

■ Dr inż. Andrzej Węgrzyn,  
Stowarzyszenie Dolnośląska Dolina Wodorowa

# Coupling Bio-H2-OZE w produkcji metanolu

W artykule przedstawiono koncepcję sprzężenia (coupling) odnawialnych źródeł energii (OZE), biomasy oraz zielonego wodoru (Bio-H2) w procesie produkcji metanolu. W ramach dyskusji nad kształtem Zielonego Ładu opisano korzyści środowiskowe i ekonomiczne wynikające z synergii tych technologii, podkreślając ich rolę w uzyskiwaniu przewag konkurencyjnych opartych na pozyskiwaniu energii z lokalnych surowców. Artykuł korzysta z case study innowacyjnego projektu Fabryki Metanolu wykonanej dla inwestora oraz wyników symulacji stochastycznych.

## Technologia sprzężenia Bio-H2-OZE

Idea włączenia wodoru do sieci łańcuchów dostawy energii jest omawiana w licznych artykułach naukowych. Przedstawiane są założenia koncepcyjne funkcyjnych modeli stabilizacji sieci elektroenergetycznej w zielonym systemie łańcucha dostaw wodoru<sup>1</sup> oraz próby poprawy transformacji energetycznej poprzez sprzężenie sektorów wykorzystując nowe technologie i modele<sup>2</sup>.

Sprzężenie technologii odnawialnych źródeł energii z produkcją zielonego wodoru i jego integracja w procesach przetwarzania biomasy na metanol to innowacyjne podejście, które może znacząco zwiększyć efektywność energetyczną oraz zrównoważenie ekologiczne. Kluczowym elementem systemu jest połączenie elektrolizy zasilanej energią z OZE, taką jak wiatr czy słońce,

z technologiami zgazowania biomasy, co umożliwia produkcję gazu syntezowego wzbogaconego wodorem. W procesie tym wykorzystuje się katalizatory Cu/ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, a dzięki zaawansowa-

sobów biogenych, minimalizując emisje CO<sub>2</sub> oraz promując zamknięte cykle węglowe. Zastosowanie modeli symulacyjnych, takich jak Monte Carlo, umożliwia przewidywanie wydajności i stabilności



**Produkcja metanolu może być oparta na wodorze pochodzącym z OZE. Kluczowym problemem jest bilansowanie nieregularnej energii OZE i utrzymanie stabilnej pracy elektrolizera**

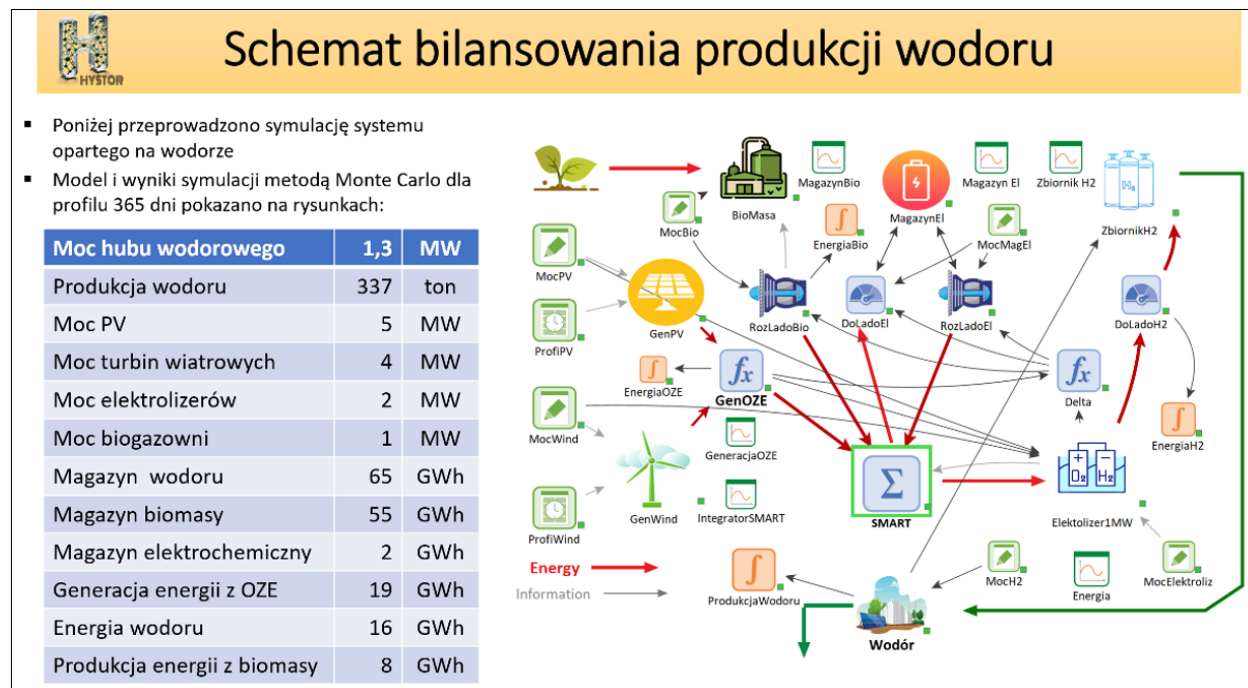
nym systemom zgazowania, takim jak Direct Gasification (DG), osiągana jest wysoka efektywność węglowa na poziomie 90%<sup>3</sup>.

