

# Scenariusz zajęć lekcyjnych nr 5

TEMAT LEKCJI:

# Produkcja wodoru

POZIOM EDUKACYJNY: podstawowy

GRUPA DOCELOWA: uczniowie szkół podstawowych (10–14)  
i ponadpodstawowych (15–19 lat)

CZAS ZAJĘĆ: 45 minut [jednostka lekcyjna]

PRZEDMIOT: fizyka, chemia, inne zajęcia związane  
z tematyką energetyki i infrastruktury



POPH2  
Wiesz więcej!



MNiSW

Projekt dofinansowany ze środków budżetu państwa,  
przyznanych przez Ministra Edukacji i Nauki w ramach  
Programu „Społeczna odpowiedzialność nauki II”



# INFORMACJE DLA NAUCZYCIELA

Co musisz wiedzieć przed zrealizowaniem zajęć?

# PRZEBIEG LEKCJI

## CZĘŚĆ 1

OKOŁO 15 MINUT



1. Nauczyciel dzieli uczniów na grupy 4–5 osobowe. Każda z grup otrzymuje zestaw eksperymentalny.
2. Nauczyciel wyjaśnia, w jaki sposób przeprowadzić eksperyment:

*Do pojemnika wlej wodę.*

*Dodaj 10 g sody oczyszczonej lub kwasu cytrynowego, czyli jonów, co pomaga w przewodnictwie energii. Umieść elektrody w naczyniu z wodą. Zwróć uwagę, by elektrody się nie dotykały. Podłącz baterię do elektrod za pomocą złączy z krokodylkami.*

*Obserwuj wydzielające się pęcherzyki. Odłącz baterię i wyciągnij elektrody z wody.*

## CZĘŚĆ 2

OKOŁO 15 MINUT



Nauczyciel prowadzi dyskusję wykorzystując przykładowe pytania:

- Z czego składa się woda?
- Skąd pochodzą pęcherzyki?
- Dlaczego z jednej z elektrod wydziela się więcej gazu? Jaki to gaz?
- Czy da się w ten sposób wygenerować CO<sub>2</sub>?
- Czym zastąpić baterię, aby uzyskać bezemisyjny wodór?
- Czym się różni źródło energii od nośnika energii?

## CZĘŚĆ 3

OKOŁO 15 MINUT



Nauczyciel przeprowadza krótki wykład na bazie przygotowanej prezentacji. Nauczyciel wyjaśnia skutki rozwoju gospodarki wodorowej.

## ROZSZERZENIE LEKCJI DLA SZKÓŁ PONADPODSTAWOWYCH:

Napisz na tablicy lub wyświetl na projektorze.

PYTANIA:

- Czego dowiedziałeś się o składzie wody?
- W jaki sposób energia elektryczna rozkłada wodę?
- Który gaz jest przyciągany do elektrody dodatniej, a jaki do elektrody ujemnej?
- Dlaczego każdy gaz jest przyciągany do każdej elektrody?
- Jak przeprowadzać badania na obecność gazów wodoru i tlenu?

DODATKOWE PYTANIA:

- W jaki sposób użycie wody destylowanej bez elektrolitu wpłynie na wyniki?
- Jak zwiększenie stężenia elektrolitu wpłynie na wynik eksperymentu?
- Jak zwiększenie napięcia elektrycznego (podłączenie 2–4 baterii równolegle) wpłynie na wynik eksperymentu?
- Jak zwiększenie natężenia prądu (podłączenie 2–4 baterii szeregowo) wpłynie na wyniki?
- Jak zmiana temperatury roztworu wpłynie na wyniki?

## GRUPA DOCELOWA:

uczniowie szkół podstawowych (10–14 lat) i ponadpodstawowych (15–19 lat)

CZAS ZAJĘĆ:  
45 minut



## PRZEDMIOT:

fizyka, chemia, inne zajęcia związane z tematyką energetyki i infrastruktury

## CEL LEKCJI / EFEKTY EDUKACYJNE:

- uczniowie poznają proces elektrolizy,
- poznają skład wody oraz pochodzenie poszczególnych gazów,
- rozumieją proces konwersji energii pomiędzy energią elektryczną a wodorem,
- poznają metody produkcji wodoru, ich zalety i wady,
- w ramach eksperymentu wyprodukują wodór bez emisji gazów cieplarnianych.

