

■ Dr inż. Andrzej Węgrzyn,
Stowarzyszenie Dolnośląska Dolina Wodorowa

Jak zrobić mapę wodorową z wykorzystaniem AHP?

Wartykule zaproponowano metodykę wielokryterialnego analityczno-hierarchicznego procesu decyzyjnego do tworzenia infrastruktury wodorowej. Wśród kryteriów wskazano takie czynniki jak: potencjał magazynowania wodoru, strefy generacji OZE, zielone strefy przemysłowe oraz europejskie korytarze wodorowe. Zastosowanie metodyki dedukcyjnej z góry na dół okazuje się bardziej efektywne niż indukcyjnej z dołu do góry. Uzasadniono tezę, że podejście rynkowe, mobilizujące kapitał prywatny, jest korzystniejsze niż utrwalanie monopolu wymagającego wsparcia państwowego. Pokazano również, że europejskie optimum w sensie Pareto przewyższa budowę infrastruktury wodorowej według kryteriów państw narodowych. Wskazano na konieczność tworzenia strategicznej rezerwy energetycznej Europy w kawernach wodorowych zlokalizowanych w Polsce.

Transformacja energetyczna w Polsce i na całym świecie wymaga wprowadzenia nowych technologii i rozwiązań. Wodór jako nośnik energii zyskuje na znaczeniu, a stworzenie odpowiedniej infrastruktury wodorowej jest kluczowe dla jego skutecznego wdrożenia. Spółka Gaz-System wystąpiła z inicjatywą Wodorowej Mapy Polski, której celem jest oszacowanie poziomu „zainteresowania projektów związanych z transportem wodoru za pomocą sieci przesyłowej, zarówno z perspektywy producentów, jak również odbiorców. Zebrane informacje pozwolą stworzyć mapę obrazującą popyt i podaż na wodór oraz wstępny przebieg rurociągów wodorowych na terenie Polski, w ujęciu wolumenowym, czasowym i geograficz-

nym. Dzięki badaniu spółka zidentyfikuje potrzeby rynku, co pozwoli uczestnikom rynku rozwijać swoją działalność biznesową w kolejnych latach”¹.

Wielokryterialny Analityczno-Hierarchiczny Proces Decyzyjny

Budowa mapy wodorowej wymaga podejścia kompleksowego, które uwzględni wiele czynników. Proces decyzyjny, który proponujemy, opiera się na analizie wielokryterialnej, w której brane są pod uwagę następujące kryteria:

■ Potencjał kawern solnych do magazynowania wodoru: kawerny solne, będące naturalnymi podziemnymi strukturami, mogą słu-

żyć jako bezpieczne i efektywne magazyny wodoru. Ich lokalizacja i pojemność są kluczowe dla budowy infrastruktury magazynowej.

- Intensywne strefy generacji OZE: obszary z wysokim potencjałem odnawialnych źródeł energii, takie jak farmy wiatrowe i słoneczne, mogą być zintegrowane z produkcją wodoru przez elektrolizę.
- Zielone strefy przemysłowe: lokowanie produkcji i magazynowania wodoru w pobliżu zielonych stref przemysłowych może zredukować koszty transportu i zwiększyć efektywność energetyczną.
- Europejskie korytarze wodorowe: integracja polskiej infrastruktury wodorowej z europejskimi kory-

tarzami transportowymi jest kluczowa dla zapewnienia spójności i efektywności w skali międzynarodowej.