Systemy te charakteryzują się elastycznością operacyjną, pozwalając na dostosowanie produkcji wodoru i metanolu do zmiennych warunków rynkowych i cen energii. Ponadto, technologia pozwala na optymalne wykorzystanie za-

systemu w perspektywie długoterminowej, wspierając podejmowanie decyzji inwestycyjnych oraz operacyjnych.

## Fabryka metanolu

Produkcja metanolu może być oparta na wodorze pochodzącym z OZE. Kluczowym problemem jest bilansowanie nieregularnej energii OZE i utrzymanie



Rys. 1. Model bilansowania energii w instalacji wodorowej

stabilnej pracy elektrolizera. Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono model bilansowania energii oraz wyniki symulacji stochastycznej bazującej na dziennych profilach generacji OZE (2023 r.).

Na rysunku 3 przedstawiono schemat modelu bezpośredniej integracji strumieni syngazu i wodoru dla Fabryki Metanolu. Schemat ten obejmuje (1) sekcję zgazowania, (2) sekcję oczyszczania, (3) kondycjonowania i sprężania gazu syntezowego, (4) syntezę i oczyszczanie metanolu oraz (5) cykl pary i odzysku ciepła, aby można było elastycznie obsługiwać cały proces produkcji metanolu.

Ze względu na wysokie zapotrzebowanie na tlen w gazyfikatorze, zakład oparty na bezpośrednim zgazowaniu uzyskuje dużą przewagę, ponieważ może on pracować między minimalnym, a maksymalnym obciążeniem dostosowując się do rynkowego poziomu cen. Pozwala to uniknąć dużych magazynów, co przynosi znaczne korzyści w zakresie nakładów inwestycyjnych i kwestii bezpieczeństwa.

## Założenia do studium wykonalności

Do symulacji finansowych przyjęto następujące założenia:

- Produkcja metanolu: 3000 ton,
- Biomasa drzewna: 3000 ton,
- Moc hubu wodorowego: 1,8 MW,
- Moc gazyfikatora: 3 MW,
- Moc syntezy metanolu: 2 MW.

Wyniki symulacji finansowej przedstawiono na rysunku 4.

## Korzyści środowiskowe i ekonomiczne technologii PBtX

Technologia Power-Biomass-to-X (PBtX) osiąga efektywność węglową na poziomie 90%, co przekłada się na znaczną redukcję emisji dwutlenku węgla w porównaniu z tradycyjnymi procesami opartymi na paliwach kopalnych. Produkcja metanolu w tym systemie pozwala na skuteczne wykorzystanie biomasy jako źródła surowca, minimalizując emisję

gazów cieplarnianych i wspierając cele klimatyczne.