## MATERIAŁY:

- bateria 9V (6LR61)
- złącze na baterię 9V (6F22) z krokodylkami
- przezroczysty, szklany pojemnik na wodę ok. 200 ml (lub plastikowa zlewka)
- 2 metalowe elektrody lub 2 grafitowe (otówki)
- kwas cytrynowy lub soda oczyszczona 20 g
- woda (150 ml)
- prezentacja

## METODY PRACY:

- praca w grupach
- dyskusja z nauczycielem
- wykład

# UCZEŃ

Zadania dla uczestników zajęć lekcyjnych

---

KARTA PRACY // Elektroliza wody - czym jest zielony wodór?

# ZADANIE 1

Zapoznaj się z krótkim wyjaśnieniem, czym jest elektroliza wody.

Zastanów się i odpowiedz na pytanie: **w jakich gałęziach przemysłu można wykorzystać zielony wodór?**

---

Jednym ze sposobów produkcji zielonego wodoru (bez emisji szkodliwych zanieczyszczeń jak dwutlenek węgla -  $\text{CO}_2$ ) jest elektroliza wody. Proces polega na rozkładzie wody ( $\text{H}_2\text{O}$ ) za pomocą energii elektrycznej w celu rozdzielenia jej na wodór ( $\text{H}_2$ ) i tlen ( $\text{O}_2$ ). Kluczowym jej elementem jest wykorzystanie energii pochodzącej z odnawialnych źródeł energii (OZE), takich jak np. energetyka słoneczna lub wiatrowa. Zmagazynowany, bezemisyjny wodór możemy wykorzystać do produkcji energii elektrycznej, ciepła czy procesów chemicznych. Zielony wodór jest jednym z kluczowych elementów służących do transformacji energetycznej i gospodarczej.

## KARTA PRACY // Elektroliza wody - eksperyment

## ZADANIE 2

Przygotuj zestaw i wszystkie elementy do wykonania eksperymentu, w wyniku którego powstanie zielony wodór. **Wykonaj eksperyment.**

**MATERIAŁY:**

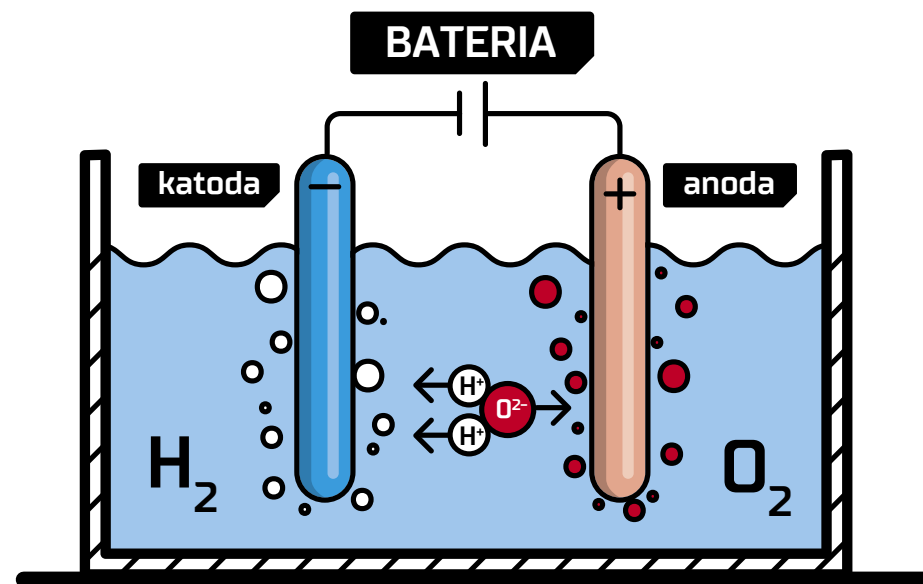
Przygotuj elementy niezbędne do eksperymentu:

- bateria 9V [6LR61]
- złącze na baterię 9V [6F22] z krokodylkami
- przezroczysty, szklany pojemnik na wodę ok. 200 ml (lub plastikowa zlewka)
- 2 metalowe elektrody lub 2 grafitowe (otówki)
- kwas cytrynowy lub soda oczyszczona [20 g]
- woda [150 ml]

Wykonaj poniższe polecenia zgodnie ze wskazaną kolejnością.

1. Do pojemnika wlej wodę.
2. Dodaj 10 g sody oczyszczonej lub kwasu cytrynowego, czyli jonów. To pomaga w przewodnictwie energii.
3. Umieść elektrody w naczyniu z wodą. Zwróć uwagę, by elektrody się nie dotykały.
4. Podłącz baterię do elektrod za pomocą złączy z krokodylkami
5. Obserwuj wydzielające się pęcherzyki.
6. Odłącz baterię i wyciągnij elektrody z wody.

