [1].

Działania horyzontalne

Poza podstawowymi czynnościami określonymi w ramach celów PSW, planowane są działania o charakterze horyzontalnym w całym okresie trwania strategii wodorowej:

- Wykorzystanie polskiego potencjału badawczo-rozwojowego do opracowywania technologii wodorowych (szczegółowe plany dotyczące wsparcia badań i rozwoju zostały określone w części 3.3. PSW), przez cały okres czasowy strategii.
- Osiągnięcie statusu państwa dostawcy elektrolizerów, instalacji pirolizy, ogniw paliwowych i zbiorników na wodór, reaktorów i katalizatorów do metanizacji (P2G) [19], czy też do technologii P2L [20] oraz innych komponentów (m.in. rurociągi, zawory, uszczelki, sprężarki, pompy, automatyka zabezpieczeniowa), realizowany w końcowym etapie strategii.

Ze względu na początkowy etap rozwoju gospodarki wodorowej, w całym procesie realizacji strategii – od rozpoczęcia do zakończenia procesu – ważną będzie aktywność składania aplikacji. Pozytywnie zaopiniowane będą wyłącznie projekty, które wpisują się w działania przedstawione w PSW – skierowane do przedsiębiorców, instytucji otoczenia biznesu, jednostek badawczych i naukowych oraz instytucji administracji publicznej na realizację innowacyjnych projektów związanych z technologiami wodorowymi. Uchwalenie programów wsparcia dla inwestorów ma na celu rozwój polskiej gospodarki w oparciu o innowacyjne rozwiązania wykorzystujące nowoczesne technologie wodorowe.

Przewidywane nakłady inwestycyjne

Do 2025 r. realizacja celów związanych z wdrożeniem technologii wodorowych w energetyce i transporcie oraz z zapewnieniem planowanej produkcji (50 MW elektrolizerów) wymagać będzie inwestycji rzędu ok. 2 mld zł. Szacunek ten nie uwzględnia kosztów energii elektrycznej koniecznej do produkcji wodoru, kosztów utrzymania autobusów wodorowych (paliwo, serwis), ani rozwoju przesyłu i dystrybucji.

W perspektywie 2030 r. dostępna wiedza pozwala szacować obecnie tylko koszty związane z inwestycjami w elektrolizery (ok. 9 mld zł), zależnie od wybranej technologii (alkaliczne/PEM/SOE) oraz zakupem kolejnych autobusów (ok. 4,4 mld zł) i stacji tankowania (ok. 1,2 mld zł).

Summary

Hydrogen production is the future for improving the global climate. The article presents the main assumptions and objectives of the Polish Hydrogen Strategy, which was based on the European Green Deal and the EU Hydrogen Strategy. The designed objectives and implementation of activities were described, broken down into the next 5 years, the next 10 years and the longest for 30 years, i.e. until 2050.

For such long-term planning to be effective, it requires the consensus of all significant political forces in Poland. Building infrastructure, coherent planning of the next stages of activities requires consistency and accepting the fact that the fruits of long-term hard work can be consumed by political opponents. This is a prerequisite for making the transition to low carbon fuels possible.

Podsumowanie

Produkcja wodoru stanowi przyszłość dla poprawienia sytuacji klimatycznej na świecie. W artykule przedstawiono główne założenia i cele Polskiej Strategii Wodorowej, która została oparta na Europejskim Zielonym Ładzie i Strategii wodorowej UE. Opisano zaprojektowane cele i realizację działań w podziale na najbliższe 5 lat, kolejnych 10 lat i najdłuższy na okres 30 lat, tj. do roku 2050.

Aby tak długofalowe planowanie było skuteczne, wymaga to konsensusu wszystkich znaczących sił politycznych w Polsce. Budowa infrastruktury, spójne planowanie kolejnych etapów działań wymaga konsekwencji oraz zaakceptowania faktu, że owoce wytężonej, wieloletniej pracy mogą konsumować polityczni przeciwnicy. Jest to warunek konieczny, aby przejście na paliwa niskoemisyjne było możliwe.

