



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE
AGH UNIVERSITY OF KRAKOW

Paliwa alternatywne – perspektywa dla transportu

Barbara Tora



13
maja
2025 r.

Paliwa alternatywne

Do powszechnie znanych zaliczamy:

biodiesel, bioalkohol (metanol, etanol, butanol), paliwo z odpadów (RDF),

wodór,

chemicznie magazynowana energia elektryczna (baterie i ogniwa paliwowe),

metan i biogaz ze źródeł odnawialnych,

olej roślinny, propan i inne produkty biomasy

gaz płynny LPG, gaz ziemny CNG

Czysty transport

- Polska Organizacja Przemysłu i Handlu Naftowego tłumaczy pojęcie „czystego transportu”:
- Przekonuje, że termin ten może być mylnie rozumiany, gdyż każdy transport wiąże się z emisją gazów cieplarnianych.
- Jednak w myśl założeń neutralności klimatycznej należy podejmować działania, które mają zminimalizować poziom tych emisji oraz równoważyć ich wpływ na środowisko.

Cel czystego transportu

- niezbędne jest stopniowe ograniczanie wykorzystania paliw kopalnych i większe użycie paliw alternatywnych oraz energii elektrycznej. Dostępna technologia już dziś oferuje szeroką gamę rozwiązań w zakresie niskoemisyjnych paliw ciekłych. Wdrożenie tych technologii na skalę przemysłową może poprawić ich ekonomiczną opłacalność, przez co będą bardziej atrakcyjne dla konsumentów.
- Uwzględniając niespotykane dotąd nakłady inwestycyjne na badania i rozwój w różne niskoemisyjne technologie wykorzystywane do napędzania pojazdów, a także coraz wyższą sprawność silników spalinowych, niezwykle ważne jest zachowanie neutralności technologicznej, by ramy prawne z góry nie narzucały kierunku rozwoju zielonych technologii.

Cel czystego transportu

Istotne jest również to, aby wdrożenie Zielonego Ładu nie ograniczyło mobilności najuboższych mieszkańców Unii Europejskiej i nie odbyło się kosztem obniżenia bezpieczeństwa energetycznego któregośkolwiek z państw członkowskich.

Branża paliwowa razem z szeroko rozumianym sektorem transportu chce być aktywnie zaangażowana w działania na rzecz rozwoju gospodarki niskoemisyjnej.

Lokomotywa parowa

Lokomotywa napędzana silnikami parowymi.

- Para pochodzi z kotła opalanego najczęściej węglem kamiennym.
- Pierwszą lokomotywę parową zbudował w 1802 roku Richard Trevithick.
- Za wynalazcę współczesnej lokomotywy parowej uważa się George'a Stephensona. Jego parowóz Rakieta (*Rocket*) z 1829 r. stał się pierwowzorem wszystkich dalszych konstrukcji.
- Ostatnimi regularnymi liniami zwykłego ruchu pasażerskiego w Europie obsługiwanymi przez lokomotywy parowe są połączenia Wolsztyn – Leszno (dni powszednie) i Wolsztyn – Poznań (soboty).



Paliwo płynne z węgla

- Uptywnianie i ekstrakcja węgla to procesy polegające na potraktowaniu węgla wodorem lub rozpuszczalnikami wodoro-donorowymi, w temperaturze 400 – 450°C i pod ciśnieniem 15 – 70 MPa, w obecności katalizatorów, prowadzące do otrzymania produktów ciekłych, z których wytwarzane są paliwa płynne (oleje silnikowe, opałowe) .
- Głównym, komercyjnym producentem paliw syntetycznych z węgla jest Republika Południowej Afryki, gdzie koncern Sasol produkuje benzynę i oleje napędowe

Benzyna syntetyczna

paliwo syntetyczne, rodzaj benzyny otrzymywany w wyniku syntezy chemicznej, o składzie zależnym od surowców wyjściowych i metody otrzymywania.