**Jeżeli baterię zastąpisz energią z OZE, to otrzymasz zielony wodór!**





KARTA PRACY // Elektroliza wody - dyskusja w grupach // Rozszerzenie lekcji dla szkół ponadpodstawowych

# ZADANIE 3

## Odpowiedz na pytania:

- Czego dowiedzieliście się w trakcie eksperymentu o składzie wody?
- W jaki sposób energia elektryczna rozkłada wodę?  
W swoich wyjaśnieniach używaj terminów anoda, katoda, utlenianie i redukcja.
- Który gaz jest przyciągany do elektrody dodatniej, a który do elektrody ujemnej?
- Dlaczego każdy gaz jest przyciągany do każdej elektrody?
- Jak przeprowadzać badania na obecność gazów wodoru i tlenu?

## Dodatkowe pytania:

- W jaki sposób użycie wody destylowanej bez elektrolitu wpłynie na wyniki?
- Jak zwiększenie stężenia elektrolitu wpłynie na wynik eksperymentu?
- Jak zwiększenie napięcia elektrycznego (podłączenie 2-4 baterii równolegle) wpłynie na wynik eksperymentu?
- Jak zwiększenie prądu (podłączenie 2-4 baterii szeregowo) wpłynie na wyniki?
- Jak zmiana temperatury roztworu wpłynie na wyniki?

KARTA PRACY // Elektroliza wody – dyskusja w grupach // Rozszerzenie lekcji dla szkół ponadpodstawowych

# PRZYKŁADOWE ODPOWIEDZI NA PYTANIA

■ **Czego dowiedziacie się w trakcie eksperymentu o składzie wody?**

Woda składa się z wodoru i tlenu. Wodoru jest 2 razy więcej niż tlenu. W wodzie nie ma atomów węgla – wówczas nie może powstać dwutlenek węgla ( $\text{CO}_2$ ).

■ **W jaki sposób energia elektryczna rozkłada wodę?** Za pomocą energii elektrycznej rozrywane są połączenia pomiędzy wodorem a tlenem.

■ **Który gaz jest przyciągany do elektrody dodatniej, a który do elektrody ujemnej?** Tlen (elektroujemny) przyciągany jest do elektrody dodatniej. Wodór (elektrododatni) przyciągany jest do elektrody ujemnej.

■ **Dlaczego każdy gaz jest przyciągany do każdej elektrody?** Ładunki o przeciwnych znakach się przyciągają, a o tych samych odpychają.

■ **Jak przeprowadzać badania na obecność gazów: wodoru i tlenu?** Podczas reakcji chemicznej możemy porównać ilość wydzielanego gazu (wodoru jest więcej), lub przybliżyć źródło ognia do wydzielanych gazów (po stronie tlenu zwiększy się płomień).

**DODATKOWE PYTANIA:**

■ **W jaki sposób użycie wody destylowanej bez elektrolitu wpłynie na wyniki?** Czysta woda jest słabym przewodnikiem elektrycznym – elektroliza nie będzie zachodziła lub będzie wyraźnie słabsza.

■ **Jak zwiększenie stężenia elektrolitu wpłynie na wynik eksperymentu?** Im więcej elektrolitu (jonów przewodzących), tym efektywniejsza elektroliza.

■ **Jak zwiększenie napięcia elektrycznego (podłączenie 2-4 baterii równolegle) wpłynie na wynik eksperymentu?** Im wyższe napięcie, tym efektywniejsza elektroliza.

■ **Jak zwiększenie prądu (podłączenie 2-4 baterii szeregowo) wpłynie na wyniki?** Im wyższe natężenie, tym efektywniejsza elektroliza

■ **Jak zmiana temperatury roztworu wpłynie na wyniki?** Wyższa temperatura zwiększa ruchliwość jonów. W ten sposób elektroliza jest efektywniejsza.



# NAUCZYCIEL

Materiały z informacjami dla nauczyciela o wodorze. *Slajdy można zaprezentować uczniom w trakcie zajęć.*

## KARTA WIEDZY //

# Produkcja wodoru – podstawowe informacje

Wodór jest najprostszym i najlżejszym pierwiastkiem chemicznym, który można znaleźć w Układzie Okresowym. Jest również najbardziej powszechnym składnikiem występującym we Wszechświecie, stanowiącym ok. 75% całkowitej masy materii Wszechświata. Na Ziemi występuje jednak rzadko, w formie cząsteczkowej i niezwiązanej.

