

Kraków, 13.05.2024 r.

prof. dr hab.. inż. Paweł Ocoń,
Katedra Energetyki,
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Politechnika Krakowska

Recenzja pracy doktorskiej

Analiza wyboru lokalizacji elektrowni wiatrowych w aspekcie współpracy z sieciami gazowymi

mgr inż. Rafał Goraj

Promotor: dr hab. inż. Rafał Ślefarski, prof. PP

Promotor pomocniczy: dr inż. Radosław Jankowski

1. Charakterystyka rozprawy doktorskiej

W rozdziale 1 przedstawiono obecny stan sieci elektroenergetycznej Polski. Pokazane zostały plany inwestycji modernizacji i rozbudowy przez Polskie Sieci Elektroenergetyczne. Problemem tutaj ukazany jest nie tylko stan dystrybucji energii elektrycznej ale i jej produkcji. Opisano obecnie występujące problemy w sektorze energetycznym: stare bloki energetyczne, produkcja oparta na paliwach kopalnianych, wysokie ceny emisji gazów cieplarnianych, duża inflacja cen energii elektrycznej, nierównomierność dobowa zapotrzebowania na energię elektryczną (duże różnice między średnim, szczytowym a nocnym zużyciem energii). W podrozdziale 1.3 skupiono się na omówieniu rynku gazu ziemnego. Przedstawiono zmieniającą się infrastrukturę gazową w Europie i Polsce, wpływ wojny na Ukrainie oraz przyszłe plany Unii Europejskiej na paliwo gazowe. W kolejnym podrozdziale 1.4 opisano rynek biogazu w Polsce, jego perspektywę na rozwój i integracji z sektorem gazownictwa. Następnie opisano kolejny rynek paliwowy: paliwa płynne wykorzystywane do celów napędu pojazdów. W kolejnym podrozdziale opisano systemy integracji systemów elektroenergetycznych z systemem gazowym – systemy P2G: Skupiono się na omówieniu: technologii wodorowej, energetyki słonecznej i wiatrowej i zagrożeniach wynikających w aspekcie integracji sektora gazowego z elektroenergetycznym.

W rozdziale 2 opisano cel pracy.

Doktorant jako główny cel pracy przyjął opracowanie modelu decyzyjnego pozwalającego na wybór miejsca lokalizacji elektrowni wiatrowych dla systemów technologii P2G (Power to Gas) bazując na energii pochodzącej z lądowych farm wiatrowych, przy uwzględnieniu szerokiej gamy parametrów decyzyjnych. Główny cel naukowy pracy został osiągnięty poprzez realizację celów pośrednich:

- określenie grupy kluczowych czynników wpływających na wybór lokalizacji elektrowni wiatrowych dla systemów magazynowania energii w ciągu łańcucha technologii Power to Gas z uwzględnieniem aspektów technicznych, prawno-społecznych, środowiskowych i ekonomicznych,
- przeprowadzenie badań dotyczących określenia istoty wag poszczególnych kryteriów decyzyjnych z wykorzystaniem metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji,
- analizę wyboru lokalizacji elektrowni wiatrowych dla układu magazynowania energii elektrycznej w sieciach transportu gazu ziemnego wykorzystując opracowany model decyzyjny wspierany systemem informacji geograficznej.

Rozdział 3 przedstawia tezę pracy. Przyjęta teza pracy to:

Przedstawiona metoda umożliwi ustalenie hierarchii lokalizacji elektrowni wiatrowych we współpracy z sieciami elektroenergetycznymi oraz sieciami gazu ziemnego przy uwzględnieniu różnorodnych kryteriów (technicznych, ekonomicznych, środowiskowych, prawnych i społecznych), a poprzez połączenie różnych metod wspomaganie decyzji jest możliwe wskazanie optymalnej lokalizacji dla źródła produkcji energii elektrycznej.

Rozdział 4 opisuje metodykę, która służyła do postępowania, który ułatwi wybór najlepszych rozwiązań integracji systemu gazowego z systemem elektroenergetycznym. Opisano różne metody decyzyjne wielokryterialne i wybrano jedną z nich - analityczny proces hierarchiczny (AHP), którą połączono z metodą analizy GIS. W podrozdziale 4.2 przedstawiono schemat postępowania przy realizacji prac związanych z wyborem projektów P2G: model wyboru lokalizacji, schemat wyboru odpowiedniej konfiguracji systemu P2G. W pracy ograniczono się jedynie do wariantu, w którym źródło produkcji energii elektrycznej pochodzi z elektrowni wiatrowych. Pokazano jednak jak może wyglądać współpraca z innymi wariantami.

Następnie szczegółowo opisano metody GIS i AHP. Opisano schemat postępowania, wybór odpowiednich kryteriów i ich wag. Integracja tych dwóch metod GIS – AHP omówiono w kolejnym podrozdziale 4.2.4.