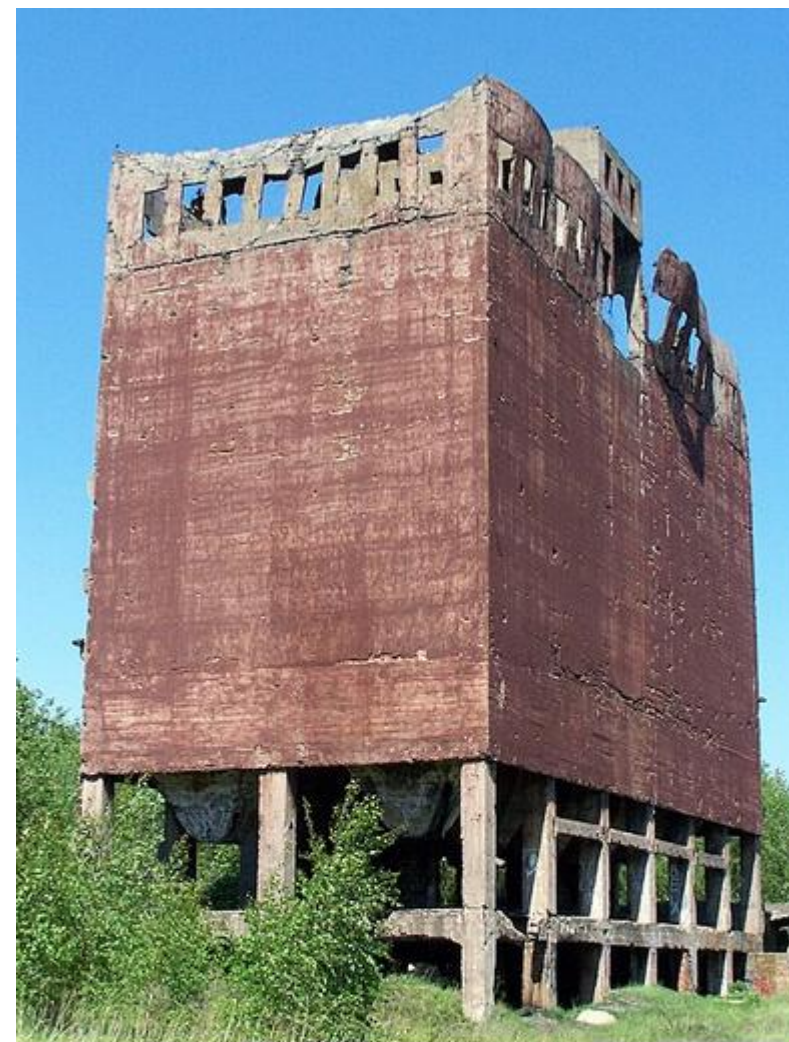
Metodami otrzymywania

- kraking wyższych frakcji ropy naftowej w temperaturze 470–520 °C, pod ciśnieniem 25–50 atmosfer^[1];
- uwodornienie węgla (rozdrobnionego i zmieszanego z ciężkimi olejami i katalizatorami) pod ciśnieniem 300–700 atm oraz w podwyższonej temp. (metoda Bergiusa) – otrzymane produkty zostają rozdestylowane na frakcje;
- alkilowanie i dimeryzacja gazowych węglowodorów;
- synteza Fischera-Tropscha

Police

W czasie [II wojny światowej](#) w [Policach](#) działała jedna z największych niemieckich [fabryk benzyny syntetycznej](#), należąca do [IG Farben](#).