Jednym z przykładów występowania wodoru to ludzkie ciało. Wodór pojawia się w składzie wielu substancji, takich jak woda, węglowodany, tłuszcze, białka, kwasy nukleinowe, witaminy oraz hormony. Dodatkowo, w przyrodzie istnieje niezliczona ilość związków zawierających wodór – zarówno w związkach organicznych, jak i nieorganicznych.

Człowiek opracował wiele metod produkcji wodoru. Obecnie 96% jego światowej produkcji pochodzi z procesów wykorzystujących paliwa kopalne – ok. 48% wodoru pochodzi z gazu ziemnego, 30% z ropy naftowej oraz ok. 18% z węgla, co wiąże się z emisją CO<sub>2</sub>. W kontekście dążenia do neutralności klimatycznej, procesy produkcyjne wodoru zostały sklasyfikowane na podstawie ilości emitowanych gazów cieplarnianych.

Chociaż sam wodór jest bezbarwnym i bezwonny gazem, to najbardziej pożądanym jest tzw. wodór zielony, wytwarzany przy użyciu odnawialnych źródeł energii. Natomiast wodór pozyskiwany z gazu ziemnego czy węgla, zaliczany do kategorii odpowiednio niebieskiego i szarego wodoru. Ten rodzaj nośnika energii charakteryzuje się większym śladem węglowym dla środowiska.

Strategie wielu państw w zakresie energetyki i przemysłu skupiają się na zwiększeniu udziału gospodarki wodorowej, jednocześnie wspierając rozwój produkcji o niskim lub zerowym śladzie emisyjnym. Przewiduje się, że znaczenie wodoru zielonego znacząco wzrośnie w najbliższej dekadzie oraz będzie kluczowym elementem dekarbonizacji gospodarki do 2050 r.

## KARTA WIEDZY //

# Kolory wodoru

Wodór jako pierwiastek bezbarwny i bezwonny, często jest określany mianem „zielonego”, „szarego” lub „niebieskiego” wodoru, co odzwierciedla sposób jego produkcji i wpływ na środowisko. Współcześnie najczęściej stosowany jest „szary wodór”, którego produkcja wiąże się z emisją dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ). Strategie energetyczne i przemysłowe, w tym np. Europejski Zielony Ład, stawia na rozwój produkcji zielonego wodoru, który jest pozyskiwany w procesie elektrolizy wody przy użyciu energii z odnawialnych źródeł energii, eliminując w ten sposób emisję zanieczyszczeń.

## SZARY WODÓR

Jest produkowany z wykorzystaniem gazu ziemnego z emisją  $\text{CO}_2$ .

## NIEBIESKI WODÓR

Jest produkowany z gazu ziemnego z wykorzystaniem technologii wychwywania i magazynowania  $\text{CO}_2$  (CCUS).

## CZARNY/BRAZOWY WODÓR

Pochodzi z węgla, emitując najwięcej  $\text{CO}_2$  spośród innych metod produkcji.

## ZIELONY WODÓR

Jest uzyskiwany w wyniku elektrolizy wody, wykorzystując energię ze źródeł odnawialnych. W procesie nie występuje emisja szkodliwych zanieczyszczeń do powietrza.

## FIOLETOWY/RÓŻOWY WODÓR

Powstaje w wyniku elektrolizy wody, wykorzystując energię z elektrowni jądrowych. Nie emituje gazów cieplarnianych.

## TURKUSOWY WODÓR

To zielona innowacja z biomasy, której emisyjność netto jest bliska zero [w trakcie wzrostu rośliny pochłaniają  $\text{CO}_2$  z atmosfery, w trakcie spalania  $\text{CO}_2$  wraca do atmosfery].

## BIAŁY WODÓR

Pochodzi z naturalnych źródeł geologicznych.

## KARTA WIEDZY //

<b>Źródło pierwotne</b>	<b>Metoda uzyskania</b>	<b>Kolor wodoru</b>	<b>Emisja CO<sub>2</sub> / kg wodoru</b>
Metan	Reforming metanu	Wodór szary	9-12 kg
Metan	Reforming metanu (wychwyt CO <sub>2</sub> )	Wodór niebieski	0 kg
Węgiel kamienny / brunatny	Zgazowanie węgla	Wodór czarny / brązowy	20 kg
Biomasa	Zgazowanie biomasy	Wodór turkusowy	netto 0 kg
Energia jądrowa	Elektroliza	Wodór fioletowy	0 kg
OZE	Elektroliza	Wodór zielony	0 kg
Sieć elektryczna	Elektroliza	–	18 – 40 kg