Literature / Literatura

- [1] Artykuł opracowano na podstawie dokumentu: „Polska Strategia Wodorowa do roku 2030 z perspektywą do 2040 r. – projekt” przedłożony przez ministra klimatu i środowiska. Obecnie dokument oczekuje na ogłoszenie w „Rządowym Centrum Legislacji. Wykaz aktów oczekujących na ogłoszenie: Lp. 100, data wpływu: 2021.11.25. Uchwała Rady Ministrów w sprawie przyjęcia „Polskiej strategii wodorowej do roku 2030 z perspektywą do 2040 r.” z dnia 02.11.2021 r. Najpóźniejsza data ogłoszenia 2021.12.15. [dostęp: 04.12.2021 r.] Źródło: Rządowe Centrum Legislacji.
- [2] Porozumienie Paryskie do Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, sporządzonej w Nowym Jorku dnia 9 maja 1992 r., przyjęte w Paryżu dnia 12 grudnia 2015 r. <http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20170000036> [dostęp: 20.10.2021].
- [3] Maj M., Szpor A., *Kierunki rozwoju gospodarki wodorowej w Polsce*, Polski Instytut Ekonomiczny 7/2019 Working Paper, Warszawa 2019 r.
- [4] Raport British Petroleum, *Statistical Review of World Energy 2020*, edycja 69., <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf> [dostęp: 20.10.2021].
- [5] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów, *Europejski Zielony Ład* z dnia 8 marca 2020 r., COM/2019/640 final, <https://www.eumonitor.eu/9353000/1/j9vvik7m1c3gyxp/vl4cnhyp1ort> [dostęp: 20.10.2021].
- [6] Towards Hydrogen Societies: Expert Group Meeting, Current advancements in hydrogen technology and pathways to deep decarbonization, https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-04/REPORT_Towards_Hydrogen_Societies.pdf [dostęp: 20.10.2021].
- [7] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów Europejskiego Banku Inwestycyjnego *Czysta planeta dla wszystkich Europejska długoterminowa wizja strategiczna dobrze prosperującej, nowoczesnej, konkurencyjnej i neutralnej dla klimatu gospodarki* z dnia 18 września 2019 r., COM(2018) 773, final <https://www.eumonitor.eu/9353000/1/j9vvik7m1c3gyxp/vktvm72o8kyq> [dostęp: 20.10.2021].
- [8] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów, *Strategia w zakresie wodoru na rzecz Europy neutralnej dla klimatu* z dnia 8 lipca 2020 r., COM(2020) 301 final, <https://www.eumonitor.eu/9353000/1/j9vvik7m1c3gyxp/vla6qbjzcok1> [dostęp: 20.10.2021].
- [9] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów, *Impuls dla gospodarki neutralnej dla klimatu: strategia UE dotycząca integracji systemu energetycznego* z dnia 8 lipca 2020 r., COM(2020) 299 final, <https://www.eumonitor.eu/9353000/1/j9vvik7m1c3gyxp/vla6qbjxnbk0> [dostęp: 20.10.2021].
- [10] Krajowy Plan na rzecz Energii i Klimatu na lata 2021–2030, przekazany do Komisji Europejskiej w dniu 30 grudnia 2019 r., <https://www.gov.pl/web/aktywa-panstwowe/krajowy-plan-na-rzecz-energii-i-klimatu-na-lata-2021-2030-przekazany> [dostęp: 20.10.2021].
- [11] Zespół ds. Rozwoju Przemysłu OZE i Korzyści dla Polskiej Gospodarki, Raport zespołu nr 4, Gospodarka wodorowa. 2020, 14.