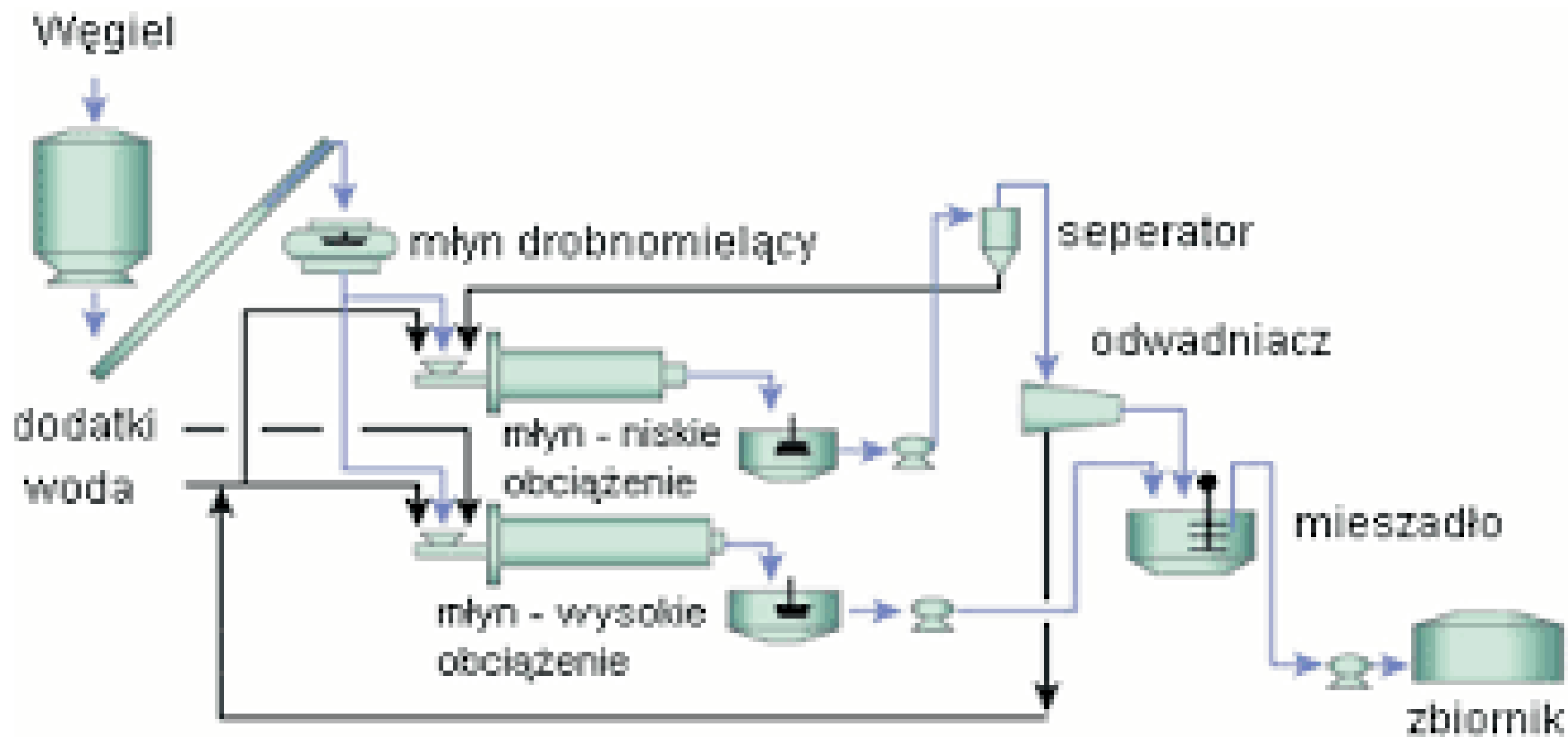
Fabryka ta popadła w ruinę po zakończeniu wojny. Benzynę syntetyczną produkowano także w [Blachowni Śląskiej](#) do 1945.



Elewator węglowy niemieckiej fabryki benzyny syntetycznej w [Policach](#) na [Pomorzu Zachodnim](#) działającej podczas drugiej wojny światowej.

Suspensja wodno-węglowa

- Z węgla można produkować nie tylko syntetyczną benzynę. Po zmieleniu wysokokalorycznego węgla na cząsteczki o wielkości kilkudziesięciu mikronów i zmieszaniu go z wodą pod dużym ciśnieniem powstaje suspensja (zawiesina), czyli emulsja wodno-węglowa, zwana paliwem wodno-węglowym.
- Właściwości suspensji są zbliżone do oleju opałowego, która może być wykorzystywana zamiast węgla jako paliwo w elektrociepłowniach, zapewniając znacznie niższą emisję szkodliwych substancji do atmosfery.
- Zawiesina wodno-węglowa to paliwo ciekłe, w którym drobne cząstki węgla są zawieszone w wodzie. Składa się zazwyczaj z 55-70% węgla i 30-45% wody. Może być stosowana w energetyce do spalania w kotłach lub jako alternatywne paliwo w silnikach Diesla