## KARTA WIEDZY //

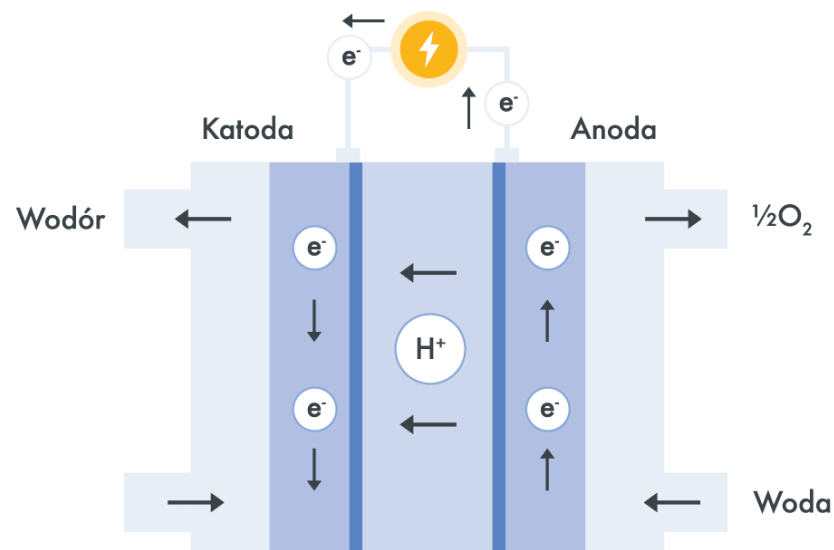
# Elektroliza wody – zielony wodór

Do produkcji zielonego wodoru wykorzystuje się elektrolizę wody, czyli proces polegający na wykorzystaniu energii elektrycznej do rozdzielenia wody na wodór i tlen. Elektrolizer składa się z dodatnio naładowanej anody i ujemnie naładowanej katody. Po zastosowaniu napięcia, każda z elektrod przyciąga przeciwnie naładowane jony: jon wodoru  $H^+$  jest przyciągany przez katodę, a jon tlenu  $O^{2-}$  dąży do anody. W wyniku tego procesu uzyskuje się dwa atomy wodoru na jeden tlen, bez powstawania innych produktów. Wodór otrzymywany w ten sposób charakteryzuje się wysoką czystością, a do jego produkcji potrzebny jest jedynie energia elektryczna i woda.

Zielony wodór powstaje z użyciem energii elektrycznej generowanej w bezemisyjnych źródłach energii jak OZE. Gdy energia elektryczna pochodzi wyłącznie z OZE, poziom emisji gazów cieplarnianych podczas produkcji są równe 0. W przypadku wykorzystania nadwyżki energii powstałej w elektrowni jądrowej, produkowany w ten sposób wodór określany jest mianem fioletowego. Podobnie jak w przypadku wodoru zielonego, również jego produkcja nie generuje śladu węglowego w procesie produkcji.

Jedną z istotnych cech wodoru produkowanego w elektrolizerach jest jego „czystość”. Ponieważ w reakcji uczestniczy tylko woda, uzyskiwany wodór nie jest zanieczyszczony substancjami węglowymi ani siarkowymi, co pozwala na bezpośrednie jego magazynowanie i wykorzystanie w ogniwach paliwowych.

## ELEKTROLIZA WODY



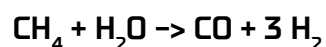
Źródło: Szkoła Wodorowa, Wydawca Urząd Marszałkowski Województwa Wielkopolskiego, ISBN 978-83-60782-31-6, <https://mh.energy/szkola-wodorowa>

## KARTA WIEDZY //

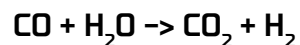
# Reforming parowy

## – wodór szary/niebieski

Reforming metanu z parą wodną [ang. steam methane reforming, SMR] to proces, w którym metan z gazu ziemnego jest podgrzewany parą wodną [ok. 700-1100°C] z katalizatorem, w celu wytworzenia mieszaniny tlenku węgla i wodoru wykorzystywanej w syntezie organicznej oraz jako paliwo. W energetyce SMR jest najpowszechniej stosowanym procesem wytwarzania wodoru. Reakcja reformingu parowego jest endotermiczna – aby doszło reakcji, do procesu należy dostarczyć ciepło.