Modelowanie i symulacja AHP

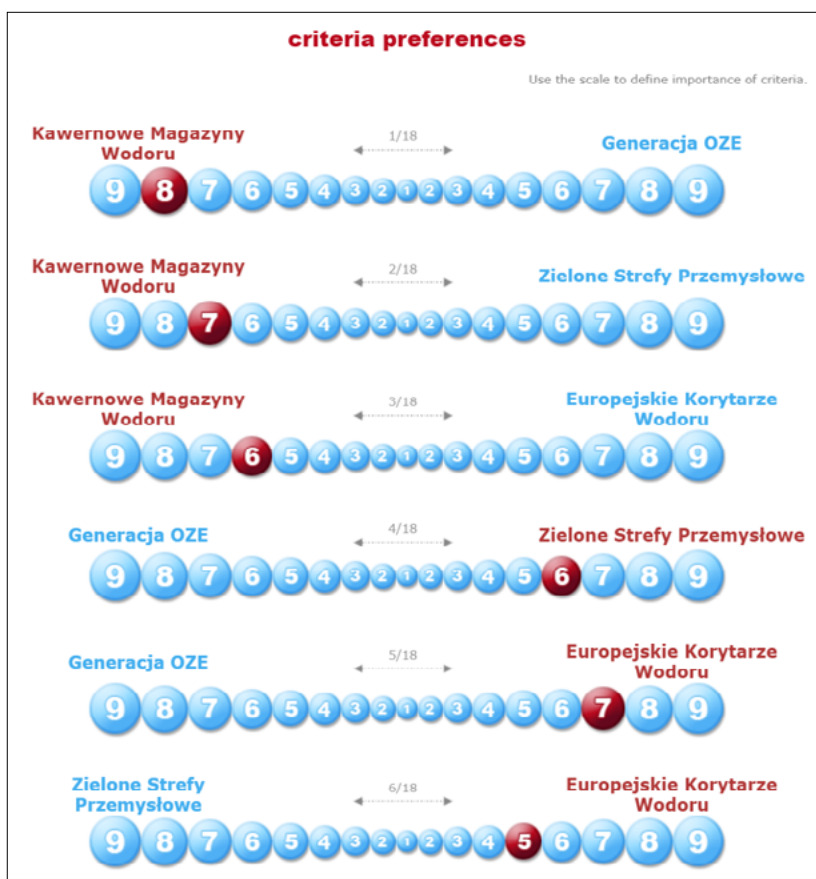
Metodę AHP jako wielokryterialny proces analityczno-hierarchiczny podejmowania decyzji - pierwszy opracował prof. Thomas L. Saaty². AHP wyprowadza skale wskaźnikowe z porównań kryteriów w parach i dopuszcza pewne odchylenia w ocenach, które są mierzalne. Metoda ta jest używana w szerokim zakresie zastosowań od zarządzania projektami do budowy strategii korporacji.

Prosty model zbudowano z wykorzystaniem oprogramowanie 123ahp³ w oparciu o metodę Saaty. Przyjęto 4 wyżej wymienione kryteria oraz trzy scenariusze tworzenia mapy wodorowej Polski według priorytetów jednego niezdefiniowanego interesariusza. Proponowane scenariusze to: (1) magazynowy, (2) korytarzowy, (3) bilansowy. Scenariusz magazynowy zmierza do wykorzystania zidentyfikowanego potencjału magazynowania wodoru w kawernach solnych na poziomie 2700 TWh dla zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego państw Sojuszu NATO. Scenariusz korytarzowy bazuje na koncepcji Hubu Wodorowego Europy i uwzględnia przesyły na głównych czterech kierunkach geograficznych. Scenariusz bilansowy zakłada pełną dekarbonizację kraju w oparciu o własne zasoby naturalne. Na rys. 1-4 przedstawiono wyniki modelowania i symulacji.

Końcowa ocena nadaje najwyższą wagę scenariuszowi budowy kawernowych magazynów wodoru.

Na podkładzie mapowym Polskiego Instytutu Ekonomicznego pokazującym potencjalne magazyny wodoru oraz w wyniku wyżej przeprowadzonego procesu decyzyjnego AHP zaproponowano na rys. 5 główne korytarze wodorowe w scenariuszu Magazynowym i Bilansowym.

Rys. 1. Model AHP ⁴



Rys. 2. Nadanie wag kryteriom ⁵

Nakłady inwestycyjne

Osobną kwestią są nakłady inwestycyjne, które na początkowym etapie są trudne do oszacowania. Przyjęto docelową potrzebę krajowej produkcji i magazynowania wodoru na poziomie 200 TWh,

tj. 6 mln ton wodoru rocznie. Nakłady związane z magazynowaniem takiej ilości wodoru mogą oscylować wokół kwoty 2,5 bln zł. Scenariusz Korytarzowy może podwoić tę kwotę, natomiast przyjęcie scenariusza wielkiego Wodorowego Magazynu Europy wymaga zaangażowania



Rys. 3. Nadanie wag scenariuszom w odniesieniu do kryteriów: Kawernowe Magazyny H₂⁶, Generacja OZE⁷, Strefy Przemysłowe⁸, Europejskie Korytarze H₂⁹

już kapitału globalnego, co pokazano na rysunkach 6 i 7.

Bazując na mapce Polskiego Instytutu Ekonomicznego oraz przeprowadzonym procesie decyzyjnym AHP oraz rekomendacjach European Clean Hydrogen Alliance - zaproponowano główne korytarze wodorowe w Polsce według scenariusza Korytarzowego obejmującego 6 głównych korytarzy europejskich wyznaczonych w programie RePowerEU¹³ (Rys. 8).