System PBtX umożliwia dostosowanie produkcji do dynamicznie zmieniających się warunków rynkowych, w tym cen energii elektrycznej i dostępności surowców. Dzięki integracji z odnawialnymi źródłami energii (OZE), technologia ta jest w stanie wykorzystać nadwyżki energii elektrycznej z OZE do produkcji zielonego wodoru, co zwiększa efektywność operacyjną i zmniejsza koszty.

Inwestycje w technologii PBtX wspierają lokalne społeczności poprzez tworzenie miejsc pracy, wykorzystanie lokalnych zasobów biomasy oraz rozwój infrastruktury. Projekty te sprzyjają budowie wiejskich społeczności energetycznych, przyczyniając się do lokalnego zrównoważonego rozwoju i zmniejszenia zależności od zewnętrznych dostaw energii.

Z analizy przedstawionej na załączonym rysunku 4 wynika, że projekt osiąga wskaźniki NPV na poziomie 7 mln zł i IRR 12%, co świadczy o jego ekonomicznej opłacalności. Koszt wewnętrzny



Rys. 2. Wyniki symulacji bilansowania energii w instalacji produkcji wodoru

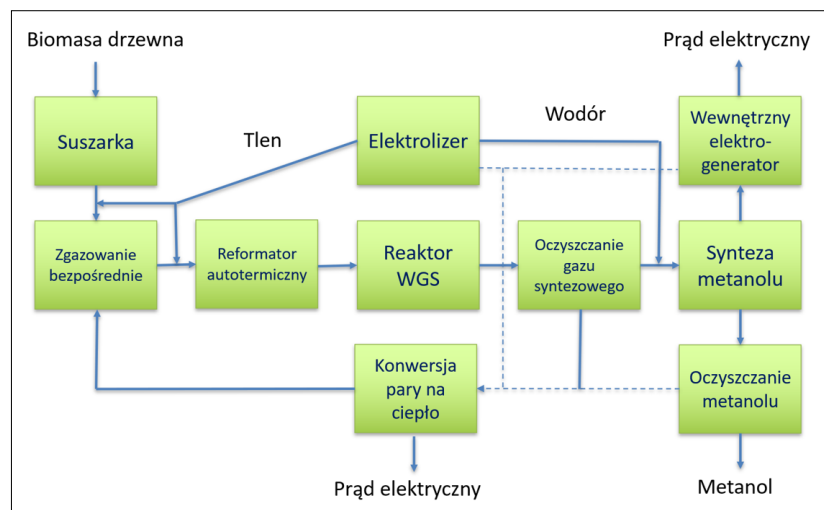
zielonego wodoru wynosi jedynie 12 zł/kg, a produkcja metanolu na poziomie 3 141 ton rocznie zapewnia stałe przychody z jego sprzedaży. Wykorzystanie biomasy jako surowca oraz odzysk energii cieplnej z procesów produkcyjnych

minimalizują odpady i wspierają gospodarkę obiegu zamkniętego.

### Podsumowanie

W artykule przedstawiono innowacyjne podejście do produkcji metanolu

poprzez sprzężenie odnawialnych źródeł energii (OZE), biomasy i zielonego wodoru (Bio-H<sub>2</sub>). System PBtX oferuje znaczną redukcję emisji CO<sub>2</sub> (efektywność węglowa na poziomie 90%) oraz elastyczność operacyjną, umożliwiając



Rys. 3. Schemat Fabryki Metanolu [opracowanie własne na podstawie artykułu<sup>4</sup>]

dostosowanie produkcji do zmiennych warunków rynkowych i cen energii. Projekt wspiera lokalny rozwój gospodarczy poprzez wykorzystanie zasobów biomasy i tworzenie nowych miejsc pracy.