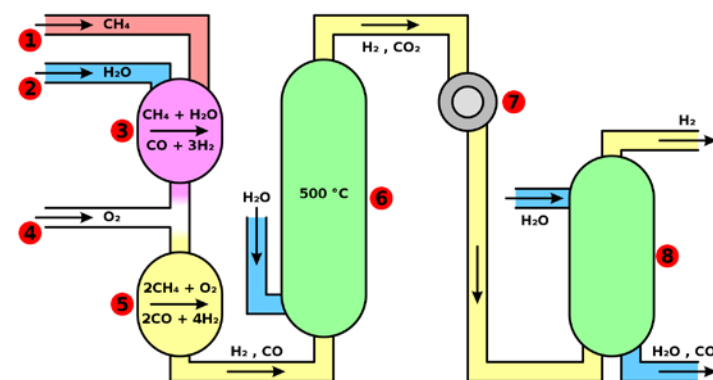


W „reakcji przemiany woda-gaz” tlenek węgla i para ulegają reakcji przy użyciu katalizatora, w wyniku czego powstaje dwutlenek węgla i więcej wodoru. W końcowym etapie procesu zwanym „adsorpcją zmiennociśnieniową” dwutlenek węgla i inne zanieczyszczenia są usuwane ze strumienia gazu, pozostawiając zasadniczo czysty wodór.



Reforming parowy można również wykorzystać do produkcji wodoru z innych paliw, takich jak etanol, propan, a nawet benzyna. Proces ten jest najtańszy, ale jednocześnie wysoce zanieczyszczony z dwóch powodów. Przede wszystkim, generuje ok. 9 kg CO<sub>2</sub> (nawet do 12 kg, w zależności od składu gazu ziemnego) na każdy kilogram wodoru. Z drugiej strony, uzyskany wodór należy oczyścić z tlenku węgla, dwutlenku węgla oraz pozostałych składników gazu ziemnego, szczególnie związków siarki.

### REFORMING PAROWY

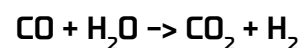
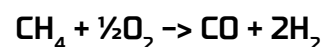


Źródło: Wikipedia:[https://pl.wikipedia.org/wiki/Reforming\\_parowy#/media/Plik:Dampfreformierung-Nummern.svg](https://pl.wikipedia.org/wiki/Reforming_parowy#/media/Plik:Dampfreformierung-Nummern.svg)

## KARTA WIEDZY //

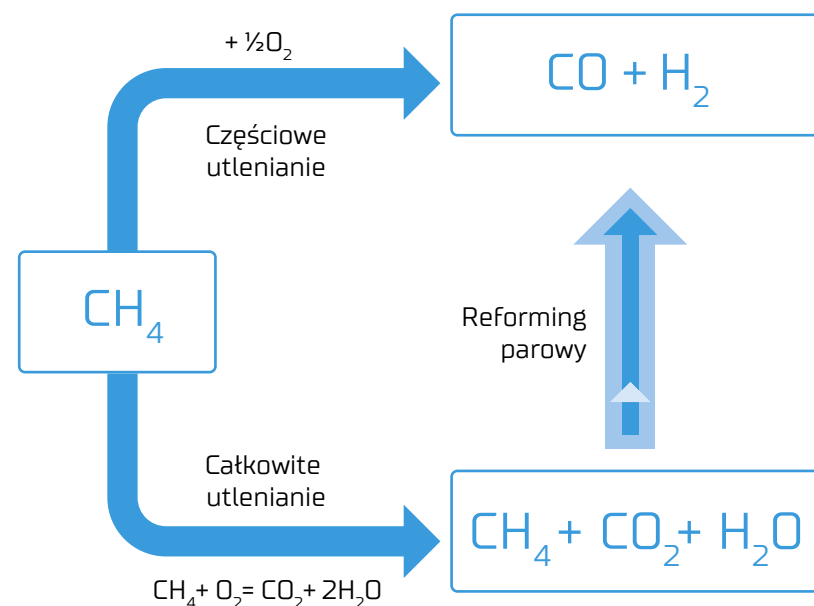
# Częściowe utlenienie – wodór szary/niebieski

Inną metodą otrzymywania wodoru z paliw kopalnych jest częściowe utlenianie. Metan i inne węglowodory w gazie ziemnym reagują z ograniczoną ilością tlenu, która nie jest wystarczająca do całkowitego utlenienia węglowodorów do dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ) i wody ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Następnie, w reakcji przemiany woda-gaz, tlenek węgla reaguje z wodą, tworząc dwutlenek węgla i więcej wodoru.



Proces ten jest egzotermiczny – wydziela ciepło. Z reakcji wynika, że przy tym samym paliwie uzyskiwane jest mniej wodoru niż w reformingu parowym. Z drugiej strony, częściowe utlenianie jest znacznie szybszym procesem i wymaga mniejszego reaktora.