- [12] https://www.pkee.pl/file/repository/RAPORT_COP24_ENG_28_11_FINAL.pdf [dostęp: 20.10.2021].
- [13] Międzynarodowa Agencja Energetyczna, *The Future of Hydrogen – Seizing today's opportunities*, 2019, <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen> [dostęp: 20.10.2021].
- [14] *Strategia w zakresie wodoru na rzecz Europy neutralnej dla klimatu*, Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów z dnia 8 lipca 2020 r. COM (2020) 301 final, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0301&from=IT> [dostęp: 20.10.2021].
- [15] <http://pgnig.pl/aktualnosci/-/news-list/id/startuje-nowy-program-wodorowy-pgnig/newsGroupId/10184>, https://www.lotos.pl/322/n,5080/lotos_inicjuje_kolejny_projekt_w_zakresie_wodoru, <https://www.orklen.pl/PL/Biuro-Prasowe/Strony/PKN-ORLEN-wybuduje-hub-wodorowy-we%W%C5%82oc%C5%82awku.aspx> [dostęp: 20.10.2021].
- [16] <https://orsted.com/en/media/newsroom/news/2020/10/143404185982536> [dostęp: 20.10.2021].
- [17] Schnell Ch. (red.), *Łączenie sektorów zielonej energii. Co to oznacza dla Polski? Elektryfikacja, Decentralizacja, Digitalizacja*, Instytut Jagielloński, 2020, 26, http://jagiellonski.pl/files/other/Yyczenie_sektorow_zielonej_energii_Co_to_oznacza_dla_Polski_-_RAPORT_IJ_2020.pdf. [dostęp: 20.10.2021].
- [18] Bloomberg New Energy Finance, *Sector coupling in Europe: powering decarbonisation. Potential and policy implications of electrifying the economy*, 2020, <https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/BNEF-Sector-Coupling-Report-Feb-2020.pdf> [dostęp: 20.10.2021].
- [19] <https://www.ure.gov.pl/pl/urząd/informacje-ogolne/aktualnosci/9307,Czy-wodor-i-technologie-P2G-zoptymalizuj%C5%82a-system-energetyczny-Kolejne-rekomendac.html> [dostęp: 13.10.2021].
- [20] <http://www.ichpw.pl/blog/2021/06/11/rozwoj-technologii-syntezy-metanolu-z-co2-w-ichpw/> [dostęp: 13.10.2021].

COL. RET. KRZYSZTOF CYGAŃCZUK, PH.D. ENG. – he completed his master's studies at the University of Szczecin and doctoral studies at the War Art Academy in Warsaw, as well as postgraduate studies in foreign service at the National Defense Academy, data protection and information security at the Cardinal Stefan Wyszyński University in Warsaw and crisis management at NATO Defense Collage (Rome) and NATO School (Oberammergau). He is an assistant professor at the Department of Studies and Scientific Projects at CNBOP-PIB in Józefów. Specialty – environmental engineering, safety science. Representative of the Technical Committee No. 176 for Military Technology and Supply in the Polish Committee for Standardization.

PAWEŁ WOLNY, PH.D. ENG. – research and teaching assistant professor at the Faculty of Process Engineering and Environmental Protection of the Lodz University of Technology. Research interests: crisis management, modern technologies in rescue, environmental engineering.

PLK REZ. DR INŻ. KRZYSZTOF CYGAŃCZUK – ukończył studia magisterskie na Uniwersytecie Szczecińskim oraz studia doktoranckie w Akademii Sztuki Wojennej w Warszawie, a także studia podyplomowe z zakresu służby zagranicznej w Akademii Obrony Narodowej, ochrony danych i bezpieczeństwa informacji na Uniwersytecie Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie oraz zarządzania kryzysowego w NATO Defence Collage (Rzym) i NATO School (Oberammergau). Jest adiunktem w Dziale Prac Studialnych i Projektów Naukowych w CNBOP-PIB w Józefowie. Specjalność – inżynieria środowiska, nauki o bezpieczeństwie. Przedstawiciel Komitetu Technicznego nr 176 ds. Techniki Wojskowej i Zaopatrzenia w Polskim Komitecie Normalizacyjnym.

DR INŻ. PAWEŁ WOLNY – adiunkt badawczo-dydaktyczny na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej. Zainteresowania naukowe: zarządzanie kryzysowe, nowoczesne technologie w ratownictwie, inżynieria środowiska.