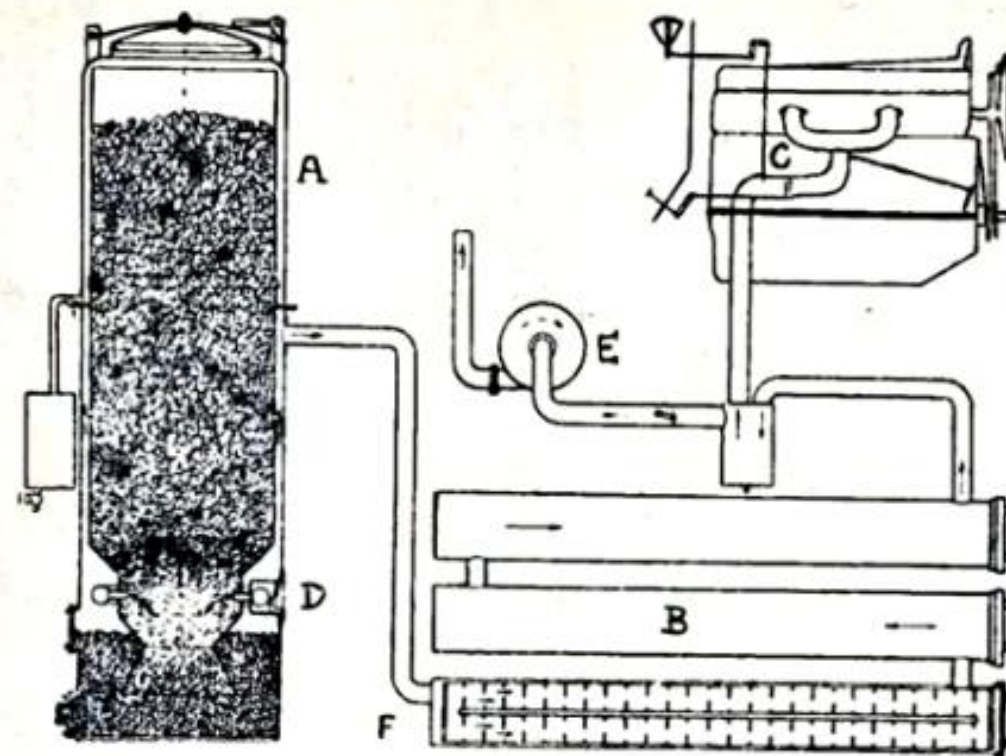


Gaz z procesu zgazowania węgla

Zgazowanie węgla to proces całkowitej przemiany węgla w gaz przy użyciu tlenu (powietrza) oraz pary wodnej,

następujący przy temperaturze 800–2000 st. C i ciśnieniu atmosferycznym lub nadciśnieniu (ok. 2,5 MPa).