Metodyka Dedukcyjna vs. Indukcyjna

W procesie tworzenia wodorowej mapy bardziej efektywne jest podejście dedukcyjne z góry na dół. Metodyka dedukcyjna, polegająca na ustaleniu ogólnych zasad i strategii na poziomie krajowym, a następnie dostosowywaniu ich do lokalnych warunków, pozwala na lepszą

koordynację i optymalizację zasobów. Przykład wykorzystania tego podejścia zaprezentowano w tekście powyżej.

Metodyka indukcyjna, która zaczyna od lokalnych inicjatyw i stara się je zintegrować na poziomie krajowym, może prowadzić do fragmentaryzacji i nieefektywności. Dedukcyjne podejście zapewnia spójność i pozwala na strategiczne planowanie z uwzględnieniem długoterminowych celów i globalnych trendów.

Podejście Rynkowe vs. Monopol Państwowy

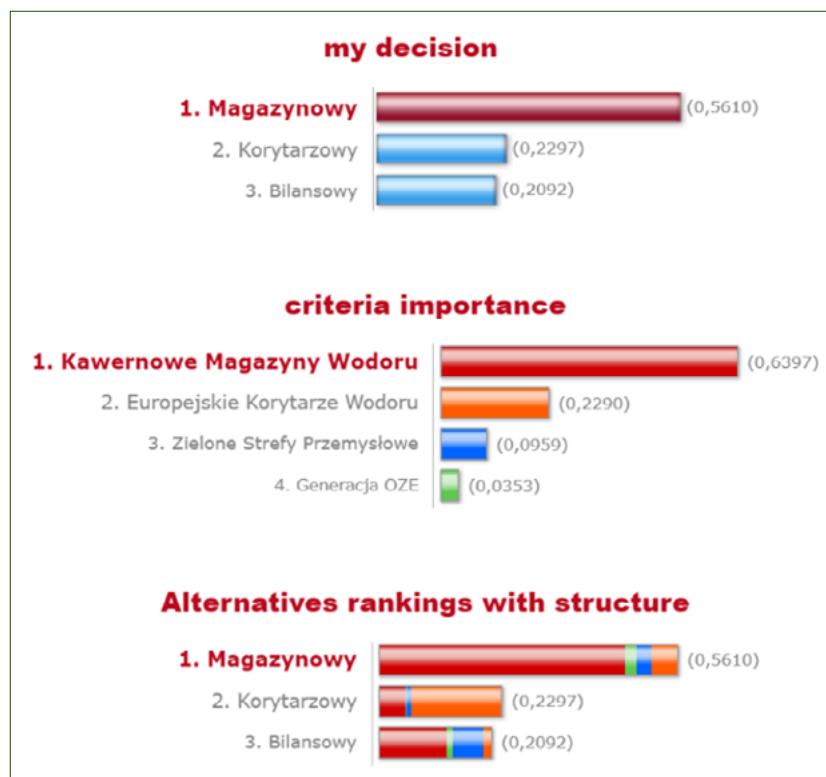
Rynkowe podejście do budowy infrastruktury wodorowej, mobilizujące kapitał prywatny, jest bardziej efektywne niż utrwalanie monopolu wymagającego wsparcia budżetowego państwa. Inwestycje prywatne, wspierane odpowiednimi regulacjami i zachętami, mogą przyspieszyć rozwój infrastruktury i wprowadzenie

innowacyjnych rozwiązań. Przedstawione wcześniej nakłady kapitałowe przemawiają za takim podejściem.

Monopol państwowy, choć zapewnia stabilność, może ograniczać konkurencję i innowacyjność. Włączenie sektora prywatnego pozwala na bardziej dynamiczny rozwój rynku wodorowego i lepsze dostosowanie się do potrzeb rynku oraz konsumentów.

Europejskie Optimum w Sensie Pareto

Budowa infrastruktury wodorowej powinna być realizowana zgodnie z europejskim optimum w sensie Pareto, a nie według kryteriów państw narodowych. Współpraca międzynarodowa i koordynacja działań na poziomie europejskim pozwala na optymalizację zasobów i osiągnięcie większych korzyści ekonomicznych i ekologicznych.