Wodór pozyskiwany z gazu ziemnego w tych procesach jest oznaczony kolorem szarym. Istnieje również możliwość wychwytywania i przechowywania dwutlenku węgla (CCUS, ang. Carbon Capture, Utilization, and Storage), w takim przypadku wodór przyjmuje umowny kolor błękitny/niebieski.





## KARTA WIEDZY //

# Zgazowanie węgla

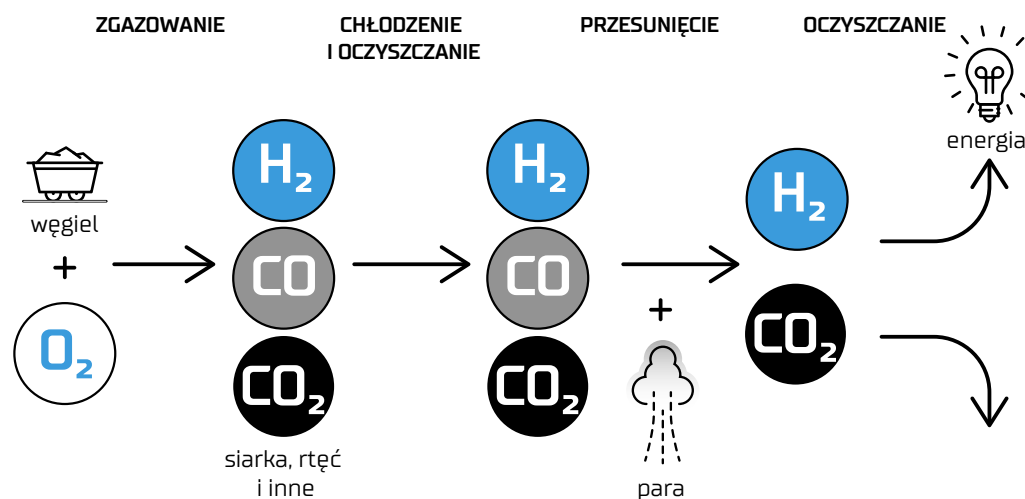
## – wodór czarny/brązowy

Zgazowanie polega na wymieszaniu węgla z tlenem, powietrzem lub parą wodną przy bardzo wysokich temperaturach, bez dopuszczenia do spalania (częściowa utlenienie). Pod względem chemicznym potocznie rozumiany węgiel (nie pierwiastek) jest substancją silnie zmienną, występującą w różnych związkach. Zgazowanie przekształca węgiel w bardzo gorący (do 1800°C) gaz syntezy, zwany syntezy gazem lub syngazem, który składa się z tlenku węgla, wodoru i dwutlenku węgla, a także niewielkich ilości innych gazów i cząstek. Proces ten polega na wymieszaniu mielonego węgla z utleniaczem, zazwyczaj parą wodną, powietrzem lub tlenem.



W kolejnych krokach ekstrahuje się tlenek węgla z mieszaniny, a podobnie jak w reformingu parowym, w obecności pary wodnej możliwe jest uzyskanie dodatkowej ilości wodoru.

### ZGAZOWANIE WĘGLA



## KARTA WIEDZY //

# Zgazowanie biomasy – wodór turkusowy

Biomasa to produkty ulegające rozkładowi, które są pochodną roślin czy zwierząt. Związki te są organiczne i zawierają głównie atomy węgla, wodoru i tlenu. Do produkcji wodoru można wykorzystać organiczne odpady komunalne, pozostałości z hodowli zwierząt czy działalności rolniczej. Procesy będą zbliżone do reformingu parowego lub do zagazowania węgla.

Emisyjność pozyskiwania wodoru turkusowego przyjmuje się jako netto zero. Rośliny w procesie fotosyntezy wychwytyują  $\text{CO}_2$  z atmosfery tworząc glukozę ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) stanowiącą podstawowy budulec. W trakcie spalania zgromadzony w ten sposób dwutlenek węgla oddawany jest z powrotem do atmosfery. Gazyfikacja glukozy:



Istnieje również możliwość wychwytywania i przechowywania dwutlenku węgla CCUS – wówczas produkcja wodoru z biomasy może osiągnąć ujemną emisję.