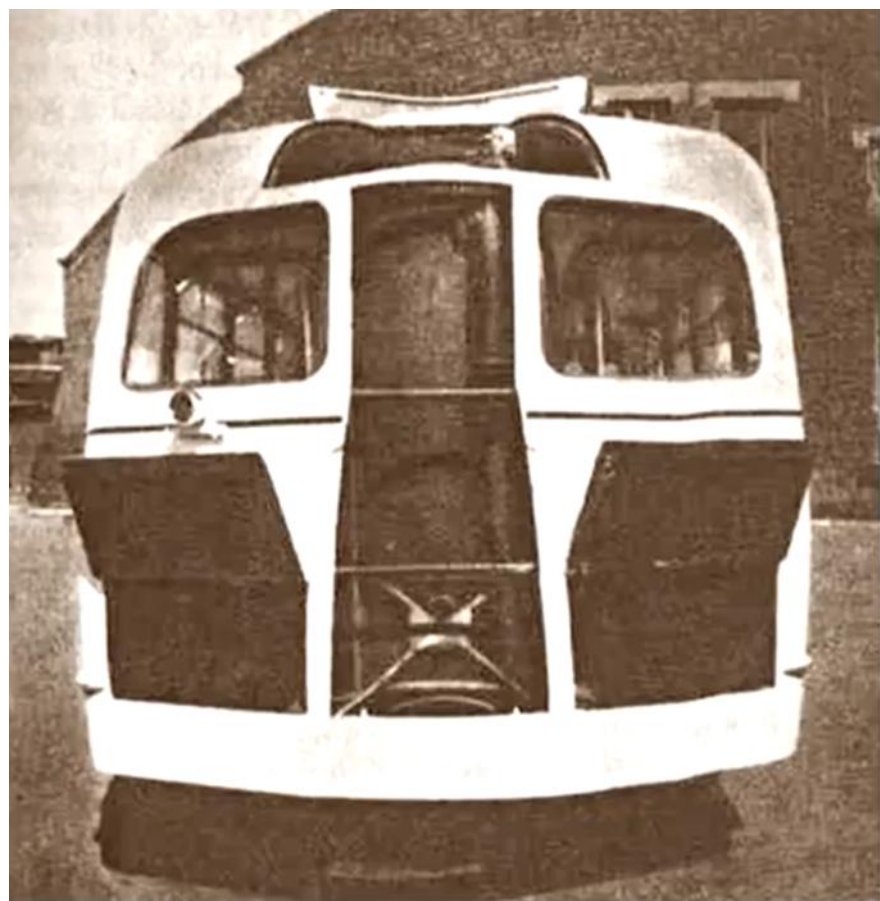
Holtz gas



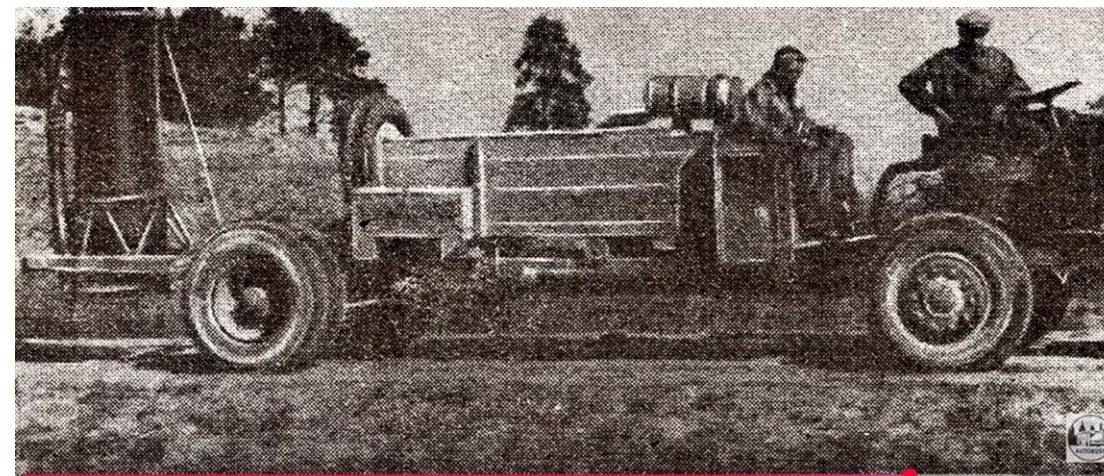
Szemat działania gazogeneratora syst. Imbert. A—cylinder w którym odbywa się spalanie drzewa. B—oczyszczacze gazu, C—mieszalnik gazu z powietrzem, D—dysze, E—dmuchawa do rozpalania drzewa, F—osadnik pyłu.

Gazogenerator autobusu "Henschel" - 1938

Miesięcznik "Autobus" nr 1/1938 rys. Stanisław Szydelski



Autobus "Ursus 723" przed halą montażu samochodów w PZInż "Ursus" przed montażem gazogeneratora. kwiecień 1939 rok



Próbny przejazd przeznaczonego dla autobusu PZInż. "Ursus - 723" napędzanego gazem z generatora (Kogas) w okolicach Warszawy wiosną 1938 roku.





Gaz ziemny

W okresie przejściowym do 2050 r. istotną rolę do odegrania jako paliwo ma gaz ziemny.

W ciągu najbliższej dekady branża w pewien sposób będzie próbowała modyfikować i ewoluować swoje działania, a co za tym idzie, można stwierdzić, że stworzy się ona na nowo przy wykorzystaniu wielu różnych technologii, które już dziś mogą przyspieszyć proces dekarbonizacji. Wspieranie działań mających na celu zrównoważone i optymalne przeprowadzenie transformacji energetycznej sektorów paliw ciekłych i transportu to jedno z najważniejszych zadań POPIHN – brzmi stanowisko Polskiej Organizacji Przemysłu i Handlu Naftowego.

wodór



Temat wodoru jest obecnie szeroko poruszany i niezwykle istotny w kontekście nadchodzących rewolucji w przemyśle energetycznym, transportowym, a także innych sektorach gospodarki.