W kolejnym **5 rozdziale** przedstawione zostały wyniki analizy badania. Jako obszar badawczy przyjęto województwo wielkopolskie. Dokonano charakterystyki tego regionu, przedstawiono kryteria wyboru. Potem zastosowano analizę wykluczeń. Wybrane kryteria zostały odpowiednio sklasyfikowane na maksymalizowane i minimalizowane. Ustalono wartości rankingowe poszczególnych kryteriów. Wykonano badania ankietowe wśród osób związanych z przemysłem i nauką. Na końcu wyznaczono potencjalną lokalizację systemu P2G.

We wnioskach **rozdział 6** przedstawiono podsumowanie pracy. Pokazano dalszy kierunek badań, które można wykorzystać przy za pomocą sztucznej inteligencji AI.

2. Uwagi edytorskie

1. Spis symboli powinien zawierać wszystkie symbole (w tym te z równań 3.1-3.8).
2. Na stronie 8 zamiast „wywarzanie ciepła” powinno być „wytwarzanie ciepła”
3. Na stronie 10 po 20 MW brakuje znaku kropki.
4. Na stronie 28 zamiast "powastaje" powinno być „powstaje”
5. Teraz pracy powinna zaczynać się od dużej litery: „Przedstawiona metoda”
6. Rozdział 5, jest zatytułowany „Wyniki analizy Badania”. Tytuł powinien być „Wyniki analizy”
7. Na Rys. 17 powinno być w opisie osi y m^3 zamiast m^3
8. Na stronie 105 powinno być $1\,434\,056\,m^2$ zamiast $1\,434\,056\,m^2$
9. Na Rys. 25 nie są w pełni widoczne wartości procentowe pierwotnego zużycia energii szczególnie w roku 2019
10. Na stronie 50, nie zaleca się grupowania odniesień literaturowych: „[58][59][60][61]”. Każda z prac powinna zostać opisana w 1-2 zdaniach. Podobnie np. na stronie 59.
11. Dlaczego równania z rozdziału 4 są oznaczone od (3.1) do (3.8)?

3. Uwagi szczegółowe

1. Na podstawie jakich danych opracowano rysunek 49?
2. Prosiłbym przedstawić w formie blokowej zaproponowany w pracy algorytm.
3. W jaki sposób można zweryfikować zaproponowany w pracy model decyzyjny pozwalający na wybór miejsca lokalizacji elektrowni wiatrowych dla systemów

technologii Power to Gas bazując na energii pochodzącej z lądowych farm wiatrowych ?

4. Na jakiej podstawie przyjęto wagi kryteriów przedstawione w tabeli 25 ?
5. Jakie są ograniczenia zaproponowanego w pracy algorytmu ?

4. Wnioski końcowe

Prace doktorska oceniam wysoko, uważam że drobne uwagi edytorskie nie umniejszają w żadnym stopniu wartości naukowej rozprawy. Praca doktorska została napisana starannie, doktorant w sposób rzetelny przedstawił cel, zakres i tezę pracy, jak również metodologię badań. Na uwagę zasługuje bardzo dobre przygotowanie pracy pod względem graficznym.

Uważam że Doktorant osiągnął wszystkie zakładane cele pracy, oraz potwierdził tezę pracy.

Najważniejsze osiągnięcia doktoranta w ramach przedstawionej rozprawy doktorskiej to:

- opracowana przez Doktoranta metoda wyboru lokalizacji elektrowni wiatrowych w aspekcie współpracy z sieciami gazowymi stanowi praktyczny sposób wspomagania decyzji wyboru lokalizacji farm wiatrowych w korelacji z systemami gazowymi i elektroenergetycznymi,
- zaproponowany przez Doktoranta model umożliwia modyfikację i rozbudowę co w sposób łatwy można dostosować do innych źródeł wytwórczych
- zaproponowana przez Doktoranta metoda umożliwia przeprowadzenie rankingu lokalizacji i daje praktyczny obraz możliwości realizacji projektów integracji systemów energetycznych
- zaproponowany przez Doktoranta model umożliwia ilościową ocenę obszarów przeznaczonych na realizacyjne projektów energetycznych

Warte podkreślenia jest że z uwagi na transformację energetyczną temat pracy jest bardzo ważny dla kraju. Ponadto Doktorant jest współautorem pracy:

1. Goraj, R., Kiciński, M., Ślefarski, R., & Duczkowska, A. (2023). Validity of decision criteria for selecting power-to-gas projects in Poland. *Utilities Policy*, 83(101619), 101619. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2023.101619>

Opublikowanej w czasopiśmie *Utilities Policy*, z współczynnikiem Impact Factor 4.0. Jest to bardzo dobre czasopismo naukowe, a opublikowanie w nim pracy świadczy o tym, że badania wykonywane przez Doktoranta są na wysokim poziomie.

Uważam, że praca doktorska spełnia wymagania stawiane w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r. poz. 1668, późn. zm.) dlatego też rekomenduję ją do publicznej obrony w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Z uwagi na duży potencjał aplikacyjny opracowanego przez Doktoranta modelu predykcji zapotrzebowania portów lotniczych na energię elektryczną wnioskuję do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka o wyróżnienie rozprawy.