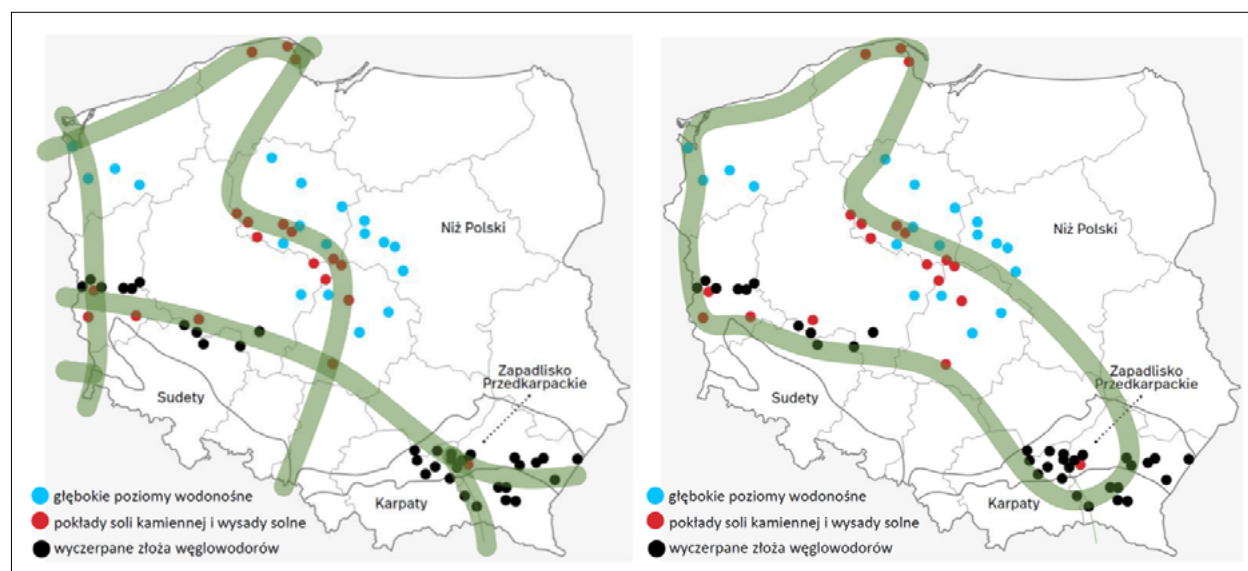
Rys. 4. Rezultat wielokryterialnego procesu decyzyjnego ¹⁰

Europejskiej, co sprzyja zrównoważonemu rozwojowi i zwiększa konkurencyjność na globalnym rynku energii.

Budowa Strategicznej Rezerwy Energetycznej

Konieczność budowy strategicznej rezerwy energetycznej Europy w kavernach wodorowych zlokalizowanych w Polsce jest uzasadniona, zarówno ze względów bezpieczeństwa energetycznego, jak i efektywności ekonomicznej. Kawerny solne na Monoklinie Przedśudeckiej, dzięki swoim naturalnym właściwościom, są idealnym miejscem do długoterminowego magazynowania wodoru.

Strategiczna rezerwa wodoru w Europie może służyć jako bufor w sytuacjach kryzysowych, zapewniając stabilność dostaw energii. Ponadto, lokalizacja rezerw w Polsce przyczynia się do wzmocnienia pozycji kraju jako kluczowego gracza na europejskim rynku energetycznym.



Rys. 5. Wodorowe korytarze Polski wg scenariusza Magazynowego i Bilansowego (opracowanie własne na mapie Polskiego Instytutu Ekonomicznego)

Koncepcja Pareto zakłada, że zmiany, które poprawiają sytuację jednej strony bez pogarszania sytuacji innej, są korzystne. W kontekście europejskiej

infrastruktury wodorowej, optymalizacja rozwoju według kryteriów Pareto pozwala na maksymalizację korzyści dla wszystkich krajów członkowskich Unii