Wdrożenie technologii wodorowych jest jedną z alternatyw budowania niskoemisyjnej gospodarki, zmierzającej ku ograniczeniu negatywnych skutków zmian klimatycznych.

wodór

Prowadzone badania mają na celu rozwój i poprawę praktycznych aspektów związanych z technologiami wodorowymi, jak np. jego przewożenie, czy przechowywanie. Obecnie produkowany wodór – tzw. wodór szary, pochodzi głównie (ponad 96%) z procesu reformingu parowego, czyli reakcji metanu i pary wodnej, a więc z wysoce zanieczyszczonego źródła, jakim są paliwa kopalne. Proces reformingu jest znany od dawna, a także najbardziej opłacalny w porównaniu z innymi technologiami produkcji wodoru. Pozostałe 4% (ok. 1 mln ton) to wodór produkowany w wyniku procesu elektrolizy zasilanej prądem pochodzącym z OZE, czyli właśnie wodór niskoemisyjny.

Pozyskiwanie wodoru

- wodór zielony – pochodzi z procesu elektrolizy, zasilanego prądem ze źródeł odnawialnych,
- wodór szary/brązowy – pochodzi z reformingu parowego i nie zalicza się do źródeł niskoemisyjnych/pochodzących z węgla brunatnego,
- wodór niebieski – pochodzi z procesów wykorzystujących paliwa kopalne z jednoczesnym wychwytem CO₂ (technologie CCS – ang. Carbon Capture Storage),
- wodór turkusowy – pochodzi z procesu pirolizy metanu lub przetwarzania tworzyw sztucznych,
- wodór fioletowy – wodór produkowany z wykorzystaniem elektrowni jądrowych,
- wodór żółty – pochodzi z elektrolizy wody zasilanej energią słoneczną.

wodór niskoemisyjny

- Wykorzystanie wodoru o niskim lub docelowo zerowym śladzie węglowym jest realną szansą na dekarbonizację polskiej gospodarki, a także na wdrażanie nowych, czystych technologii wzmacniających niezależność energetyczną i bezpieczeństwo państwa, poprzez np. wykorzystanie wodoru do magazynowania energii. Należy jednak zastanowić się, czym tak naprawdę jest wodór niskoemisyjny (nazywany także elektrolitycznym – pochodzącym z procesu elektrolizy)
- wodorem niskoemisyjnym może być wodór produkowany z paliw kopalnych, o ile proces produkcji powoduje odpowiednie redukcje emisji – np. produkcja z jednoczesnym wychwytem CO₂.
- trzeba również wspomnieć o tzw. wodorze odnawialnym, czyli produkowanym z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii, w procesie biochemicznego reformingu biogazu oraz biochemicznego przekształcania biomasy, a także o „wodorze odnawialnym pochodzenia niebiologicznego” czyli wodorze produkowanym w wyniku procesu elektrolizy.

Energetyka jądrowa

- Oprócz OZE coraz częściej porusza się także kwestię energetyki jądrowej, a konkretniej wodoru pochodzącego z reakcji jądrowych procesów wykorzystywanych w elektrowni. Według Komisji Europejskiej, wodór produkowany w taki sposób również jest uznawany za wodór niskoemisyjny.

Energetyka jądrowa 2

- technologiach ogniw paliwowych – z membraną do wymian protonów (PEM), stałotlenkowych (SOFC) oraz alkalicznych (AFC), które mogą zrewolucjonizować przemysł energetyczny, zwłaszcza w związku z bardzo dobrze rozwiniętą technologią produkcji elektrolizerów w Europie.