Produkcja metanolu jest oparta na nowoczesnych technologiach, takich jak zgazowanie biomasy, elektroliza oraz synteza gazu syntezowego. Dzięki wykorzystaniu nadwyżek energii z OZE i minimalizacji inwestycji w magazyny, produkcja zielonego metanolu jest ekonomicznie opłacalna (NPV 7 mln zł, IRR 12%) przy rynkowych cenach (2500 zł/tonę). Artykuł podkreśla potencjał technologii PBtX w realizacji celów klimatycznych i uzyskiwaniu przewag konkurencyjnych. □

## Założenia do studium wykonalności:



- Cena zielonego metanolu 2500 zł/tonę
- Koszt wewnętrzny zielonego wodoru: 12 zł/kg
- Koszt rozdrobnionego drewna 200zł/tonę
- Produkcja metanolu 3 141 ton
- Produkcja wodoru OZE 337 ton
- Inwestycja 27 mln. zł (bez dotacji)
- Stopa dyskontowa 8%, NPV 7 mln. zł, IRR 12%

|                               |      | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | RV   |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Cena metanolu [tys.zł/tonę]   |      | 2,5  | 2,5  | 2,5  | 2,5  | 2,5  | 2,5  | 2,5  | 2,5  | 2,5  | 2,5  |
| Produkcja metanolu [tys.tony] |      | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    |
| Dochody [mln zł]              |      | 8    | 8    | 8    | 8    | 8    | 8    | 8    | 8    | 8    | 8    |
| Dodatek wodoru [tys.tony]     |      | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,34 | 0,34 |
| Koszt wodoru [mln zł]         |      | 4,0  | 4,0  | 4,0  | 4,0  | 4,0  | 4,0  | 4,0  | 4,0  | 4,0  | 4,0  |
| Koszty drewna [mln zł]        | 200  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  |
| Koszt stały [mln zł]          | 4%   | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  |
| Przepływy pieniężne [mln zł]  | 8%   | 2,87 | 2,87 | 2,87 | 2,87 | 2,87 | 2,87 | 2,87 | 2,87 | 2,87 | 36   |
| Stopa dyskontowa              | 8%   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Inwestycja [mln zł]           |      | 27   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Inwestycja bez dotacji        | 100% | 27   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| NPV [mln zł]                  |      | 7    |      |      |      |      |      | IRR  | 12%  |      |      |

Rys. 4. Założenia do studium wykonalności

Przypisy:

1. Frankowska M., Rzechycki A. et al. Functional Model of Power Grid Stabilization, *Energies*, 2023, [https://www.researchgate.net/publication/36611261\\_Funcional\\_Model\\_of\\_Power\\_Grid\\_Stabilization\\_in\\_the\\_Green\\_Hydrogen\\_Supply\\_Chain\\_System-Conceptual\\_Assumptions](https://www.researchgate.net/publication/36611261_Funcional_Model_of_Power_Grid_Stabilization_in_the_Green_Hydrogen_Supply_Chain_System-Conceptual_Assumptions).
2. Wang Q., Hou Z., et al. Enhancing Energy Transition through Sector Coupling: A Review of Technologies and Models, *Energies*, 2023, [https://www.researchgate.net/publication/372236189\\_Enhancing\\_Energy\\_Transition\\_through\\_Sector\\_Coupling\\_A\\_Review\\_of\\_Technologies\\_and\\_Models](https://www.researchgate.net/publication/372236189_Enhancing_Energy_Transition_through_Sector_Coupling_A_Review_of_Technologies_and_Models).
3. Poluzzi A. et al., Flexible Power and Biomass-To-Methanol Plants with Different Gasification Technologies, <https://www.frontiersin.org/journals/energy-research/articles/10.3389/ferg.2021.795673/full>.
4. A. Poluzzi et al. Flexible Power and Biomass-To-Methanol Plants With Different Gasification Technologies, <https://www.frontiersin.org/journals/energy-research/articles/10.3389/ferg.2021.795673/full>.