Podsumowanie

Tworzenie wodorowej mapy Polski to złożony proces, wymagają-

Single / Wodorowa Mapa Polski

benefits compared to the costs

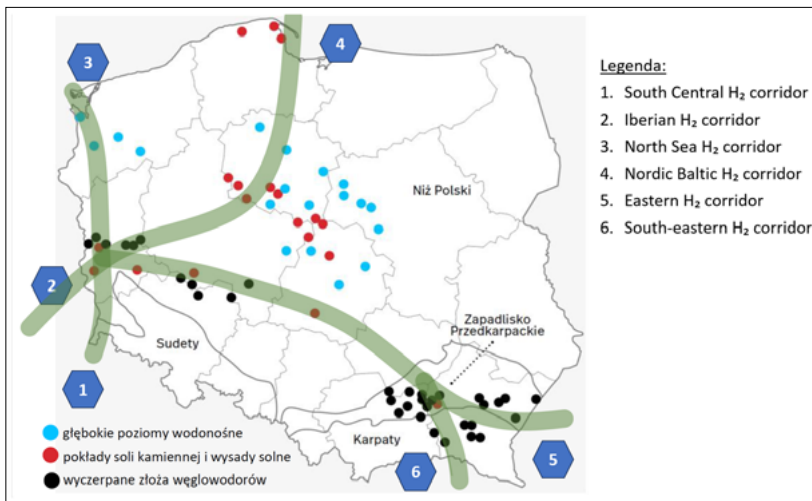
	price
Magazynowy:	10000
Korytarzowy:	5000
Bilansowy:	2424

Rys. 6. Szacowane nakłady inwestycyjne ¹¹

Single / Wodorowa Mapa Polski

benefits compared to the costs

1. Bilansowy	(1,5040)
2. Magazynowy	(0,9775)
3. Korytarzowy	(0,8004)

Rys. 7. Rezultat rozszerzonego o nakłady finansowe procesu AHP ¹²

Rys. 8. Wodorowe korytarze Polski wg scenariusza Korytarzowego (opracowanie własne na mapie Polskiego Instytutu Ekonomicznego)

cy uwzględnienia wielu czynników i zastosowania odpowiednich metodyk decyzyjnych. Zaproponowany wielokryterialny analityczno-hierarchiczny proces decyzyjny, oparty na kryteriach takich jak potencjał kavern solnych, strefy generacji OZE, zielone strefy przemysłowe oraz europejskie korytarze wodorowe - pozwala na skuteczne planowanie i rozwój infrastruktury wodorowej. Oczywiście w realnym procesie decyzyjnym powinna brać udział duża grupa interesariuszy, w tym również powstałe doliny wodorowe.

Metodyka dedukcyjna z góry na dół okazuje się bardziej efektywna niż indukcyjna z dołu do góry, a podejście rynkowe mobilizujące kapitał prywatny jest korzystniejsze niż utrwalanie monopolu wymagającego wsparcia państwowego. Wskazano również, że europejskie optimum w sensie Pareto przewyższa budowę infrastruktury wodorowej według kryteriów państw narodowych. Uzasadniono również konieczność budowy strategicznej rezerwy energetycznej Europy w kavernach wodorowych zlokalizowanych na Monoklinie Przedśudeckiej.

Realizacja tych założeń może przyczynić się do skutecznej transformacji energetycznej Polski, zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego oraz wzmocnienia pozycji kraju na rynku europejskim. Wodór jako nowoczesny nośnik energii, ma potencjał stać się kluczowym elementem zrównoważonego systemu energetycznego przyszłości, a odpowiednie planowanie i inwestycje w jego infrastrukturę są niezbędne dla osiągnięcia tego celu. □

Przypisy:

- 1 GAZ-SYSTEM opracuje Wodorową Mapę Polski, <https://www.gaz-system.pl/pl/dla-mediow/komunikaty-prasowe/2024/kwiecen/18-04-2024-gaz-system-opracuje-wodorowa-mape-polski.html>
- 2 Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process: Planning, priority setting, resource allocation. McGraw-Hill. Doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(82\)90022-4](https://doi.org/10.1016/0377-2217(82)90022-4)
- 3 <http://www.123ahp.com/>
- 4 <http://www.123ahp.com/Izracun.aspx>
- 5 <http://www.123ahp.com/Odnosi.aspx>
- 6 <http://www.123ahp.com/Alternative.aspx?kriterij=0>
- 7 <http://www.123ahp.com/Alternative.aspx?kriterij=1>
- 8 <http://www.123ahp.com/Alternative.aspx?kriterij=2>
- 9 <http://www.123ahp.com/Alternative.aspx?kriterij=3>
- 10 <http://www.123ahp.com/Rezultat.aspx>
- 11 <http://www.123ahp.com/Rezultat2.aspx>
- 12 <http://www.123ahp.com/Rezultat3.aspx>
- 13 LEARNBOOK ON HYDROGEN SUPPLY CORRIDORS, Clean Hydrogen Alliance Transmission and Distribution Roundtable, 31 March 2023, https://www.entsog.eu/sites/default/files/2023-04/web_entsog_230311_CHA_Learnbook_230418.pdf