Napęd jądrowy - Nautilus

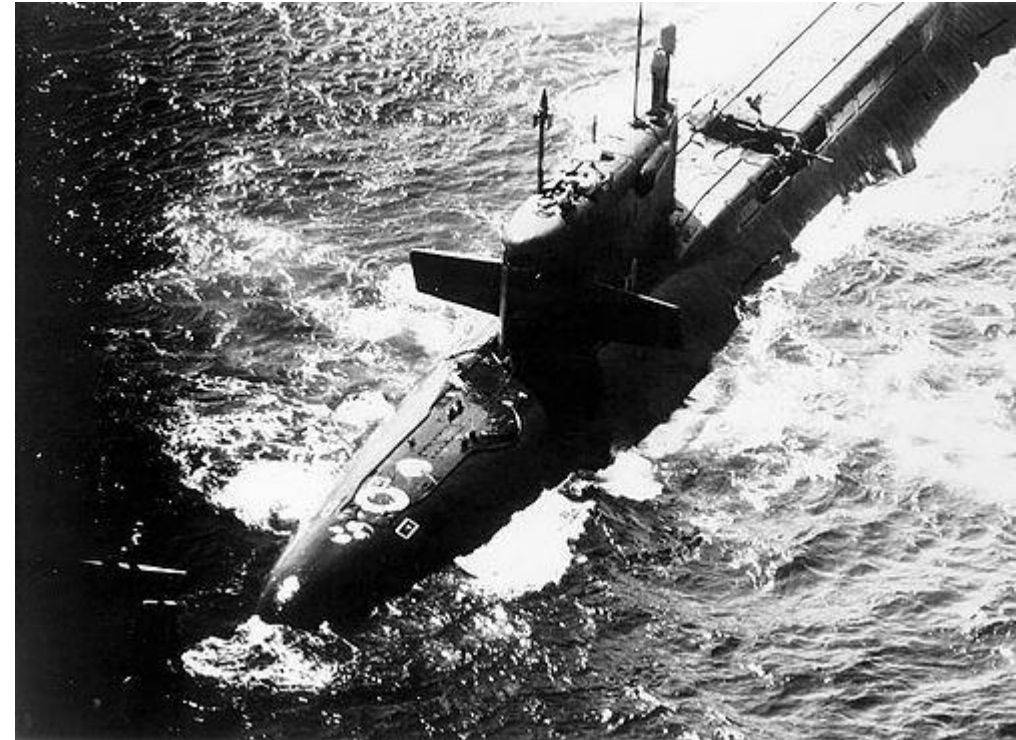


- Pierwszym okrętem podwodnym napędzanym przez [okrętową siłownię jądrową](#) był amerykański [USS Nautilus \(SSN-571\)](#), który wszedł do służby w [marynarce wojennej Stanów Zjednoczonych](#) 30 września 1954 roku. Obecnie okręty podwodne z napędem jądrowym wykorzystywane są w [marynarkach wojennych Rosji](#), [Stanów Zjednoczonych](#), [Francji](#), [Wielkiej Brytanii](#), [Chin](#) oraz [Indii](#).

określ podwodny,

- do napędu i do zasilania urządzeń pokładowych w energię elektryczną wykorzystuje energię jądrową wytwarzaną w siłowni okrętowej mieszczącej jeden bądź więcej reaktorów.
- Działanie tego rodzaju napędu opiera się najczęściej na wytwarzaniu w reaktorze jądrowym energii cieplnej, która częściowo odbierana jest z niego przez krążący w pierwszym obiegu moderator.
- Moderatorem jest krążąca w obiegu woda albo ciekły metal, który w wymienniku przekazuje energię cieplną wodzie krążącej w drugim obiegu, zamieniając ją w przegrzaną parę.
- Para krążąc w systemie rur pod bardzo wysokim ciśnieniem, przekazuje energię turbinie, ulegając przy tym schłodzeniu, przez co powraca do stanu ciekłego. Napędzana przez parę turbina za pomocą systemu przekładni napędza wał napędowy, albo też za pomocą generatora wytwarza energię elektryczną do napędu wału za pomocą silnika elektrycznego.

- Okręty podwodne z napędem jądrowym stanowią alternatywę dla przeważnie mniejszych i tańszych okrętów podwodnych z napędem konwencjonalnym (np. elektrycznym). Za zastosowaniem napędu jądrowego przemawia jego ogromna moc, a co za tym idzie możliwość uzyskania bardzo wysokiej prędkości, nieograniczony zasięg oraz fakt, że czas przebywania w zanurzeniu ograniczony jest jedynie wytrzymałością psychiczną załogi i ilością prowiantu.



Wodór

Mimo tego, że wodór jako paliwo jest znany od dawna, to dopiero dzisiaj możemy mówić o jego coraz bardziej powszechnym wykorzystaniu, m.in. w transporcie, energetyce i przemyśle. Wodór jako paliwo o wysokiej gęstości energii (33 kWh/ kg) jest rozważany przede wszystkim w kontekście pracy ogniw paliwowych, które stanowią układ napędowy auta wodorowego. Jednak, aby odpowiednie do tego celu ogniwo PEM działało w sposób poprawny, wodór musi spełniać określone normy czystości – najczęściej na poziomie tzw. pięciu dziewiątek, czyli 99,999% czystości. Wodór, który pochodzi głównie z reformingu parowego nie spełnia wymagań czystości klasy 5.0, dlatego musi być dodatkowo oczyszczany, co pociąga za sobą koszty wprowadzenia kolejnego procesu technologicznego.