## KARTA WIEDZY //

# Szary vs. zielony wodór.

## Z czego wynika popularność emisyjnego wodoru?

Choć wodór szary nie rozwiązuje istotnych kwestii środowiskowych związanych z transformacją energetyczną, jego obecność jest korzystna dla rozwoju gospodarki wodorowej. Pełni on kluczową rolę jako niezbędny surowiec w wielu procesach przemysłowych, zwłaszcza w przemyśle nawozowym i petrochemicznym. Na przestrzeni lat zapewnił istotne doświadczenie i wiedzę w stosowaniu technologii wodorowej w różnych procesach przemysłowo-chemicznych. W ten sposób można wdrożyć bardziej zrównoważone formy wodoru.

Szary wodór jest doskonałą piaskownicą technologiczną, która pozwala relatywnie szybko wdrażać nowe rozwiązania i na bieżąco sprawdzać i poprawiać ich funkcjonalność. Jednak obiektywnie patrząc, szary wodór to połączenie wszystkich wyzwań technologicznych związanych z wodorem oraz wysokiej emisyjności związanej z paliwami kopalnymi. Dodać do tego należy straty związane z konwersją jednego nośnika na inny.

Rozwój alternatywnych, bezemisyjnych nośników energii jest niezbędny do osiągnięcia celów klimatycznych określonych w dyrektywach. Kluczowym aspektem jest dostępność zielonego wodoru, co umożliwi stopniowy rozwój tej technologii i jej wykorzystanie w obszarach takich jak transport, magazynowanie energii czy ciepłownictwo. Stopniowa i konsekwentna zamiana wodoru szarego na zielony pozwala na redukcję emisji w praktycznie wszystkich sektorach, przy stosunkowo niewielkich zmianach technologicznych.

Produkcja zielonego wodoru jest wyzwaniem ekonomicznym i technologicznym, ale także pod względem dostępności mocy zainstalowanej w bezemisyjnych źródłach. Obecnie wiele polityk rządowych wspiera jego rozwój, licząc na tzw. efekt skali, który przełoży się na obniżenie kosztów produkcji zielonego wodoru. Podobny efekt skali jest obserwowany w sektorze energetyki słonecznej, która dziś jest najtańszym źródłem energii.

---

## ŹRÓDŁA DANYCH

1. T. Chmielniak, Wodór w energetyce, *Academia* 1/65/2021  
[https://journals.pan.pl/Content/119707/72-78\\_Chmielniak\\_pol.pdf](https://journals.pan.pl/Content/119707/72-78_Chmielniak_pol.pdf)
2. Hydrogen Production, U.S. Department of Energy,  
<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production>
3. Polska strategia wodorowa do roku 2030 z perspektywa do 2040 r.  
<https://www.gov.pl/web/klimat/polska-strategia-wodorowa-do-roku-2030>

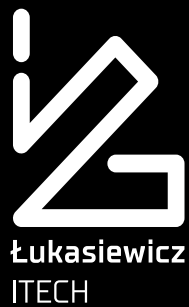
## MATERIAŁY UZUPEŁNIAJĄCE:

1. Zielony wodór z OZE w Polsce, Dolnośląski Instytut Studiów Energetycznych,  
<https://dise.org.pl/raport-zielony-wodor/>
2. Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review, *Materials Science for Energy Technologies* 2 (2019), s. 442–454
3. Making the Hydrogen Economy Possible: Accelerating Clean Hydrogen in an Electrified Economy, Energy transitions Commissions, kwiecień 2021  
<https://energy-transitions.org/wp-content/uploads/2021/04/ETC-Global-Hydrogen-Report.pdf>

---

## WIEDZA O WODORZE

1. Strategia Bezpieczeństwa Technologii Wodorowych w Polsce na lata 2023–2030  
<https://itech.lukasiewicz.gov.pl/wp-content/uploads/2024/03/Strategia-bezpieczenstwa-technologie-wodorowych-w-polsce-na-lata-2023-2030.pdf>
  2. Bezpieczeństwo w technologiach wodorowych  
<https://itech.lukasiewicz.gov.pl/2023/10/11/bezpieczenstwo-w-technologiach-wodorowych-w-8-raportach/>
  3. H<sub>2</sub>: Opinie i preferencje Polek i Polaków  
<https://itech.lukasiewicz.gov.pl/2023/05/10/h2-opinie-i-preferencje-polek-i-polakow/>
  4. Wodór w Polsce w perspektywie 2030+  
<https://itech.lukasiewicz.gov.pl/2023/06/09/wodor-polsce-w-perspektywie-2030/>
-



**POPH2**  
**Wiesz więcej!**



Projekt dofinansowany ze środków budżetu państwa, przyznanych przez Ministra Edukacji i Nauki w ramach Programu „Społeczna odpowiedzialność nauki II”

**MNiSW**

---

---