Technologie produkcji wodoru

- technologie SMR (ang. Steam methane reforming) – jest to jedna z najbardziej zaawansowanych i najtańszych metod otrzymywania wodoru o sprawności procesu 74-85%,
- • PDRM (ang. Plasma dry reforming method) i DR (ang. Dry reforming method) – jest to połączenie technologii SMR z suchym reformingiem wraz z zagospodarowaniem powstałego w procesie CO_2 ,
- POR (ang. Partial oxidation reforming) – jest to reakcja chemiczna mieszaniny paliwowo-powietrznej, która jest częściowo spalona w reformatorze, tworząc bogaty w wodór gaz syntezowy, który można dalej wykorzystać,

Technologie produkcji wodoru - 2

- ATR (ang. Autothermal reforming) – proces reformingu i częściowego spalania pary, tlenu i węglowodorów, jak np. metanu zachodzący w jednym reformerze,
- SE-CL (ang. Sorption enhanced chemical – looping) – proces podobny do reformingu, ale bez spalania tlenu i pary, z wykorzystaniem katalizatorów tlenowych w procesie redukcji, przebiegającym w osobnym reformerze,
- HP (ang. Hydrocarbon pyrolysis) – piroliza węglowodorów w wysokiej temperaturze 700 °C,
- SFG (ang. Solid fuel gasification) – proces szybkiej pirolizy związków stałych, jak np. węgiel,

Technologie produkcji wodoru - 3

- HRPMs (ang. Advances and prospects of hydrocarbon reforming and pyrolysis methods for low-carbon H₂ production) – metody reformowania i pirolizy węglowodorów w celu produkcji niskoemisyjnego H₂,
- thermochemical route – cykle termochemiczne, czyli produkcja wodoru w wyniku termochemicznej reakcji rozpadu związków zawierających wodór np. H₂S, HI, itp.,
- termoliza, fotoliza, biofotoliza – reakcje eliminacji (rozpadu) wody na cząsteczkę wodoru i tlenu pod wpływem odpowiednio temperatury, światła i czynników biologicznych,
- bioelektrochemiczne – z wykorzystaniem mikroorganizmów i procesów fermentacji, a także nowych technologii i procesów badanych pod kątem otrzymywania wodoru niskoemisyjnego, czystego z jak największą wydajnością.

Autobusy na wodór

- Autobusy wodorowe to zeroemisyjne pojazdy, które wykorzystują ogniwa paliwowe do wytwarzania prądu z wodoru, a następnie zasiloną energię elektryczną przekazują na silniki elektryczne. Zamiast paliwa, autobusu tego typu tankuje wodór. Zamiast spalin, autobusy te emitują parę wodną, co czyni je ekologicznymi.



Wodór jako paliwo w autobusach – zalety

- **Wysoka wydajność**
- Średni zasięg autobusów na wodorowe ogniwa paliwowe może przekraczać 350-400 km na pełnym tankowaniu,
- **Krótki czas tankowania**
- średnio 15 min. Czas ładowania autobusów bateryjnych jest dłuższy. W zależności od metody może wynosić 3-5 godzin, przy użyciu ładowarki typu plug-in lub ok. 1 godziny w przypadku wykorzystania pantografu.
- **Zeroemisyjność i ekologiczny charakter**
- Przy uwzględnieniu wykorzystania wyłącznie wodoru zeroemisyjnego, eksploatacja autobusów nie jest obciążona emisją na żadnym etapie, a produktami spalania są wyłącznie woda i ciepło. Eksperci szacują, że w ten sposób autobus wodorowy w 12-letnim cyklu życia oszczędza nawet

Paliwa alternatywne – perspektywa dla transportu

prof. dr hab. inż. Barbara Tora
Katedra Inżynierii Środowiska, Wydział Inżynierii
Lądowej i Gospodarki Zasobami, Akademia Górniczo-
Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie

E-mail: tora@agh.edu.pl